



Fraunhofer
ACADEMY

MELANIE INGRID BOHLAND

OPTIMIERUNG DER GRÜNSCHNITTVERWERTUNG ALS KLIMASCHUTZTEILSTRATEGIE

Einbeziehung technisch-ökologischer und umweltpsychologischer Aspekte

Schriftenreihe
Umweltwissenschaften



FRAUNHOFER VERLAG

Partneruniversität:



FernUniversität in Hagen

VORWORT

Erfolgreiche Lösungsstrategien im Bereich des Umweltschutzes setzen den koordinierten Einsatz gesellschaftlicher und technologischer Maßnahmen und die Integration der ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte von Nachhaltigkeit voraus. Das Interdisziplinäre Fernstudium Umweltwissenschaften (infernum) bündelt die dafür notwendigen umweltwissenschaftlichen Kompetenzen und vermittelt das hierzu notwendige disziplinenübergreifende Wissen. Unter dem Dach der Fraunhofer Academy wird der Studiengang gemeinsam angeboten und getragen vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen und der FernUniversität in Hagen.

In der vorliegenden Schriftenreihe werden die herausragenden Masterarbeiten eines infernum-Abschlussjahrgangs veröffentlicht. Durch die Publikationen möchten wir Sie an der Vielfalt und Qualität der Studienergebnisse unserer Studierenden teilhaben lassen. Die Arbeiten, die interdisziplinär ausgerichtet sind, haben verschiedenste umweltwissenschaftliche Fragestellungen zum Gegenstand.

Wir hoffen, dass die ausgezeichneten und in dieser Reihe publizierten Masterarbeiten die wissenschaftliche Diskussion über das Konzept der Nachhaltigkeit bereichern werden und den Blick für die Komplexität umweltwissenschaftlicher Fragestellungen weiter schärfen helfen. Unser besonderer Dank gilt den Autorinnen und Autoren für ihre engagierten Abschlussarbeiten und die ergiebigen Diskussionen während ihres Studiums.

Fraunhofer Academy

Optimierung der Grünschnittverwertung als Klimaschutzteilstrategie im Landkreis Mainz-Bingen

Einbeziehung technisch-ökologischer und
umweltpsychologischer Aspekte

von Melanie Ingrid Bohland

FRAUNHOFER VERLAG

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8396-0744-2

Umschlaggestaltung: Vierthaler & Braun, München

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2014

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70-25 00

Telefax 07 11 9 70-25 08

E-Mail verlag@fraunhofer.de

URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

„Master of Environmental Sciences“

an der

FernUniversität zu Hagen

im Weiterbildungsstudiengang infernum



Optimierung der Grünschnittverwertung als
Klimaschutzteilstrategie im Landkreis Mainz-Bingen
-
Einbeziehung technisch-ökologischer und umweltpsychologischer
Aspekte



vorgelegt von: Melanie Ingrid Bohland (Matrikelnr.: q8121079)

Moselstr.1, 55262 Heidesheim am Rhein

*Erstgutachter: Prof. Dipl.-Ing. Frank Baur, IZES gGmbH und Hochschule
für Technik und Wirtschaft (HTW) in Saarbrücken*

*Zweitgutachter: Dipl.-Geogr. Helmut Spoo, Leiter des Umwelt- und Energie-
beratungszentrums (Kreisverwaltung Mainz-Bingen)*

eingereicht am: 17.08.2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zur Erstellung der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Bei Herrn Prof. Frank Baur bedanke ich mich für die Betreuung meiner Masterarbeit und insbesondere für die hilfreichen Gespräche und Anmerkungen, die zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben.

Des Weiteren danke ich Herrn Dipl.-Geogr. Helmut Spoo vom UEBZ der Kreisverwaltung Mainz-Bingen für die Ermöglichung dieser Masterarbeit sowie die hilfsbereite Betreuung. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei dem gesamten UEBZ-Team für die unterstützenden Tätigkeiten und aufbauenden Gespräche.

Bei Herrn Thomas Helmus vom AWB Mainz-Bingen bedanke ich mich dafür, dass er mir bei Fragen immer zur Verfügung stand und durch die zahlreichen Gespräche zur Arbeit beigetragen hat.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Jan Hildenbrand und Frau Sonja Kay vom IZES gGmbH in Saarbrücken für die Beantwortung von Fragen und die hilfreichen Anmerkungen.

Herrn Michael Müller und Herrn Tobias Gruben vom IfaS in Birkenfeld danke ich vor allem für die bereitgestellten Informationen und den persönlichen Austausch zur Erstellung meiner Arbeit.

Mein Dank gilt auch den kreisangehörigen Kommunen, die den Fragebogen beantwortet und zurückgesendet und damit einen Beitrag zu meiner Arbeit geleistet haben.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Familie, der Familie meines Freundes und meinem Freund für die aufbauenden Worte in dieser Zeit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Methodik	4
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Grünschnitt (GS)	5
2.1.1 Definition und Abgrenzung des GS-Begriffs	5
2.1.2 Rechtliche Regelungen des GS-Begriffs	7
2.1.3 Quantitative und qualitative bundesweite Kennwerte zum GS	10
2.2 GS-Verwertungsverfahren und deren Einschätzung	13
3 Grünschnittverwertungsstrategie im Landkreis (LK) Mainz-Bingen	27
3.1 Strukturdaten und klimaschutz-/energiepolitische Ausgangslage des Landkreises Mainz-Bingen	27
3.2 IST-Situation der GS-Verwertungsstrategie	32
3.2.1 Organisation/Zuständigkeit	33
3.2.2 GS-Mengen deren Erfassung und Sammel-/Transportlogistik .	37
3.2.3 Verwertungswege/-techniken und Kosten	48
3.3 Optimierungspotenziale der IST-Situation	53
3.3.1 Zielsetzungen für bzw. Anforderungen an die optimierte GS- Verwertungsstrategie	54
3.3.2 Organisation/Zuständigkeit	55
3.3.3 GS-Mengen deren Erfassung und Sammel-/Transportlogistik .	63
3.3.4 Verwertungsverfahren und Favorisierung eines Verfahrens . .	73
4 Ansätze und Empfehlungen für die praktische Umsetzung der GS- Verwertung	94

5	Hemmnisanalyse - Akzeptanz der GS-Verwertungsstrategie	108
5.1	Hemmnisanalyse für die Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie . .	108
5.2	Akzeptanzbegriff/-definition	111
5.3	Akzeptanzerhebung und -probleme bei der Biomasse-/GS-Verwertung	113
5.4	Maßnahmenvorschläge zur Akzeptanzförderung/-steigerung für die GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen	119
6	Zusammenfassung und Fazit	130
7	Ausblick	133
A	Anhang	136
A.1	Stellenwert der Biomasse- bzw. Grünschnittverwertung in der nation- alen Klimaschutz- und Energiepolitik	136
A.2	Die Rolle und Bedeutung der Kommunen in der Klimaschutz- und Energiepolitik	139
A.3	Rechtliche Einordnung der in der Arbeit betrachteten GS-Stoffströme	141
A.4	Grundlegende (allgemeine) Definitionen der Kennwerte	145
A.5	Erläuterungen zu den quantitativen und qualitativen bundesweiten Kennwerten des GS	145
A.6	Verwertungsverfahren für GS	152
A.6.1	Stoffliche Verwertungsverfahren	152
A.6.2	Energetische Verwertungsverfahren	162
A.6.3	Stofflich-energetische Verwertungsverfahren	178
A.6.4	Kurze Zusammenfassung der Verwertungsverfahren	186
A.7	Grundlagen und Ergänzungen zu den Verwertungsverfahren	188
A.7.1	Kompostierung	188
A.7.2	Verbrennung	189
A.7.3	Vergasung	192
A.7.4	Pyrolyse	193
A.7.5	HTC-Verfahren	194
A.7.6	Vergärung/Kompostierung	195
A.8	Kostenstrukturen für die Verwertungsverfahren	197
A.9	Rechtliche Regelungen hinsichtlich der GS-Verwertung	205

A.10 Weitere Informationen zur klimaschutz-/energiepolitischen Ausgangs-	
lage des LK Mainz-Bingen	212
A.11 GS-Fragebogen für die kreisangehörigen Kommunen	216
A.12 Optimierung der Sammel- und Transportlogistik	219
Literatur	221

Abbildungsverzeichnis

1.1	Zielsetzungen und Gegenstand der vorliegenden Arbeit	3
2.1	Links: Krautartiger GS (Rasenschnitt, Laub); Rechts: Holzartiger GS (Baum- und Strauchschnitt)	6
2.2	Grünschnitt (GS) aus den beiden Herkunftsbereichen - private Haushalte und kreisangehörige Kommunen	7
2.3	Abgrenzung und Differenzierung verschiedener GS-Materialien gemäß BiomasseV in Verbindung mit dem EEG	10
2.4	Charakterisierung des gesamten GS im Jahresverlauf anhand wichtiger Kennwerte	11
2.5	Gegenüberstellung der 3- und 5-stufigen Abfallhierarchie	15
2.6	Übersicht über die verschiedenen Verwertungsverfahren von GS	16
3.1	Links: Geographische Lage des LK Mainz-Bingen in RLP; Rechts: Strukturelle Untergliederung des LK	28
3.2	Flächennutzungen im LK Mainz-Bingen	30
3.3	Rechtliche Regelungen zur Organisation und deren Hierarchieebenen	33
3.4	Organisation und rechtliche Regelung der Verwertung des GS von den privaten Haushalten	34
3.5	Überblick über die Organisationsstruktur und über die Aufteilung der Zuständigkeit für die GS-Verwertung von den privaten Haushalten	36
3.6	Organisation und rechtliche Regelung der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen	36
3.7	GS-Mengen von den privaten Haushalten und deren Erfassungswege/-systeme	38
3.8	Absolutes und spezifisches GS-Aufkommen im LK Mainz-Bingen	39
3.9	Sammelstellen für GS von den privaten Haushalten im LK Mainz-Bingen (grobe Darstellung und Übersicht)	41
3.10	Erfasste GS-Menge von den Sammelstellen im LK Mainz-Bingen (2010)	44
3.11	GS-Stoffströme bei den kreisangehörigen Kommunen	46
3.12	GS-Mengen, die über den Fragebogen bei den kreisangehörigen Kommunen ermittelt wurden	47
3.13	GS-Stoffströme und deren Verwertungswege im LK Mainz-Bingen	48
3.14	GS-Mengen von den Sammelstellen und deren mögliche Verwertungswege	50
3.15	Zielsetzungen für und Anforderungen an die optimierte GS-Verwertungsstrategie	54
3.16	Schwachstellenanalyse der Organisations- und Zuständigkeitsstruktur für die GS-Mengen von den privaten Haushalten	56
3.17	Schwachstellenanalyse der Organisations- und Zuständigkeitsstruktur für die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen	61
3.18	Schwachstellenanalyse für die GS-Mengen und deren Erfassung von den privaten Haushalten	64
3.19	Schwachstellenanalyse für die GS-Mengen/-stoffströme und deren Erfassung von den kreisangehörigen Kommunen	71
3.20	Schwachstellenanalyse für die GS-Verwertung der erfassten GS-Mengen von den privaten Haushalten	74

3.21	Schwachstellenanalyse für die GS-Verwertung der erfassten GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen	75
3.22	Optimiertes Verwertungskonzept für den LK Mainz-Bingen	77
3.23	Referenzsysteme/-produkte und deren anrechenbare THG-Gutschriften in CO ₂ -Äquivalenten	80
3.24	Ergebnisse der Klimaschutzeffekte ausgewählter Verfahrenskombinationen	90
4.1	Beispiel für eine Netzwerkstruktur auf LK-Ebene	96
4.2	Aufbereitungsschritte zur Herstellung von GS-Hackschnitzeln	98
4.3	Potenzielle Wärmeabnehmer	104
4.4	Beispiel für eine mögliche Marketingstrategie zur Erhöhung der Absatzchancen . .	107
5.1	Hemmnisfaktoren für die praktische Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie	108
5.2	Definition und Verständnis des Akzeptanzbegriffs	112
5.3	Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen zur Stromerzeugung in der Nachbarschaft	114
5.4	Ergebnisse der Umfrage zum Gebrauch von Biomasse in Deutschland	115
5.5	Einflussfaktoren auf die Akzeptanz	116
5.6	Definition und Verständnis des Partizipationsbegriffs	120
5.7	Portfolio an Partizipationsmaßnahmen für die GS-Verwertung	121
5.8	Entwurf eines Flyers zur Information der Bürger	123
6.1	Entscheidungsbaum für das optimierte GS-Verwertungskonzept	132
A.1	Spannungsfeld Bioenergie-Nutzung bzw. Nutzungskonkurrenzen beim Energiepflanzenanbau	137
A.2	Anteile der erneuerbaren Energien (EE) an der Strom- und Wärmebereitstellung (Endenergie) 2011	138
A.3	Die Rolle der Kommune beim Klimaschutz und in der Energiepolitik	141
A.4	Absolutes und spezifisches GS-Aufkommen in Deutschland von 2002 bis 2010 . . .	147
A.5	Zusammenhang zwischen dem H _u und dem Wassergehalt	150
A.6	Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Kompostierung von GS	155
A.7	Beispiel für eine Klimabilanz der Kompostierung	160
A.8	Möglichkeiten zur Verbrennung von GS und anschließende Nutzungsmöglichkeiten .	165
A.9	Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Verbrennung von GS	167
A.10	Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Vergasung von GS	170
A.11	Prozesskette der Pyrolyse	173
A.12	Prozesskette der HTC mit energetischer Nutzung der HTC-Kohle	175
A.13	Darstellung der Prozesskette für eine kombinierte Vergärung/Kompostierung . . .	179
A.14	Klimabilanz für eine optimierte Vergärung in Kombination mit der Kompostierung	182
A.15	Vereinfachtes Prinzip der Kaskadennutzung	184
A.16	Ablauf der Verbrennung in drei Phasen	189
A.17	Energetische Nutzungsmöglichkeiten für die HTC-Kohle	195
A.18	Vereinfachte Darstellung des Vergärungsprozesses in 4 Stufen	196
A.19	Kostenstruktur für die Kompostierung von GS	200
A.20	Kostenstruktur für eine kombinierte Vergärung/Kompostierung von GS	202

A.21	Prozentuale Kostenstruktur für die Verbrennung von GS als Hackschnitzel in einem Heizwerk	203
A.22	Prozentualer Anteil der einzelnen Bereiche - Wärme, Strom und Verkehr - am Gesamtenergieverbrauch im LK Mainz-Bingen; aktueller IST-Zustand	212
A.23	Entwicklung der THG-Emissionen von 1990 im Vergleich zu 2010 (IST-Situation) im LK Mainz-Bingen	214
A.24	Emissionsanteile der einzelnen Sektoren (differenziert nach Abwasser, Abfall, Verkehr, Wärme und Strom)	215

Tabellenverzeichnis

2.1	Überblick über rechtliche Regelungen und Einordnungen zum GS	8
2.2	Kennwerte zum GS	12
2.3	Aufeinander abgestimmte bzw. stimmige Werte für den TS- und Wassergehalt von GS	13
2.4	Stoffliche Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile	19
2.5	Energetische Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile	20
2.6	Stofflich-energetische Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile	21
2.7	Treibhausgaspotenzial (GWP) relevanter Gase	22
2.8	Einschätzungszeichen und deren Bedeutung	25
2.9	Einschätzung der Verwertungsverfahren	26
3.1	Charakteristische Merkmale und Kennzahlen des LK Mainz-Bingen	28
3.2	Überblick über Daten und Fakten zur Ausgestaltung der getrennt erfassten GS-Mengen im LK Mainz-Bingen	44
3.3	Umrechnungsfaktoren zur einheitlichen Darstellung der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen	46
3.4	Verwertungskonzepte und deren GS-Mengen für die optimierte Verwertung von GS im LK Mainz-Bingen	77
3.5	In- und Outputströme und Parameter der Vergärung/Kompostierung	82
3.6	In- und Outputströme und Parameter der Verbrennung	84
3.7	Endprodukte und deren -mengen der einzelnen Verwertungsverfahren jeweils bezogen auf 1 Mg GS (FS)	85
3.8	Endprodukte und deren Gesamtmengen bezogen auf die gesamten GS-Inputmengen	85
3.9	Spezifische Nettogutschriften für die erzeugten Endprodukte	86
3.10	Spezifische Emissionen (Lastschriften) der Verwertungsverfahren bezogen auf jeweils 1 Mg GS (FS)	86
3.11	Absolute Emissionen der Verwertungsverfahren	87
3.12	Nettogutschriften für die einzelnen Verwertungsverfahren	88
3.13	Gesamtgutschriften der Verfahrenskombinationen innerhalb der beiden Verwertungskonzepte	89
3.14	Ergebnisse der Klimaschutzeffekte	89

3.15	Empfehlungen und Handlungsbedarf für die beiden Verfahrenskombinationen	93
4.1	Überblick über wesentliche technische Besonderheiten der HW-Ausführung	101
5.1	Ursachen für Akzeptanzprobleme und deren Einflussgrad	118
A.1	Schwermetallgehalte im GS	151
A.2	Grenzwerte für Schwermetalle gemäß der BioAbfV	151
A.3	Zusammenfassung der Verwertungsverfahren	186
A.6	Überblick über einige rechtliche Regelwerke	206
A.7	Vergütungssätze gemäß Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) 2012 Vergütungssätze für die Stromerzeugung aus GS	207
A.8	Deckungsraten für die Nutzung von Biomasse (gasförmig, flüssig, fest) zur Erfüllung der Nutzungspflicht gemäß § 3 EEWärmeG	209

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AWB	Abfallwirtschaftsbetrieb
AWS	Abfallwirtschaftssatzung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBE	Bundesverband BioEnergie
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BiomasseV	Biomasse-Verordnung
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BMHW	Biomasseheizwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
BMWFI	Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BÖR	Forschungs- und Technologierat Bioökonomie
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BUWAL	Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft
BVL	Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BVT	Beste verfügbare Technik
Ca	Calcium
C.A.R.M.E.N.	Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk
Cd	Cadmium

CH₄	Methan
C/N	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis
C_nH_m	Kohlenwasserstoffverbindungen
CO	Kohlenmonoxid
CO₂	Kohlendioxid
CO₂-Ä.	Kohlendioxid-Äquivalente
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DBFZ	Deutsches Biomasse Forschungszentrum
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
dena	Deutsche Energie-Agentur
DIFU	Deutsches Institut für Urbanistik
DUH	Deutsche Umwelthilfe
EDG	EnergieDienstleistungsGesellschaft Rheinhessen-Nahe
EE	erneuerbare Energien/Energieträger
EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EPEA	Environmental Protection Encouragement Agency
η	Wirkungsgrad [%]
EU-AVV	Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis
EVS	Entsorgungsverband Saar
EW	Einwohner
FAWF RLP	Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Landesforsten RLP
FLOX	Flammlose Oxidation
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FS/FM	Frischsubstanz, Feuchsubstanz, Frischmasse
FVEE	Forschungsverbund erneuerbare Energien
GS	Grünschnittabfällen (Grünschnitt)
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
GWP	global warming potential (Treibhausgaspotential)
ha	Hektar
Hg	Quecksilber
HKW	Heizkraftwerk(e,s)
H₂S	Schwefelwasserstoff
HTC	Hydrothermale Carbonisierung
H_u	unterer Heizwert
HW	Heizwerk(e,s)
IBBK	International Biogas Center of Competence
ICU	Ingenieurconsulting Umwelt und Bau Berlin
IE	Institut für Energetik und Umwelt

IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISWA	Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft
IZES	Institut für ZukunftsEnergieSysteme
IZT	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
K	Kalium
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LAbfWAG	Landesabfallwirtschaftsgesetz
λ	Luftzahl/Luftüberschusszahl [-]
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
LaPflM	Landschaftspflegematerial
Lfu	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LK	Landkreis
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
LWF	Bayerisches Landesamt für Wald und Forstwirtschaft
Mg	Megagramm
MUFV	Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz RLP
MWh	Megawattstunde
MWKEL	Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung RLP
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NGO	Non Governmental Organization
NH₃	Ammoniak
NH₄⁺	Ammonium
Ni	Nickel
NIMBY	Not in my backyard
NO_x	Stickstoffoxide
N₂O	Lachgas (Distickstoffmonoxid)
öRE	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
OG	Ortsgemeinde
ORC-Prozess	Organic Rankine Cycle-Prozess
oTS	organische Trockensubstanz
P	Phosphor
Pb	Blei
RGK	Gütegemeinschaft Kompost, Region Südwest
rhe	Rhein-Hunsrück Entsorgung
RHK	Rhein-Hunsrück-Kreis
RLP	Rheinland-Pfalz
RWI	Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

SA 8000	Social Accountability
SMUL	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
T	Temperatur
THEG	Treibhausgasemissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas/e
TS	Trockensubstanz
TSB	Transferstelle Bingen
UBA	Umweltbundesamt
UEBZ	Umwelt- und Energieberatungszentrum
VFG	Verbandsfreie Gemeinde
VG	Verbandsgemeinde
VHI	Verband der Holzwerkstoffindustrie
VOL/A	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen - Teil A
VTC	Vapothermale Carbonisierung
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WG	Wassergehalt
WI	Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie
ZHAW	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften
Zn	Zink

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Gewinnung und Nutzung von fossilen Energieträgern, von mineralischen Düngemitteln sowie von Torfprodukten sind mit Treibhausgasemissionen verbunden und für den anthropogenen Klimawandel verantwortlich. Zudem führt die Endlichkeit dieser Ressourcen zur langfristigen Versorgungsknappheit und damit zu kontinuierlich steigenden Preisen im Bereich der Energieversorgung und der Konditionierung bzw. Behandlung von Böden.

Vor diesem Hintergrund gewinnt das Thema „Bioabfall als Ressource“ zunehmend an Bedeutung.¹ In der Abfallwirtschaft ist ein Paradigmenwechsel von einer entsorgungsorientierten zu einer versorgungsorientierten Planung und Sichtweise im Sinne einer systemübergreifenden Ressourcen- bzw. Stoffstromwirtschaft notwendig [1]. Es ist zwingend erforderlich, zukünftig verstärkt Bioabfälle aufzubereiten und als Sekundärrohstoffe und -energieträger effizient zu verwerten. Dies wird im Rahmen des Biomasseaktionsplans der deutschen Bundesregierung gefordert. Hierbei werden den Bioabfällen innerhalb der Biomassenutzung ein vorrangiger Stellenwert und eine stärkere Gewichtung durch die Erschließung bisher ungenutzter bzw. unzureichend ausgeschöpfter Potenziale beigemessen [2–9]. Bioabfälle weisen gegenüber anderen Biomassearten zwei entscheidende Vorteile auf:

- Für ihre Bereitstellung sind kaum zusätzliche Aufwendungen notwendig, weil sie ohnehin eingesammelt und „entsorgt“ werden müssen.
- Durch die Erschließung und effiziente Ausschöpfung von Bioabfällen werden Nutzungskonkurrenzen, die z.B. beim Energiepflanzenanbau entstehen, entschärft [7, 10].

Vor allem besteht bei den Grünschnittabfällen (GS), die zum Bioabfall gerechnet werden, ein hohes Potenzial. Dies wird oftmals unzureichend ausgeschöpft [11]. Größtenteils wird der GS in zum Teil veralteten Kompostierungsanlagen oder als Hackselmaterial ineffizient genutzt [11, 12].

Die GS-Verwertung kann einen Beitrag zum nachhaltigen Klima- und Ressourcenschutz leisten. Dies hat der Landkreis (LK) Mainz-Bingen erkannt. Ein Klimaschutzkonzept mit der Zielsetzung „Null-Emissions-Landkreis bis 2050“ wird derzeit erar-

¹Der Stellenwert der Biomassenutzung bzw. der Bioabfallverwertung in der nationalen Energie- und Klimaschutzpolitik ist in Anhang A.1 dargelegt.

beitet und liegt voraussichtlich Ende September 2012 vor.² Im Rahmen dieser Konzepterstellung ist das Thema „GS-Verwertung“ in den Blickpunkt geraten [14]. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt daher auf der GS-Verwertung im LK Mainz-Bingen.

Der LK Mainz-Bingen ist für die „ordnungsgemäße Verwertung“ des GS aus den privaten Haushalten verantwortlich. Dagegen fällt der kommunale GS, der bei der Pflege von öffentlichen Flächen entsteht, in die Zuständigkeit der jeweiligen kreisangehörigen Kommune (Gebietskörperschaft). Da GS dem Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz (kurz: KrW-/AbfG; zukünftig KrWG³) unterliegt und der Gesetzgeber die ordnungsgemäße Verwertung von GS vorschreibt, müssen der LK und die kreisangehörigen Kommunen dieser Verpflichtung nachkommen. Dies wird als reiner Kostenfaktor und vom Gesetzgeber auferlegte Pflicht wahrgenommen. Zukünftig sollte der GS nicht länger als Entsorgungsgut und die GS-Verwertung nicht als auferlegte Pflicht angesehen werden.

Derzeit bestehen vielfältige Bemühungen zur effizienteren Verwertung von verschiedenen Biomassearten und damit auch von GS [7]. Viele der Verwertungsverfahren haben allerdings noch nicht die technische Reife für die Anwendung im Großmaßstab erlangt [17–20]. Insbesondere stieg in letzter Zeit das Interesse an einer energetischen Nutzung des holzartigen GS rapide an [13]. Für dieses Interesse gibt es mehrere Gründe. Erstens wird eine energetische Nutzung durch wandelnde rechtliche Rahmenbedingungen - wie beispielsweise das EEG - finanziell begünstigt. Zweitens trägt die steigende Holznachfrage [1, 21] - unter anderem durch die verstärkte Nutzung von Holz im Energiebereich und im stofflichen Bereich - und der Mangel an Altholz als Brennstoff [22, 23] zur Fokussierung auf alternative Brennstoffe bei.⁴

Die stofflichen und energetischen Nutzungspotenziale des GS werden im LK Mainz-Bingen bisher nicht effizient ausgeschöpft.

²Null-Emission steht für einen Idealzustand, der als Qualitäts- und Managementziel verstanden werden soll. Dementsprechend geht es bei dem Ziel „Null-Emissions-Landkreis“ real gesehen, um eine signifikante Senkung der Emissionen. Wesentlich ist, dass ein interdisziplinärer und systemischer Ansatz zur Optimierung von Stoffströmen mit Aspekten der Suffizienz, Effizienz und Substitution verfolgt wird.[13] Das Ziel des „Null-Emissions-Landkreises“ soll durch den Aufbau, die konsequente Umsetzung und die kontinuierliche Optimierung eines regionalen Stoffstrommanagements erfolgen.[1]

Als beispielhaftes Projekt kann die - unter dem Aspekt des Null-Emissions-Landkreises - optimierte GS-Verwertungsstrategie des an den LK Mainz-Bingen angrenzenden Rhein-Hunsrück-Kreises (RHK) angesehen werden.

³Die Neuordnung des KrW-/AbfG ist erforderlich, weil die novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG in nationales/deutsches Recht umgesetzt werden muss. Das KrW-/AbfG heißt nur noch KrWG und ist am 1. Juni 2012 in Kraft getreten [15, 16].

⁴Prognosen für das Jahr 2020 gehen in Deutschland von einer steigenden Holznachfrage aus [24, 25]. Im Jahr 2020 würde damit die potenzielle Holznachfrage über dem potenziellen Holzangebot liegen [24, 25]. Dieser Nachfrageüberschuss kann nur durch eine nachhaltige Mobilisierung von bisher ungenutzten Holzpotenzialen (z.B. GS) und deren effiziente Nutzung gemindert werden.

Das Ziel der Arbeit ist daher die Optimierung der Grünschnittverwertung im LK Mainz-Bingen. Hierbei stehen technisch-ökologische und umweltpsychologische Aspekte im Vordergrund. Die technische Umsetzung der GS-Verwertung ist, als wesentlicher Prozessschritt einer ganzheitlichen GS-Verwertungsstrategie, auf die vorgelagerten Prozessschritte (GS-Erfassung, Sammel-/Transportlogistik und Aufbereitung) sowie auf die Organisation und Zuständigkeit (Abb. 1.1) sinnvoll abzustimmen. Im Rahmen der Arbeit werden für die bisherige GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen - auf der Grundlage einer umfassenden Analyse bundesweit vorhandener Erfahrungen und der Datengrundlage im LK - Schwachstellen analysiert und Optimierungsmaßnahmen aufgezeigt. Darüber hinaus wird für die GS-Verwertung ein Konzept mit einem möglichst hohen Klimaschutzpotenzial erarbeitet.

Die optimierte GS-Verwertungsstrategie bringt alleine nicht den gewünschten Erfolg und wird nicht automatisch umgesetzt [26]. Verschiedene Hemmnisse können dieser Umsetzung entgegen stehen. So kann infolge einer fehlenden Akzeptanz bei den Bürgern die optimierte GS-Verwertungsstrategie scheitern. Die Einbeziehung und Beteiligung der Bürger sowie die sozialverträgliche Gestaltung der optimierten GS-Verwertungsstrategie sind entscheidend, damit diese erfolgreich umgesetzt werden kann. Daher werden in der Arbeit Partizipationsmaßnahmen zur Akzeptanzförderung/-steigerung aufgezeigt und Beispiele für deren konkrete Ausgestaltung gegeben.

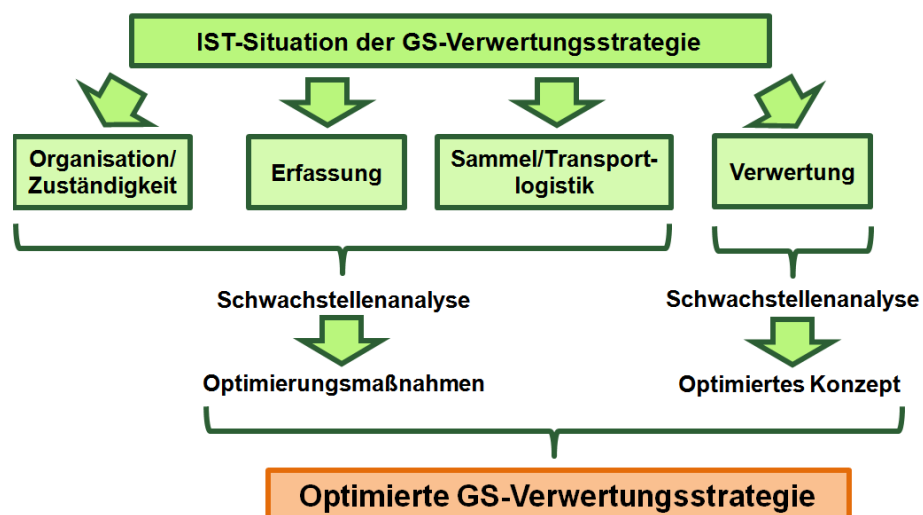


Abbildung 1.1: Zielsetzungen und Gegenstand der vorliegenden Arbeit [eigene Darstellung]

1.2 Methodik

Die vorliegende Arbeit ist in sieben Kapitel untergliedert. Das 1. Kapitel beinhaltet die Einleitung und setzt sich aus der Motivation, Zielsetzung sowie der Methodik zusammen.

Kapitel 2 liefert die theoretischen Grundlagen für den praktischen Teil der Arbeit. Zunächst wird der GS-Begriff mit Hilfe von rechtlichen Regelungen und Literaturrecherchen abgegrenzt und für die Arbeit definiert. Darüber hinaus werden rechtliche Regelungen, die für die GS-Verwertung von Bedeutung sind, erläutert. Quantitative und qualitative Kennwerte zum GS werden aus der Literatur zusammengestellt, um den GS entsprechend seiner Eigenschaften einer optimierten und effizienten Verwertung zuführen zu können. Unter Beachtung der Kennwerte werden verschiedene Verwertungsverfahren, die nach dem Stand der Technik für den GS etabliert sind oder sich noch in der Entwicklung befinden, dargestellt. Die für GS in Frage kommenden Verwertungsverfahren werden mit Hilfe von Literaturrecherchen, Expertengesprächen und gesammelten Erkenntnissen aus Tagungen dargelegt. Zur Einschätzung der Verwertungsverfahren wird eine Bewertungsmatrix anhand von Nachhaltigkeitskriterien entwickelt. Da der Stand der Technik und damit die technische Realisierbarkeit der Verwertungsverfahren eine entscheidende Rolle einnimmt, werden in der Bewertungsmatrix nur etablierte Verwertungsverfahren eingeschätzt.

Im Kapitel 3 wird die IST-Situation der GS-Verwertungsstrategie analysiert, um daraus eine optimierte GS-Verwertungsstrategie für den LK Mainz-Bingen abzuleiten. Hierbei wird zwischen dem LK und den kreisangehörigen Kommunen differenziert. Die Analyse der IST-Situation der GS-Verwertungsstrategie wird mit Hilfe von Expertengesprächen und Literaturrecherchen sowie einer Vor-Ort-Besichtigung (Humuswerk Essenheim) für den LK und anhand eines Fragebogens für die kreisangehörigen Kommunen ermittelt.

Zur Entwicklung einer optimierten GS-Verwertungsstrategie werden Zielsetzungen für diese aufgestellt. Die Zielsetzungen werden mit Hilfe von Literaturrecherchen, unter Berücksichtigung von regionalen Gegebenheiten (Strukturdaten) im LK und dem Positionspapier des LK zur Entwicklung eines Null-Emissions-Landkreises identifiziert. Auf Basis der Zielsetzungen in Kombination mit einer Literaturrecherche werden für die IST-Situation Schwachstellenanalysen für die verschiedenen Prozessschritte der GS-Verwertungsstrategie (Abb. 1.1) durchgeführt. Daraus werden Optimierungsmaßnahmen abgeleitet.

Zur Ermittlung eines optimierten Konzepts für die GS-Verwertung werden mit der Bewertungsmatrix und unter Beachtung der Zielsetzungen für die optimierte GS-Verwertungsstrategie zwei Verwertungskonzepte mit verschiedenen Verfahrenskombinationen vorgeschlagen. Für jede Verfahrenskombination werden die Klimaschutzeffekte in Anlehnung an eine Ökobilanzierung nach ISO EN DIN 14040/14044 berechnet. Die Ausgangswerte für diese Berechnungen werden aus der Literatur entnommen. Abschließend wird in dem Kapitel eine Verfahrenskombination als optimiertes Verwertungskonzept für den LK favorisiert. Hierfür werden die Ergebnisse zum Klimaschutzeffekt, die Zielsetzungen für die optimierte GS-Verwertungsstrategie sowie die Realisierung der Umsetzbarkeit im LK berücksichtigt.

Im Kapitel 4 werden mit Hilfe von Expertengesprächen (Experten aus dem RHK), Vor-Ort-Besichtigungen in benachbarten LK (Heizwerke im RHK) und Literaturrecherchen für die konkrete Ausgestaltung der optimierten GS-Verwertungsstrategie Ansätze dargelegt und Empfehlungen abgeleitet.

Im Kapitel 5 wird eine Hemmnisanalyse mit Hilfe einer Literaturrecherche durchgeführt und der Schwerpunkt auf die Akzeptanz gesetzt. Die theoretischen Grundlagen der Akzeptanzanalyse - Definition des Akzeptanzbegriffs, Akzeptanzprobleme sowie akzeptanzfördernde Maßnahmen und deren Bedeutung - werden durch Literaturrecherchen und Expertengespräche dargelegt. Daraus werden konkrete akzeptanzfördernde Maßnahmen, bezogen auf die Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen, entwickelt und aufgezeigt.

Am Ende der Arbeit werden in Kapitel 6 die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und hieraus ein Fazit gezogen. In Kapitel 7 wird ein Ausblick auf zu klärende oder weiterführende Fragen, die im Rahmen der Arbeit nicht bearbeitet werden konnten, gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grünschnitt (GS)

2.1.1 Definition und Abgrenzung des GS-Begriffs

GS wird häufig als Synonym für Grünabfälle oder Grüngut verwendet. Der Begriff „Grünschnitt“ ist nicht eindeutig definiert. Zum einen ist keine genaue gesetzliche

Regelung für die Definition von GS auffindbar. Zum anderen wird eine allgemeingültige Definition durch die Variation der Qualität, Quantität sowie der Zusammensetzung des GS bedingt durch regionale, saisonale und lokale Schwankungen erschwert [5, 27–30].⁵

Im Folgenden ist es notwendig, den Begriff GS näher zu erklären und für die Arbeit einzugrenzen. Bei GS handelt es sich um ein pflanzliches Gemisch, das sich aus zwei Fraktionen, die krautartige und die holzartige Fraktion zusammensetzt [28, 31–33]. Die krautartige Fraktion besteht vor allem aus Wiesen- und Rasenschnitt sowie Laubblättern. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um leicht abbaubares Material. Die holzartige Fraktion setzt sich vorwiegend aus Baum- und Strauchschnitt zusammen. Diese ist durch ihren hohen Ligninanteil den schwer abbaubaren Materialien zuzuordnen. Zudem haftet am GS meistens ein gewisser Anteil an mineralischen Materialien, z.B. Erde und Steine [29], die aber nicht Bestandteil des eigentlichen GS sind. Abb. 2.1 verdeutlicht das Verständnis von kraut- und holzartigem GS in dieser Arbeit.



Abbildung 2.1: Links: Krautartiger GS (Rasenschnitt, Laub) - Fotoaufnahme: Juni; Rechts: Holzartiger GS (Baum- und Strauchschnitt) - Fotoaufnahme: Januar [eigene Bilder]

Wie bereits erwähnt, ist die Zusammensetzung des GS starken lokalen Schwankungen unterworfen. Für eine genauere Betrachtung ist eine Abgrenzung des GS nach Herkunftsgebieten sinnvoll. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit GS aus den beiden Herkunftsbereichen: private Haushalte und kreisangehörige Kommunen (Gebietskörperschaften). Schnittstellen zu anderen biogenen Abfallarten und GS-Stoffströmen, die im Zuständigkeitsbereich des LK liegen, werden im Kap. 3 für den LK betrachtet.

⁵Regionale Schwankungen ergeben sich z.B. durch regionale Unterschiede in der Vegetation und im Sammelsystem. Saisonale Schwankungen sind z.B. bedingt durch die verschiedenen Jahreszeiten und Vegetationsperioden. Lokale Schwankungen entstehen durch unterschiedliche Herkunftsgebiete (z.B. GS von Straßenrändern oder GS von öffentlichen Parkanlagen). Je nach Herkunftsgebiet ist die Zusammensetzung und Belastung mit Schwermetallen sehr unterschiedlich.

In den kreisangehörigen Kommunen fällt GS in erster Linie bei der Pflege von öffentlichen Flächen, wie z.B. Park-, Friedhofs- und Sportanlagen, an [34, 35]. Neben dem GS, der bei der Pflege von öffentlichen Flächen entsteht, fällt im kommunalen Bereich noch Straßen-, Schienen- sowie Uferbegleitgrün an.[35, 36]

In der vorliegenden Arbeit liegt das Augenmerk auf dem GS aus der Pflege von öffentlichen Flächen. Dieser GS zeichnet sich meist durch größere Mengen und eine geringere Belastung mit Schadstoffen im Vergleich zum Straßenbegleitgrün aus.⁶

GS aus den privaten Haushalten umfasst organische Materialien - wie beispielsweise Strauch- oder Rasenschnitt - die bei der Pflege von Privatgärten anfallen und meistens über ein separates Bringsystem gesammelt werden [30].

Abb. 2.2 zeigt die beiden Herkunftsbereiche von GS sowie die dazu gehörenden GS-Stoffströme, die für die Arbeit relevant sind.

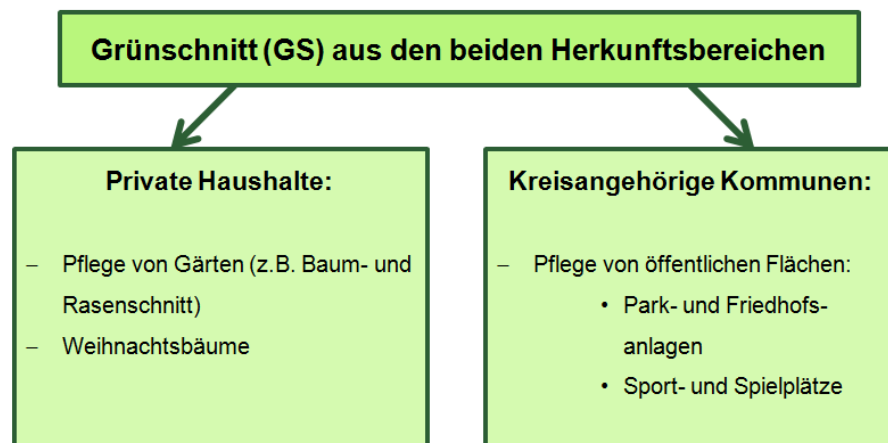


Abbildung 2.2: Grünschnitt (GS) aus den beiden - in der Arbeit relevanten - Herkunftsbereichen (Links: Private Haushalte; Rechts: Kreisangehörige Kommunen) [eigene Darstellung]

2.1.2 Rechtliche Regelungen des GS-Begriffs

Die rechtliche Einordnung des GS ist besonders im Hinblick auf eine anschließende Verwertung von Bedeutung. In Tab. 2.1 ist die rechtliche Einordnung bzw. Abgrenzung - für die in der Arbeit betrachteten GS-Stoffströme - anhand der wichtigsten rechtlichen Regelwerke zusammengefasst.⁷ Ausführliche Erläuterungen zu den rechtlichen Regelungen und zur Abgrenzung des GS sind im Anhang A.3 dargelegt.

⁶Straßenbegleitgrün ist hinsichtlich seiner Schwermetallproblematik bekannt [37, 38]. Da die Schwermetallproblematik einen entscheidenden Einfluss auf die Verwertung des GS nimmt, wird dieser GS-Stoffstrom in der Arbeit nicht betrachtet.

⁷Es wird lediglich die rechtliche Einordnung des GS-Begriffs betrachtet. Rechtliche Regelungen bezogen auf eine Verwertungsart (z.B. stofflich) werden im Anhang A.9 erläutert.

Tabelle 2.1: Überblick über rechtliche Regelungen und Einordnungen zum GS

Regelwerk	Einordnung/Zuordnung	Rechtliche Regelungen hierzu:
Abfallverzeichnis-Verordnung (EU-AVV) [39]	Abfallschlüsselnummer für GS?	Zuordnung von GS zur Abfallgruppe 20 02: Garten- und Parkabfälle (einschließlich Friedhofsabfälle) bzw. zur Abfallschlüsselnummer 20 02 01: Biologisch abbaubare Abfälle
KrW-/AbfG (zukünftig: KrWG) [40]	GS als Abfall?	GS ist gemäß § 3 Abs. 7 Nr. 1 und 4 als Bioabfall einzustufen. Bemerkung: § 11 Abs. 2 Nr. 2 ermächtigt darüber hinaus die Bundesregierung die Abfälle, die als Bioabfall gelten, durch Rechtsverordnungen festzulegen.
Bioabfall-Verordnung (BioAbfV) [41, 42]	GS als Bioabfall?	Aktuelle BioAbfV: GS fällt unter die im Anhang 1 Abfallschlüsselnummer 20 02 01 genannten Garten- und Parkabfälle. Entwurf zur Änderung der BioAbfV: Dort werden die unter die Nr. 20 02 01 fallenden Abfallarten konkretisiert und differenziert: - biologisch abbaubare Abfälle von Sportanlagen, -plätzen, -stätten und Kinderspielflächen (soweit nicht Garten- und Parkabfälle) - biologisch abbaubare Friedhofsabfälle - biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle.
Biomasse-Verordnung (BiomasseV) [43]	GS als Biomasse?	Gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 4 gelten die im Sinne von § 2 Nr. 1 der BioAbfV in Verbindung mit Anhang 1 aufgeführten Bioabfälle als anerkannte Biomasse. ⇒ GS ist als Biomasse im Sinne der BiomasseV bzw. des EEG anerkannt. ⇒ Einordnung des GS zu einer bestimmten Vergütungsklasse gemäß EEG (Anhang A.9)
Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) [44]	GS als erneuerbare Energie?	Laut § 3 Nr. 3 zählt Biomasse zu den erneuerbaren Energien. ⇒ GS ist eine erneuerbare Energie aufgrund der Anerkennung als Biomasse.

Besonders wichtig im Hinblick auf die energetische Verwertung des GS ist die Beachtung der Abgrenzungen von GS-Materialien gemäß der BiomasseV [43] in Verbindung mit dem EEG [44]. Durch die Zuordnung der verschiedenen GS-Materialien zu unterschiedlichen Vergütungsklassen für die Stromerzeugung gemäß EEG ergibt sich eine Differenzierung der Materialien. Die Abgrenzung wesentlicher GS-Materialien sowie die Vergütungsklassen der einzelnen GS-Materialien ist in Abb. 2.3 aufgezeigt (rot eingerahmt sind die in der Arbeit betrachteten GS-Stoffströme).

Anhand Abb. 2.3 ist eine Differenzierung zwischen dem Landschaftspflegematerial (LaPfM) und dem GS aus der privaten und öffentlichen Garten- und Parkpflege erkennbar. Der GS aus der privaten und öffentlichen Garten- und Parkpflege zählt im Sinne des EEG nicht zum LaPfM, sondern ist von diesem zu unterscheiden und abzugrenzen. Diese Differenzierung und Abgrenzung ergibt sich aus der unterschiedlichen Einteilung der GS-Materialien in unterschiedliche Vergütungsklassen gemäß der BiomasseV [43].

Der GS aus der privaten und öffentlichen Garten- und Parkpflege ist - abweichend vom LaPfM - der „Einsatzstoffvergütungsklasse 0“ zugeordnet [45], die keinen Anspruch auf eine einsatzstoffbezogene Vergütung begründet. Dieser GS ist in der Liste der „Vergütungsklasse 0“ unter der Nr. 18 Anlage 1 BiomasseV [43] aufgeführt. Daraus ergibt sich für die Stromerzeugung aus dem GS-Stoffstrom lediglich eine Grundvergütung gemäß § 27 EEG, während LaPfM - aufgrund der Zuordnung zur Einsatzstoffvergütungsklasse II (Anlage 3 der BiomasseV) - zusätzlich eine einsatzstoffbezogene Vergütung der Klasse II erhält.

Daneben fällt GS laut BioAbfV in Verbindung mit dem Anhang 1 unter die Abfallschlüsselnummer 20 02 01 (Tab. 2.1) und kann folglich als Bioabfall eingeordnet werden. Gemäß § 27a EEG [44] erhält man für die Vergärung von Bioabfällen - aus den unter die Abfallschlüsselnummern 20 02 01, 20 03 01 und 20 03 02 fallenden Abfallarten - eine höhere Vergütung als für den GS, der im Anhang der BiomasseV aufgeführt ist. Näheres zu den Vergütungssätzen wird im Anhang A.9 erläutert.

Zusätzlich befinden sich in diesem Anhang weitere Informationen zu den rechtlichen Regelungen hinsichtlich der GS-Verwertung (EEG 2012, EEWärmeG 2011, BioAbfV 2012, DüMV 2009).

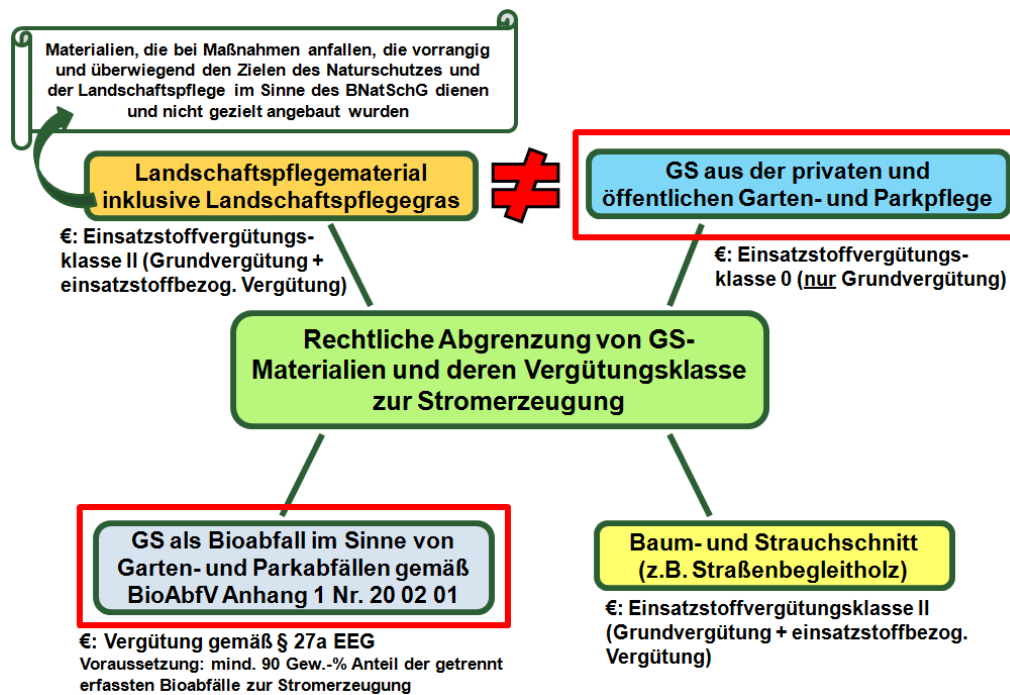


Abbildung 2.3: Abgrenzung und Differenzierung verschiedener GS-Materialien gemäß BiomasseV [43] in Verbindung mit dem EEG [44] und deren Vergütungsklasse für die Stromerzeugung [eigene Darstellung]

2.1.3 Quantitative und qualitative bundesweite Kennwerte zum GS

In diesem Kapitel werden bundesweite quantitative und qualitative Kennwerte für GS zusammengestellt. Aufgrund fehlender spezifischer Kennwerte für den GS im LK Mainz-Bingen werden bundesweite Kennwerte verwendet.⁸ Diese Kennwerte sind vor allem für die Betrachtung des stofflichen und energetischen Potenzials, der Verwertungsverfahren und der damit notwendigen Aufbereitung des GS bedeutend. Es liegen vor allem Kennwerte über den GS, der vorwiegend über ein separates Sammelssystem von den privaten Haushalten erfasst wird, vor.⁹

Abb. 2.4 zeigt qualitativ den Zusammenhang und die Abhängigkeiten der verschiedenen Kennwerte von GS im Jahresverlauf auf.¹⁰ Üblicherweise ist das GS-Aufkommen im Jahresverlauf durch einen „Kamelhöcker-Jahresgang“ [30] gekennzeichnet. Deshalb sind Spitzenmengen an GS im Frühjahr und Herbst zu verzeichnen [33, 46]. Während im Frühjahr und Winter vorwiegend holzartiger GS das

⁸Spezifische Kennwerte für den GS im LK sind nicht bekannt. Im Rahmen der Arbeit ist die Erhebung dieser Daten nicht möglich gewesen, da diese – aufgrund der schwankenden GS-Qualität – über einen längeren Zeitraum hätten bestimmt werden müssen.

⁹In der vorliegenden Arbeit werden deshalb diese Werte vereinfacht für die GS-Stoffströme, die bei der Pflege von öffentlichen Flächen bei den kreisangehörigen Kommunen anfallen, herangezogen.

¹⁰Grundlegende bzw. allgemeine Definitionen zu den Kennwerten können im Anhang A.4 nachgelesen werden.

GS-Aufkommen charakterisiert, sind die GS-Mengen im Sommer und Herbst durch dominierende krautartige Fraktionen geprägt [47–49]. Laut mehreren Literaturstellen [12, 29, 50–53] eignet sich ca. 30 Gew.-% des Jahres-GS-Aufkommens für eine Verbrennung.

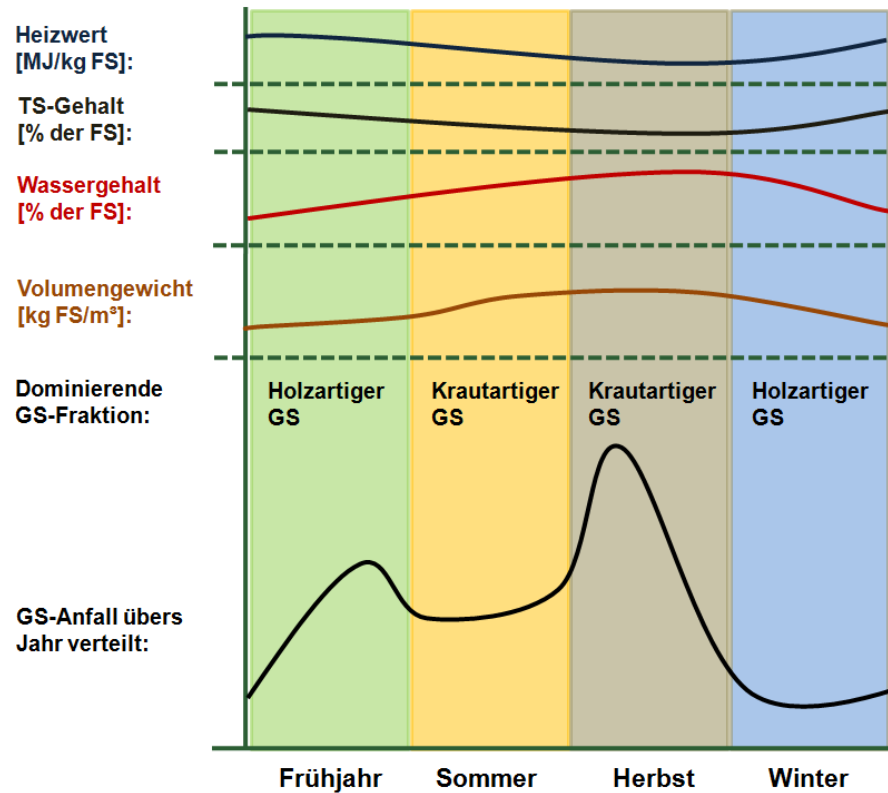


Abbildung 2.4: Charakterisierung des gesamten GS im Jahresverlauf anhand wichtiger Kennwerte (qualitative Darstellung; grobe Skizze) [eigene Darstellung]

Durch die unterschiedliche Zusammensetzung des GS infolge der übers Jahr unterschiedlich dominierenden Anteile der holz- und krautartigen Fraktion ergeben sich Korrelationen zu den Kennwerten. In Bezug auf das Volumengewicht des GS deuten die Ergebnisse der Studie von Kranert et al. [29] darauf hin, dass ein höherer Anteil an holzartigem GS mit einem niedrigeren Volumengewicht in Zusammenhang steht. Durch den dominierenden Anteil des holzartigen GS im Frühjahr und Winter liegt der Trockensubstanz-Gehalt (TS-Gehalt) und damit der Heizwert des GS-Aufkommens höher als im Sommer und Herbst. Dadurch ergibt sich ein vergleichsweise geringerer Wassergehalt des GS im Frühjahr und Winter.[29]

In Tab. 2.2 sind einige wichtige Kennwerte sowohl für den gesamten GS (kraut- und holzartige Fraktion) als auch für die beiden einzelnen Fraktionen dargestellt.

Tabelle 2.2: Kennwerte zum GS - *gesamt* und differenziert nach Kennwerten für den holzartigen und für den krautartigen GS

GS - <u>gesamt:</u>	Volumengewicht [kg FS / m ³ FS]	TS-Gehalt [% der FS]	oTS-Gehalt [% der TS]	Wassergehalt [% der FS]	C/N-Ver- hältnis [-]	H _u [MJ/kg FS]		
Spannweiten	150-530	12-90	25-97	10-82	15-76	1-13		
Mittelwert	~340	~50	~60	~47	~46	~7		
Literatur	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]		
GS - <u>holzartig:</u>	Volumengewicht [kg FS / m ³ FS]	TS-Gehalt [% der FS]	oTS-Gehalt [% der TS]	Wassergehalt [% der FS]	C/N-Ver- hältnis [-]	H _u [MJ/kg FS]		
Spannweiten	200-400	40-80	77-96	35-60	100-150	8-12		
Mittelwert	~300	~60	~87	~48	~125	~10		
Literatur	[g]	[h]	[i]	[j]	[k]	[l]		
GS - <u>krautartig:</u>	Volumengewicht [kg FS / m ³ FS]	TS-Gehalt [% der FS]	oTS-Gehalt [% der TS]	Wassergehalt [% der FS]	C/N-Ver- hältnis [-]	H _u [MJ/kg FS]	Biogasertrag [Nm ³ /Mg oTS]	Methange- halt [Vol.-%]
Spannweiten	200-600	10-35	50-92	45-80	12-60	-	550-680	55-65
Mittelwert	~400	~23	~71	~63	~36	2	~615	~60
Literatur	[m]	[n]	[o]	[p]	[q]	[r]	[s]	[t]

[a] [29, 33, 35, 50, 54-56]
[d] [35, 54, 56]
[g] [29, 50, 54, 66]
[i] [29, 67, 69, 70]
[m] [29, 54, 66]
[p] [69, 70, 73]
[s] [35, 62, 67, 72]

[b] [33, 35, 57-62]
[e] [56, 63]
[h] [29, 33, 35, 57, 62, 67, 68]
[k] [71]
[n] [29, 33, 35, 62, 67, 72]
[q] [71]
[t] [35, 62, 67, 74]

[c] [33, 35, 54, 58-62]
[f] [13, 29, 33, 47-49, 54, 61, 64, 65]
[j] [29, 35, 62, 65]
[l] [65, 67, 68]
[o] [29, 35, 62, 65, 67, 72]
[r] [54, 65]

Aufgrund der zum Teil unstimmigen Mittelwerte in Tab. 2.2¹¹, die sich durch die Verwendung unterschiedlicher Literaturstellen ergeben, werden in Tab. 2.3 - für spätere Berechnungen - aufeinander abgestimmte Werte für den GS hinsichtlich seines TS- und Wassergehalts abgeleitet. Daraus ergibt sich - entgegen den Angaben in Tab. 2.2 - für die Summe aus dem TS- und Wassergehalt 100%. Alle anderen Mittelwerte, z.B. für den Heizwert (H_u) oder den oTS-Gehalt, werden aus Tab. 2.2 verwendet.

Tabelle 2.3: *Aufeinander abgestimmte bzw. stimmige Werte für den TS- und Wassergehalt von GS*

GS - <u>gesamt</u> :	TS-Gehalt [% der FS]	Wassergehalt [% der FS]
	50	50
GS - <u>holzartig</u> :	TS-Gehalt [% der FS]	Wassergehalt [% der FS]
	55	45
GS - <u>krautartig</u> :	TS-Gehalt [% der FS]	Wassergehalt [% der FS]
	25	75

Im Anhang A.5 sind ausführliche Erläuterungen zu den einzelnen Kennwerten des GS (absolutes und spezifisches Mengenaufkommen in Deutschland sowie Zusammensetzung des GS, Volumengewicht, TS- und organischer TS-Gehalt (oTS-Gehalt), Wassergehalt, H_u , Schwermetalle/Störstoffe und dem Aschegehalt) zu finden.

Zusammenfassend ist laut Kranert/Clauss [75] die Datenbasis hinsichtlich der Kennwerte für GS bisher unzureichend. Diese Tatsache konnte bei den Recherchearbeiten im Rahmen der Arbeit festgestellt werden.

2.2 GS-Verwertungsverfahren und deren Einschätzung

GS kann aufgrund seiner zahlreichen Eigenschaften (Kap. 2.1.3) vielfältig genutzt bzw. verwertet werden. Bevor die verschiedenen Verwertungsverfahren für GS eingeschätzt werden, wird die rechtliche Regelung der Verwertung genauer betrachtet.

¹¹Die in der Tab. 2.2 angegebenen Spannweiten und Mittelwerte sind nur als grobe Richtwerte zu verstehen und können lediglich für eine grobe Abschätzung verwendet werden. Da die Werte aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Datenmengen und GS-Mengen erhoben wurden, sind teilweise sehr unterschiedliche Werte in der Literatur zu finden. Daher ergibt sich z.B. eine Abweichung von 100% in Bezug auf den TS- und Wassergehalt. Es ist entscheidend und für die Werte ausschlaggebend, zu welchem Zeitpunkt die Werte gemessen wurden. Je nach dem, ob das verwendete Material zur Erhebung der Kennwerte bereits länger gelagert wurde oder nicht, können sehr unterschiedliche Kennwerte ermittelt werden. Die in den Tabellen dargestellten Spannweiten und Werte beziehen sich – sofern das aus den Literaturstellen ersichtlich war – auf den unkonzentrierten (= nicht aufbereiteten) GS. Aufgrund geringer Datenmenge bzw. Literaturquellen speziell zur krautartigen Fraktion des GS wurden z.T. Werte verwendet, die für Rasenschnitt oder Laub gefunden wurden. Da Rasenschnitt und Laub zur krautartigen Fraktion gehören, erscheint diese Übertragung zulässig.

Unter dem Begriff der „Verwertung“ versteht man im rechtlichen Sinne laut Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts § 3 Abs. 23 folgendes [40]:

„Verwertung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen. Die Anlage 2 enthält eine nicht abschließende Liste von Verwertungsverfahren.“

Eine Verwertung ist dann gegeben, wenn durch das Verwertungsverfahren als Hauptergebnis Rohstoffe oder Brennstoffe substituiert werden (Substitutionsfunktion) oder die Abfälle so aufbereitet werden, dass sie die Funktion als Rohstoff- oder Brennstoffersatz erfüllen können [76].

Verwertungsverfahren von Abfällen können im Wesentlichen nach zwei Arten - stoffliche und energetische Verwertung – differenziert werden [77]. Während bei stofflichen Verwertungsverfahren der Fokus auf der Nutzung des Abfalls als sekundäre Rohstoffquelle (z.B. Ersatz von Nährstoffen) liegt, steht bei der energetischen Verwertung die Nutzung des Energieinhalts des Abfalls zum Ersatz eines anderen Brennstoffs im Vordergrund.

Nach aktuell geltendem KrW-/AbfG besteht laut § 4 [78] eine 3-stufige Abfallhierarchie (Reihenfolge: Vermeidung, Verwertung und Beseitigung). Seit 1. Juni 2012 gilt laut Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des KrW-/AbfG [40] eine 5-stufige Abfallhierarchie (Abb. 2.5).¹² Die Verwertungsstufe wird hierbei in drei verschiedene Stufen untergliedert.[79]

Die 5-stufige Abfallhierarchie stellt die stoffliche Verwertung, die unter das „Recycling“ fällt, in der Hierarchieebene vor die energetische Verwertung, die in der Ebene „sonstige Verwertung“ enthalten ist [80]. Die Bundesregierung wird gemäß § 8 Abs. 2 Nr. 1 [40] ermächtigt durch Rechtsverordnungen für bestimmte Abfallarten den Vorrang oder Gleichrang einer Verwertungsmaßnahme zu bestimmen. Sofern hiervon nicht Gebrauch gemacht wird, ist laut § 8 Abs. 3 [40] anzunehmen, dass die Gleichrangigkeit der energetischen und stofflichen Verwertung vorliegt, sofern der Heizwert des Abfalls (ohne Vermischung mit anderen Stoffen) mindestens 11 MJ/kg beträgt.

¹²Die Neuordnung des KrW-/AbfG ist notwendig, um die novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht umzusetzen. Wie bisher bleibt der Vorrang der Vermeidung von Abfällen vor deren Verwertung und der Vorrang der Verwertung von Abfällen vor deren Beseitigung bestehen.

Der Erzeuger oder Besitzer von Abfällen ist gemäß § 7 Abs. 4 [40] zur Verwertung verpflichtet, wenn diese technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Die Verwertung ist technisch möglich, auch wenn eine Vorbehandlung notwendig ist. Die Verwertung von Abfällen gemäß § 7 Abs. 3 [40] ist ordnungsgemäß und schadlos durchzuführen.

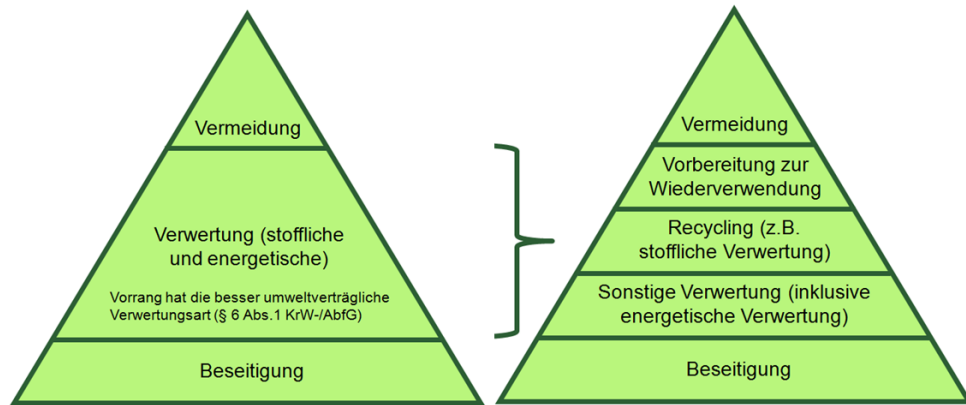


Abbildung 2.5: Gegenüberstellung der 3- und 5-stufigen Abfallhierarchie [78] (Links: 3-stufige Abfallhierarchie; Rechts: 5-stufige Abfallhierarchie [40] [eigene Darstellung])

Verwertungsverfahren/–technologien, die für GS in Frage kommen, sind in Abb. 2.6 dargestellt. Es handelt sich sowohl um gängige Verfahren, z.B. die Kompostierung oder die Verbrennung als auch um in der Entwicklung befindliche Verfahren, z.B. das hydrothermale Carbonisierungsverfahren (HTC-Verfahren). Im Anhang A.6 werden die einzelnen Verwertungsverfahren bezüglich ihrer Prozesskette, der stoffstrom- und regionalspezifischen Anforderungen und qualitativ hinsichtlich ihrer Klimaschutzwirkung und -effekte betrachtet.¹³ Die Verwertungsverfahren werden in stoffliche, energetische und stofflich-energetische Verfahren unterteilt. Diese Unterteilung erfolgt im Hinblick auf die „Zweckbestimmung bzw. Endnutzung“ des GS.

¹³Hinsichtlich der Klimaschutzwirkung der Verwertungsverfahren kann an dieser Stelle – unter anderem aufgrund der Vielzahl an Verwertungsverfahren - lediglich eine kurze Betrachtung der Verfahren erfolgen. Bei der späteren Betrachtung speziell für den LK werden die ausgewählten Verfahren tiefergehend (quantitativ) beurteilt.

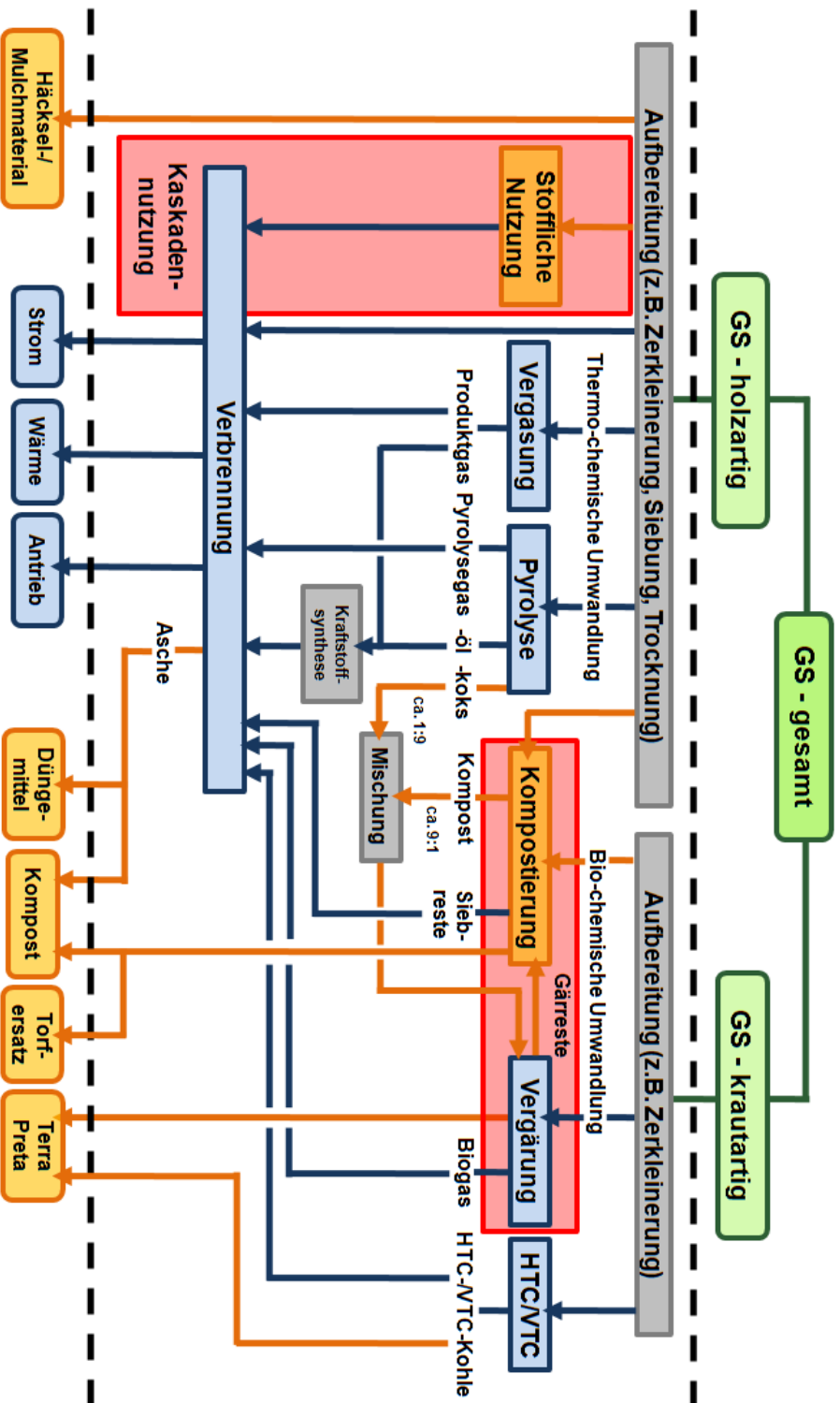


Abbildung 2.6: Übersicht über die verschiedenen Verwertungsverfahren von GS (blaue Kästchen und Pfeile: energetische Verwertung bzw. energetische Endprodukte; orange Kästchen und Pfeile: stoffliche Verwertung und stofflich verwertbare Endprodukte; rote Kästchen und Pfeile: stofflich-energetische Verwertung) [eigene Darstellung]

Aktuelle Verwertungspraxis von GS und potenzielle Risiken, die mit einer zunehmenden energetischen Nutzung des holzartigen GS verbunden sein können

Derzeit werden **erfasste GS-Mengen** größtenteils über eine stoffliche Nutzung in Kompostierungsanlagen verwertet. Die meisten dieser Anlagen werden hinsichtlich des Kreislaufgedankens und der regionalen Wertschöpfung ineffizient betrieben [11]. Infolge finanzieller Anreize – vor allem durch das EEG - kommt es in letzter Zeit zu einer verstärkten Abführung von holzartigem GS für energetische Zwecke.¹⁴ Dadurch wird der Anteil an holzartigem GS, der als Strukturmaterial für die Kompostierung notwendig ist und einen effektiven Kompostierungsprozess bedingt, reduziert. Die Abführungsrate liegt momentan bei ca. 10-20% [81]. Durch eine Forcierung des energetischen Verwertungswegs und damit einhergehend eine verstärkte Abführung des holzartigen GS aus der Kompostierung werden potenzielle Risiken befürchtet:

- Es besteht die Gefahr, dass zunehmend GS-Anteile der Kompostierung entzogen werden, die sich wenig (oder gar nicht) für energetische Zwecke eignen. Die verbleibenden GS-Mengen sind aufgrund ihres weitgehend krautartigen Anteils und damit strukturlosen Materials infolge fehlender Luftporenvolumina für eine Kompostierung praktisch ungeeignet.¹⁵ [81, 82] Daher können die optimalen Kompostierungsbedingungen – z.B. ausreichend Sauerstoff im Rottematerial – nicht mehr erfüllt werden. Dies hat erhöhte Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) – vor allem Methan – zur Folge, die sich im Hinblick auf den Klimaschutz negativ auswirken.[81]
- Die ordnungsgemäße und effiziente Bioabfallkompostierung wird gefährdet. Bioabfälle, die sich als relativ strukturarm charakterisieren lassen, sind für einen aeroben Kompostierungsprozess zwingend auf ausreichendes Strukturmaterial – wie holzartigen GS – angewiesen, der nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht.
- Durch die Kompostierung von Bioabfällen und GS bzw. die Kompostierung der Gärreste und die Verwendung des erzeugten Komposts auf Flächen werden Pflanzennährstoffe in den Stoffkreislauf zurückgeführt und Humus aufgebaut. Bei einer energetischen Nutzung gehen dahingegen diese stofflichen Nutzwerte größtenteils verloren.[81, 82]

¹⁴Während GS bis 2011 mit zusätzlichen Boni – z.B. dem Landschaftspflege-Bonus - gemäß EEG finanziell begünstigt wurde, ist seit 2012 mit dem novellierten EEG der Anreiz für eine energetische Nutzung des GS durch einen geringeren Vergütungssatz reduziert worden. Dennoch gibt es im Gegensatz zur Kompostierung finanzielle Anreize, die die energetische Nutzung begünstigen, während für die Kompostierung keine finanziellen Anreize bestehen.

¹⁵Wenn eine Vergärungsanlage (anaerobe Behandlungsanlage) einer Kompostierung vorgeschaltet ist, besteht ein ähnliches Problem. Auch hier fehlt der holzartige Anteil für die Kompostierung der Gärreste.

Zudem wird die Erzeugung von Substratkompost – als Torfersatz – gefährdet. Für diese sind fast ausschließlich strukturalte Materialien (holzartiger GS) erforderlich. Eine gesteigerte energetische Verwertung dieses Substitutionspotenzials erscheint demnach als gegenläufig zu einer nachhaltigen Ressourcenschonung.[81] Das Gleiche gilt für die endliche Ressource „Phosphat“, die durch eine energetische Verwertung als einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe verloren geht [81], sofern die Verbrennungssasche nicht als Düngerersatz Verwendung findet. Dies ist häufig nicht der Fall.

- Des Weiteren besteht das Risiko, dass zukünftig die bestehenden Kompostierungsanlagen - auch die Kombination einer Kompostierungsanlage mit einer vorgeschalteten Vergärungsanlage - nicht mehr vollständig ausgelastet werden.[81, 82]

Weitere **GS-Mengen, die nicht erfasst werden**, fallen bei den privaten Haushalten vor allem im Bereich der Eigenkompostierung an. Der erzeugte Kompost wird häufig im eigenen Garten eingesetzt. In den letzten Jahren wird die Eigenkompostierung häufig durch finanzielle Anreize (z.B. durch Minderung der Abfallgebühren von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern) gefördert und dadurch gestärkt [11]. Allerdings steht die Eigenkompostierung vermehrt kritisch in der Diskussion [11]. Grund hierfür ist der ineffiziente Abbau der Substanzen. Die Sickerwasserbildung und damit der Eintrag von umweltbeeinträchtigenden Substanzen ins Grundwasser sowie die Freisetzung von diffusen THG-Emissionen stellen negative Folgen dar [11]. Inwiefern verstärkte Anreize zur Eigenkompostierung ökologisch sinnvoll sind, ist zweifelhaft.

Zusammenfassung und Einschätzung der Verwertungsverfahren

Anhand der Verwertungsverfahren (Anhang A.6) lassen sich wesentliche Vor- und Nachteile bzw. systemrelevante Effekte für die einzelnen Verfahren ableiten. Diese sind in den Tabellen 2.4 bis 2.6 aufgezeigt. Die Vor- und Nachteile der Verfahren werden differenziert für die drei Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökologie, Ökonomie und Soziales)¹⁶ dargelegt. Zudem wird der Stand der Technik der Verfahren beachtet, weil sich dieses Kriterium entscheidend auf die drei Dimensionen auswirkt. Da sich die Nachhaltigkeitstrias gegenseitig bedingen und in Wechselwirkung zueinander stehen, können die Vor- und Nachteile nicht eindeutig einem Bereich zugeordnet werden. Um Wiederholungen zu vermeiden, wurden die einzelnen Aspekte jedoch einem Bereich zugewiesen.

¹⁶ „Der Gedanke der Nachhaltigkeit verbindet wirtschaftliche Leistungsfähigkeit mit ökologischer Verantwortung und sozialer Gerechtigkeit. Diese drei Ziele bedingen einander.“[83]

Tabelle 2.4: Stoffliche Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile differenziert nach ökologischen, ökonomischen, sozialen Effekten und nach dem Stand der Technik (rote Schriftfarbe: Nachteile bzw. negative Eigenschaften des Verfahrens; grüne Schriftfarbe: Vorteile bzw. positive Eigenschaften des Verfahrens)

	Nutzung Häckselmaterial	Kompostierung	Terra Preta
<u>Ökologische Effekte:</u>	- mögliche THG-Belastung - ineffiziente Ausschöpfung der stofflichen Nutzenpotenziale	- Substitutionseffekt für Torf, mineralische Düngemittel, Humus - starke Abhängigkeit von regionalen Gegebenheiten (Absatzbereiche, -markt) - hohe THG-Gutschriften durch Torfersatz; lange Rottezeiten gewährleisten - z.T. ineffiziente, alte Anlagen (kurze Rottezeiten, unzureichende Prozessüberwachung) → hohe THG-Emissionen	- hoher stofflicher Ressourcenschutz (Düngemittel- und Humusersatz) - THG-Gutschriften durch langfristige, hohe C-Sequestrierung möglich - meliorative Wirkung auf Bodenfruchtbarkeit - effiziente Nutzung von Produkten aus verschiedenen Verfahren möglich (Synergieeffekte)
<u>Ökonomische Effekte:</u>	- kostengünstig - keine Erlöse bzw. keine Aktivierung von Wert schöpfungspotenzialen - ab 1. Mai 2012 Hygienisierung erforderlich	- hoher Absatzmarkt für die Kompostprodukte → Marketingstrategie erforderlich - hohe Erlöse für Torfersatz bzw. durch RAL-Gütesicherung; zusätzliche Kosten; Anerkennung durch Erdenwerke - Investitions- und Betriebskosten; viele Anlagen bereits abgeschrieben	- hohe Investitions-/Betriebskosten aufgrund der Kombination verschiedener Verfahren (Kompostierung, Vergärung, ggf. Pyrolyse usw.) - hohe Flexibilität gegenüber den Inputmaterialien (Ausnahme: Holzkohle) - starke Abhängigkeit von kostengünstig regional verfügbarer Holzkohle [20, 84]
<u>Soziale Effekte:</u>	- Landwirte als Abnehmer - Hygienisierung für Akzeptanz erforderlich	- bei Bioabfall: eingeschränkte Standortwahl (Geruchsbelästigung) - Marketingstrategie: Schutz des Torfabbaus	- Terra Preta; regionale Vermarktung und Anerkennung des Mehrwertes (im Vergleich zum Kompost) → Marketingstrategie - Umdenken in der Landwirtschaft erforderlich
<u>Stand der Technik:</u>	- Verfahren seit Jahren etabliert	- jahrelang etabliertes Verfahren (hohe Praxiserfahrung, weitgehend ausgereift) [48] - fehlende Innovationen; häufig unzureichende Umsetzung	- bezüglich großtechnischer Umsetzungen noch in der Entwicklungs- und Forschungsphase [20]

Tabelle 2.5: Energetische Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile differenziert nach ökologischen, ökonomischen, sozialen Effekten und nach dem Stand der Technik (rote Schriftfarbe: Nachteile bzw. negative Eigenschaften des Verfahrens; grüne Schriftfarbe: Vorteile bzw. positive Eigenschaften des Verfahrens, schwarze Schriftfarbe: neutral)

	Verbrennung	Vergasung/Pyrolyse	HTC/VTG
Ökologische Effekte:	- zu hohe Nutzung des holzartigen GS → nachteilig für Rotteprozess des krautartigen GS - THG-Gutschriften durch Substitutionseffekte (Wärme, Strom) - meistens Verlust der stofflichen Nutzwerte - $H_u > 11 \text{ MJ/kg}$ effiziente/hohes CO_2-Einsparung [29]	- THG-Gutschriften durch Substitutionseffekte (Strom, Wärme, Kraftstoff)	- THG-Gutschriften durch Kohle-Substitution - hoher C-Umsatz - bei stofflicher Nutzung z.B. als Terra Preta: Langzeit C-Bindung und Pflanzenverträglichkeit fraglich [17] → Forschungsbedarf
Ökonomische Effekte:	- hohe Investitionskosten für robuste Anlagentechnik - Wärmepreisstabilität durch geringe Abhängigkeit vom Weltmarkt - beschränkte Nutzung in bestehenden Anlagen - standortabhängig (Gewährleistung Wärmeabnahme) - Heizwerk ab 500 kW_{th}; ORC-Heizkraftwerk ab 300-500 kW_{el} und Dampfkraftwerk ab $> 1 \text{ MW}_{el}$ ökonomisch interessant [8, 48, 85, 86]	- effiziente Einsetzbarkeit der erzeugten Produkte - Flexibilität der erzeugten Endprodukte - sehr hohe Anforderungen an GS → hohe Aufbereitungskosten - hohe Investitions-/Betriebskosten für kleine, dezentrale Anlagen - hoher Reinigungsanwand des Produktgases	- zentrale Verwertung in Kohlekraftwerken; Abnahme der HTC-Kohle muss gewährleistet sein - Einsparung von CO_2-Zertifikaten - vergleichsweise weite Transportstrecken rentabel - sehr hoher Verfahrensaufwand - sehr hohe Flexibilität bei Inputmaterialien - hohes Biomasseaufkommen zur kontinuierlichen Beschickung - Verwertung anfallender Nebenprodukte
Soziale Effekte:	- lokal erhöhte Umweltbelastungen (z.B. Feinstaub) [87, 88] - für stoffliche Verwertung der Holzaschen noch kein Markt etabliert - Identifikation eines regionalen Brennstoffabnehmers	- Akzeptanzprobleme aufgrund unausgereifter Technik für GS-Verwertung	- schwierige Vermarktung der THG-Gutschriften (HTC-Kohle = klimafreundlich; Braun-/Steinkohle = klimaschädlich) - Kohlekraftwerke hinsichtlich Klimaschutz negativ behaftet
Stand der Technik:	- reine Wärmeerzeugung: sehr lange etabliert; KWK-Nutzung über ORC-Prozess (im kleinen Leistungsbereich): seit kurzem etabliert, aber keine langjährige Praxiserfahrung [48, 89, 92, 93] - geeignete Feuerungs- und Fördertechnik bedingt durch hohen Asche-/Wassergehalt	- in der GS-Verwertung bisher nicht etabliert; vereinzelte Prototypen in der Biomassenutzung [89-91]	- noch in der Entwicklungsphase [17]; bisher nicht im Großmaßstab etabliert; erste industrielle Anlagen laufen derzeit an

Tabelle 2.6: Stofflich-energetische Verwertungsverfahren und deren systemrelevante Vor- und Nachteile differenziert nach ökologischen, ökonomischen, sozialen Effekten und nach dem Stand der Technik (rote Schriftfarbe: Nachteile bzw. negative Eigenschaften des Verfahrens; grüne Schriftfarbe: Vorteile bzw. positive Eigenschaften des Verfahrens, schwarze Schriftfarbe: neutral)

	Vergärung/Kompostierung	Kaskadennutzung
<u>Ökologische Effekte:</u>	- stark abhängig vom Umgang mit den Gärresten (stoffliche Nachbehandlung (Nachrotte) der festen Gärreste; beim Ausbringen besonders der flüssigen Gärreste erhebliche N-Emissionen möglich [12]) - im Vergleich zur Kompostierung in der Regel bessere Energiebilanz [48, 94–96] - vollständige anlagenexterne Wärmeabnahme	- lange Bindung/Fixierung des Kohlenstoffs im Kohlenstoffkreislauf - hohe THG-Gutschriften durch Substitution von Holz und Wärme/Strom
<u>Ökonomische Effekte:</u>	- Investitions- und Betriebskosten; Kosten vor allem durch Erlöse für Strom und Wärme bestimmt [97, 98] - eingeschränkte Flexibilität bei Standortwahl wegen Wärmeabsatz - hoher Anlagendurchsatz möglich; Gewährleistung einer ausreichenden Kapazitätsauslastung (ca. 15.000 Mg/a) [99] - Anreiz durch EEG-Vergütung (Strom) - ausreichende Lagerkapazitäten für die flüssigen Gärreste [100] - Lagerung und Verwertung der Gärreste entscheidend [101]	- hoher Logistikaufwand - technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit für GS nicht gegeben; zu hoher Aufbereitungsaufwand aufgrund des hohen Rindenanteils zur stofflichen Nutzung in Holzprodukten - lange Wertschöpfungskette (lange Nutzung im Wertschaftssystem)
<u>Soziale Effekte:</u>	- Absatz durch RAL-Gütesicherung - Verringerung von Geruchsbelästigungen (bei Kombination mit Bioabfall) - hohe Akzeptanz der flüssigen Gärreste als Flüssigdünger in Ackerbauregionen mit geringem Viehbesatz; in Regionen mit hohem Viehbesatz Absatz schwierig [48]	- schwierige Vermarktung der Holzprodukte aus GS (Abfall)
<u>Stand der Technik:</u>	- etabliertes Verwertungsverfahren bei Verwendung geeigneter Vergärungstechnologien	- keine Kaskadennutzung für GS bekannt

Anhand der dargestellten Verwertungsverfahren mit deren Vor- und Nachteile lassen sich unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit relevante Kriterien zur Einschätzung bzw. Bewertung der Verfahren ableiten. Für viele Verfahren ist nur eine Einschätzung und keine Bewertung möglich, weil sich diese Verfahren noch in der Entwicklungsphase befinden. Der Schwerpunkt liegt auf den ökologischen Kriterien.¹⁷

Ökologische Kriterien:

Als Instrument zur Entscheidungshilfe, welches Verwertungsverfahren unter ökologischen Gesichtspunkten am besten abschneidet, dient eine Ökobilanzierung [102, 103]. Eine komplette Ökobilanzierung der einzelnen Verfahren mit Berücksichtigung der verschiedenen Wirkungskategorien kann in der Arbeit nicht durchgeführt werden.¹⁸ Stattdessen liegt die Fokussierung auf den folgenden ökologischen Kriterien¹⁹:

- Klimaschutzeffekt/-potenzial
- Ressourcenschutz/-schonung
- Ausschöpfung der stofflichen und energetischen GS-Potenziale

Klimaschutzeffekt (THG-Potenzial bzw. global warming potential (GWP))

Das Kriterium „Klimaschutzeffekt/-potenzial“ hat einen hohen Stellenwert, da die GS-Verwertung im Rahmen des „Null-Emissions-Landkreises bis 2050“ in den Blickpunkt geraten ist. Zur Einschätzung und Beurteilung dieses Kriteriums ist die Verwendung von CO₂-Äquivalenten allgemein anerkannt [104]. CO₂ gilt dabei als Referenzsubstanz und erhält hinsichtlich seines Klimaschutzpotenzials (GWP) den Wert eins. Den anderen klimarelevanten Emissionen kann im Vergleich zum CO₂ ein entsprechender Wert für ihr GWP zugeordnet werden (Tab. 2.7).

Tabelle 2.7: Treibhausgaspotenzial (GWP) relevanter Gase [105, 106]

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -Äquivalente/kg Gas]	
	IPCC 2007	IPCC 1995
Kohlendioxid (CO₂)	1	1
Methan (CH₄)	25	18,25
Distickstoffmonoxid (N₂O)	298	310
Ammoniak (NH₃)	2,98	-

¹⁷In der Arbeit wurde auf eine unterschiedliche Gewichtung der Kriterien (sogenannte Hierarchisierung) verzichtet.

¹⁸Zur Durchführung einer Ökobilanzierung (Lebenszyklusanalyse (LCA)) kann die DIN EN ISO 14040 bzw. 14044 herangezogen werden. Mit Hilfe dieser Norm kann die Erfassung und Bewertung von Umweltauswirkungen von Prozessen über den gesamten Lebensweg („von der Wiege bis zur Bahre“) aufgezeigt werden.

¹⁹Laut Kranert et al. [29] und Pitschke et al. [12] sind abfallwirtschaftliche Maßnahmen bzw. die Stoffstromlenkung von Abfällen besonders unter den Aspekten des Ressourcen- und Klimaschutzes zu beurteilen.

Mit Hilfe der CO₂-Äquivalente kann der gesamte Klimaschutzeffekt für ein Verwertungsverfahren entlang der gesamten Prozesskette durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Masse einzelner klimarelevanter Emissionen und dem jeweiligen GWP theoretisch errechnet werden [107].

In der vorliegenden Arbeit wird - sofern vorhanden - auf in der Literatur gegebene Daten zu den spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Verwertungsverfahren zurückgegriffen.

Ressourcenschutzpotenzial

Ein ebenso bedeutendes Kriterium wie der Klimaschutzeffekt ist der Ressourcenschutz, der bei einer ökologischen Bewertung betrachtet werden sollte [48, 108].²⁰

Für die Beurteilung des Ressourcenschutzes steht kein allgemein gültiger Parameter zur Verfügung, denn die Vielfältigkeit der Ressourcen, die berücksichtigt werden können, erlauben keine Aggregation des Kriteriums „Ressourcenschutz“ zu einem Parameter [107].²¹

In der Arbeit liegt der Schwerpunkt auf den endlichen Ressourcen. Es werden sowohl stoffliche Ressourcen (Torf, Phosphat) als auch energetische Ressourcen (fossile Energieträger) unter dem Aspekt der Ressourcenschonung beachtet. Eine vergleichende Bewertung der verschiedenen Verfahren hinsichtlich des Ressourcenpotenzials ist zwischen den Verfahren die stoffliche und/oder energetische Ressourcen schonen nicht möglich.

Es werden in der Literatur vorhandene Werte für eine Einschätzung des Ressourcenschutzpotenzials der Verwertungsverfahren herangezogen.

Ausschöpfung der stofflichen und energetischen Potenziale des GS

Dieses Kriterium ist entscheidend, um zu bewerten ob ein Verwertungsverfahren stoffliche und energetische Potenziale im GS ausschöpft. Die Nutzung des stofflichen Potenzials zur Schließung von Stoffkreisläufen ist ebenso von Bedeutung wie die Nutzung des im GS steckenden Energiegehalts. Zielt z.B. ein Verfahren auf die einseitige Nutzung durch die alleinige Ausschöpfung des energetischen Potenzials

²⁰Im Hinblick auf die derzeitige Aktualität des Klimawandels und -schutzes geraten oftmals andere wichtige Umweltwirkungen und -effekte - z.B. der Ressourcenschutz - gegenüber dem „Klimaschutzeffekt“ in den Hintergrund. Diese einseitige Betrachtungsweise kann ggf. nicht zu der ökologischsten Lösung führen. In Ökobilanzen wird diesem Mangel zunehmend Rechnung getragen und es werden immer mehr Wirkungskategorien mit einbezogen, die sich auf den Ressourcenschutz beziehen [108]. Keine einheitliche Meinung existiert bei der Gewichtung der beiden Kriterien - „Klima- bzw. Ressourcenschutz“ - und der damit verbundenen Frage, welchem Kriterium eine größere Bedeutung zukommt [108].

²¹In Ökobilanzen ist für die Aggregation der energetischen Ressourcen der Indikator „kumulierter Energieaufwand (KEA)“ weitverbreitet [107].

ab, gehen wertvolle stoffliche Potenziale verloren.²² Bevorzugte Verwertungsverfahren sind Verfahren, die beide Potenziale des GS möglichst effizient ausschöpfen und sowohl einen Beitrag zur Energieerzeugung (Wärme, Strom, Kraftstoff) als auch zur Schließung der Stoffkreisläufe erbringen.

Abschließend zu den ökologischen Kriterien muss konstatiert werden, dass die hier dargestellten Kriterien lediglich eine Auswahl darstellen und keineswegs die Gesamtheit der zu berücksichtigenden ökologischen Aspekte repräsentiert. Um durch die verschiedenen Verwertungsverfahren Umweltbelastungen in andere Medien (z.B. Gewässer) zu vermeiden, müssen weitere Kriterien (z.B. die Eutrophierung) Berücksichtigung finden.

Ökonomisches Kriterium:

Die Wirtschaftlichkeit ist ein ausschlaggebendes Kriterium, das letztendlich die Umsetzung der Verwertungsstrategie maßgeblich beeinflusst. Eine gesamtwirtschaftlich fundierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die einzelnen Verfahren ist aufgrund der Vielzahl an Verwertungsverfahren nicht möglich. Die Wirtschaftlichkeit wird mit Hilfe der Kostenstruktur der einzelnen Verwertungsverfahren (Anhang A.8) ab- und eingeschätzt. Da die Wirtschaftlichkeit der GS-Verwertungsanlage entscheidend durch regionale Voraussetzungen und die Gegebenheiten vor Ort geprägt wird, ist zur Ermittlung der unter ökonomischen Gesichtspunkten optimalen Verwertungsstrategie eine konkrete Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Einzelfall unabdingbar [60]. Diese sollte vor der Realisierung der GS-Verwertungsstrategie durchgeführt werden.

Soziales Kriterium:

Häufig sind die nachhaltige Umsetzung einer geplanten Anlage und die nachhaltige Abnahme der erzeugten Endprodukte (z.B. Kompostprodukte, Wärme) abhängig von der regional vorhandenen Akzeptanz. Oftmals scheitern Projekte durch eine nicht vorhandene Akzeptanz. Hierdurch werden erwartete positive ökologische, ökonomische und soziale Effekte geschmälert oder sogar verhindert. Insbesondere für Verfahren, die bereits aufgrund negativer Auswirkungen ein schlechtes Image erlangt haben, sind akzeptanzfördernde Maßnahmen (Kap. 5.4) entscheidend für die langfristig gewünschte Nachhaltigkeit des Verfahrens.

²²Beispielsweise ist die Kombination der Kompostierung mit der teilweise energetischen Verwertung des holzartigen GS zur optimalen Ausschöpfung der stofflichen und energetischen GS-Potenziale sinnvoll. Der holzartige GS wird in einer Kompostierung schlecht abgebaut, aber zum Teil als Strukturmaterial benötigt. Dennoch kann bis zu 30 Gew.-% des holzartigen GS vom gesamten GS-Aufkommen zur energetischen Verwertung verwendet werden. Es bleibt genug Strukturmaterial für die Kompostierung erhalten. Die energetische Verwertung stellt eine Ergänzung zur Kompostierung und kein Konkurrenzverfahren dar [12].

In Tab. 2.9 werden die Verwertungsverfahren hinsichtlich der zuvor beschriebenen Kriterien eingeschätzt.²³ Alle Verwertungsverfahren sind von regionalen Gegebenheiten (z.B. Nachfragesituationen, Standort) abhängig und werden dadurch hinsichtlich ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte entscheidend geprägt und beeinflusst. Die Einschätzung der Verwertungsverfahren erfolgt mit Hilfe von Literaturstellen. Ansonsten wird eine eigene Einschätzung vorgenommen.

An dieser Stelle werden vorab alle Verwertungsverfahren mit mangelnder Praxistauglichkeit und damit fehlender langjähriger Etablierung im Bereich der GS-Verwertung ausgeschlossen. Die Verfahren, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, sind anhand der Tabellen 2.4 bis 2.6 erkennbar.²⁴ Das Kriterium „Stand der Technik“ bzw. „Praxistauglichkeit“ wird als besonders wichtig im Hinblick auf die Akzeptanz der späteren Umsetzung der Verwertungsstrategie angesehen.²⁵

Die Einschätzung der etablierten Verwertungsverfahren erfolgt durch die Vergabe von „Noten“. Verfahren, die hinsichtlich eines bestimmten Kriteriums als besonders positiv eingeschätzt werden, werden mit „++“ gekennzeichnet. Dementsprechend steht „- -“ für eine sehr negative bzw. sehr schlechte Einschätzung des Verfahrens. In Tab. 2.8 sind die einzelnen Einschätzungsstufen aufgeführt.

Tabelle 2.8: *Einschätzungszeichen und deren Bedeutung*

Einschätzungszeichen	Bedeutung
++	sehr gut/sehr positiv
+	gut/positiv
0	neutral
-	negativ/schlecht
- -	sehr negativ/sehr schlecht

²³Es handelt sich hierbei um eine Einschätzung und nicht um eine Bewertung der Verwertungsverfahren. Eine Bewertung der einzelnen Verfahren ist nur unter Berücksichtigung von spezifischen regionalen Gegebenheiten und anhand von konkreten Daten und Zahlen möglich. Bisher sind zu den verschiedenen Verwertungsverfahren z.T. nur unzureichende und uneinheitliche Datengrundlagen gegeben, weshalb eine Bewertung in der Arbeit nicht vorgenommen werden kann.

²⁴Eine weitere Begründung für den vorab-Ausschluss der nicht etablierten Verfahren für die GS-Verwertung liegt darin, dass für die Verfahren, die bisher nicht im Großmaßstab etabliert sind, größtenteils keine belastbaren Aussagen zu den verschiedenen Kriterien vorliegen. Deshalb erscheint eine Einschätzung zum jetzigen Zeitpunkt nicht sinnvoll.

²⁵In BMU [34] werden Kriterien für die kommunale Relevanz von Technologien zur Bioenergienutzung abgeleitet. Dabei wird die ausgereifte Technik für Bioenergieträger (hier: GS) als entscheidendes Kriterium aufgeführt. Zudem sollten erfolgreiche kommunale Projekte für die Verwertungstechnologien zur GS-Verwertung vorliegen [34].

Der LK, der eine Vorbildfunktion gegenüber den privaten Haushalten und der Industrie einnimmt, sollte ein möglichst positives Bild vom Ausbau der erneuerbaren Energieträger (EE) generieren. Ein nicht ausgereiftes Verwertungsverfahren hat den Nachteil, dass unvorhersehbare Effekte (z.B. technische Störungen oder Umweltbeeinträchtigungen) auftreten können. Dies könnte ein negatives Bild auf den Ausbau der Biomassenutzung werfen.

Tabelle 2.9: Einschätzung der Verwertungsverfahren

Verfahren		Nutzung Häckselmaterial	Kompostierung	Vergärung/ Kompostierung	Verbrennung		Literaturquellen
Kriterium					reine Wärme	KWK	
Ökologische Kriterien							
Klimaschutz	-	+/-*2	+*3	+	++	[67, 87, 107–110]	
stofflicher Ressourcenschutz	0	+	+	-	-	[67, 107]	
energetischer Ressourcenschutz	-	-	+	+	++	[107]	
Ausschöpfung der GS-Potenziale	-	0	++	+	+	[111]	
Ökonomisches Kriterium							
Wirtschaftlichkeit	0/-*1	-	-/-*4	0	0	[12, 32, 67, 98, 112–114]	
Soziales Kriterium							
Akzeptanz	+/0*1	+	0	0	0		

^{*1} Ab Mai 2012 Hygienisierung erforderlich → Abwertung

^{*2} Sofern ein Teilstrom des holzartigen GS nicht energetisch genutzt und nur eine geringe Torfensatzquote realisiert wird → Abwertung

^{*3} Starke Abhängigkeit vom Wärmeabsatz und dem Umgang mit den Gärresten

^{*4} Stark abhängig von den Entwicklungen der EEG-Vergütung und dem Wärmeabsatz

3 Grünschnittverwertungsstrategie im Landkreis (LK)

Mainz-Bingen

3.1 Strukturdaten und klimaschutz-/energiepolitische Ausgangslage des Landkreises Mainz-Bingen

In diesem Kapitel wird zunächst auf allgemeine Strukturdaten zum LK Mainz-Bingen eingegangen. Für die spätere Betrachtung einer optimierten GS-Verwertung und deren Ausgestaltung im LK werden folgende Kenndaten für wichtig erachtet und näher betrachtet:

- Bevölkerungsentwicklung
- Siedlungsstruktur
- Flächennutzungen
- Wirtschaftsstruktur

Anschließend erfolgt eine Betrachtung der energie- und klimaschutzpolitischen Ausgangslage des LK. Diese kann für eine optimierte GS-Verwertungsstrategie richtungsweisende Potenziale aufzeigen. Abschließend wird das Umwelt- und Energieberatungszentrum (UEBZ) kurz dargestellt, das für die Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie als wichtiger Akteur angesehen wird.

Strukturdaten zum LK Mainz-Bingen

Beschreibung des Landkreises (LK)

Der LK Mainz-Bingen liegt am östlichen Rand des Landes Rheinland-Pfalz (RLP) und erstreckt sich vom Nordwesten bis zum Nordosten größtenteils am Flusslauf des Rheins (Abb. 3.1). Durch diesen wird der LK räumlich zum Land Hessen abgegrenzt. Benachbarte LK - und demnach die räumliche Grenze zum LK Mainz-Bingen - sind der LK Alzey-Worms im Süden, der LK Bad-Kreuznach im Südwesten und der RHK im Nordwesten. Im Nordosten grenzt die kreisfreie Stadt Mainz an den LK.

Der LK Mainz-Bingen besteht aus 11 Gebietskörperschaften, die sich in 8 Verbandsgemeinden (VG), 1 verbandsfreie Gemeinde (VFG) und 2 kreisangehörige Städte untergliedern (Abb. 3.1). Den 8 Verbandsgemeinden sind 63 Ortsgemeinden (OG) zugeordnet. Insgesamt setzt sich der LK aus 74 kreisangehörigen Kommunen zusammen. Tab. 3.1 zeigt einige charakteristische Merkmale und Kennzahlen des LK auf.

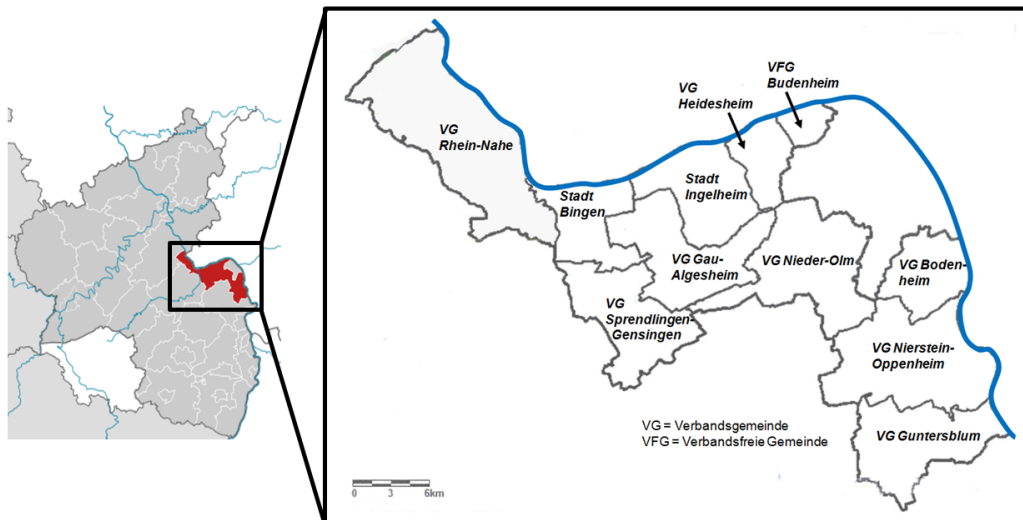


Abbildung 3.1: Links: Geographische Lage des LK Mainz-Bingen in RLP; Rechts: Strukturelle Untergliederung des LK [eigene Darstellung; Bildquellen: [115], WebGIS der Kreisverwaltung Mainz-Bingen]

Tabelle 3.1: Charakteristische Merkmale und Kennzahlen des LK Mainz-Bingen

Gesamtfläche des LK	ca. 606 [116]	[km ²]
Einwohnerzahl 2011	203.588 [117]	[EW]
Durchschnittliche Bevölkerungsdichte	ca. 336	[EW/km ²]
Siedlungsstruktureller Kreistyp	„städtischer Kreis“ [118] * ¹	[-]

*¹ Laut Milbert [119] handelt es sich hierbei um die neuste Typisierung und Einordnung des LK. Insgesamt werden 4 Gruppen unterschieden, die anhand der Bevölkerungsdichte eingeordnet werden: kreisfreie Großstädte, städtische Kreise, ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen und dünn besiedelte ländliche Kreise. Die Bevölkerungsdichte des LK ist vergleichsweise hoch einzustufen. Die Einordnungskriterien sind in der Literaturquelle [118] näher dargelegt.

Bevölkerungsentwicklung

Der LK Mainz-Bingen ist landes- und bundesweit mit über 200.000 Einwohnern (EW) einer der einwohnerstärksten Verwaltungsbezirke. Im Gegensatz zum bundesweiten Trend des Bevölkerungsrückgangs zeichnet sich der LK zwischen 1995 bis 2011 immer noch durch einen geringen Bevölkerungszuwachs aus. Von 1995 bis 2011 nahm die Bevölkerung im LK um ca. 8% zu.[120–123]

Dennoch wird sich zukünftig der demografische Wandel in Deutschland auch im LK bemerkbar machen und vonstatten gehen. Eine demografische Prognose für den LK besagt, dass die Gesamtbevölkerung im LK um ein Viertel bis 2050 zurückgehen wird [124]. Die zukünftig prognostizierte Bevölkerungsabnahme und das dominierende Bild von älteren Menschen im LK erfordern eine Berücksichtigung in der Ab-

fallwirtschaft und sollten im Zusammenhang mit einer optimierten GS-Verwertung beachtet werden.

Siedlungsstruktur

Hinsichtlich der Einordnung zu einem siedlungsstrukturellen Kreistyp wird der LK Mainz-Bingen mit seiner durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von ca. 336 EW/km² nach der neusten Typisierung als „städtischer Kreis“ eingeordnet. Mit dieser Bevölkerungsdichte liegt der LK ca. 45% über dem Bundesdurchschnitt von 2010 mit einer Bevölkerungsdichte von ca. 230 EW/km² [125]. Innerhalb des LK ergibt sich eine differenzierte Siedlungsstruktur.²⁶ Beispielsweise ist die Bevölkerungsdichte im Nordwesten des LK in der VG Rhein-Nahe durch viele Gemeinden mit einer Bevölkerungsdichte unter bzw. um 100 EW/km² gekennzeichnet. Damit ist der LK im Nordwesten eher durch ländlich geprägte Gebiete charakterisiert. Dagegen zeichnet sich die VG Bodenheim - im Osten des LK - durch eine besonders hohe Bevölkerungsdichte von durchschnittlich knapp 600 EW/km² aus und weist eher städtische Strukturen auf. Die meisten Gemeinden liegen im Bereich zwischen 100 und 500 EW/km².

Die Siedlungsstruktur kann im Hinblick auf die GS-Verwertung einen besonderen Einfluss auf die GS-Mengen, deren Zusammensetzung und die räumliche Verteilung der GS-Mengen haben. Der holzartige GS kann in ländlich geprägten Gebieten einen Anteil von ca. 70 Gew.-% am Gesamtaufkommen ausmachen (Anhang A.5), während in städtischen Gebieten mit einem geringeren Holzanteil zu rechnen ist. Darüber hinaus können aus der Siedlungsstruktur Informationen über die infrastrukturellen Gegebenheiten für die Sammel- und Transportlogistik abgeleitet werden.

Flächennutzungen

Die Flächennutzungen im LK sind in Abb. 3.2 dargestellt. Der größte Anteil der Fläche (knapp 2/3) wird von der Landwirtschaft - vor allem für den Wein-, Obst- und Ackerbau [126] - in Anspruch genommen.²⁷ Daraus kann man für die GS-Verwertung schließen, dass vermutlich eine hohe Nachfrage nach hochwertigem Kompost und Häcksel-/Mulchmaterial im LK besteht.

²⁶Die Erkenntnisse zur Bevölkerungsdichte wurden aus einer Tabelle abgeleitet, die von Herrn Alexander Pohl von der Kreisverwaltung Mainz-Bingen erstellt wurde. In dieser Tabelle ist die Bevölkerungsdichte für jede einzelne OG, VG und Stadt im LK dargestellt.

²⁷Der hohe Anteil der Landwirtschaft an der Flächennutzung ist nicht verwunderlich, denn die Region Rheinhessen - zu der der LK angehört - wird laut Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) [126] aufgrund seiner geologischen und klimatischen Gegebenheiten zu den landwirtschaftlich wertvollsten Gebieten in Deutschland gerechnet. Insbesondere prägt der Weinbau das Landschaftsbild und die Kultur des LK [126].

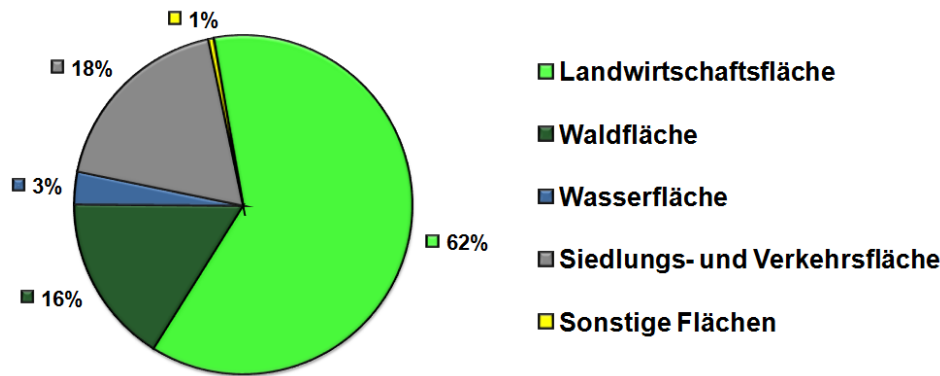


Abbildung 3.2: Flächennutzungen im LK Mainz-Bingen (Stand: 31.12.2011)
[eigene Darstellung; Datengrundlage: [127]]

Bundes- und landesweit nimmt die Landwirtschaft ebenfalls den größten Anteil an der Flächennutzung ein. Dennoch ist in den letzten Jahren bundesweit eine kontinuierliche Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen zu verzeichnen [128]. Der Hauptgrund hierfür liegt in der Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen [128]. Eine abnehmende Landwirtschaftsfläche und die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen ist im LK Mainz-Bingen von 1988 bis 2011 ebenfalls festzustellen [127].²⁸ Die abnehmende landwirtschaftliche Fläche könnte die Nachfragesituation nach Komposten oder anderen Bodensubstraten (z.B. Terra Preta) im LK langfristig negativ tangieren. Viele landwirtschaftliche Flächen werden im LK zum Weinanbau verwendet. Die Weinkultur hat im LK eine lange Tradition, die zukünftig sicherlich erhalten bleibt. Demnach besteht die Vermutung, dass die landwirtschaftlichen Flächen im LK nicht in dem Maße abnehmen werden wie in anderen Regionen Deutschlands. Die Weinanbauflächen stellen voraussichtlich zukünftig einen sicheren Absatzmarkt für Kompost und Mulchmaterial dar.²⁹ Diese Entwicklung sollte bei den Überlegungen zur zukünftigen Gestaltung der GS-Verwertung beachtet werden.

Wirtschaftsstruktur

Die Wirtschaftsstruktur im LK zeichnet sich durch eine große Anzahl an klein- und mittelständischen Betrieben sowie das Großunternehmen Boehringer Ingelheim aus [129]. Die wirtschaftliche Stärke des LK wird u.a. durch die hohe Kaufkraft, das hohe Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die niedrige Arbeitslosenquote charakterisiert.

²⁸Eigene Feststellungen im LK Mainz-Bingen über ca. 10 Jahre bestätigen, dass im LK ein Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Flächen vorstatten geht. An vielen Orten an denen früher landwirtschaftlich genutzte Flächen, z.B. mit Obstbäumen, vorzufinden waren, bestehen heute Wohngebiete oder nicht mehr bewirtschaftete Flächen.

²⁹Entgegen der Entwicklungsprognose der abnehmenden landwirtschaftlichen Flächen steht die Intention des verstärkten Ausbaus der Bioenergienutzung und dem damit verbundenen Energiepflanzenanbau. Dadurch werden zunehmend Flächen für landwirtschaftliche Zwecke - wenn auch nicht zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion - für den Anbau von Biomasse in Anspruch genommen. Diese Tendenz wirkt ebenfalls einer Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen entgegen.

In Bezug auf die Optimierung der GS-Verwertung hat die Wirtschaftsstärke des LK eine wesentliche Bedeutung. Für die optimierte GS-Verwertungsstrategie können im LK ggf. Änderungen - z.B. hinsichtlich des Erfassungssystems - notwendig sein. Mit diesen Veränderungen können anfangs Investitionen verbunden sein, die von einem wirtschaftsstarken LK besser getragen werden können als von einem wirtschaftsschwachen LK.³⁰

Energie- und Klimaschutzpolitische Ausgangslage

Die Datenlage zur Energie- und Klimaschutzsituation im LK Mainz-Bingen wird im Rahmen der Konzepterstellung zum „Null-Emissions-Landkreis bis 2050“ näher ermittelt. Das Konzept, das von IfaS erstellt wird, liegt nach neustem Stand gegen Ende September vollständig vor [130]. Im Anhang A.10 sind die bis jetzt gegebenen Daten aufgezeigt.

Im Wärmebereich der privaten Haushalte liegt das größte Potenzial zur THG-Minderung. Die energetische GS-Verwertung sollte deshalb primär im Bereich der Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

Umwelt- und Energieberatungszentrum (UEBZ) im LK Mainz-Bingen

Das UEBZ existiert bereits seit 1996 und ist als eigenständige Abteilung bei der Kreisverwaltung Mainz-Bingen angesiedelt. Das primäre Ziel des UEBZ ist die Information zur Förderung des Umweltbewusstseins sowie das Aufzeigen von konkreten Verhaltensänderungen für eine nachhaltige Wirtschaftsweise.

Hierzu setzt das UEBZ vor allem auf eine intensive und qualitätsorientierte Öffentlichkeitsarbeit. Zum Beispiel besteht zur Förderung der Energieeffizienz und des Ausbaus der erneuerbaren Energieträger (EE) eine kostenlose Energieberatung für Bürger aus dem LK. Darüber hinaus finden weitere Aktivitäten im Bereich Klimaschutz (z.B. Klimaschutzpreis³¹, Forum Umwelt³²) statt, die durch das UEBZ initiiert und geleitet werden. Durch diese Aktivitäten kann das UEBZ insbesondere zur Akzeptanzförderung der GS-Verwertung beitragen. Hierauf wird im Kap. 5.4 näher eingegangen.

³⁰Zudem kommt die Tatsache, dass in einem wirtschaftsschwachen LK vermutlich andere Probleme gegeben sind und nicht die Optimierung der dort bestehenden GS-Verwertung in den Blickpunkt geraten wird.

³¹Der Klimaschutzpreis wird im LK Mainz-Bingen alle zwei Jahre verliehen. Dieser wird für innovative Maßnahmen und Projekte in klimaschutzrelevanten Bereichen - z.B. Einsatz regenerativer Energien - für öffentliche, karitative oder kirchliche Einrichtungen verliehen und ist mit 5.000 Euro dotiert.

³²Beim jährlich stattfindenden „Forum Umwelt“ handelt es sich um ein eintägiges Symposium zu dem verschiedene Experten eingeladen werden, um z.B. über ein klimaschutzrelevantes Thema zu referieren (im Jahr 2012: „Akzeptanz der regenerativen Energien“). Nach jedem Vortrag findet eine Diskussion statt, bei der Bürger ihre Fragen, Bedenken oder Gedanken äußern können und hierzu eine Stellungnahme der Experten erhalten.

3.2 IST-Situation der GS-Verwertungsstrategie

Die Ermittlung der IST-Situation zur GS-Verwertungsstrategie stellte sich im Rahmen der Arbeit sowohl für die privaten Haushalte als auch für die kreisangehörigen Kommunen als sehr schwierig dar und führte daher zwangsweise zu einer nicht optimalen Datengrundlage.

Ermittlung der IST-Situation zum GS von den privaten Haushalten

Die GS-Mengen der privaten Haushalte, die über den Abfallwirtschaftsbetrieb (AWB) Mainz-Bingen des LK erfasst werden, konnten über die jährlichen Landesabfallbilanzen von RLP bzw. vom AWB in Erfahrung gebracht werden. Zum Teil liegen dem AWB Informationen zur Erfassung der GS-Mengen von den privaten Haushalten vor. Da der LK Mainz-Bingen ein Drittunternehmen mit der Aufbereitung, Sammlung/Transport und Verwertung dieser GS-Mengen beauftragt hat (Kap. 3.2.1), konnten nähere Informationen nur über das Drittunternehmen ermittelt werden. Es besteht keine rechtlich geregelte Auskunftspflicht des Drittunternehmens gegenüber dem LK Mainz-Bingen wie die Aufbereitung, Sammlung/Transport und die Verwertung der GS-Mengen im Detail erfolgt und organisiert ist. Schriftliche Anfragen hierzu des UEBZ an das Drittunternehmen blieben ohne Ergebnis.

Ermittlung der IST-Situation zum GS von den kreisangehörigen Kommunen

Die GS-Mengen, die im Rahmen der Pflege von öffentlichen Flächen anfallen, sind im LK Mainz-Bingen bisher nicht hinsichtlich deren Gesamtmenge quantifiziert und bekannt. Jede kreisangehörige Kommune ist für die Erfassung und Verwertung ihrer anfallenden GS-Mengen selbst verantwortlich, weil hierfür – aufgrund rechtlicher Regelungen - keine zentrale Steuerung und Erfassung über den LK erfolgt (Kap. 3.2.1). Im Rahmen der Arbeit sollten diese GS-Mengen und deren Erfassung sowie Verwertung zur Darstellung der IST-Situation ermittelt werden [131]. Die Ermittlung erfolgte anhand eines Fragebogens, der freundlicherweise von IfaS zur Verfügung gestellt wurde [132]. Dieser Fragebogen wurde in abgeänderter Form an die insgesamt 74 kreisangehörigen Kommunen im LK verschickt. Der Fragebogen ist im Anhang A.11 angeführt.³³ Es konnte eine erfreulich hohe Rücklaufquote der Fragebögen von ca. 64% (der insgesamt 74 Fragebögen) verzeichnet werden.

Mit der Erfassung der IST-Situation über den Fragebogen kann nur ein grober Über-

³³Die Erfassung über einen Fragebogen wurde - aufgrund der Erfahrung des IfaS mit dieser Erfassungsart – für eine grobe Ermittlung der IST-Situation bei den kreisangehörigen Kommunen für geeignet erachtet.

blick verschafft werden. Die Auswertung der Fragen wird zum Teil durch ungenaue oder fehlende Angaben erschwert, so dass häufig keine einheitliche und übersichtliche Aussage zur IST-Situation möglich ist. Zudem können weitere relevante GS-Mengen bei den Kommunen, die den Fragebogen nicht ausgefüllt haben bzw. die keine Angaben zu den GS-Mengen machen konnten, gegeben sein, die im Rahmen der Arbeit nicht miterfasst werden konnten. Daher stellt die Zusammenstellung der IST-Situation der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen keine vollständige und abschließende Betrachtung dar.

3.2.1 Organisation/Zuständigkeit

In diesem Kapitel wird die rechtliche Organisation und Zuständigkeit hinsichtlich der GS-Mengen von den privaten Haushalten und den kreisangehörigen Kommunen näher betrachtet. Aufgrund der beiden unterschiedlichen Zuständigkeitsbereiche erfolgt eine getrennte Betrachtung. Diese wird in den folgenden Kapiteln fortgeführt. Die Erläuterungen zur Organisation und Zuständigkeit der GS-Verwertung beruhen im Wesentlichen auf der Grundlage der folgenden gesetzlichen Regelwerke (Abb. 3.3)³⁴:



Abbildung 3.3: Rechtliche Regelungen zur Organisation und deren Hierarchieebenen [eigene Darstellung]

Private Haushalte

Organisation/Zuständigkeit

Die rechtliche Regelung und Organisation der Verwertung des GS von den privaten Haushalten ist in Abb. 3.4 zusammengefasst. Der mit den roten Pfeilen hervorgehobene Weg stellt die im LK Mainz-Bingen gewählte bzw. bestehende Organisati-

³⁴Entgegen bisheriger Betrachtungen zu Regelungen im KrW-/AbfG, bei denen der Entwurf zur Neuordnung des KrW-/AbfG (zukünftig: KrW-Gesetz) [40] herangezogen wurde, wird in diesem Kapitel das KrW-/AbfG [78] zugrunde gelegt, weil sich hierauf die aktuell geltende Abfallwirtschaftssatzung (AWS) vom LK Mainz-Bingen bezieht.

onsstruktur dar, sofern der GS nicht über eine Eigenverwertung von den privaten Haushalten selbst verwertet wird und damit die Überlassungspflicht entfällt.

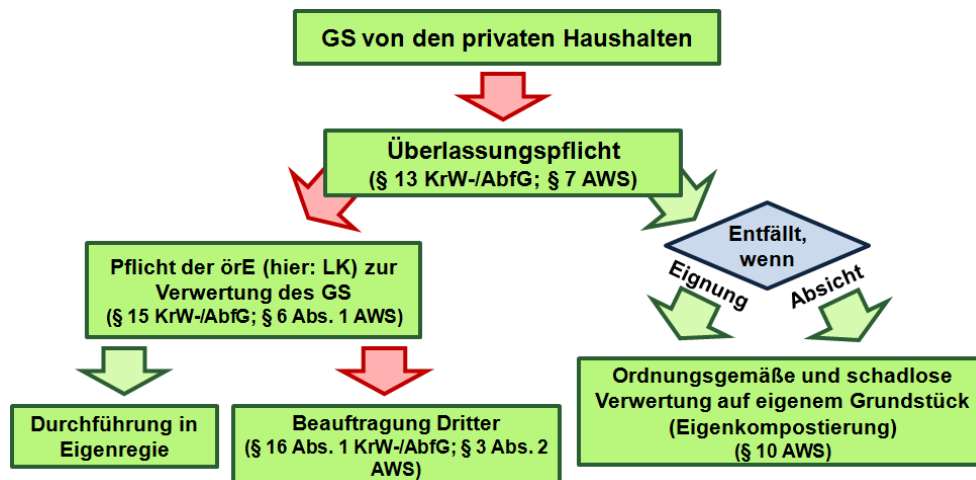


Abbildung 3.4: Organisation und rechtliche Regelung der Verwertung des GS von den privaten Haushalten [eigene Darstellung]

Überlassungspflicht des GS von den privaten Haushalten gegenüber den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE)

Die Erzeuger bzw. Besitzer von GS, der bei den privaten Haushalten im LK Mainz-Bingen anfällt, sind grundsätzlich zur Überlassung des GS gegenüber den nach Landesrecht zur Verwertung verpflichteten örE³⁵ verpflichtet (**Überlassungspflicht**). Eine **Ausnahme der Überlassungspflicht** besteht laut § 13 Abs. 1 S. 1 KrW-/AbfG bzw. § 10 AWS nur, wenn die Erzeuger/Besitzer selbst zur Verwertung in der Lage sind (**Eignung**)³⁶ oder diese beabsichtigen (**Absicht**) und ordnungsgemäß bzw. schadlos gemäß § 13 Abs. 1 S. 1 KrW-/AbfG durchführen. Mit dieser **Eigenverwertung** wird die Eigenkompostierung angesprochen.

Pflicht der örE zur Verwertung des GS von den privaten Haushalten

Wird der GS von den privaten Haushalten den örE überlassen, ist der örE laut § 15 KrW-/AbfG bzw. § 6 Abs. 1 AWS in der **Pflicht**, den in seinem Gebiet anfallenden und überlassenen GS nach §§ 4 bis 7 KrW-/AbfG **zu verwerten**. Die Verwertung beinhaltet gemäß § 6 Abs. 1 AWS das Sammeln über ein Bring- oder Holsystem, das Befördern (Transport), das Lagern und die letztendliche Verwertung des GS.

³⁵Wer ist der örE im LK Mainz-Bingen?

Die örE werden nach dem jeweiligen Landesrecht bestimmt. Gemäß § 3 Abs. 1 der LABfWAG von RLP sind die Landkreise für den in ihrem Gebiet angefallenen und ihnen zu überlassenen GS von den privaten Haushalten die örE. Damit ist der LK Mainz-Bingen der örE.

Laut § 3 Abs. 1 AWS wird die Abfallentsorgung im LK durch den AWB Mainz-Bingen betrieben und liegt in dessen Verantwortungsbereich.

³⁶Eine Eignung liegt nach eigenen Einschätzung vor, wenn ein Garten mit einer entsprechend großen Fläche gegeben ist, in dem eine Eigenkompostierung durchgeführt und der erzeugte Kompost eingesetzt werden kann.

Beauftragung Dritter mit der Verwertung

Der LK Mainz-Bingen als öRE kann entweder die **Verwertung** des GS von den privaten Haushalten **in Eigenregie** durchführen **oder** kann gemäß § 16 Abs. 1 S. 1 KrW-/AbfG bzw. § 3 Abs. 2 AWS die Möglichkeit nutzen, **Dritte** mit der GS-Verwertung zu **beauftragen**. Von dieser Möglichkeit der Beauftragung eines Drittunternehmens hat der LK Mainz-Bingen Gebrauch gemacht. Die Übertragung der Verwertung befreit den LK nicht von seiner Verantwortlichkeit für die Erfüllung der Verwertungspflicht. Diese bleibt laut § 16 Abs. 1 S. 2 KrW-/AbfG von der Beauftragung eines Drittunternehmens unberührt, bis die Verwertung endgültig ordnungsgemäß und schadlos abgeschlossen ist [133]. Das Drittunternehmen muss gewisse Voraussetzungen (z.B. Zuverlässigkeit) erfüllen, um die Verwertung für den LK übernehmen zu können (§ 16 Abs. 2 Nr. 1-3 KrW-/AbfG).

Gemäß Vergaberecht wurde die GS-Verwertung als Dienstleistung bereits im Jahr 1995 im LK Mainz-Bingen ausgeschrieben. Das seitdem beauftragte Drittunternehmen übernimmt den kompletten Ablauf, angefangen bei der Sammlung/Transport über die Aufbereitung bis hin zur ordnungsgemäßen Verwertung des GS. Auf einer vertraglichen Grundlage zwischen dem LK und dem Drittunternehmen sind die Pflichten und Aufgaben des Drittunternehmens festgelegt und beschrieben.

Dieser Vertrag wurde aufgrund der Nachrüstung bzw. Erweiterung der bislang bestehenden Kompostierungsanlage in Essenheim durch eine vorgeschaltete Vergärungsanlage Ende 2011 modifiziert und ist seit 2012 in der neuen Fassung gültig.³⁷ Die neue Vertragslaufzeit besteht bis Ende 2021. Demnach liegt die Verwertung des GS von den privaten Haushalten bis 2022 in den Händen des Drittunternehmens. Ab 2022 ist eine Umstrukturierung und Neuausrichtung der GS-Verwertung möglich.³⁸ Abb. 3.5 gibt einen Überblick über die Organisationsstruktur und die Zuständigkeitsbereiche des LK bzw. des Drittunternehmens im Bereich der GS-Verwertung.

³⁷Da es sich sowohl bei dem alten als auch bei dem neuen Vertrag um eine Vereinbarung zwischen dem LK und dem Drittunternehmen handelt, konnte in die Verträge keine Einsicht genommen werden.

³⁸Die Umstrukturierung des bestehenden GS-Systems ist ein langjähriger Prozess, der mit politischen Entscheidungen, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Standortfragen usw. verbunden ist. Eine Neuausrichtung der bestehenden GS-Verwertungsstrategie kann einige Jahre in Anspruch nehmen. Es ist erforderlich sich frühzeitig über eine neue Verwertungsstrategie einig zu werden und diese voranzutreiben.

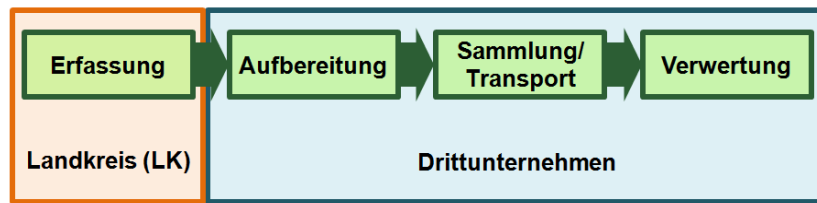


Abbildung 3.5: Überblick über die Organisationsstruktur und über die Aufteilung der Zuständigkeit für die GS-Verwertung von den privaten Haushalten [eigene Darstellung]

Kreisangehörige Kommunen

Organisation/Zuständigkeit

Die Zuständigkeit für den GS von den kreisangehörigen Kommunen (VG, OG sowie Städte) stellt sich im Vergleich zum GS von den privaten Haushalten als nicht eindeutig dar. Während die privaten Haushalte explizit im KrW-/AbfG erwähnt werden, ist dies für die kreisangehörigen Kommunen nicht der Fall. Außer den privaten Haushalten als Herkunftsbereich werden im Gesetzestext nur „andere Herkunftsbereiche“ genannt. Zu diesen wird im Folgenden der Herkunftsbereich „kreisangehörige Kommunen“ gerechnet. Abb. 3.6 zeigt die Übersicht zur Zuständigkeit der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen auf.

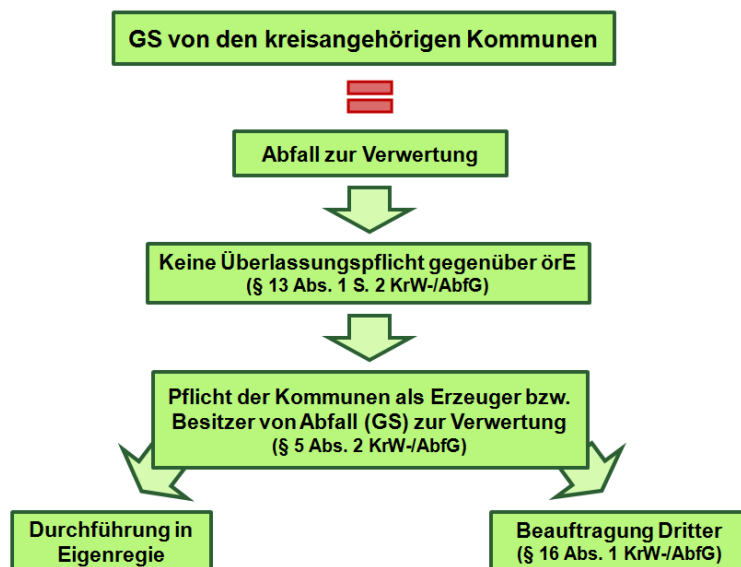


Abbildung 3.6: Organisation und rechtliche Regelung der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen [eigene Darstellung]

Entscheidend für die Zuständigkeit der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen ist die Einordnung des GS als „Abfall zur Verwertung“ oder als „Abfall zur Beseitigung“. **GS** kann – aufgrund der technischen Machbarkeit und wirtschaftlichen Zumutbarkeit zur Verwertung (Kap. 2.2) - als „**Abfall zur Verwertung**“ eingestuft werden. Daraus ergibt sich, dass die **kreisangehörigen Kommunen** als Erzeuger

des GS gemäß § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG in Eigenverantwortung **zur Verwertung ihres anfallenden GS verpflichtet** sind. Die GS-Verwertung fällt damit in den Zuständigkeitsbereich der einzelnen Kommunen. Diese können die GS-Verwertung in **Eigenregie** selbst durchführen **oder** – wie der LK Mainz-Bingen bei der Verwertung des GS von den privaten Haushalten – ein **Drittunternehmen beauftragen** (§ 16 Abs. 1 KrW-/AbfG).

Derzeitige Organisation/Zuständigkeit der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen

Zur Organisation der GS-Verwertung in den einzelnen kreisangehörigen Kommunen konnte über den Fragebogen kein einheitliches Bild ermittelt werden. Einige der kreisangehörigen Kommunen (ca. 1/3 der 33 Kommunen, die den Fragebogen beantwortet haben) beauftragen vor allem für die Aufbereitung und die Verwertung des GS ein Drittunternehmen, während die Sammlung des GS größtenteils in Eigenregie über Gemeindearbeiter erfolgt. Dagegen führen ca. 1/3 der Kommunen die GS-Verwertung komplett in Eigenregie durch und ca. 1/3 der Kommunen machten zur Organisation ihrer GS-Verwertungsstrategie keine Angaben.

3.2.2 GS-Mengen deren Erfassung und Sammel-/Transportlogistik

In diesem Kapitel wird auf die GS-Mengen/-stoffströme und deren Erfassung aus den beiden Herkunftsbereichen im LK Mainz-Bingen eingegangen.

Private Haushalte

GS-Mengen und deren Erfassung

In Abb. 3.7 sind die GS-Mengen und deren Erfassungswege aus den privaten Haushalten dargestellt. Den GS-Mengen aus den privaten Haushalten stehen im LK Mainz-Bingen unterschiedliche „Erfassungssysteme“ zur Verfügung. Zu den „ordnungsgemäßen“ Erfassungssystemen gehören die Biotonne als Holsystem, der Komposthaufen im eigenen Garten (Eigenkompostierung) und die Sammelstellen als Bringsystem. In der Arbeit liegt der Schwerpunkt auf den GS-Mengen, die über Sammelstellen erfasst werden (rot eingerahmter Bereich in Abb. 3.7).

Darüber hinaus gibt es die GS-Mengen, die „nicht ordnungsgemäß“ über die Restmüll-Tonne mit entsorgt werden. Bundesweit liegt der Anteil an GS und Bioabfall in der Restmüll-Tonne im Mittel bei ca. 30% (Anhang A.5). Wie sich dieser Anteil auf Bioabfall bzw. GS verteilt, ist nicht beziffert. Für den LK Mainz-Bingen sind die GS-Mengen, die über die Restmüll-Tonne miterfasst werden, bisher nicht ermittelt

worden. Deshalb kann hierzu keine landkreisspezifische Aussage getroffen werden. In RLP wurde eine Untersuchung [134] von 1998 bis 2002 bei 5 öRE, die eine Bioabfallsammlung besitzen, durchgeführt. Hierbei wurde ein Anteil von GS und Bioabfall von ca. 28% in der Restmüll-Tonne ermittelt.³⁹ Dieser stimmt mit dem bundesweit ermittelten Anteil von ca. 30% sehr gut überein.



Abbildung 3.7: GS-Mengen von den privaten Haushalten und deren Erfassungswege/-systeme [Bildquelle Komposthaufen: [135]; eigene Darstellung]

Die GS-Mengen, die über die Biotonne zusammen mit Küchenabfällen (z.B. Gemüse- und Obstabfällen) erfasst werden, werden statistisch nicht separat ausgewiesen und fallen unter die Bioabfallmengen im LK Mainz-Bingen. Untersuchungen der Universität in Stuttgart zum Anteil von GS in der Biotonne zeigten GS-Anteile im Jahresdurchschnitt von 10% in städtisch bis 40% in ländlich geprägten Regionen [29]. Aufgrund der Tatsache, dass der LK als städtischer Kreis eingeordnet ist, ist wahrscheinlich mit einem geringen Anteil der GS-Mengen in der Biotonne zu rechnen. Für den LK Mainz-Bingen ist keine genauere Aussage möglich, da die GS-Mengen, die über die Biotonne miterfasst werden, von weiteren Faktoren (Gebührensysteem, Jahreszeit) abhängig sind (Anhang A.5). Bisher wurden hierzu keine Analysen durchgeführt [136]. Dieser GS-Stoffstrom wird aufgrund der fehlenden Mengenangaben in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Des Weiteren gibt es die GS-Mengen, die der Eigenkompostierung zugeführt werden. Wie hoch der Anteil der gesamten GS-Menge aus den privaten Haushalten ausfällt, der der Eigenkompostierung zuzuschreiben ist, ist im LK nicht bekannt [136].

Zuletzt gibt es die GS-Mengen, die über Sammelstellen erfasst werden. Da diese GS-Mengen getrennt von anderen Abfallarten gesammelt werden, können diese Mengen genauer quantifiziert werden. Diese Mengen werden beim AWB Mainz-Bingen regis-

³⁹Bei den öRE, die keine Bioabfallsammlung eingeführt haben, liegt der Anteil an Organikabfällen (Bioabfall und GS) bei ca. 40% bis 47%.

triert und in den jährlich erscheinenden Landesabfallbilanzen von RLP als spezifische GS-Mengen [kg/EW*a] veröffentlicht. Die Menge dieses GS-Stoffstroms ist bekannt und Gegenstand der weiteren Betrachtungen. Abb. 3.8 zeigt die absoluten und spezifischen Mengen dieses GS-Stoffstroms für den LK von 1989 bis 2010 auf.⁴⁰ Zum Vergleich sind die spezifischen erfassten GS-Mengen von RLP und von Deutschland dargelegt.

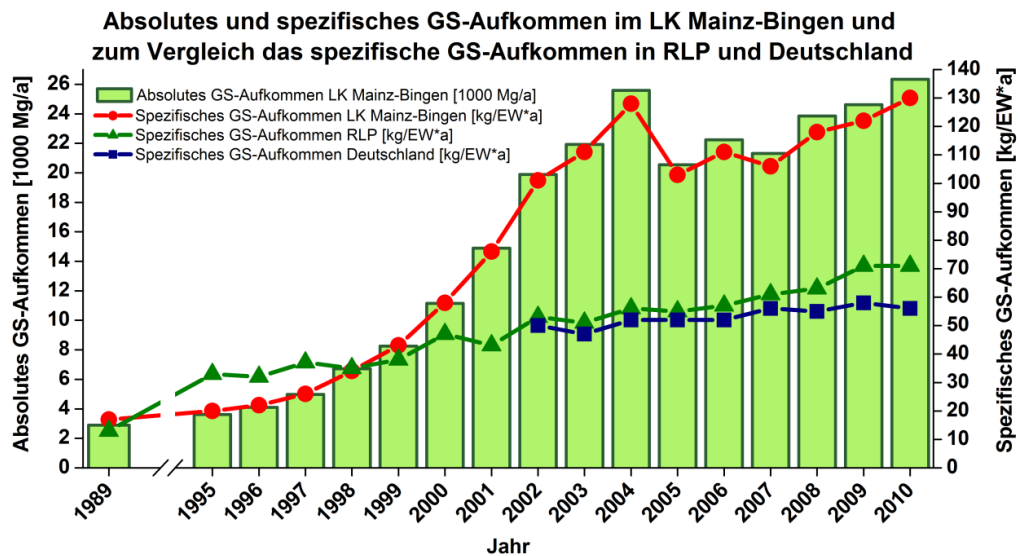


Abbildung 3.8: Absolute und spezifische GS-Aufkommen im LK Mainz-Bingen [eigene Darstellung; Datengrundlagen: [123, 137–139]]

Anhand Abb. 3.8 ist ersichtlich, dass das absolute GS-Aufkommen im LK Mainz-Bingen von ca. 3.000 Mg/a im Jahr 1989 auf ca. 25.000 Mg/a im Jahr 2004 angestiegen ist. Demnach hat sich das absolute GS-Aufkommen innerhalb von 15 Jahren um mehr als das 8fache erhöht. Diese drastische Steigerung der GS-Mengen wird laut AWB Mainz-Bingen [136] auf die Verbesserung des Erfassungssystems ab 1998 zurückgeführt. Ab 2004 unterliegt das GS-Aufkommen nur geringen Schwankungen zwischen ca. 21.000 und 26.000 Mg/a.⁴¹

Das spezifische GS-Aufkommen des LK korreliert mit dem absoluten GS-Aufkommen im LK. Dies hängt damit zusammen, dass die Bevölkerungsentwicklung im LK verhältnismäßig geringen Schwankungen unterworfen ist. Der Bevölkerungszuwachs zwischen 1995 bis 2010 von ca. 8% hat demnach keinen signifikanten Einfluss auf die spezifischen GS-Mengen.

⁴⁰Die dargestellten GS-Mengen (absolut und spezifisch) entsprechen nicht dem gesamten GS-Aufkommen aus den privaten Haushalten. Da Teilstrome des GS-Aufkommens über die Biotonne, die Eigenkompostierung oder die Restmüll-Tonne entsorgt werden, werden diese mengenmäßig nicht in der Landesabfallbilanz über den AWB erfasst.

Mit enthalten sind bei den GS-Mengen in Abb. 3.8 die saisonal anfallenden Weihnachtsbäume bzw. Tannenbäume, die vorwiegend über die Sammelstellen entsorgt werden.

⁴¹Laut AWB Mainz-Bingen [136] sind zukünftig keine drastischen Steigerungen der GS-Mengen von den privaten Haushalten zu erwarten, da sich das Erfassungssystem mittlerweile etabliert hat. Dies kann auf die seit 2004 geringen Schwankungen der GS-Mengen zurückgeführt werden.

Im Vergleich zum spezifischen GS-Aufkommen von RLP, das statistisch erfasst wird, ist das spezifische GS-Aufkommen vom LK bis 1998 zunächst niedriger, wohingegen ab 1998 das spezifische GS-Aufkommen im LK vergleichsweise drastisch ansteigt und im Jahr 2010 fast doppelt so hoch liegt wie in RLP.⁴² Vergleicht man das spezifische GS-Aufkommen vom LK mit dem spezifischen GS-Aufkommen von Deutschland ist auffallend, dass die Werte vom LK mit steigender Tendenz sogar mehr als doppelt so hoch sind wie im bundesweiten Durchschnitt (seit 2002).

Betrachtet man den LK im Vergleich zu den anderen LK und kreisfreien Städten in RLP so belegt der LK im Jahr 2010 mit seinem spezifischen GS-Aufkommen von 130 kg/EW*a den neunten Rang von insgesamt 35 Rängen.⁴³ Der LK liegt mit seinem Organikaufkommen (=Bioabfall aus der Biotonne und GS von den Sammelstellen) mit insgesamt 213 kg/EW*a im Jahr 2010 - hinter dem RHK mit ca. 256 kg/EW*a und dem LK Kaiserslautern mit ca. 229 kg/EW*a - an dritter Stelle in RLP.[138] Daraus lässt sich schließen, dass sich sowohl im Bereich der GS-Mengen als auch im Bereich der Bioabfallmengen die getrennte Erfassung über die Sammelstellen bzw. über die Biotonne im LK Mainz-Bingen etabliert hat.

Im Folgenden wird auf wesentliche Einflussgrößen näher eingegangen, die laut Kern et al. [9] für eine gute Bioabfallsammlung mit einer gleichzeitig hohen getrennten Erfassung von GS-Mengen - wie dies im LK Mainz-Bingen der Fall ist - ausschlaggebend sind:

- Getrennte Bioabfallsammlung (z.B. Anschluss- und Benutzungszwang)
- Angebot an Sammelstellen (z.B. Anzahl, Öffnungszeiten)
- Gebührenstruktur (z.B. kostenfreie Abgabe von GS)
- Angebot eines Holsystems (z.B. Weihnachtsbaumsammlungen)
- Bedeutung und Förderung der Eigenkompostierung

Getrennte Bioabfallsammlung

In der Regel wirkt sich das Vorhandensein eines Anschluss- und Benutzungszwangs einer Biotonne - wie dies im LK Mainz-Bingen seit 1995 der Fall ist - auf die getrennt erfassten GS-Mengen an den Sammelstellen aus [9, 134]. Durch die Einführung einer Biotonne wird laut Wiemer et al. [134] ein Teilstrom der GS-Mengen

⁴²Anzumerken ist, dass sich die Aussagen lediglich auf die statistisch erfassten GS-Mengen beziehen und weitere GS-Mengen zu vermuten sind und vorliegen, die nicht statistisch erfasst werden.

⁴³Hierzu muss angemerkt werden, dass es einige kreisfreie Städte und LK gibt, in denen nur GS und keine Bioabfälle getrennt gesammelt werden. Bei diesen LK und Städten wird keine GS-Menge über die Biotonne - wie im LK Mainz-Bingen - miterfasst. Dies kann zu einer höheren GS-Menge in der Landesabfallbilanz führen. Zudem zeichnen sich diese LK und Städte meistens durch einen hohen Anteil an Eigenkompostierern aus.[134]

in die Biotonne verlagert. Daher wird weniger GS zu den Sammelstellen gebracht. Laut Wiemer et al. [134] ist die getrennt erfasste GS-Menge bei den LK mit Biotonne deutlich geringer als bei denen ohne Biotonne.⁴⁴ Allerdings ist in Abb. 3.8 kein Rückgang, sondern sogar ein Anstieg der getrennt erfassten GS-Mengen nach 1995 im LK zu erkennen. Dies könnte daran liegen, dass die zum Teil in die Biotonne verlagerten GS-Mengen - und die erwartete Abnahme der GS-Mengen an den Sammelstellen - durch die Zunahme an Sammelstellen zwischen 1990 und 1997 ausgeglichen und sogar überkompensiert wurde.

Angebot an Sammelstellen (Bringsystem)

Abb. 3.9 zeigt das Angebot an Sammelstellen für die Anlieferung von GS von den privaten Haushalten im LK Mainz-Bingen auf.

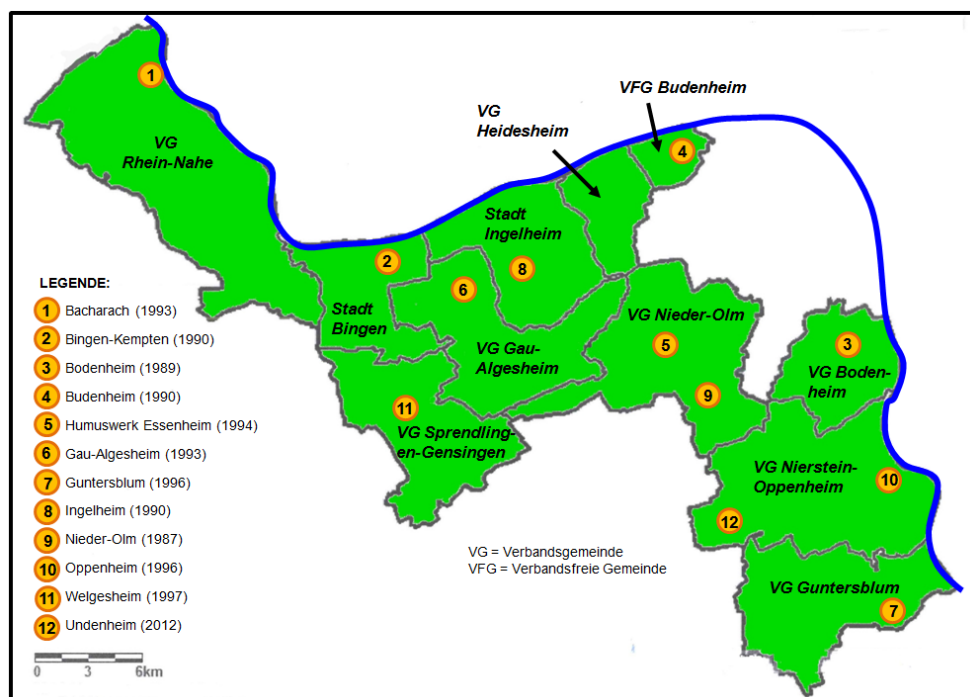


Abbildung 3.9: Sammelstellen für GS von den privaten Haushalten im LK Mainz-Bingen (grobe Darstellung und Übersicht) [eigene Darstellung; Datengrundlagen: [140, 141]; Karte in WebGIS der Kreisverwaltung Mainz-Bingen erstellt]

⁴⁴Dennoch steigt das Organikaufkommen mit dem Angebot einer Biotonne insgesamt an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum einen verstärkt GS-Mengen in die Biotonne verlagert werden und zum anderen zusätzliche GS-Mengen, die bisher im Garten verblieben sind, über die Biotonne entsorgt werden. Zudem hat das bereitgestellte Behältervolumen der Biotonne einen wesentlichen Einfluss auf die getrennt erfassten GS-Mengen.[134]

Im LK Mainz-Bingen werden verschiedene Behältergrößen von 80 bis 1.100 l mit entsprechend zunehmender Gebühr angeboten. Diese sogenannte Grundgebühr enthält 13 Entleerungen pro Jahr. Für zusätzliche Entleerungen fallen extra Gebühren (sogenannte Leistungsgebühren) an. Im Sommer (Monat April bis einschließlich September) wird zusätzlich eine kostenfreie Entleerung der Biotonne pro Monat angeboten.

Insgesamt gibt es im LK Mainz-Bingen seit März 2012 12 Sammelstellen, wovon eine Sammelstelle direkt am Humuswerk in Essenheim angesiedelt ist. Von 1990 bis 1997 sind 9 Sammelstellen errichtet worden. Anfangs wurde der GS auf den Sammelstellen in Containern gesammelt und ungeschreddert abgefahren. Zwischen 1993 und 1998 wurde der GS von den privaten Haushalten zusätzlich zu den bis dahin errichteten Sammelstellen zweimal im Jahr zusammen mit Sperrmüll im Holsystem erfasst. Im Jahr 1998 wurde das Erfassungssystem neu organisiert. Das Holsystem für die GS-Mengen wurde 1998 eingestellt, weil sich die Kombination der Sperrmüllsammmlung mit den GS-Mengen als ineffizient herausstellte. Die GS-Mengen werden seitdem nicht in Containern gesammelt, sondern auf den Sammelstellen aufgeschüttet. Zudem werden die GS-Mengen nicht ungeschreddert transportiert, sondern zuerst geschreddert und anschließend einem Transport unterzogen. Diese Neuregelung hat zur Folge, dass wesentlich mehr GS-Mengen erfasst und von den privaten Haushalten abgeliefert werden können.[136]

Die Sammelstellen sind durch einen Zaun gegen unbefugte Abfallablagerungen und den Zutritt von Unbefugten abgesichert und haben nur zu bestimmten Öffnungszeiten zwei- bis dreimal wöchentlich geöffnet. Hinsichtlich der Öffnungszeiten zeichnet sich das Erfassungssystem mit den Sammelstellen durch eine hohe Bürgerfreundlichkeit aus. An allen Sammelstellen besteht die Möglichkeit samstags GS-Mengen abzuliefern [142].

Zu den jeweiligen Öffnungszeiten an den verschiedenen Sammelstellen gibt es jeweils sogenannte Wertstoffhofbetreuer [140]. Diese sind speziell für die ordnungsgemäße Anlieferung der GS-Mengen und der anderen Abfallarten geschult und achten auf eine störstofffreie Anlieferung. Deshalb zeichnet sich der GS durch eine sehr geringe Störstoffmenge (z.B. Kunststoff) aus (vgl. Anhang A.5).

Die meisten Sammelstellen sind auf befestigtem Boden errichtet [140], wodurch sekundäre Anhaftungen mit mineralischen Bestandteilen am GS vermindert werden. Dies wirkt sich positiv auf die anschließende Verwertung des GS aus, insbesondere wenn dieser teilweise energetisch genutzt werden soll.

Gebührenstruktur an den Sammelstellen

An den Sammelstellen können private Haushalte ihren GS bis zu einer bestimmten Menge kostenfrei abgeben.⁴⁵ Die maximale GS-Menge, die kostenfrei ange-

⁴⁵Die Entledigungsmöglichkeit von GS-Mengen besteht an den Sammelstellen nur für die privaten Haushalte. GS der bei gewerblichen oder landwirtschaftlichen Betrieben und den kreisangehörigen Kommunen anfällt, darf nicht über die Sammelstellen entsorgt werden (Ausnahme: Am Humuswerk in Essenheim kann gegen eine Gebühr der GS aus diesen Bereichen abgegeben werden [136].).

liefert werden darf, ist auf eine Kofferraumladung bzw. einen kleinen Anhänger beschränkt [142]. Diese Beschränkung wurde festgelegt, damit jeder Bürger trotz des Platzmangels an einigen Sammelstellen, die Möglichkeit hat seinen GS kostenlos an den Sammelstellen abzuliefern. Größere GS-Mengen müssen kostenpflichtig, z.B. am Humuswerk in Essenheim, entsorgt werden [142].

An den Sammelstellen erfolgt keine getrennte Annahme der holz- und krautartigen GS-Fraktion. Eine Auflistung der GS-Stoffströme, die an den Sammelstellen angenommen werden, besteht nicht [136]. Während Weihnachtsbäume ohne Fremdstoffe (wie z.B. Lametta) an allen Sammelstellen abgegeben werden können, können Wurzelstöcke nur am Humuswerk in Essenheim abgeliefert werden [136].

Angebot eines Holsystems

Neben diesen 12 Sammelstellen existiert im LK Mainz-Bingen kein Holsystem über das beispielsweise Weihnachtsbäume eingesammelt werden.⁴⁶

Bedeutung und Förderung der Eigenkompostierung

In RLP hat die Eigenkompostierung der Bioabfälle und des GS, die bei den privaten Haushalten anfallen, eine traditionell hohe Bedeutung [134].

Im LK Mainz-Bingen stellt sich die Situation bzw. Regelung zur Eigenkompostierung von Bioabfällen und GS wie folgt dar. Die Eigenkompostierung wird im LK durch finanzielle Anreize begünstigt. Private Haushalte können einen Antrag auf Anerkennung als Eigenkompostierer beim AWB Mainz-Bingen stellen, sofern sie Bioabfälle und GS im eigenen Garten selbst kompostieren. Wird der Antrag anerkannt, erhalten diese Haushalte einen jährlich 20%igen Rabatt auf die Grundgebühr der Biotonne.[142] Eine Kontrolle der Eigenkompostierung erfolgt lediglich stichprobenartig [136]. Laut AWB Mainz-Bingen [136] zahlen 36% der Haushalte einen reduzierten Tarif für die Biotonne. Demnach liegt wahrscheinlich die Eigenkompostiererquote im LK bei ca. 36%. Insgesamt konnten in RLP Eigenkompostiererquoten in den LK von 20% bis 50% [134] verzeichnet werden, wobei der LK mit 36% im Mittelfeld liegt. Rückschlüsse auf die GS-Mengen, die über die Eigenkompostierung verwertet werden, lassen sich dadurch nicht gewinnen, denn der Anteil der GS-Mengen, der der Eigenkompostierung zugeführt wird, differiert in den einzelnen Haushalten sicherlich stark.

⁴⁶Laut AWB Mainz-Bingen [136] werden teilweise über die kreisangehörigen Kommunen Weihnachtsbaumsammlungen angeboten.

Tab. 3.2 gibt einen Überblick über die Daten und Fakten zur Ausgestaltung des Erfassungssystems - Sammelstellen - und wesentliche Einflussgrößen auf die erfassten GS-Mengen im LK Mainz-Bingen.

Tabelle 3.2: Überblick über Daten und Fakten zur Ausgestaltung der getrennt erfassten GS-Mengen im LK Mainz-Bingen [eigene Darstellung]

Art des Erfassungssystems	Sammelstellen (Bringsystem)
Angebot an Sammelstellen im LK	12 Sammelstellen/-plätze
Annahme des holz- und krautartigen GS	unfraktioniert; keine getrennte Annahme
Flächenbezogene Sammelstellendichte	~ ca. 1 Sammelstelle/51 km ² Fläche
Einwohnerbezogene Sammelstellendichte	~ ca. 1 Sammelstelle für 17.000 EW
Öffnungszeiten der Sammelstellen	ganzjährig 2-3x wöchentlich; auch samstags
Gebührensysteem GS-Erfassung	Kofferraumladung/kleiner Anhänger kostenfrei
Getrennte Bioabfall-Sammlung	Benutzungs- und Anschlusszwang der Biotonne
Förderung der Eigenkompostierung	20%-Rabatt auf die Biotonnen-Grundgebühr

Abb. 3.10 zeigt die GS-Mengen, die über die Sammelstellen erfasst wurden, vom Jahr 2010 auf. Die Quantifizierung der holzartigen GS-Menge, die energetisch sinnvoll genutzt werden kann, sowie der sich daraus ergebenden restlichen GS-Menge wurde anhand der bundesweiten Kennwerte vorgenommen (Kap. 2.1.3 und Anhang A.5).⁴⁷ Diese Mengen sind für spätere Berechnungen ausschlaggebend und werden in der Arbeit zugrunde gelegt.



Abbildung 3.10: Erfasste GS-Menge von den Sammelstellen im LK (2010) und deren Quantifizierung [eigene Darstellung]

Sammel- und Transportlogistik

Das Drittunternehmen fährt durchschnittlich einmal pro Woche mit einem Spezialfahrzeug, auf dem ein mobiler Schredder (Langsamläufer der Firma Doppstadt DW 3060) integriert und ein Radlader aufgeladen ist, die GS-Sammelstellen an (in Ab-

⁴⁷ Aufgrund fehlender Daten zum Anteil des holz- und krautartigen GS am Gesamtaufkommen im LK und aufgrund der Tatsache, dass diese nicht zu ermitteln waren, wurden bundesweite Kennwerte verwendet. Ob diese Aufteilung in holz- und krautartigen GS tatsächlich im LK vorliegt, kann nicht beurteilt werden.

hängigkeit von den abgelieferten GS-Mengen) [143].⁴⁸

An den Sammelstellen werden die GS-Mengen materialabhängig zunächst über den integrierten Schredder auf eine Korngröße < 200 mm zerkleinert, um das Transportvolumen zu verringern. Anschließend werden die geschredderten GS-Mengen mit dem Radlader auf das Transportfahrzeug aufgeladen.[136] Die geschredderten GS-Mengen werden von den Sammelstellen zum Humuswerk nach Essenheim gebracht und dort für die Verwertung zunächst (zwischen)gelagert.

Hinsichtlich der Transportlogistik konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die kürzeste Transportstrecke bei der Reihenfolge des Anfahrens der Sammelstellen realisiert wird, die zugleich die wirtschaftlichste Option darstellt [136]. Eine allgemeine Angabe zur Transportlogistik kann nicht gemacht werden, da die Logistik bedarfsgerecht, je nach Platzkapazitäten der Sammelstellen und den angelieferten GS-Mengen, flexibel vom Drittunternehmen ausgeführt wird [136].

Kreisangehörige Kommunen

GS-Mengen und -stoffströme

Die GS-Mengen, die bei der Pflege von öffentlichen Flächen im LK Mainz-Bingen anfallen, wurden im Rahmen der Arbeit anhand eines Fragebogens (Anhang A.11) ermittelt.⁴⁹ Der Schwerpunkt liegt auf den in Abb. 3.11 dargestellten GS-Stoffströmen⁵⁰.

Von den 74 angeschriebenen kreisangehörigen Kommunen (8 VG, eine VFG, zwei Städte und 63 OG) haben insgesamt 47 Kommunen den Fragebogen beantwortet.⁵¹

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf diese 47 Fragebögen.

⁴⁸Während im Frühjahr und Herbst teilweise sogar zweimal wöchentlich die Sammelstellen angefahren werden - aufgrund der höheren GS-Mengen - kann im Winter nur alle 2 Wochen das Anfahren und die Einsammlung der GS-Mengen erforderlich sein [143]. Diese Tatsache stimmt mit dem „Kamelhöcker-Jahresgang“ der GS-Mengen (Kap. 2.1.3) überein.

⁴⁹Eine andere Option zur näherungsweisen Abschätzung des theoretisch bestehenden Potenzials an GS-Mengen bei den kreisangehörigen Kommunen wäre die Ermittlung der Fläche an Grünanlagen (Park-, Friedhofsanlagen, Sport- und Spielplätze) im gesamten LK Mainz-Bingen. Mit Hilfe von spezifischen Kennwerten in Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] könnte das theoretisch anfallende bzw. bestehende Potenzial an GS-Mengen errechnet und abgeschätzt werden. Allerdings ist diese Art der Ermittlung bzw. Erfassung der GS-Mengen insofern nicht sinnvoll, da in den jeweiligen Kommunen sicherlich eine unterschiedliche Bepflanzungsdichte mit Sträuchern, Bäumen oder auch Gräsern vorliegt und diese erst in der jeweiligen Kommune individuell ermittelt werden müsste. Zudem können in den einzelnen Kommunen unterschiedliche Pflegekonzepte bestehen. Für eine annähernde Abschätzung sind die Kennwerte allerdings laut Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] ausreichend.

⁵⁰Ob bei den GS-Mengen, die über den Fragebogen ermittelt wurden, GS-Mengen von anderen Anfallssorten (z.B. Straßenbegleitgrün) mit angegeben wurden, ist unklar, denn hierzu liegen keine Angaben vor.

⁵¹Zwei der 27 Kommunen, die nicht geantwortet haben, haben auf Nachfrage gesagt, dass sie selbst keinen eigenen GS sammeln. Die GS-Sammlung läuft in diesen beiden Kommunen (VG) nur über die einzelnen Ortsgemeinden. Ob weitere GS-Mengen in den Kommunen vorliegen, die den Fragebogen nicht beantwortet haben, kann mit Hilfe einer Hochrechnung deshalb nicht abgeschätzt werden. Dies würde zu verfälschten Ergebnissen führen.



Abbildung 3.11: GS-Stoffströme bei den kreisangehörigen Kommunen [eigene Darstellung]

Von den 47 Kommunen gaben ca. 70% (33 Kommunen) an, dass sie ihre anfallenden GS-Mengen einsammeln und erfassen (Frage 1 des Fragebogens im Anhang A.11). Davon wiederum quantifizierten knapp 80% der Kommunen (26 Kommunen) ihre anfallenden GS-Mengen (Frage 2 des Fragebogens). Zudem sollte der holzartige GS-Anteil an der angegebenen GS-Menge prozentual abgeschätzt werden. Die GS-Mengen wurden von den kreisangehörigen Kommunen entweder in Kubikmeter oder Tonnen pro Jahr angegeben. Vereinzelt wurde die gehäckselte bzw. geschredderte GS-Menge angegeben. Zur einheitlichen Darstellung der GS-Mengen in Mg FS/a wurden die folgenden Umrechnungsfaktoren zur groben Abschätzung der GS-Mengen verwendet:

Tabelle 3.3: Umrechnungsfaktoren zur einheitlichen Darstellung der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen

GS	Umrechnungsfaktor [kg FS/m ³]	Literatur
GS - gesamt	340	Tab. 2.2
GS - holzartig	300	Tab. 2.2
GS - krautartig	400	Tab. 2.2
GS - gesamt geschreddert	500	[144]
GS - holzartig geschreddert	350	[144]

Sofern der holzartige GS-Anteil nicht prozentual abgeschätzt werden konnte und damit nicht angegeben wurde, wurde der bundesweite Anteil von 30 Gew.-% (Kap. 2.1.3)

herangezogen.⁵² Daraus ergibt sich folgende GS-Mengenermittlung für die kreisangehörigen Kommunen⁵³:

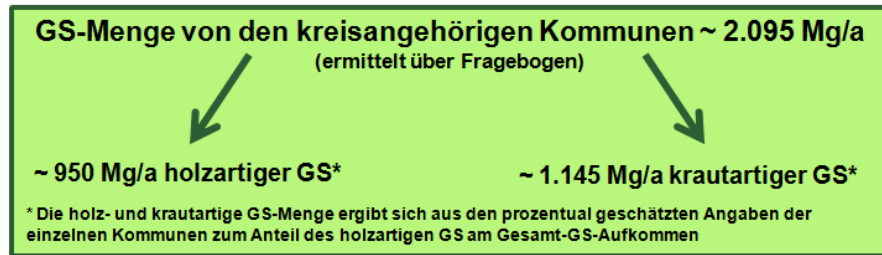


Abbildung 3.12: GS-Mengen, die über den Fragebogen bei den kreisangehörigen Kommunen ermittelt wurden [eigene Darstellung]

Lediglich bei 4 der 26 Kommunen fallen holz- und krautartige GS-Mengen von mehr als 100 Mg/a an. In den meisten Kommunen variieren die Mengen von 1 bis 35 Mg/a. Hinsichtlich des holzartigen GS liegen nur in 2 von 26 Kommunen Mengen von über 100 Mg/a vor. Die meisten Kommunen meldeten GS-Mengen zwischen 0,2 und 27 Mg/a.

Erfassung, Sammel- und Transportlogistik der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen

Bei der Betrachtung der IST-Situation hinsichtlich der Erfassung, der Sammlung und des Transports der GS-Mengen in den 33 Kommunen, stellte sich die Situation in den verschiedenen Kommunen recht unübersichtlich dar. Knapp 80% der Kommunen sammeln ihre GS-Mengen auf einem eigenen Sammelplatz in der Gemeinde, der überwiegend (zu ca. 63%) nur von der eigenen Kommune genutzt wird.

⁵²Laut IfaS [35] liegt der Anteil des holzartigen GS am Gesamtaufkommen bei ca. 30% in städtisch geprägten und bei ca. 70% in ländlich geprägten Regionen. Da der LK Mainz-Bingen als städtischer Kreis eingeordnet ist (Kap. 3.1), wurde ein Anteil von 30% für eine grobe Berechnung als geeignet erachtet.

⁵³Die angegebenen GS-Mengen sind mit einigen Unsicherheitsfaktoren behaftet:

1. Die angegebene GS-Menge in m³/a oder t/a kann bereits mit Fehlern belegt sein, weil hierfür entscheidend ist, unter welchen Bedingungen die GS-Menge ermittelt wurde (z.B. nach einer bestimmten Lagerungszeit) bzw. zu welchem Zeitpunkt der größte Anteil der GS-Menge angefallen ist.
2. Der Anteil des holzartigen GS am Gesamt-GS-Aufkommen sollte von den Kommunen geschätzt und mit angegeben werden. Diese Abschätzung kann sehr subjektiv ausfallen und je nach Bearbeiter des Fragebogens zu unterschiedlichen Angaben führen.
3. Je nach dem ob die jeweilige Kommune GS-Mengen von anderen Anfallsorten (z.B. GS aus der Gewässerpflege) mit berücksichtigt und angegeben hat oder nicht, können die Mengen unterschiedlich hoch ausfallen.
4. Die herangezogenen Umrechnungsfaktoren stellen keine generell gültigen Faktoren dar und unterliegen u.a. in Abhängigkeit von der Jahreszeit großen Schwankungen. Es ergeben sich hieraus Unsicherheiten für die berechneten GS-Mengen.
5. Der Anteil an mineralischen Bestandteilen, der an den GS-Mengen anhaftet, wurde zur Vereinfachung vernachlässigt.

In 20% der Fälle wird der gemeindeeigene Sammelplatz gemeinsam von der Kommune und den Bürgern für deren GS-Mengen genutzt.⁵⁴

Tiefergehende Fragen (Frage 4 und Frage 5 im Anhang A.11) zur Ausgestaltung der Sammel- und Transportlogistik wurden zum größten Teil nicht beantwortet, so dass hierzu keine eindeutige Aussage möglich ist. Ungefähr 33% der Kommunen machten zu der Frage, durch wen die GS-Sammlung ausgeführt wird, keine Angabe. 50% der Kommunen gaben an, dass die GS-Sammlung durch eigene Gemeinde-/Stadtmitarbeiter erfolgt. Vereinzelt werden Drittunternehmen hinzugezogen und mit der GS-Sammlung beauftragt.

3.2.3 Verwertungswege/-techniken und Kosten

Private Haushalte

Verwertung und Kostensituation für den GS von den privaten Haushalten

Der GS, der bei den privaten Haushalten anfällt, kann im LK Mainz-Bingen verschiedenen Verwertungswegen zugeführt werden. Diese sind in Abb. 3.13 dargestellt. Der Schwerpunkt liegt im Folgenden auf den GS-Mengen, die getrennt von anderen Abfallarten über die Sammelstellen erfasst werden und den GS-Mengen, die über die Biotonne miterfasst werden (Abb. 3.13; rot eingerahmten Bereiche).⁵⁵ Diese GS-Mengen liegen im Zuständigkeitsbereich des LK Mainz-Bingen.



Abbildung 3.13: GS-Stoffströme und deren Verwertungswege - in Abhängigkeit vom Erfassungsweg/-system - im LK Mainz-Bingen [eigene Darstellung]

⁵⁴ Dieser Aspekt ist für eine spätere Betrachtung zur Optimierung der GS-Verwertungsstrategie im LK von Bedeutung. Die Tatsache, dass in einigen Kommunen (20% von 33 Kommunen) die Bürger den Sammelplatz von der Kommune mit benutzen, könnte ein Anzeichen dafür sein, dass entweder der Weg zu den Sammelstellen von einigen Bürgern zu weit empfunden wird oder dass einige Sammelstellen für die privaten Haushalte zu wenig Flächenkapazitäten bereitstellen.

⁵⁵ Zum Teil bestehen Synergien beim Verwertungsweg des GS, der über die Biotonne miterfasst wird und dem getrennt erfassten GS über die Sammelstellen. Deshalb wurde der Schwerpunkt so gesetzt.

GS-Mitverwertung über die Biotonne (Holsystem)

Die GS-Mengen, die über die Biotonne miterfasst werden, sind bislang einem Kompostierungsprozess in einer Kompostierungsanlage im LK (Humuswerk in Essenheim) zugeführt worden. Welchen Anteil die GS-Mengen am gesamten Bioabfallaufkommen in der Biotonne einnehmen, ist im LK nicht bekannt (Kap. 3.2.2). Die bereits seit 1995 bestehende Kompostierungsanlage im LK befindet sich derzeit im Umbau und wird mit einer Trockenvergärungsstufe der Firma Eggersmann GmbH nachgerüstet.⁵⁶ Die Trockenvergärungsstufe besteht aus 8 Boxenfermentern. Zukünftig ist geplant, den Bioabfall aus der Biotonne und damit auch eine unbekannte GS-Menge in diese 8 Boxenfermenter zu geben.⁵⁷ Innerhalb von ca. 21 Tagen, in denen der Bioabfall luftdicht eingeschlossen wird, soll der Bioabfall bei Temperaturen zwischen 40°C und 50°C vergärt werden. Das erzeugte Biogas wird anschließend in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet. Der anfallende Gärrest soll in 12 geschlossenen Rottetunneln einem Kompostierungsprozess (Nachrotte) zugeführt werden, wodurch Kompostprodukte generiert werden.[146]

GS-Verwertung von den Sammelstellen (Bringsystem)

Die Organisation der GS-Verwertung von den Sammelstellen liegt im Zuständigkeitsbereich des Drittunternehmens. Diese Tatsache hat zur Ermittlung der IST-Situation der aktuellen Verwertungswege der GS-Mengen von den Sammelstellen erschwerend beigetragen. Diesbezügliche Anfragen an das Drittunternehmen blieben ohne Erfolg.⁵⁸

Eine Übersicht über die möglichen Verwertungswege, die in Frage kommen und aufgrund bundesweiter Erkenntnisse zur GS-Verwertung abgeleitet wurden, ist in Abb. 3.14 ersichtlich.

⁵⁶Laut AWB Mainz-Bingen wird für die Trockenvergärung ein gewisser Anteil an holzartigem GS benötigt, weil die Trockenvergärung mit Perkolatwasser betrieben wird (vgl. Anhang A.6.3). Der holzartige GS, der für die Trockenvergärung benötigt wird, wird laut AWB Mainz-Bingen größtenteils über die Biotonne eingetragen, über die GS-Mengen mitentsorgt werden.[136] Laut Kern/Raussen [94] beinhaltet die Biotonne ca. 12% holzartige Bestandteile.

⁵⁷Neben dem Bioabfall aus dem LK Mainz-Bingen wird in dieser Anlage Bioabfall von der Stadt Mainz und z.T. vom Rheingau-Taunus-Kreis verwertet [145]. Die Anlage ist für insgesamt ca. 48.000 Mg Bioabfall und GS ausgelegt [146].

⁵⁸Die Ermittlung der Verwertungswege für die GS-Mengen, die über die Landesabfallbilanzen erfasst werden, wurde im Jahr 2006 in einer unveröffentlichten Studie von IfaS [35] für ganz RLP durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie [35] wurden für den LK Mainz-Bingen ebenfalls keine (detaillierten) Angaben zu den Verwertungswegen erhalten. Diese Tatsache bestätigt die Schwierigkeit zur Ermittlung der IST-Situation und zeigt auf, dass hier ein dringender Optimierungsbedarf besteht.

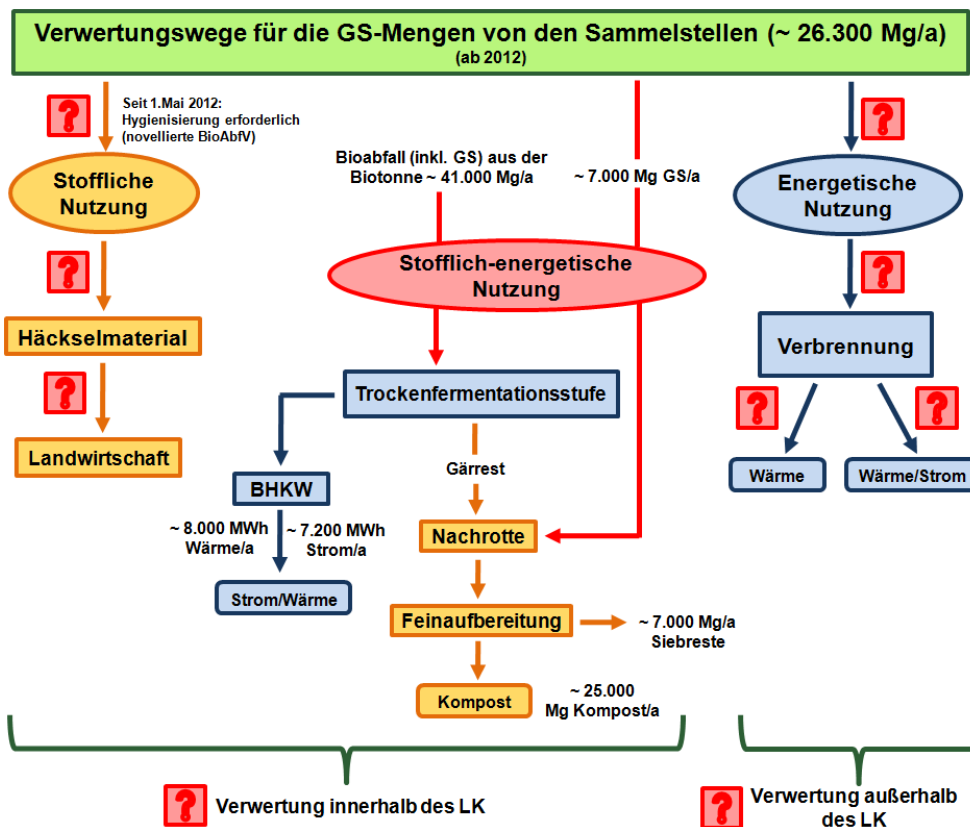
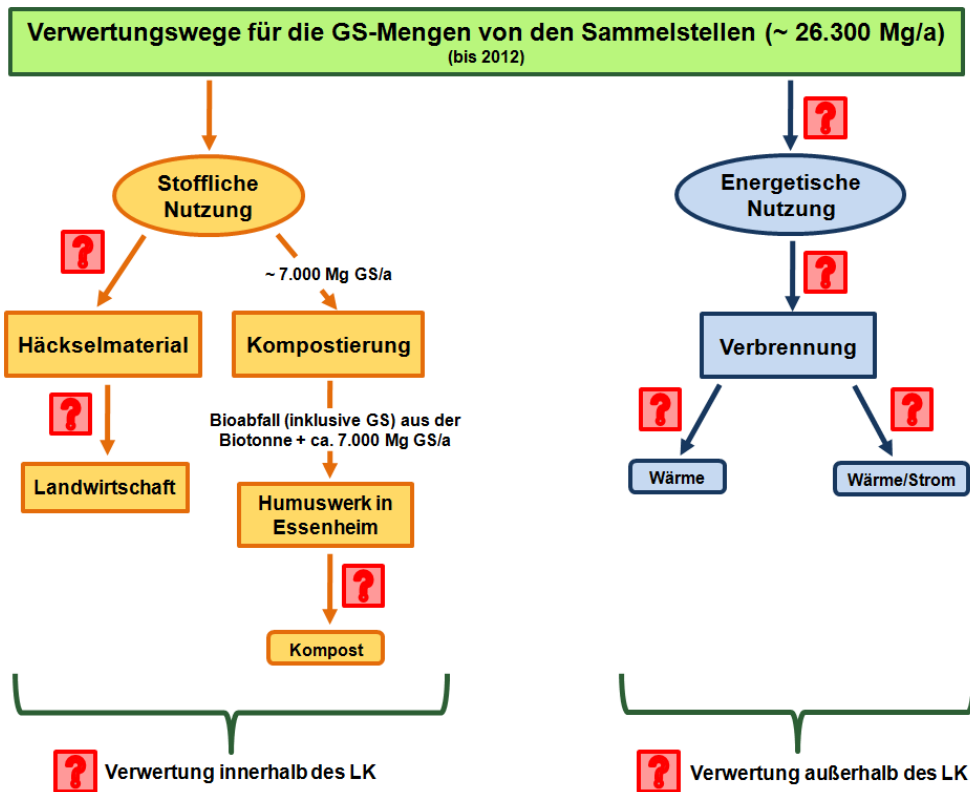


Abbildung 3.14: GS-Mengen von den Sammelstellen und deren mögliche Verwertungswege (die Fragezeichen stellen die Unbekanntheit der Verwertungswege im LK Mainz-Bingen dar und werden vermutet); obere Abbildung: GS-Verwertungswege bis 2012; untere Abbildung: GS-Verwertungswege ab 2012 [eigene Darstellung; Datengrundlage: [136, 146]]

Lediglich die GS-Mengen, die bis 2012 der Kompostierungsanlage im LK (Humuswerk Essenheim) und ab 2012 der Nachrotte für die Gärreste zugeführt werden, konnten über den AWB Mainz-Bingen [146] in Erfahrung gebracht werden. Von den insgesamt ca. 26.300 Mg/a GS-Mengen, die über die Sammelstellen erfasst werden, werden ca. 7.000 Mg/a in der Kompostierungsanlage verwertet. Zukünftig werden diese Mengen für die Nachrotte der Gärreste benötigt. Ob sich die 7.000 Mg GS/a aus holz- und krautartigem GS zusammensetzen, konnte nicht ermittelt werden. Für die Kompostierung der Gärreste ist sowohl kraut- als auch holzartiger GS erforderlich (Anhang A.6.1).

Nach der Nachrotte ist eine Feinaufbereitung vorgesehen. Bei der Feinaufbereitung erfolgt eine zweistufige Siebung. In der ersten Stufe wird ein Sternsieb mit einem Siebschnitt von 40 mm verwendet. In der zweiten Stufe kommt eine Siebtrommel (Siebmaschenweite 15 mm) zum Einsatz.[147] Insgesamt entstehen drei Siebfraktionen, die wie folgt weiter verwendet werden [147]:

- Die Grobfraktion (> 40 mm) wird einer externen Verwertung zugeführt⁵⁹
- Die Mittelfraktion (15 - 40 mm) wird teilweise wieder in die Nachrotte zurückgeführt
- Die Feinfraktion (< 15 mm) stellt den Kompost dar

Von den verbleibenden GS-Mengen (ca. 19.300 Mg/a) konnte - aufgrund der im Rahmen der Arbeit nicht bereitgestellten Daten - nicht ermittelt werden, welchen Verwertungswege diese durchschnittlich zugeführt werden (Abb. 3.14). Es bestehen zwei Verwertungswege, die in Frage kommen. Zum einen kann der GS als Häckselmaterial in der Landwirtschaft verwertet werden. Zum anderen kann der GS in Biomasseheiz(kraft)werken (BMH(K)W) - außerhalb des LK (im LK Mainz-Bingen sind keine BMHKW vorhanden und laut EDG mbH (Kap. 3.1) wird kein GS in bestehenden Heizwerken (BMHW) eingesetzt) - energetisch verwertet werden. Für beide Verwertungswege ist die holzartige GS-Fraktion notwendig.

Abb. 3.14 verdeutlicht die Unklarheit bezüglich der Verwertungswege für den GS von den Sammelstellen.⁶⁰

⁵⁹Es wird mit einer Größenordnung von ca. 7.000 Mg/a an Siebresten, die der Grobfraktion angehören, gerechnet [147].

⁶⁰Es ist anzumerken, dass die GS-Menge von ca. 7.000 Mg/a, die der Kompostierung und zukünftig der Nachrotte zugeführt werden soll, keineswegs die Menge darstellt, die jährlich diesem Verwertungsweg tatsächlich zukommt. Das liegt daran, dass sowohl die GS-Mengen als auch die Bioabfallmengen aus der Biotonne im Jahresverlauf Schwankungen unterliegen. Deshalb stellt die Menge von ca. 7.000 Mg/a nur eine grobe Größenordnung dar und kann nicht als fixe Menge angesehen werden.

Kostensituation der derzeitigen GS-Verwertungssituation

Für die Übernahme und Erledigung der GS-Verwertung durch das Drittunternehmen fallen für den LK derzeit jährliche Kosten in Höhe von ca. 690.000 Euro (inklusive MWSt. von 19%) an, die der LK an das Drittunternehmen zu entrichten hat.⁶¹ Diese Kosten werden auf die Bürger im LK umgelegt und über den Anschluss- und Benutzungszwang an die Biotonne und deren Grundgebühren mit finanziert.

Kreisangehörige Kommunen

GS-Verwertung und Kostensituation bei den kreisangehörigen Kommunen

Eine Gesamtdarstellung zur GS-Verwertung inklusive der Aufbereitung ist aufgrund der Tatsache, dass bei dem Fragebogen nur ca. 25% der Kommunen zur GS-Aufbereitung und ca. 47% der Kommunen zur GS-Verwertung (bezogen auf insgesamt 33 Kommunen, die ihren GS sammeln) Angaben machten, nicht möglich.⁶² Die Auswertung beschränkt sich auf die Kommunen, die hierzu eine Angabe gemacht haben.

Bei den Kommunen ergab sich ein einheitliches Bild zur GS-Aufbereitung. Der GS wird durch eine Zerkleinerung (schreddern) aufbereitet.

Bei der GS-Verwertung ergibt sich - im Vergleich zur Aufbereitung - ein differenzierteres Bild. Es sind drei Verwertungs- bzw. Entsorgungswege des GS erkennbar. Am häufigsten (ca. 19 Prozentpunkte) wird der GS verbrannt. Zum Teil wird die Verbrennung in Eigenregie oder durch Drittunternehmen durchgeführt.⁶³ Zudem wird der GS als Häckselmaterial auf gemeindeeigenen und landwirtschaftlichen Flächen eingesetzt (ca. 16 Prozentpunkte der Kommunen). Die restlichen Kommunen (ca. 12 Prozentpunkte) entsorgen den GS über eine natürliche Verrottung und belassen den GS auf dem Sammelplatz oder an dem Ort, an dem der GS anfällt.

⁶¹Die angegebenen Kosten beziehen sich auf die GS-Mengen von ca. 26.300 Mg im Jahr 2010. Laufende Kosten für die GS-Sammelstellen sind keine gegeben, da an den Sammelstellen noch andere Abfallarten von den privaten Haushalten, wie z.B. Elektronikschrott oder Glas, angenommen werden und daher keine gesonderten Kosten für die GS-Erfassung entstehen [136].

⁶²Ob hierzu keine Angaben gemacht wurden, weil keine Aufbereitung bzw. Verwertung stattfindet oder weil keine Kenntnis darüber besteht wie die Aufbereitung und Verwertung erfolgt, z.B. wenn mit diesen Aufgaben ein Drittunternehmen beauftragt ist (bei ca. 1/3 der Kommunen), kann nicht beurteilt werden.

⁶³Ob hierbei der GS zur Wärme- und/oder Stromerzeugung genutzt wird, ist anhand der Angaben über den Fragebogen nicht ermittelbar. Bei einigen Kommunen wird die Verbrennung in Eigenregie, z.B. in Form eines Oster- oder Brauchtumsfeuer, durchgeführt. Damit wird der GS einer Beseitigung und keiner Verwertung zugeführt.

Kostensituation der derzeitigen GS-Verwertungssituation

Eine Gesamtdarstellung der derzeitigen Kosten, die in den kreisangehörigen Kommunen für die GS-Verwertung (inklusive Erfassung, Transport und Aufbereitung) anfallen, ist trotz des Fragebogens nicht möglich, da hierzu wesentliche Angaben (z.B. Personal- und Transportkosten) fehlen.⁶⁴

Dennoch brachte die Auswertung der Fragebögen hinsichtlich der Kostensituation Ergebnisse, die im Folgenden kurz dargelegt werden. Die meisten Kommunen gaben ihre Jahreskosten an und quantifizierten zum Teil nicht ihre GS-Mengen. Für einen Vergleich der Kosten in den Kommunen konnten nur die Kommunen berücksichtigt werden, die auch ihre GS-Mengen quantifizierten (26 Kommunen). Damit konnten die spezifischen Kosten [Euro/Mg GS] ermittelt werden.⁶⁵

Mehr als die Hälfte der Kommunen (ca. 54% der 26 Kommunen) machten keine Angabe zu den Kosten für die GS-Verwertung. Ca. 35% gaben Kosten zwischen 15 bis 57 Euro/Mg GS an. Diese Kommunen beauftragen alle ein Drittunternehmen. Die Schwankungsbreite der Kosten lässt sich dadurch erklären, dass die Drittunternehmen bei manchen Kommunen nur die Aufbereitung übernehmen, während bei anderen Kommunen zusätzlich der Transport und die Verwertung durch die Drittunternehmen erledigt werden. In ca. 11% der Fälle wurden nur Angaben zu den Containerkosten für die Erfassung des GS gemacht, die zwischen 30 und 44 Euro/Mg GS beziffert wurden.

3.3 Optimierungspotenziale der IST-Situation

Konkrete Optimierungen für die IST-Situation sind aufgrund der zum Teil fehlenden Daten zur IST-Situation schwierig aufzeigbar. In den Bereichen mit Datengrundlage werden Optimierungspotenziale und -maßnahmen dargelegt. In den anderen Bereichen – z.B. im Bereich der GS-Verwertung – können nur im Hinblick auf einen möglichst hohen Klimaschutzeffekt Optimierungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

⁶⁴Größtenteils wurden die angegebenen Kosten nicht aufgeschlüsselt, so dass nicht erkennbar ist, wie sich diese Kosten im Einzelnen zusammensetzen.

⁶⁵Diese spezifischen Kosten wurden z.T. berechnet, in dem der Umrechnungsfaktor für den gesamten GS von 340 kg FS/m³ herangezogen wurde (Kap. 2.1.3 und Kap. 3.2.2). Eine Angabe der absoluten Kosten [Euro/a] in den einzelnen Kommunen würde zu einer sehr großen Schwankungsbreite führen und ist aufgrund der unterschiedlich hohen GS-Mengen, die in den Kommunen anfallen, nicht sinnvoll.

3.3.1 Zielsetzungen für bzw. Anforderungen an die optimierte GS-Verwertungsstrategie

Die im Folgenden aufgezeigten Optimierungspotenziale sollen dem Nachhaltigkeitsprinzip Rechnung tragen. Daher bestimmt das Leitbild der „Nachhaltigkeit“ die Zielsetzungen für und die Anforderungen an die optimierte GS-Verwertungsstrategie (Abb. 3.15).

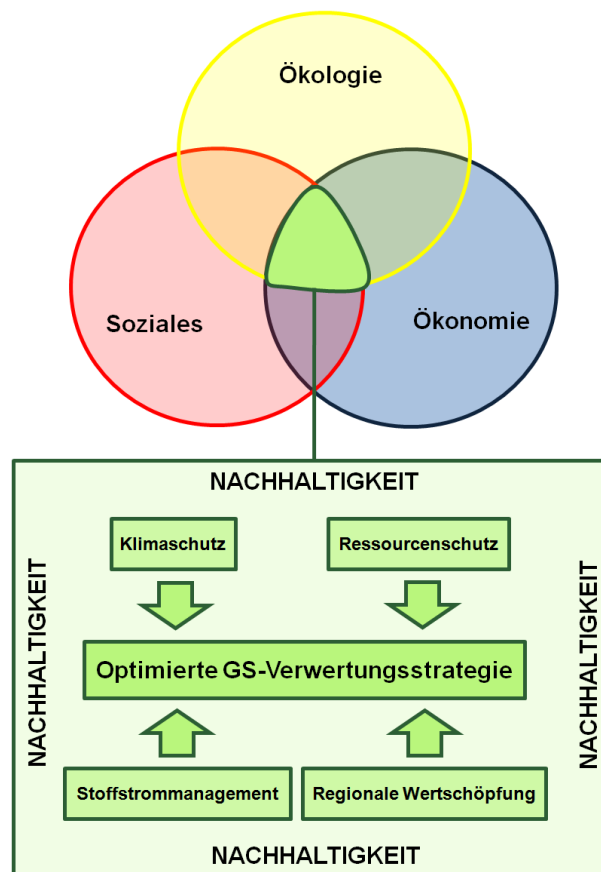


Abbildung 3.15: Zielsetzungen für und Anforderungen an die optimierte GS-Verwertungsstrategie [eigene Darstellung]

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit werden für die optimierte GS-Verwertungsstrategie im Rahmen der Arbeit folgende Zielsetzungen und Anforderungen als wichtig erachtet:

1. Klimaschutz:

- Beitrag zum „Null-Emissions-Landkreis 2050“
- Größtes CO₂-Minderungspotenzial im Wärmebereich (Kap. 3.1) $\Rightarrow$ vorrangiger Einsatz des GS als Brennstoff zur Wärmeerzeugung oder KWK

2. Ressourcenschutz:

- Schonung von fossilen Energieträgern sowie von endlichen stofflichen Ressourcen (z.B. Phosphor, Torf)

- Kopplung der Verwertungsstrategie mit Effizienzmaßnahmen (z.B. Energieeffizienz)

3. Stoffstrommanagement⁶⁶:

- Effiziente und effektive Ausschöpfung der GS-Potenziale durch eine gezielte Verwertung infolge einer Stoffstromtrennung (holz- und krautartiger GS)
- Nutzung von Synergien (z.B. GS und Bioabfall)
- Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen

4. Regionale Wertschöpfung:

- Erzeugung hochwertiger Produkte, die möglichst regional (im LK) genutzt werden
- Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen
- Beitrag zur Importunabhängigkeit
- Beitrag zur dezentralen Energieversorgung

Da die GS-Verwertungsstrategie unter der Zielsetzung des „Null-Emissions-Landkreises“ in den Blickpunkt geraten ist, ist in erster Linie ein hoher Klimaschutzeffekt bedeutend. Wichtig ist, dass andere Ziele, wie z.B. der stoffliche Ressourcenschutz, damit in Einklang gebracht werden.

3.3.2 Organisation/Zuständigkeit

Unter dem Blickwinkel der Anforderungen an und Zielsetzungen für die optimierte Verwertungsstrategie aus Kap. 3.3.1 wird die IST-Situation der Organisation und Zuständigkeit der GS-Mengen von den privaten Haushalten und von den kreisangehörigen Kommunen betrachtet. Da die Verträge zwischen dem LK und dem Drittunternehmen nicht eingesehen werden konnten, beruhen die Optimierungspotenziale zum Teil auf empirischen Erkenntnissen hinsichtlich potenzieller Defizite im Bereich der Abfallwirtschaft. Ob diese speziell im LK Mainz-Bingen vorliegen, ist nicht abschließend beurteilbar.

Private Haushalte

Abb. 3.16 zeigt eine Schwachstellenanalyse hinsichtlich der Organisation und Zuständigkeitsstruktur für die GS-Mengen von den privaten Haushalten. Die Schwachstellen beruhen auf Eindrücken, die im Rahmen der Arbeit gewonnen wurden.

⁶⁶Unter Stoffstrommanagement versteht man „das zielorientierte, verantwortliche, ganzheitliche und effiziente Beeinflussen von Stoffsystemen, wobei die Zielvorgaben aus dem ökologischen und ökonomischen Bereich kommen, unter Berücksichtigung von sozialen Aspekten.“[[148] zitiert nach [52]]



Abbildung 3.16: Schwachstellenanalyse der Organisations- und Zuständigkeitsstruktur für die GS-Mengen von den privaten Haushalten [eigene Darstellung]

Die bisherige Organisations- und Zuständigkeitsstruktur ist durch die Abgabe der Dienstleistungen an ein Drittunternehmen gekennzeichnet. Diese Struktur ist zwar mit rechtlichen Regelungen konform, erschwerte allerdings in der vorliegenden Arbeit die Ermittlung zur IST-Situation. Die bestehende Organisation wurde daher in einigen Bereichen - insbesondere in Bezug auf die Verwertungswege der GS-Mengen - durch eine **mangelnde Transparenz** wahrgenommen.

In manchen Bereichen der GS-Verwertung besteht beim AWB Mainz-Bingen eine geringe Kenntnis, z.B. für die Aufbereitung sowie für die Verwertungswege des GS. Hier wird man an das Drittunternehmen verwiesen. Diese Tatsache belegt die Schwachstelle der bestehenden Zuständigkeit. Es erweckt den Anschein, dass **zum Teil ein mangelnder Informationsfluss** zwischen dem AWB und dem Drittunternehmen vorliegt.

Durch die Abgabe der GS-Verwertung legt der LK Mainz-Bingen den GS von den privaten Haushalten in die Hände des Drittunternehmens und verliert seine Einflussnahme auf die Verwertungsmöglichkeiten (**fehlende Einflussnahme**).

Eine weitere Schwachstelle wird im Bereich der Ausschreibung gesehen. Häufig wird bei einer **Ausschreibung** die Wertung der abgegebenen Angebote anhand des Zuschlagskriteriums „niedrigster Preis“ vollzogen. Damit erfolgt die Auftragserteilung nach dem „**preisgünstigsten Angebot**“ [149].⁶⁷

⁶⁷ Es gibt verschiedene Gründe, die für eine Wertung alleine nach dem Zuschlagskriterium „niedrigster Preis“ sprechen. Erstens möchte sich die Vergabestelle z.B. nicht vorwerfen lassen, dass sie mit öffentlichen Mitteln großzügig umgeht. Zweitens ist die alleinige Erteilung des Zuschlagskriteriums nach dem Preis einfacher nachvollziehbar als die Einbeziehung weiterer Kriterien.[149, 150]

Sofern die Ausschreibung alleine nach dem „preisgünstigsten Angebot“ als Zuschlagskriterium stattfindet und nicht in der Leistungsbeschreibung eine intensive Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten erfolgt, geht dies zu Lasten von anderen Kriterien (z.B. von Umwelt- und Sozialkriterien). Diese Ausschreibungsart kann den Nachhaltigkeitsaspekt negativ tangieren.⁶⁸

Um zukünftig eine nachhaltige GS-Verwertungsstrategie im LK zu erzielen, werden im Bereich der Organisation und Zuständigkeit - aufgrund der Eindrücke, die im Rahmen der Arbeit gewonnen wurden - folgende Optimierungsvorschläge gesehen. Ein wesentlicher Optimierungsansatz zur Reduzierung der aufgezeigten Schwachstellen im Bereich der Organisation und Zuständigkeit kann über die **Ausschreibung der GS-Verwertung** erfolgen. Da im LK Mainz-Bingen der Vertrag zwischen dem LK und dem Drittunternehmen bis 2022 besteht, kann eine erneute Ausschreibung im Jahr 2022 erfolgen. Die Optimierung der Organisation und Zuständigkeit im Rahmen dieser Ausschreibung wird im Folgenden verdeutlicht.

Bei der Vergabe von Aufträgen durch eine öffentliche Ausschreibung hat der Auftraggeber (hier: der LK) viele Handlungs- und Gestaltungsräume, um auf die Verwertung über ein Drittunternehmen Einfluss zu nehmen.

Der LK sollte die GS-Verwertungsstrategie zukünftig an Kriterien der Nachhaltigkeit ausrichten und nicht kurzfristig oder ausschließlich kostengünstige Lösungen in den Vordergrund stellen. Besonders wichtig zur Ausrichtung der Ausschreibung an Nachhaltigkeitskriterien sind die Leistungsbeschreibung (Leistungsverzeichnis) sowie die Eignungs- und Zuschlagskriterien. Nachfolgend wird ein Überblick über die verschiedenen Einflussbereiche gegeben.⁶⁹

In der Leistungsbeschreibung kann der LK zukünftig zwei Punkte mit aufnehmen: Erstens wie der GS zu verwerten ist und zweitens wie mit den erzeugten Endprodukten zu verfahren ist (z.B. Übergabe des über eine Vergärung erzeugten Biogases an den LK zur Eigennutzung). Laut Henssen [150] und Kersting [152] kann der LK - als Auftraggeber - im Rahmen einer Leistungsbeschreibung eine entsprechende Verwertungsart und -weise des GS vorschreiben. Denkbar wäre beispielsweise die Verbrennung des holzartigen GS zur energetischen Verwertung und die Vergärung des krautartigen GS zur stofflich-energetischen Verwertung vorzugeben.⁷⁰ Zudem kann

⁶⁸Laut Quelle [151] geht der Unterbietungswettbewerb in der privaten Entsorgungsbranche immer mehr mit der Senkung von Sozial- und Ökostandards einher. Zusätzlich kann sich der billigste Anbieter durch eine mangelhafte Leistungserbringung auszeichnen, wodurch Bürgerklagen möglich sind. Dies führt zu Lasten derjenigen privaten Entsorgungsunternehmen, die sich ihrer gesellschaftlichen Verantwortung bewusst sind und Öko- und Sozialstandards angemessen berücksichtigen.

⁶⁹Für detailliertere Informationen wird auf die Literatur von Henssen [150] verwiesen.

⁷⁰Dabei darf lediglich die Verfahrensart (z.B. die Vergärung) vorgegeben werden, aber keine spezielle Verfahrenstechnik, denn sonst ist die Leistungsbeschreibung nicht wettbewerbskonform.

laut Kersting [152] festgelegt werden, wie mit dem erzeugten Biogas oder z.B. dem erzeugten Brennstoff aus dem holzartigen GS umgegangen werden soll und ob diese Produkte z.B. an den LK zur Nutzung zu übergeben sind. Zudem können hier konkrete Vorgaben über den zu erreichenden Wirkungsgrad des BHKW von ca. 85%, die Nutzung der Überschusswärme zu möglichst 80% und ähnliches durch den LK gemacht werden [153]. Diese Punkte stellen eine interessante Möglichkeit zur Einflussnahme des LK auf die GS-Verwertung dar. Durch die Vorschreibung einer Leistungserbringung kann der LK geringer wertige Verwertungsformen im Vorhinein ausschließen und somit dem Nachhaltigkeitsprinzip ein Stück weit gerecht werden und einen Einfluss auf die Verwertung (trotz Abgabe der GS-Verwertung an ein Drittunternehmen) ausüben. Auf diesem Weg kann der LK - in Form einer Ausschreibung der GS-Verwertung - die von ihm gewünschte Verwertungsart sicherstellen [150].

Des Weiteren kann über die Leistungsbeschreibung die Offenlegung der Verwertungswege für den GS gefordert werden. Der LK kann z.B. verlangen, dass alle vorgesehenen Anlagen zur Verwertung des GS vor der Auftragsvergabe benannt und entsprechende Unterlagen hierzu vorgelegt werden [150].⁷¹ Denkbar ist auch die Vereinbarung einer jährlichen Berichterstattung des Drittunternehmens an den LK. Dadurch kann eine Steigerung der Transparenz sowie des Informationsflusses zwischen dem LK und dem Drittunternehmen erreicht werden.

Eine weitere Option zur Weichenstellung für eine nachhaltige GS-Verwertung im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung kann durch die Definition von Eignungskriterien erfolgen. Hierbei dürfen Aufträge gemäß § 2 EG Abs. 1 VOL/A [154] nur an fachkundige, leistungsfähige und zuverlässige Unternehmen vergeben werden [152]. Unter dem Aspekt einer nachhaltigen Ausrichtung der Ausschreibung besteht z.B. die Option eine EMAS-Zertifizierung und/oder eine Zertifizierung hinsichtlich sozialer Standards - z.B. SA 8000 - als Eignungskriterium aufzustellen.⁷² Laut Kersting [152] darf zudem die praktische Erfahrung eines Bieters mit dem in der Leistungsbeschreibung vorgeschriebenen Verwertungsverfahren gefordert werden.⁷³

⁷¹Inwiefern nach der Vergabe des Auftrags an ein Drittunternehmen die Offenlegung der Verwertungswege festgelegt werden kann, ist fraglich. Jedoch dürfte dies im Rahmen des Vertrags zwischen dem LK und dem Drittunternehmen möglich sein.

⁷²Im Rahmen einer europäischen Ausschreibung dürfte dieses Kriterium kein Problem darstellen. Auf internationaler Ebene könnte das Kriterium problematisch sein, da es sich bei EMAS um eine europäische Zertifizierung handelt.

⁷³Ob dies zur nachhaltigen GS-Verwertung beiträgt, ist schwer zu beurteilen. Ein Bieter mit einer langen Praxiserfahrung hat Vor- und Nachteile. Der Vorteil besteht darin, dass er sich in dem Verfahren gut auskennt. Nachteilig kann sein, dass es ihm an Innovationsbereitschaft für verbesserte Umweltstandards mangelt.

In besonderem Maße kann eine nachhaltige GS-Verwertung durch die Festlegung von bestimmten Zuschlagskriterien erzielt werden. Sofern der LK über diese Kriterien einen Einfluss auf eine nachhaltige GS-Verwertung nehmen will, muss die Vergabe nach dem „wirtschaftlichsten“ und nicht nach dem „preisgünstigsten Angebot“ (siehe oben) erfolgen (§ 21 EG Abs. 1 VOL/A) [150]. Hierbei sind gemäß § 21 EG Abs. 1 VOL/A neben dem preisgünstigsten Angebot weitere Zuschlagskriterien, die der LK unter Einhaltung bestimmter Vergaberegeln/-grundsätze bzw. dem Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) festlegen kann, für die Auftragsvergabe entscheidend. Der LK kann die verschiedenen Zuschlagskriterien mit einer unterschiedlichen Gewichtung versehen. Wichtig ist, dass der LK bei seiner Ausschreibung die von ihm festgelegten Kriterien sowie deren Gewichtung bekannt gibt.

Allgemeine Kriterien - wie z.B. das Kriterium einer „möglichst hochwertigen Verwertung gemäß § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG“ - sind hierfür nicht ausreichend bestimmt und als Zuschlagskriterium nicht zulässig [150]. Als Zuschlagskriterien für die Ausschreibung einer nachhaltigen GS-Verwertung können folgende ökologische und soziale Kriterien angesehen werden [150, 151]:

- Entfernung der Verwertungsanlage(n) vom GS-Aufkommen des LK
- Verwertungsanlagen mit der Einhaltung bestimmter umweltrechtlicher Vorgaben (z.B. Grenzwerteinhaltung, Stand der Technik)
- Ausstattung des Bieters mit Sammel- und Transportfahrzeugen nach dem Stand der Technik
- Eigener Personalstamm (keine Leiharbeiter)
- Beschäftigung von Auszubildenden aus dem LK
- Umsetzung eines Frauenförderprogramms

Muster-Textbausteine für eine mögliche GS-Ausschreibung unter Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Kriterien können in Henssen [150] vertiefend nachgelesen werden.

Die Vertragslaufzeit zwischen dem LK und dem Drittunternehmen sollte zudem auf einen angemessenen Zeitrahmen festgelegt werden.⁷⁴

Als Alternative zu einer „optimierten“ Ausschreibung, um eine nachhaltige GS-Verwertung zu bewirken und hierauf einen Einfluss zu nehmen, besteht die Möglich-

⁷⁴Bei einer zu langen Vertragslaufzeit besteht die Gefahr, dass eine zu große Sicherheit für das Drittunternehmen besteht und die GS-Verwertung eventuell an Qualität verliert. Eine lange Vertragslaufzeit ist hingegen bei erheblichen Investitionen des Drittunternehmens einzurichten. Dies ist derzeit im LK Mainz-Bingen der Fall.

keit, die GS-Verwertung einer **Rekommunalisierung** zu unterziehen.⁷⁵ Ab 2022 kann der LK die GS-Verwertung wieder in Eigenregie durchführen und nicht an ein Drittunternehmen über eine Ausschreibung abgeben.

Als beispielhaft für eine erfolgreiche Rekommunalisierung der GS-Verwertung kann der RHK angesehen werden [155, 156].

Allerdings gibt es hinsichtlich der Rekommunalisierung sowohl Vor- als auch Nachteile. In Bezug auf eine nachhaltige GS-Verwertung besteht durch die Rekommunalisierung ein kommunalpolitischer Einfluss auf die ökologische und soziale Qualität der GS-Verwertung [156]. Zudem kann unter sozialen Aspekten der Arbeitsplatzert halt im LK gesteigert und gesichert werden. Laut Wiebe/Schürer [156] spricht das Nachhaltigkeitsprinzip auch in der Finanzierung für eine Rekommunalisierung. In Bezug auf die oben genannten Schwachstellen, die eventuell derzeit im LK bestehen, kann eine Rekommunalisierung zu mehr Transparenz und einer besseren Informiertheit des LK führen. Von einer Rekommunalisierung erwartet man den Vorteil, dass durch die Übernahme der GS-Verwertung ein Beitrag zur regionalen Wertschöpfung erbracht werden kann. Zum Beispiel besteht bei einer Vergabe der GS-Verwertung an ein Drittunternehmen die Gefahr, dass erwirtschaftete Gewinne oder Erlöse durch die erzeugten Endprodukte aus dem LK abfließen und nicht dem LK zugutekommen. Diese Nachteile können durch eine Rekommunalisierung verhindert werden.

Dementgegen stehen häufig Vorteile durch die Abgabe der GS-Verwertung an ein Drittunternehmen durch eine Ausschreibung, die vorwiegend ökonomische Aspekte betreffen. Beispielsweise kann durch eine Beauftragung eines Drittunternehmens der Markt zur Senkung der Gebühren genutzt werden. Zudem werden betriebliche Risiken oder Investitionen auf das Drittunternehmen umgelegt und von diesem getragen. Sofern sich der LK für eine Rekommunalisierung der GS-Verwertung entscheidet, ist es erforderlich, dass sich der LK - bzw. das ausführende Organ, der AWB - ständig und flexibel den vielfältigen Nachhaltigkeitsanforderungen stellt, um eine langfristige Entsorgungssicherheit bei bestmöglichem Service, hohem ökologischem Niveau und sozialverträglichen Gebühren gewährleisten zu können [155].

⁷⁵Eine rechtlich verbindliche Definition des Begriffs „Rekommunalisierung“ existiert laut Lorenz [155] derzeit nicht. In der vorliegenden Arbeit wird unter dem Begriff „Rekommunalisierung“ der Prozess verstanden, bei dem die vorher ausgelagerten (outsourceten) Aufgaben, die im Zuständigkeitsbereich des LK liegen, nicht mehr durch private Drittunternehmen, sondern wieder von kommunalen Einrichtungen (dem LK) übernommen werden.

Kreisangehörige Kommunen

Folgende Schwachstellen konnten im Bereich der kreisangehörigen Kommunen identifiziert werden (Abb. 3.17). Sie basieren auf Eindrücken und sind nicht für alle Kommunen zutreffend.

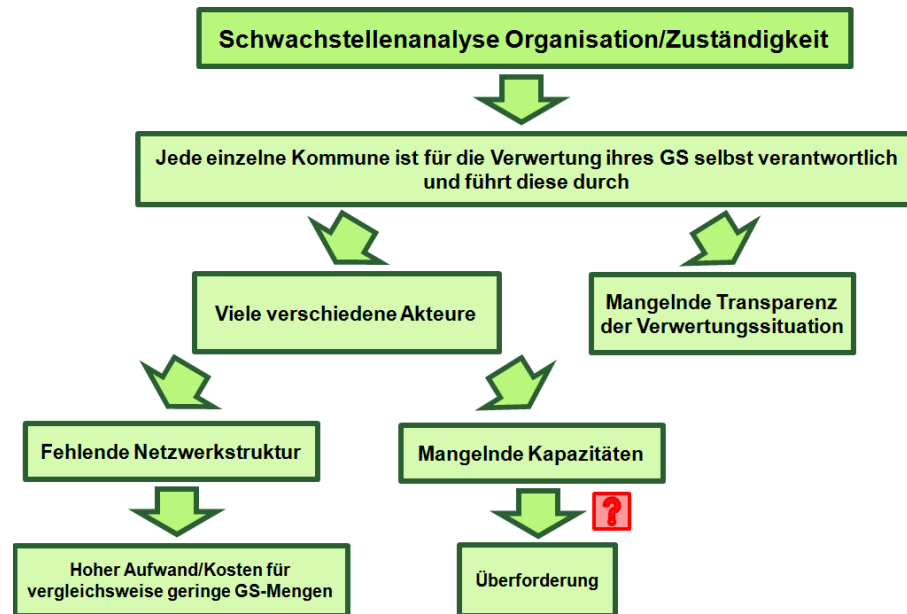


Abbildung 3.17: Schwachstellenanalyse der Organisations- und Zuständigkeitsstruktur für die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen [eigene Darstellung]

Da jede einzelne Kommune für ihren anfallenden GS selbst zuständig ist (§ 5 Abs. 2 KrW-/AbfG), existiert eine **Vielzahl von verschiedenen Akteuren**, die für die GS-Verwertung verantwortlich sind. Durch die Inanspruchnahme von Drittunternehmen (Kap. 3.2.1) nimmt die Anzahl der Akteure zusätzlich zu. Daraus können sich mehrere Schwachstellen ergeben:

Jede Kommune führt ihre GS-Verwertung alleine durch. Dies kann durch eine **fehlende Netzwerkstruktur** zwischen den Kommunen erklärt werden. Damit verbunden sind **hohe Kosten und ein hoher Aufwand für vergleichsweise geringe GS-Mengen**, die für jede einzelne Kommune entstehen. Durch die geringen GS-Mengen in den einzelnen Kommunen ist die Hemmschwelle für eine effektive und effiziente Verwertung groß. Zudem können **mangelnde Kapazitäten** (z.B. fehlende personelle oder organisatorische Kapazitäten), die vorrangig bei kleineren Kommunen vorliegen dürften, zu einer **Überforderung** führen.

Insgesamt wird eine **mangelnde Transparenz** zur IST-Situation der GS-Verwertung wahrgenommen. Dies ergibt sich aus den Antworten des Fragebogens und aus Eindrücken, die im Rahmen der Arbeit gewonnen werden konnten. Zu einigen Fragen wurden keine oder nicht auswertbare Antworten gegeben.

Unter den Aspekten einer nachhaltigen GS-Verwertungsstrategie bei den kreisangehörigen Kommunen werden im Folgenden Optimierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Schwachstellen dargelegt.

Eine Möglichkeit besteht in der **Kooperation zwischen dem LK und den kreisangehörigen Kommunen** zum Aufbau eines gemeinsamen Stoffstrommanagements. Eine mögliche Ausgestaltung dieser Kooperation könnte folgendermaßen aussehen. Mehrere nahe gelegene kreisangehörige Kommunen können durch einen Zusammenschluss gemeinsam eine zentrale GS-Sammelstelle errichten. An dieser Sammelstelle können sowohl die GS-Mengen von den privaten Haushalten, die im Zuständigkeitsbereich des LK liegen, als auch die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen abgeliefert werden. Während die Errichtung der Sammelstelle und der zur Verfügung gestellte Platz durch die Kommunen getragen wird, erfolgt eine gemeinsame GS-Verwertung - der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen und den privaten Haushalten - durch den LK. Der LK kann die GS-Verwertung für die kreisangehörigen Kommunen übernehmen. Dadurch kann eine Bündelung der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen, die im Vergleich zu den GS-Mengen von den privaten Haushalten sehr gering ausfallen, mit den GS-Mengen von den privaten Haushalten erfolgen. Dadurch können Synergien optimal ausgenutzt werden.

Um die Schwachstellen, die sich aus der Vielzahl verschiedener Akteure ergeben, zu beheben, wird als Maßnahme der **Aufbau einer Netzwerkstruktur** vorgeschlagen. Der Aufbau eines Netzwerks zwischen den kreisangehörigen Kommunen zum Thema GS- bzw. Biomasseverwertung kann eine organisatorische Lösung bilden, um die Komplexität der GS-Thematik bzw. der Biomasse-Thematik besser bewältigen zu können.

Die Initiierung eines Netzwerks kann eine Keimzelle darstellen und zur Netzwerkbildung der Kommunen in anderen Bereichen, z.B. in Bezug auf weitere Biomassepotenziale, beitragen. Letztendlich kann die Netzwerkbildung zur Gründung einer Biomasse-Initiative führen. Hierbei könnten weitere Akteure (z.B. Hochschule und Forschungsinstitutionen und Unternehmen) eingebunden werden. Dies kann als Ausgangspunkt für die Errichtung eines Biomassehofs mit weiteren Biomasseanbietern und -abnehmern im LK dienen.

Der Aufbau eines Netzwerks kann folgende Vorteile bringen:

- Bündelung der Kapazitäten der kreisangehörigen Kommunen
- Koordination der kreisangehörigen Kommunen mit dem Ziel der Transparenzschaffung
- Wissens- und Erfahrungsaustausch und damit die Förderung von Innovationen
- Verbesserte Abstimmung durch Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren
- Schaffung von Synergien und Arbeitsteilung durch das Zusammenwirken bislang voneinander getrennt handelnder Akteure

Der Erfolg eines funktionierenden Netzwerks führt zu einer Effizienz- und Effektivitätssteigerung und damit zu einer Reduzierung des Aufwands und der Kosten [157, 158].

Der Aufbau bzw. die Initiierung eines Netzwerks zwischen den kreisangehörigen Kommunen sollte durch eine zentrale Einrichtung, die den kreisangehörigen Kommunen übergeordnet ist, erfolgen. Hierfür können z.B. der LK oder die VG als zentraler Akteur aktiv werden.

Wenn man sich für die Lösung eines Netzwerkaufbaus der kreisangehörigen Kommunen auf VG-Ebene entscheidet, sollte in regelmäßigen Abständen (z.B. einmal jährlich) ein Treffen und Austausch auf LK-Ebene stattfinden, um den gesamten Prozess der GS-Verwertung im LK transparent zu gestalten.

Der kurzfristig hohe Aufwand für die Initiierung eines Netzwerks kann letztendlich zu einer langfristigen Nachhaltigkeit der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen führen.

Denkbar ist die Errichtung einer internetbasierten Austausch- und Netzwerkplattform für die kreisangehörigen Kommunen. Dadurch können sich die Kommunen zum einen zum Thema GS austauschen und zum anderen können sie untereinander ihre GS-Verwertung organisieren und zusammen kooperieren.

3.3.3 GS-Mengen deren Erfassung und Sammel-/Transportlogistik

Private Haushalte

GS-Mengen und deren Erfassung

Der LK Mainz-Bingen zeichnet sich in Bezug auf die Erfassung des Organikaufkommens (GS und Bioabfall) von den privaten Haushalten als sehr weit entwickelt aus. Dies spiegelt sich am vergleichsweise hohen Organikaufkommen des LK wider

(Kap. 3.2.2). Zudem konnten bei der Ermittlung der IST-Situation zum Erfassungssystem viele positive Merkmale/Gegebenheiten, die bereits im LK vorliegen und für eine „gute“ GS-Erfassung von Bedeutung sind, konstatiert werden (Kap. 3.2.2).

Dennoch bestehen auch im LK Optimierungspotenziale hinsichtlich der erfassten GS-Mengen. Schwachstellen zur derzeitigen Erfassung der GS-Mengen sind in Abb. 3.18 dargestellt.⁷⁶

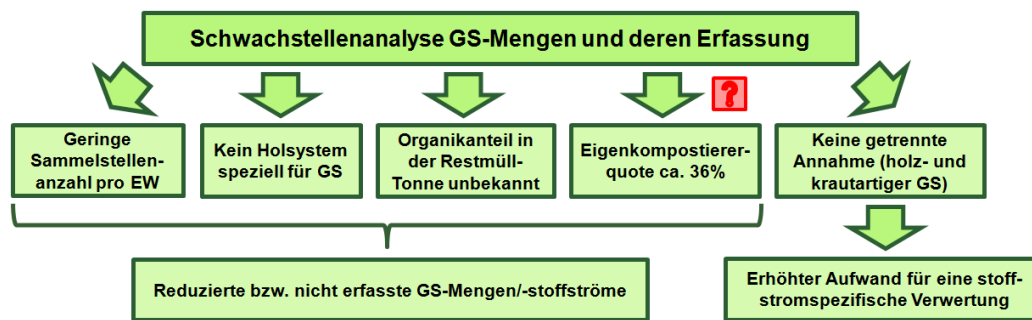


Abbildung 3.18: Schwachstellenanalyse für die GS-Mengen und deren Erfassung von den privaten Haushalten [eigene Darstellung]

Eine wesentliche Schwachstelle, die sich aus mehreren Schwachstellen ergibt, ist die **Erfassung einer reduzierten GS-Menge bzw. die Nicht-Erfassung von GS-Mengen und –stoffströmen**. Eine weitere Schwachstelle besteht darin, dass für eine **stoffstromspezifische Verwertung** (holz- und krautartiger GS) ein **hoher Aufwand** (hinsichtlich der GS-Aufbereitung) erforderlich ist, da **keine getrennte Annahme dieser beiden Fraktionen** erfolgt.

Als mögliche Optimierungsmaßnahme wird aufgrund der Schwachstellenanalyse an erster Stelle die „**Steigerung bzw. Mobilisierung weiterer GS-Mengen/-stoffströme**“ angesehen.⁷⁷ Bei der Steigerung der erfassten GS-Mengen ist darauf zu achten, dass die Qualität der GS-Mengen hinsichtlich deren sehr geringen Störstoffanteils nicht gemindert wird.

⁷⁶Eine konkrete Optimierung und Ausgestaltung des GS-Erfassungssystems kann erst erfolgen, wenn eine GS-Verwertungsstrategie im Kap. 3.3.4 favorisiert worden ist. Dennoch kann unter dem Aspekt einer effizienten GS-Verwertung infolge einer Stoffstromtrennung (kraut- und holzartig) und der Steigerung der erfassten GS-Mengen – sofern dies gewünscht ist und der GS als Rohstoff und Ersatzbrennstoff und nicht als reiner Kostenfaktor anerkannt wird – eine Schwachstellenanalyse des bisher bestehenden Erfassungssystems durchgeführt und Optimierungsvorschläge und –maßnahmen abgeleitet werden.

⁷⁷Hierdurch fallen zwar für den LK – bzw. den einzelnen Bürger – zunächst mehr Kosten für die GS-Verwertung an, die über die Biotonne mitfinanziert werden, allerdings sollte durch die Umorientierung und Neuausrichtung der GS-Verwertung zukünftig ein höherer Nutzen durch die GS-Verwertung für den LK entstehen, in dem die erzeugten Endprodukte (Kompost, Wärme etc.) im LK verwendet werden können.

Für die Mobilisierung weiterer GS-Mengen/-stoffströme sollten folgende Optimierungsmaßnahmen in Erwägung gezogen werden:

- Erhöhung des Angebots eines flächendeckenden Erfassungssystems (Bringsystems) durch die Ausweitung und den Ausbau der Sammelstellen im LK (ggf. in Kooperation mit den kreisangehörigen Kommunen (Kap. 3.3.2))
- Ergänzendes Angebot eines Holsystems zur Steigerung der Erfassung der holzartigen GS-Menge
- Schaffung eines Gesamtüberblicks über die biogenen Reststoffpotenziale durch Verbesserung der Datenlage: Untersuchungen zum GS-Anteil in der Restmüll-Tonne mittels einer Sortieranalyse und eventuell Erschließung von GS-Mengen aus der Restmüll-Tonne durch geeignete Maßnahmen (z.B. Aufklärung der Bevölkerung)
- Miterfassung weiterer GS-Mengen/-stoffströme zum Aufbau eines flächendeckenden Stoffstrommanagements: Überprüfung der Notwendigkeit von kommunalen Brenntagen, Kooperation mit den kreisangehörigen Kommunen
- Sicherstellung einer fachgerechten Eigenkompostierung und Aufstellen von Auflagen für eine sinnvolle Eigenkompostierung (Abgrenzung der Eigenkompostierung von der Mobilisierung weiterer GS-Mengen), Schaffung von Anreizen für die GS-Abgabe statt „Entsorgung“ über die Eigenkompostierung

Eine Möglichkeit zur Mobilisierung weiterer GS-Mengen wird in der **Ausweitung der GS-Erfassung über die Sammelstellen** im LK gesehen. Laut Knappe/Turk [159] ist in städtischen Räumen – wozu der LK zu zählen ist (Kap. 3.1) – eine Sammelstelle pro 10.000 EW für eine hohe Akzeptanz und damit eine hohe Erfassungsmenge erforderlich und als Kenngröße anzusehen. Im LK kommt ca. 1 Sammelstelle auf knapp 17.000 EW (Kap. 3.2.2). Eine Ausweitung der im Moment 12 Sammelstellen auf ca. 20 Sammelstellen kann zur Erreichung der o.g. Kenngröße führen. Da die Errichtung einer Sammelstelle mit hohen Kosten verbunden ist, sollte die Möglichkeit von Kooperationen z.B. mit den kreisangehörigen Kommunen – unter der Prämisse der Übernahme der entsprechenden GS-Mengen durch den LK zur Mitverwertung (Kap. 3.3.2) – in Erwägung gezogen werden.

Im Hinblick auf eine Steigerung der holzartigen GS-Mengen sowie in Bezug auf eine sozial nachhaltige Ausrichtung des Erfassungssystems wird als wesentliche Optimierungsmaßnahme die **Einführung des Angebots eines Holsystems** zur getrennten

Erfassung des GS für bedeutend erachtet.⁷⁸ Laut Kern/Raussen [94] wird durch die Kombination eines Bring- und Holsystems eine bürgernahe und bequeme Erfassung des GS ermöglicht, wodurch Spitzenwerte von über 200 kg GS/EW zu erzielen sind. Laut Rhein-Hunsrück Entsorgung (rhe) [5] ist insbesondere die Menge an holzartigem GS über ein Holsystem steigerbar, so dass mehr GS zur energetischen Verwertung zur Verfügung steht.

In Bezug auf die Zunahme älterer Menschen im LK – infolge des demografischen Wandels (Kap. 3.1) – und im Hinblick auf sozial schwache Personen stellt das Holsystem eine sinnvolle Ergänzung dar. Ein großer Nachteil des Holsystems stellen die zusätzlichen Kosten für den LK bzw. den Bürger dar [160]. Demnach sollte das Holsystem unter ökonomischen und zum Teil ökologischen Gesichtspunkten (denn hierdurch sind zusätzliche Emissionen durch den Transport zu erwarten) auf genau definierte und terminierte Aktionssammlungen, z.B. für Weihnachtsbäume oder für saisonal anfallenden Rebschnitt, beschränkt bleiben.

Um einen Gesamtüberblick über das biogene Reststoffpotenzial im LK zu bekommen, ist eine **Analyse des GS-Anteils in der Restmüll-Tonne** mittels einer Sortieranalyse zu empfehlen. Über die Restmüll-Tonne werden zum Teil bis zu 30 Gew.-% Organikabfälle (Bioabfall und GS) miterfasst (Kap. 3.2.2). Die Abschöpfung dieser GS-Mengen aus der Restmüll-Tonne - durch geeignete Maßnahmen - ist nicht nur aus ökologischen sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll. In der Regel fällt die Restmüllbehandlung deutlich teurer aus als die GS-Behandlung [98]. Zudem ist die Verwertung der GS-Mengen über die Restmüll-Tonne wenig effizient, weil hierbei sowohl kraut- als auch holzartiger GS durch eine Verbrennung im MHKW energetisch genutzt werden. Dies geht mit einem Verlust der stofflichen GS-Potenziale einher. Geeignete Maßnahmen für die Reduzierung des GS-Anteils in der Restmüll-Tonne sind eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit und Aufklärung hinsichtlich einer ordnungsgemäßen Abfallentledigung sowie ggf. finanzielle Anreize für eine verstärkte Entsorgung der GS-Mengen über die Biotonne und die Sammelstellen. Die Ausweitung der Sammelstellen sowie das Angebot eines Holsystems können ebenso zu einer Verringerung des GS-Anteils in der Restmüll-Tonne positiv beitragen.

⁷⁸Der GS wird hierbei z.B. in festgelegten Abfuhrintervallen (z.B. einmal jährlich zur Einsammlung von Weihnachtsbäumen) direkt vor der Haustür bzw. am angeschlossenen Grundstück privater Haushalte vom LK oder dem beauftragten Drittunternehmen abgeholt. Hierbei sollten gewisse Regeln, z.B. bezüglich der Menge, Größe, Art und Beschaffenheit des GS eingehalten und vom LK als öR vorgegeben werden.[35]

Eine weitere Option zur Steigerung der erfassten GS-Mengen liegt darin, dass der LK **weitere GS-Mengen/-stoffströme** – außerhalb seines rechtlichen Zuständigkeitsbereichs – **in Form einer Kooperation mit erfasst und verwertet** (Kap. 3.2.2). Bei dieser Kooperation können z.B. die GS-Mengen der kreisangehörigen Kommunen auf der Grundlage eines flächendeckenden Stoffstrommanagements mit erfasst und verwertet werden. Ausgehend von den in Kap. 3.2.2 genannten GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen könnte der LK dadurch seine erfassten GS-Mengen um mehr als 8% (von 26.300 Mg/a auf ca. 28.400 Mg/a) - bzw. 11% (von 7.890 Mg/a auf ca. 8.840 Mg/a) speziell für den holzartigen GS - steigern. Denkbar ist die Erfassung weiterer GS-Mengen, z.B. von Landschaftspflegematerialien, die bei der Pflege von Naturschutzflächen anfallen. Diese werden bei einer Verwertung über eine Vergärung sogar mit einem höheren Einspeisetarif nach EEG vergütet (Kap. 2.1.2) als die GS-Stoffströme, die in der Arbeit betrachtet werden. Insbesondere ist der Rebschnitt von den vielen Weinanbauflächen im LK (Kap. 3.1) als GS-Stoffstrom mit zu erfassen. Die genannten GS-Mengen und -stoffströme könnten über die bestehenden Sammelstellen im LK miterfasst werden, wobei gewerbliche und öffentliche Anliefer (z.B. Kommunen) für die Abgabe ihrer GS-Mengen eine geringe Gebühr bezahlen müssten.

Im Hinblick auf eine Erhöhung der erfassten GS-Menge, ist die **Landesverordnung über die Verbrennung pflanzlicher Abfälle außerhalb von Abfallbeseitigungsanlagen** [161] **kritisch zu hinterfragen und zu überdenken**. In dieser Verordnung wird die Verbrennung von GS auf dem eigenen Grundstück unter bestimmten Voraussetzungen rechtmäßig gestattet und zugelassen. Hierbei wird vorwiegend holzartiger GS, z.B. der auf landwirtschaftlichen Flächen anfallende Rebschnitt, direkt an Ort und Stelle verbrannt, ohne dessen energetisches Potenzial auszuschöpfen. Darüber hinaus ist die Verbrennung auf dem Acker unter den Aspekten des Klimaschutzes und der Luftreinhaltung negativ zu bewerten. Die Verordnung sollte demnach überdacht und hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit überprüft werden. Diese Überprüfung muss von Seiten des Landes RLP erfolgen.⁷⁹

Sofern die Verbrennung auf dem Acker rechtlich nicht mehr zulässig ist, sollten attraktive und kostengünstige Erfassungssysteme für Landwirte angeboten werden. Dies könnte durch die Ausweitung der Sammelstellen und die Annahme von gewerblichem GS gegen eine geringe Gebühr erfolgen.

⁷⁹Besonders im Frühjahr kann aus eigenen Erfahrungen davon berichtet werden, dass viele holzartige GS-Mengen auf landwirtschaftlichen Flächen zu sehen sind. Der GS wird nach einer bestimmten Lagerungszeit auf der Fläche verbrannt.

Grenzen der Steigerung bzw. Mobilisierung weiterer – bisher nicht erfasster – GS-Mengen

Der Mobilisierung weiterer GS-Mengen sind unter ökologischen und z.T. ökonomischen Gesichtspunkten Grenzen gesetzt. Während sich ökonomische Grenzen meistens von alleine ergeben und durch die direkten Kosten gut zu überschauen sind, machen sich ökologische Grenzen meistens erst später bemerkbar. Deshalb liegt der Schwerpunkt auf den ökologischen Grenzen der Mobilisierung von GS-Mengen.

Einer Steigerung der bisher erfassten GS-Mengen mit dem Ziel einer möglichst hohen erfassten GS-Menge zur hochwertigen und effizienten Verwertung steht die Eigenkompostierung negativ entgegen. Die Eigenkompostierung zeichnet sich unter ökonomischen Gesichtspunkten als vorteilhaft aus. Erstens können die Bürger direkte Kostenersparnisse durch einen Gebührenerlass erhalten (Kap. 3.2.2) und zweitens reduzieren sich die Kosten für den LK – und damit indirekt für die Bürger – durch die Einsparung des Sammel-/Transportaufwandes und der Verwertung dieser GS-Mengen in Anlagen.

In Bezug auf die ökologischen Vorteile der Eigenkompostierung – wie vorrangig die Stoffkreislaufschließung durch die Nährstoffzufuhr über den erzeugten Kompost im eigenen Garten – gibt es in letzter Zeit vermehrt Diskussionen und kritische Äußerungen, die die ökologischen Vorteile in Frage stellen. Beispielsweise wird die fehlende Prozesssteuerung und damit die mangelnde Kontrolle des Kompostierungsprozesses, die bestenfalls über visuelle und olfaktorische Parameter erfolgt, als kritisch angesehen. Laut Schmidt [[162] zitiert nach [107]] besteht durch die Überdüngung der Pflanzen im eigenen Garten die Möglichkeit einer Nährstoffauswaschung in den Boden und ins Grundwasser bzw. die Bildung von Emissionen, die in die Atmosphäre abgegeben werden und zur Umwelt- und Klimabelastung führen können. So kommt Schmidt [[162] zitiert nach [107]] zu dem Schluss, dass eine Eigenkompostierung nur ökologische Vorteile erbringt, wenn kein getrenntes GS-Erfassungssystem gegeben ist. Analysen zu den entstehenden Emissionsarten und -mengen sowie zur Nährstoffauswaschung infolge einer Eigenkompostierung sind nicht gegeben [160], so dass keine abschließende Aussage zum ökologischen Vor- oder Nachteil der Eigenkompostierung möglich ist.⁸⁰

⁸⁰Ob hierzu allgemein gültige Aussagen über Analysen zu ermitteln sind, ist zweifelhaft. Je nach Kompostierungsbedingungen, die von vielfältigen Faktoren (z.B. regelmäßiges Lüften und Umsetzen, Standort im Garten usw.) abhängen, können hierbei sehr große Schwankungen hinsichtlich der Emissionen und der Nährstoffauswaschung gegeben sein.

Viele Literaturstellen [48, 159, 160] kommen zu dem Ergebnis, dass die Eigenkompostierung von GS – im Vergleich zum Bioabfall – aus ökologischer Sicht überwiegend positiv zu bewerten ist. Diese Bewertung - und laut Knappe/Turk [159] sogar die ökologische Gleichrangigkeit der Eigenkompostierung mit einer optimierten Verwertung in Behandlungsanlagen - ist jedoch an gewisse Bedingungen geknüpft [107, 159, 160]:

- Gute fachliche Praxis und fachgerechte Eigenkompostierung
- Beschränkung auf ein ökologisch sinnvolles Maß
- Anpassung/Orientierung der Kompostmenge an den Nährstoffbedarf der einzelnen Gärten
- Nutzung des Komposts als Torf- und Düngemittlersatz

Die genannten Bedingungen für eine ökologisch sinnvolle Eigenkompostierung werden in den zitierten Literaturstellen nicht näher ausgeführt. Demnach wird die Frage, wie diese Bedingungen sinnvoll und unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zu erfüllen sind, nicht beantwortet. Sofern z.B. die Eigenkompostierung und die Erzeugung einer entsprechenden Kompostmenge an den Nährstoffbedarf des eigenen Gartens angepasst werden soll, müssen hierfür Untersuchungen zum Nährstoffgehalt im Garten vor und nach der Zuführung von Kompost durchgeführt werden. Dies wird in der Praxis aufgrund der hohen Kosten nicht durchführbar und zudem aufgrund des mangelnden Fachpersonals nicht kontrollierbar sein.

Wichtig in Bezug auf eine ökologisch sinnvolle Eigenkompostierung ist die regelmäßige Aufklärung/Beratung und „Betreuung“ der Eigenkompostierer im LK. Dies geschieht bereits im LK Mainz-Bingen zum Teil schon über das „Dreckblättchen“. Dieses erscheint halbjährlich und wird an alle privaten Haushalte verschickt. In diesem Heftchen werden die Bürger u.a. über abfallwirtschaftliche Themen informiert. Diese Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit könnte intensiviert werden. Die Aufklärung über die potenziellen Risiken einer unsachgemäßen Eigenkompostierung – z.B. das häufig viele Gärten überdüngt sind und dadurch Nährstoffauswaschungen möglich sind, die das Grundwasser und den Boden belasten – sollten hier Erwähnung finden. Zudem tragen die diffusen Methanemissionen bei einer unsachgemäßen Eigenkompostierung kontraproduktiv zum Klimaschutz bei.⁸¹

Inwiefern der Rabatt von 20% auf die Biotonne im LK Mainz-Bingen eine Eigenkompostierung im ökologisch sinnvollen Maß steuert oder nicht, kann nicht beurteilt werden.⁸²

⁸¹Vielfältige und gute Informationen, die für eine Intensivierung der Aufklärungsarbeit zur Eigenkompostierung Verwendung finden können, sind in LfU [163] gegeben.

⁸²In anderen LK – beispielsweise im LK Bad-Dürkheim [164] - gibt es z.B. die Möglichkeit bei einer Eigenkompostierung die Befreiung von der Biotonne zu beantragen.

Um die Eigenkompostierung einzuschränken und die mobilisierbaren und erfassten GS-Mengen zu steigern, kann der Antrag der Anerkennung als Eigenkompostierer zukünftig an verschiedene Auflagen geknüpft werden. Es könnte ein Nachweis über eine ausreichende Gartenfläche für den Einsatz des eigenen Komposts [153] verlangt werden.

Der Steigerung bisher nicht-erfasster GS-Mengen steht ein weiterer ökologischer Punkt kritisch entgegen. Das vor Ort Belassen – vor allem von holzartigem GS – zielt in der Regel nicht auf eine Nutzung der GS-Potenziale ab, kann aber einen Beitrag zum Artenschutz leisten. Holzartiger GS kann als Totholz dienen und einen wertvollen Lebensraum für eine Vielzahl von verschiedenen Tier- und Pflanzenarten bilden [160, 165]. Demnach sollte ein Teil des GS für eine nützlingsfreundliche und naturnahe Gestaltung des Gartens und unter dem Aspekt des Artenschutzes im Garten verbleiben [160].⁸³

Nach eigener Einschätzung ist es schwierig, den optimalen Weg zwischen einem ökologisch sinnvollen Maß der Eigenkompostierung, dem Belassen von GS als Totholz im Garten für den Artenschutz und einer möglichst effizienten und hohen Erfassungsmenge von GS zur hochwertigen Verwertung in Anlagen zu finden und zu steuern.

Als weitere Optimierungsmaßnahme im Hinblick auf eine effiziente und nachhaltige GS-Verwertung wird die **getrennte Annahme der beiden GS-Fractionen (holz- und krautartiger GS) an den Sammelstellen** vorgeschlagen (Kap. 4). Alternativ besteht die Möglichkeit, den krautartigen GS zukünftig nur über die Bio-tonne mit zu entsorgen und dieser der Trockenvergärungsstufe – wofür der krautartige GS geeignet ist (Anhang A.6.3) – am Humuswerk in Essenheim gemeinsam mit dem Bioabfall zuzuführen (Kap. 4).

Abschließend zu den aufgezeigten Optimierungspotenzialen ist festzuhalten, dass das bisher bestehende GS-Erfassungssystem bereits lange etabliert ist und die Bürger sich gewissermaßen daran gewöhnt haben. Die Optimierung des Erfassungssystems und die damit verbundenen Veränderungen erfordern eine intensive Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit. Der Prozess der GS-Verwertung muss transparent und für den Bürger verständlich gestaltet werden.

⁸³Im Rahmen der Auszeichnung von privaten Haushalten mit der „Grünen Hausnummer“ im LK Mainz-Bingen werden auch Punkte für die ökologische und naturnahe Gestaltung des Gartens vergeben, worunter das Kriterium, Belassen von Totholz im Garten positiv bewertet wird. Insoweit sollte die Mobilisierung von bisher nicht-erfassten GS-Mengen unter ökologischen Aspekten (z.B. aus Gründen des Artenschutzes) ihre Grenzen finden.

Kreisangehörige Kommunen

GS-Mengen/-stoffströme und deren Erfassung

Bei den kreisangehörigen Kommunen wurden folgende Schwachstellen identifiziert (Abb. 3.19). Optimierungsmaßnahmen zur Organisation der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen sind in Kap. 3.3.2 vorgeschlagen worden. Deshalb erfolgt die Beschränkung auf weitere Optimierungspotenziale.

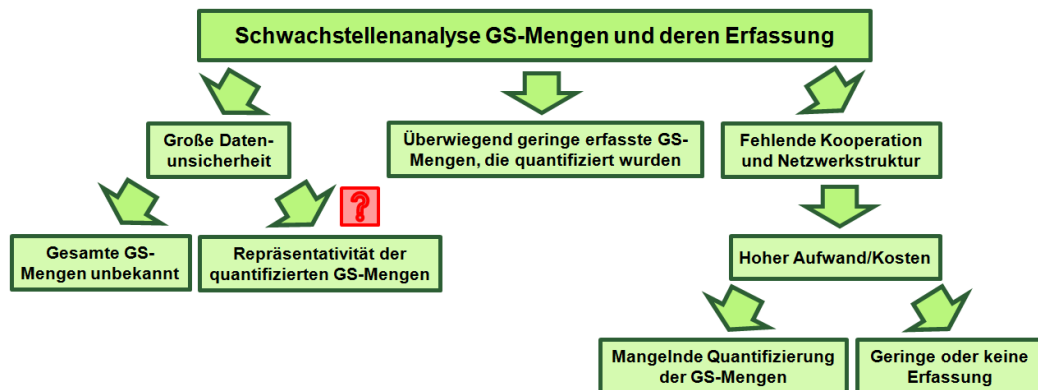


Abbildung 3.19: Schwachstellenanalyse für die GS-Mengen/-stoffströme und deren Erfassung von den kreisangehörigen Kommunen [eigene Darstellung]

Über den Fragebogen konnten zum Teil – bei 26 von 74 Kommunen – die GS-Mengen ermittelt werden. Die angegebenen Mengen beruhen allerdings auf einer **großen Datenunsicherheit** (Kap. 3.2.2). Zudem ist die **Repräsentativität der quantifizierten GS-Mengen** erschwert, da der GS über Jahre hinweg großen quantitativen - und qualitativen - Schwankungen unterliegen kann. Die **insgesamt anfallende GS-Menge** bei den kreisangehörigen Kommunen ist zudem **unbekannt**.

Die kreisangehörigen Kommunen, die ihre GS-Mengen quantifizierten, haben nur **vergleichsweise geringe GS-Mengen erfasst und gemeldet** (Kap. 3.2.2). Wie bereits bei der Organisation und Zuständigkeit führen **fehlende Kooperationen und fehlende Netzwerkstrukturen** zwischen den einzelnen Kommunen zu einem **höherem Aufwand und höheren Kosten**.

Viele der aufgezeigten Schwachstellen können durch den **Zusammenschluss von mehreren Kommunen und/oder durch eine Kooperation mit dem LK** bereits reduziert werden (Kap. 3.3.2).⁸⁴ Insgesamt gaben in diesem Zusammenhang

⁸⁴Es besteht auch die Option, dass die Kommunen zusammen mit anderen kreisangehörigen Kommunen von Nachbarlandkreisen – z.B. dem LK Bad-Kreuznach – eine Netzwerkstruktur zur gemeinsamen Verwertung ihrer GS-Mengen aufbauen. Aus eigener Einschätzung ist diese Option schwer umsetzbar. Zum einen steigen dadurch die Transportwege, –kosten sowie –emissionen stark an. Zum anderen besteht die Frage, in welchem LK der GS verwertet wird und damit dem einen oder dem anderen LK zugutekommt.

knapp 70% von den 33 Kommunen, die ihren GS sammeln und erfassen, über den Fragebogen an, dass sie zukünftig bereit sind, ihre GS-Mengen für eine andere Nutzung an Dritte (z.B. an den LK) abzugeben.⁸⁵

Die geringen erfassten GS-Mengen, die quantifiziert wurden, können durch die Einbeziehung weiterer GS-Materialien⁸⁶, z.B. Uferbegleitgrün oder Landschaftspflegematerialien, gesteigert werden.⁸⁷ Insgesamt sehen ca. 47% der Kommunen von den 47 Kommunen, die den Fragebogen beantwortet haben, die Möglichkeit, ihre GS-Mengen zu steigern oder überhaupt zu erfassen. 43% sehen diese Möglichkeit nicht (ca. 10% Enthaltungen).

Sammel- und Transportlogistik für die GS-Mengen von den privaten Haushalten und von den kreisangehörigen Kommunen

Die Sammel- und Transportlogistik kann einen potenziellen Optimierungsansatz für eine nachhaltige GS-Verwertungsstrategie darstellen [107].⁸⁸ Verschiedene Studien [162, 167] belegen laut Gallenkemper et al. [107], dass die Beiträge für die Sammlung und den Transport zum gesamten System der Abfallverwertung nur einen geringen Anteil ausmachen und kaum ins Gewicht fallen. Schätzungen der Europäischen Umweltagentur (2008) gehen davon aus, dass weniger als 5% der direkten THG-Emissionen des Abfallsektors der Sammlung und dem Transport zu zuschreiben sind [107].

Hinsichtlich einer Steigerung des Klima- und Ressourcenschutzes im Bereich der Sammel- und Transportlogistik ist das Optimierungspotenzial im Vergleich zu anderen Maßnahmen, z.B. im Bereich der Verwertung, somit eher gering. Verstärkte Anreize zu einer optimierten Sammel- und Transportlogistik werden jedoch zukünftig durch die steigenden Energiepreise gegeben sein.[107]

Sowohl für die Sammel- und Transportlogistik für die GS-Mengen von den privaten Haushalten als auch für die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen

⁸⁵Ca. 9% der Kommunen machten zu dieser Frage keine Angabe und nur ca. 21% der Kommunen sind zu einer Abgabe ihrer GS-Mengen nicht bereit.

⁸⁶Welche GS-Mengen dadurch miterfasst werden können, könnte in einer separaten Studie zu den Biomassepotenzialen im LK genauer analysiert werden.

⁸⁷Die kreisangehörigen Kommunen sind lediglich für die Unterhaltung bzw. Pflege der Gewässer 3. Ordnung verantwortlich und zuständig. Da die Pflege mit hohen Kosten verbunden ist, werden Maßnahmen nur selten durchgeführt. Deshalb ist nur mit einem geringen kurzfristig verfügbaren GS-Potenzial zu rechnen.[50]

⁸⁸Im Sinne von nachhaltigen Logistikaktivitäten wird in letzter Zeit verstärkt von dem Begriff „Grüner Logistik“ bzw. „Green logistics“ gesprochen [166]. Es werden ökonomische und ökologische Kriterien (THG-, Feinstaub- und Lärmemissionen etc.) mit einbezogen und betrachtet, um Logistiksysteme umweltgerechter („grüner“) zu gestalten [166].

konnten im Rahmen der Arbeit keine genaueren Informationen ermittelt werden. Eine Schwachstellenanalyse ist daher nicht möglich. Demnach erfolgt eine allgemeine Betrachtung und das Aufzeigen von möglichen Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Sammel- und Transportlogistik. Diese sind in erster Linie für die Sammel- und Transportlogistik der GS-Mengen von den privaten Haushalten relevant.

Folgende Optimierungsmaßnahmen sind für die Sammel- und Transportlogistik im LK Mainz-Bingen zu prüfen:

- Reduzierung der Transportwege durch eine verstärkte regionale Verwertung des GS im LK
- Optimale Tourenplanung eventuell EDV-gestützt
- Einsatz von Sammel- und Transportfahrzeugen nach dem Stand der Technik
- Schulung der Fahrer für eine nachhaltigere Fahrweise
- Anlieferungs Aufwand der Bürger durch die Ausweitung der Sammelstellen verringern
- Vermeidung des Transports von unzerkleinertem GS-Material

Detaillierte Ausführungen zu den aufgeführten Optimierungsmaßnahmen befinden sich im Anhang A.12.

3.3.4 Verwertungsverfahren und Favorisierung eines Verfahrens

Private Haushalte

GS-Verwertung

Für die derzeitige GS-Verwertung der erfassten GS-Mengen von den privaten Haushalten ist in Abb. 3.20 eine Schwachstellenanalyse dargestellt. Aufgrund der unbekannten GS-Verwertungssituation können die Schwachstellen nur unter Vorbehalt abgeleitet werden und sind in Abb. 3.20 deshalb mit einem Fragezeichen versehen.⁸⁹

Die zentrale Schwachstelle der bisherigen Verwertungssituation liegt darin, dass die **Verwertungswege und -standorte** für ca. 2/3 der erfassten GS-Mengen von den privaten Haushalten im LK bzw. beim AWB Mainz-Bingen **unbekannt** sind. Daraus ergeben sich weitere mögliche Schwachstellen, z.B. eine **Verwertung außerhalb des LK Mainz-Bingen** und damit einhergehend eine **fehlende regionale Wertschöpfung**. Des Weiteren besteht **Unklarheit**, ob die GS-Mengen einer **stoffspezifischen Verwertung** entsprechend ihres stofflichen und energetischen

⁸⁹Die Schwachstellenanalyse in Abb. 3.20 bleibt auf die Verwertungssituation ab 2012 (Kap. 3.2.3) beschränkt.

Potentials zugeführt werden. Insgesamt lässt sich **keine Aussage zum Klima- und Ressourcenschutzeffekt** der bisherigen Verwertungssituation im LK treffen.

Bei der Verwertung eines Teilstroms der erfassten GS-Mengen von ca. 7.000 Mg/a (Kap. 3.2.3) zur Nachrotte der Gärreste aus Bioabfällen zur Komposterzeugung ist im Hinblick auf einen möglichst hohen Klimaschutzeffekt und weiterer ökologischer Aspekte sowie einer Verbesserung der Erlössituation eine hohe Torfersatzquote anzustreben [153]. Die **voraussichtliche bzw. angestrebte Torfersatzquote** durch den erzeugten Kompost konnte **nicht ermittelt werden**.

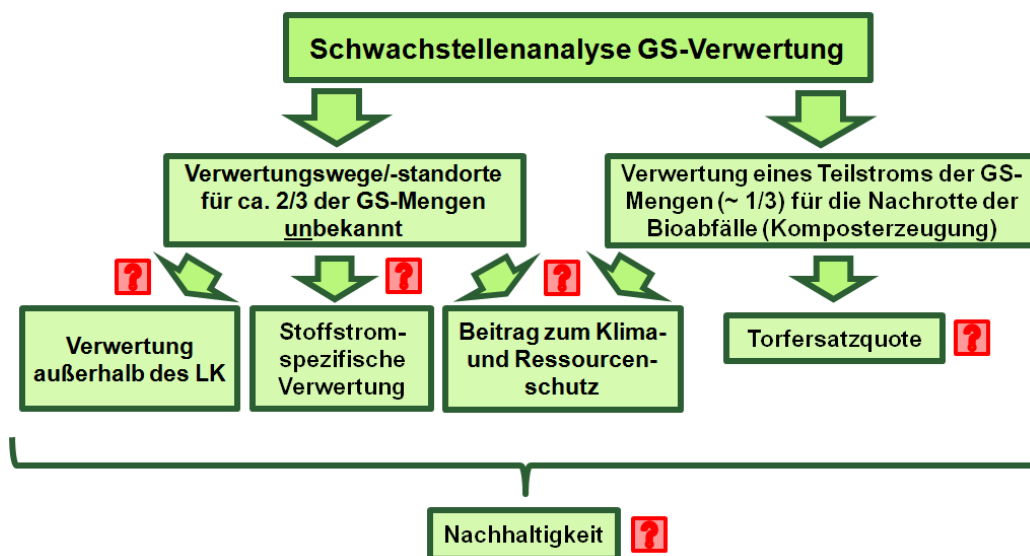


Abbildung 3.20: Schwachstellenanalyse für die GS-Verwertung der erfassten GS-Mengen von den privaten Haushalten [eigene Darstellung]

Zunächst erfolgt eine Schwachstellenanalyse der GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen und anschließend werden Optimierungsmaßnahmen für die GS-Verwertung der beiden GS-Stoffströme von den privaten Haushalten und den kreisangehörigen Kommunen gemeinsam betrachtet.⁹⁰

Kreisangehörige Kommunen

GS-Verwertung

Aufgrund der z.T. fehlenden Angaben zur GS-Verwertung bei den kreisangehörigen Kommunen konnten in der Arbeit die folgenden Schwachstellen identifiziert werden (Abb. 3.21).

⁹⁰Eine gemeinsame Betrachtung der gesamten GS-Mengen - inklusive der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen - auf LK-Ebene wird für sinnvoll erachtet. Die alleinige Verwertung der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen wird aufgrund der über den Fragebogen quantifizierten vergleichsweise geringen Mengen nicht empfohlen, selbst durch einen Zusammenschluss der Kommunen. Zwar ist die insgesamt ermittelte holzartige GS-Menge von ca. 950 Mg/a (Kap. 3.2.2) gerade so ausreichend, um die Wirtschaftlichkeit eines Heizwerkes in der Größenordnung von ca. 500 kW bei Betriebsstunden von ca. 4.500 h/a sicherzustellen, aber dies wird aufgrund des verteilten Anfalls der holzartigen GS-Mengen im LK als nicht rentabel und sinnvoll angesehen. Die gemeinsame Erfassung und Verwertung dieser GS-Mengen mit den GS-Mengen von den privaten Haushalten wird in der Arbeit präferiert.

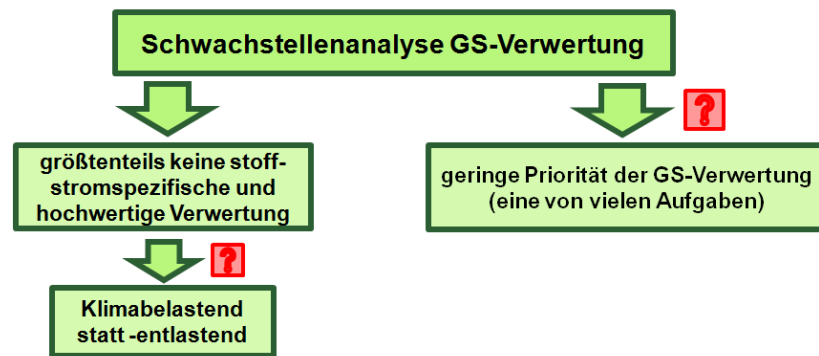


Abbildung 3.21: Schwachstellenanalyse für die GS-Verwertung der erfassten GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen [eigene Darstellung]

Als wesentliche Schwachstelle wird die **größtenteils nicht hochwertige und nicht an den stoffstromspezifischen Eigenschaften ausgerichtete Verwertung** angesehen. Aus den Antworten des Fragebogens ist z.T. nicht klar erkennbar, ob eine **Verwertung** oder eine **Beseitigung** des GS erfolgt.

Aus eigener Einschätzung ist die **geringe Priorität der GS-Verwertung** im Vergleich zu anderen alltäglichen Aufgaben der kreisangehörigen Kommunen eine mögliche Schwachstelle. Diese ist zu relativieren, denn über den Fragebogen wurde die Bewertung der Wichtigkeit und Sinnhaftigkeit der GS-Verwertung abgefragt.⁹¹ Über 75% der Kommunen, die geantwortet haben, finden das Thema „GS-Verwertung“ wichtig bis sehr wichtig. Dies zeigt, dass ein großes Interesse an der GS-Verwertung besteht. Bei der Frage zur Umsetzung der GS-Verwertung gaben vereinzelt Kommunen an, dass eine Unterstützung und Organisation durch den LK erfolgen sollte.

Private Haushalte und kreisangehörige Kommunen

GS-Verwertung

Unter Beachtung der in Kap. 3.3.1 aufgestellten Anforderungen an und Zielsetzungen für die Verwertungsstrategie ergeben sich folgende Optimierungspotenziale für die GS-Verwertung im LK Mainz-Bingen. Damit diese einen möglichst hohen Beitrag zum Klimaschutz erbringen und dabei der stoffliche Ressourcenschutz nicht missachtet wird, wird die **Kombination von stofflichen und energetischen Verwertungsverfahren präferiert**.⁹² Sowohl die stofflichen Verwertungsverfahren (z.B. Kompostierung mit hohem Torfersatz) als auch die energetischen Verfahren können einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Daneben tragen stoffliche Verfahren zusätzlich zur stofflichen Ressourcenschonung bei.

⁹¹Die Frage spiegelt zwar nicht direkt die Priorität der GS-Verwertung wider und steht nicht im Kontext mit anderen Aufgaben der kreisangehörigen Kommunen, wird aber an dieser Stelle für erwähnenswert erachtet.

⁹²Diese Entscheidung ergibt sich daraus, dass sich jedes Verfahren durch Vor- und Nachteile auszeichnet. Eine Kombination von mehreren Verfahren hat den Vorteil, dass Nachteile des einen Verfahrens durch die Vorteile des anderen Verfahrens kompensiert werden können.

In vielen Literaturstellen [29, 33, 48, 54, 75, 107, 168, 169] wird für die GS-Verwertung für eine Kombination aus stofflichen und energetischen Verfahren plädiert. Dabei steht bei den stofflichen Verfahren aus Klima- und Ressourcenschutzgesichtspunkten ein möglichst hoher Torfersatz im Fokus.⁹³

Um ein geeignetes stofflich-energetisches Verwertungskonzept unter Berücksichtigung der energetischen und stofflichen GS-Potenziale abzuleiten und diese Potenziale möglichst effizient und vollständig auszunutzen, ist die **Stoffstromtrennung durch ein geeignetes Stoffstrommanagement** erforderlich [48]. Dadurch kann eine Stoffstromlenkung des GS in differenzierte Verwertungsverfahren gewährleistet werden.⁹⁴ Einen wichtigen Beitrag zur Stoffstromtrennung kann eine getrennte Erfassung der beiden Fraktionen (Kap. 3.3.3) leisten.

Gleichzeitig sollte in Verbindung mit einer optimierten GS-Verwertung laut Kern et al. [48] die **Erfassungsmenge gesteigert werden**.⁹⁵ Die Erreichung einer optimierten GS-Verwertung gelingt umso besser, je höher die quantitative Erfassungsmenge ist und je gezielter diese Mengen zu den jeweils effizientesten Verwertungsverfahren gelenkt werden können.

Im Hinblick auf die genannten Optimierungspotenziale und unter Beachtung von regionalen Gegebenheiten im LK Mainz-Bingen sowie der Einschätzung der Verwertungsverfahren in Kap. 2.2 werden zwei Verwertungskonzepte (Abb. 3.22) vorgeschlagen. Diese differieren nur hinsichtlich der zugrunde gelegten GS-Mengen (Tab. 3.4). Innerhalb der Verwertungskonzepte werden bei der Verbrennung zwei Optionen betrachtet (Abb. 3.22). Bei der 1.Option wird der GS in einem Heizwerk bzw. mehreren Heizwerken (HW) zur reinen Wärmeerzeugung eingesetzt. Bei der 2.Option kommt der GS in einem ORC-Heizkraftwerk (ORC-HKW) zur Generierung von Strom und Wärme zum Einsatz.

⁹³Es ist anzumerken, dass die Verwertungskonzepte nicht nur unter dem Aspekt eines möglichst hohen Klimaschutzeffektes ausgewählt wurden, sondern hierbei auch der Ressourcenschutz und ökonomische sowie technische Aspekte berücksichtigt wurden (Kap. 2.2).

⁹⁴Insbesondere die EEG-Vergütung für die Stromerzeugung aus Biomasse (GS) lenkt den Fokus verstärkt auf energetische Verwertungsverfahren. Dies kann bei Überlastung dieses Verwertungsweges zu Lasten der stofflichen Verwertungsverfahren gehen. Deshalb ist eine adäquate Stoffstromlenkung sowohl für energetische als auch stoffliche Verfahren notwendig.

⁹⁵Mögliche Maßnahmen zur Steigerung der erfassten GS-Mengen im LK Mainz-Bingen sind in Kap. 3.3.3 dargelegt.

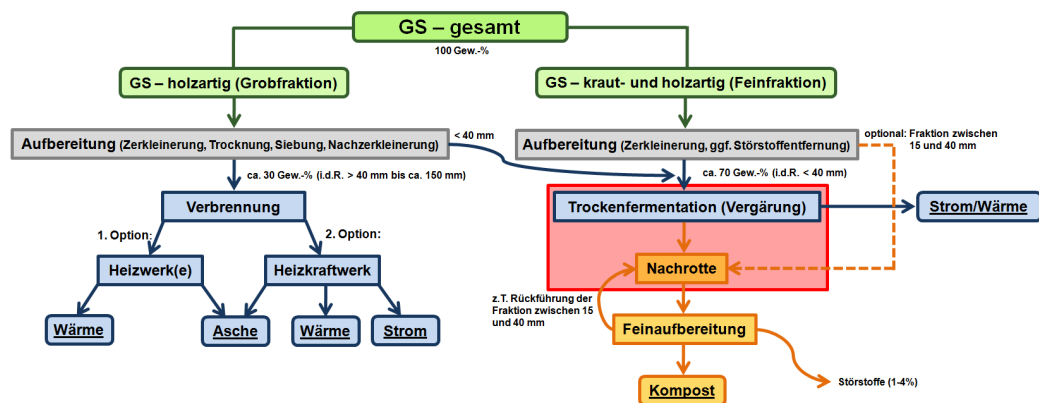


Abbildung 3.22: Optimiertes Verwertungskonzept für den LK Mainz-Bingen [eigene Darstellung]

Beim 1. Verwertungskonzept werden die über den LK Mainz-Bingen (AWB) erfassten GS-Mengen von insgesamt 26.300 Mg/a (Kap. 3.2.2) verwendet. Dies stellt die bestehende Situation dar. Beim 2. Verwertungskonzept wird davon ausgegangen, dass die erfassten GS-Mengen durch geeignete Maßnahmen (Kap. 3.3.3) gesteigert werden können und damit die Erfassungsquote erhöht werden kann. Durch die möglichen Maßnahmen zur Steigerung der erfassten GS-Mengen (Kap. 3.3.3) und anhand von Literaturquellen wird eine erhöhte Erfassungsquote von ca. 30 Gew.-% im LK Mainz-Bingen für möglich erachtet und im 2. Verwertungskonzept unterstellt.⁹⁶ Durch die Miterfassung der GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen kann eine Steigerung der erfassten GS-Mengen um ca. 8 Gew.-% bzw. beim holzartigen GS um ca. 11 Gew.-% erreicht werden (Kap. 3.3.3).

Tabelle 3.4: Verwertungskonzepte und deren GS-Mengen für die optimierte Verwertung von GS im LK Mainz-Bingen

Verwertungsverfahren	1. Verwertungskonzept	2. Verwertungskonzept
Verbrennung des holzartigen GS (30 Gew.-%)*	7.890 Mg GS (FS)/a	10.257 Mg GS (FS)/a
Vergärung/Kompostierung (V/K) des kraut- und z.T. holzartigen GS (70 Gew.-%)	18.410 Mg GS (FS)/a	23.933 Mg GS (FS)/a

* ohne Berücksichtigung der Massenverluste des holzartigen GS durch die Trocknung (Lagerung)

Für die **Verwertung des kraut- und holzartigen GS (Feinfraktion, i.d.R. < 40 mm [8])** wird die derzeit im LK Mainz-Bingen **im Bau befindliche Trockenvergärungsanlage mit anschließender Kompostierung (Nachrotte) des Gärrestes** zur Erzeugung von Fertigkompost **mit einer möglichst hohen Torfersatzquote präferiert**.

⁹⁶Kranert et al. [29] geht vom Ansatz einer erhöhten Erfassungsquote für GS bundesweit von ca. 50% aus. Diese Größenordnung scheint realistisch zu sein, sofern durch die Erfassung wirtschaftliche und ökologische Vorteile erzielt werden können [29].

Es wird aufgrund der saisonalen Schwankungen der Bioabfallmengen von einer (teilweise) freien Kapazität der Anlage zur Verwertung der GS-Feinfraktion ausgegangen. Hieraus ergibt sich eine Synergie zwischen der Verwertung der GS-Feinfraktion und dem Bioabfall.

Bisher ist vorgesehen, dass ca. 7.000 Mg GS/a der Nachrotte zugeführt werden (Kap. 3.2.3). Da allerdings insbesondere der krautartige GS (< 40 mm) einen guten Biogasertag erzielen kann (Kap. 2.1.3), sollte die Feinfraktion in die Vergärungsstufe eingebracht werden. In der Arbeit wird unterstellt, dass die Feinfraktion nach der Vergärung noch ausreichend Strukturmaterial enthält, um die Kompostierung des Gärrestes ökologisch sinnvoll durchführen zu können.⁹⁷

Zur optimierten Verwertung muss konstatiert werden, dass die beiden Verwertungsverfahren - Verbrennung und Vergärung/Kompostierung (V/K) - aufgrund der schwankenden GS-Zusammensetzung dynamischen Veränderungen unterliegen. Beide Verwertungsverfahren sollten möglichst effizient ausgeschöpft und aufeinander abgestimmt werden und sich gegenseitig ergänzen, ohne das andere Verwertungsverfahren negativ zu tangieren. Deshalb ist insbesondere die holzartige GS-Menge zur energetischen Verwertung durch eine entsprechende Siebschnittanpassung flexibel zu halten.

Ökobilanzielle Betrachtung der Verwertungskonzepte

Ziel und Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsschwerpunkt bezüglich der zwei Verwertungskonzepte liegt auf ihren Auswirkungen hinsichtlich des Klimaschutzeffekts.⁹⁸ Zur Untersuchung des Klimaschutzeffekts (Wirkungskategorie) werden die CO₂-Äquivalente als Wirkungsinikator verwendet. Die Klimaschutzeffekte werden in CO₂-Äquivalenten angegeben. Ziel dieser Untersuchung ist, eine Aussage hinsichtlich der Auswirkungen des Klimaschutzeffektes der beiden Verwertungskonzepte zu treffen.

⁹⁷In der Praxis kann ein zusätzlicher Anteil des holzartigen GS (> 40 mm, Grobfraktion) für die Nachrotte erforderlich sein, damit ausreichend Strukturmaterial gegeben ist. Nach der Nachrotte kann dieser holzartige GS durch die vorgesehene Absiebung bei 40 mm (Kap. 3.2.3) wieder ausgeschleust und energetisch verwertet werden.

Alternativ kann auch die Feinfraktion nochmals durch eine Siebung separiert werden und nur die Feinstfraktion (< 15 mm, vor allem krautartiger GS) der Vergärung und die Fraktion (zwischen 15 und 40 mm, kraut- und holzartiger GS) erst der Nachrotte zugeführt werden. Aufgrund fehlender Praxiserfahrung kann keine Abschätzung der Mengen der beiden Fraktionen - Feinstfraktion < 15 mm und Fraktion zwischen 15 und 40 mm - erfolgen. Deshalb wurde in der Arbeit diese Alternative nicht weiter verfolgt.

⁹⁸Diese Schwerpunktsetzung beruht darauf, dass die GS-Verwertung im Rahmen des „Null-Emissions-Landkreises“ und damit unter Klimaschutz Gesichtspunkten in den Fokus geraten ist.

Wegen der fehlenden Daten zur bestehenden Verwertungssituation (inklusive der Sammel- und Transportlogistik) aber auch im Hinblick auf mögliche Standorte (z.B. für ein HW im LK Mainz-Bingen) wird auf empirische Zahlen zum Klimaschutzeffekt aus unterschiedlichen Literaturstellen zurückgegriffen. Damit ist eine grobe Abschätzung der Verwertungskonzepte hinsichtlich ihres Klimaschutzeffekts möglich.⁹⁹ Anzumerken ist, dass die dargelegte Klimabilanz von der Praxis je nach Gestaltung und Ausführung des Verwertungskonzepts (stark) abweichen kann.

Die Klimabilanzierung wird in Anlehnung an eine Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/44 durchgeführt und dient im Sinne dieser als Entscheidungshilfe.

Der bauliche Aufwand (z.B. der Energieaufwand für die Herstellung der Anlagenbauteile), der mit Emissionen verbunden ist (Stichwort: CO₂-Fußabdruck), dürfte laut IZES gGmbH [170] keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemissionen haben und wird deshalb vernachlässigt.

Referenzsysteme/-produkte und daraus folgende anrechenbare Gutschriften

Aus den beiden Verwertungskonzepten resultieren verschiedene Endprodukte (Abb. 3.22). Den THG-Belastungen, die den Verwertungsverfahren zugeschrieben werden, stehen THG-Gutschriften durch die erzeugten Endprodukte - sofern diese eine Substitutionswirkung aufweisen - gegenüber. Für die Anrechnung von THG-Einsparungen durch die Endprodukte werden Referenzprodukte konventioneller Art verwendet. In Abb. 3.23 sind die aus den Verwertungsverfahren erzeugten Endprodukte und die in der Arbeit zugrunde gelegten Referenzprodukte mit ihren CO₂-Äquivalenten (kurz: CO₂-Ä.) dargestellt.

Für den regenerativ erzeugten **Strom** aus GS wird als Referenzprodukt der Strommix von Deutschland, der speziell für den LK Mainz-Bingen nach dem Territorialprinzip von IfaS ermittelt wurde (Kap. 3.1), zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich eine potenzielle Gutschrift von **0,453 kg CO₂-Ä./kWh**.

Der über die GS-Verwertung erzeugten **Wärme** wird in Anlehnung an Vogt [103] als Referenzprodukt die Substitution von ca. 50% Heizöl und ca. 50% Erdgas gegenüber gestellt. Dieser Ansatz entspricht der durchschnittlich erzeugten Wär-

⁹⁹Im Rahmen der Arbeit konnte keine Studie ausfindig gemacht werden, die eine vollständig nachvollziehbare Klimabilanz und deren Berechnungswege für beide Verwertungsverfahren - Verbrennung und Vergärung/Kompostierung - darlegt. Häufig werden THG-Berechnungen unter Zuhilfenahme von Software-Programmen (z.B. GEMIS) durchgeführt. Ein solches Programm stand im Rahmen der Arbeit nicht zur Verfügung.

me in privaten Haushalten in Deutschland [103].¹⁰⁰ Durch die Bereitstellung von 1 kWh Wärme durch fossile Energieträger¹⁰¹ entstehen Emissionen in Höhe von 0,235 kg CO₂-Ä./kWh.

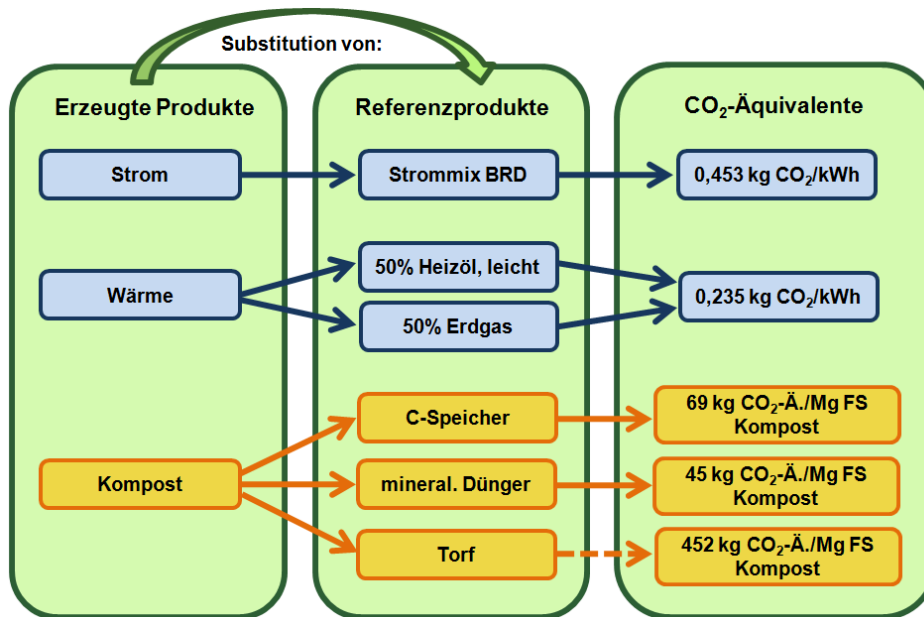


Abbildung 3.23: Referenzsysteme/-produkte und deren anrechenbare THG-Gutschriften in CO₂-Äquivalenten [eigene Darstellung]

Der über die Nachrotte erzeugte **Kompost (Fertigkompost)** kann mehreren Referenzprodukten zugeordnet werden. An erster Stelle steht unter Klima- und Ressourcenschutzaspekten der Torfersatz. Durch diesen wird die fossile Ressource Torf ersetzt und damit die Freisetzung von fossilem CO₂ vermieden.¹⁰² Die durch den Torfersatz möglichen CO₂-Äquivalente als Gutschriften einer Klimabilanz wurden wie folgt errechnet. Laut Siebert [173] werden durch 1 Mg Fertigkompost (TS) 0,38 Mg Torf (TS) substituiert.¹⁰³ Mit einer CO₂-Freisetzung von 1,8 kg pro kg Torf (TS) erhält man ein Substitutionspotenzial von 684 kg CO₂-Ä./Mg Fertig-

¹⁰⁰ Häufig wird bei der Wärmegutschrift von einem 100%igen Ersatz von Ölheizungen ausgegangen. Dadurch fällt die CO₂-Einsparung höher aus.

¹⁰¹ hier: 50% Erdöl und 50% Erdgas mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 268 g CO₂-Ä./kWh bzw. 201 g CO₂-Ä./kWh [171, 172].

¹⁰² Das Referenzprodukt Torf zum Kompost wurde aufgrund schwankender Kompostqualitäten - infolge schwankender GS-Qualitäten - und damit verbunden variierendem Substitutionspotenzial für Torf gestrichelt dargelegt. Zudem hängt die Torfsubstitution entscheidend von regionalen Abnehmern (Erdenwerken) ab (Kap. 4).

¹⁰³ In der Literaturquelle [173] besteht eine Unklarheit. Die Quelle gibt ein größeres Substitutionspotenzial des Frischkomposts für Torf, Mineraldünger und Humusersatz und damit CO₂-Einsparungen als für Fertigkompost an. Diese Schlussfolgerung kann darauf beruhen, dass im Frischkompost ein höherer Kohlenstoffgehalt als im Fertigkompost vorliegt [174]. Da allerdings der Kohlenstoff im Frischkompost in weniger stabiler Form vorliegt und demnach schnell im Boden abgebaut und nicht sequestriert wird, führt der höhere Kohlenstoffgehalt im Frischkompost nicht zu einem größeren, sondern zu einem geringeren Substitutionspotenzial. Der Kohlenstoff, der für eine Substitutionsanrechnung entscheidend ist, ist der in stabilen Verbindungen fixierte Kohlenstoff (Humus-C). Dieser liegt beim Fertigkompost im Vergleich zum Frischkompost höher [65, 175, 176]. Allerdings wird in der Quelle [173] eine höhere CO₂-Einsparung des Frischkomposts im Vergleich zum Fertigkompost aufgrund des höheren Kohlenstoffgehalts im Frischkompost angerechnet.

kompost (TS) [173]. Unter der Annahme, dass der Fertigkompost einen TS-Gehalt von ca. 60 Gew.-% aufweist [170, 177], ergibt sich eine potenzielle Gutschrift von ca. **410 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS)**. Zudem kommen die bei der Prozesskette der Torfgewinnung (inklusive Transport) anfallenden CO₂-Emissionen als Gutschriften hinzu.¹⁰⁴ Dabei können laut Kranert et al. [29] ca. 110 kg CO₂-Ä./Mg Torf (FS) eingespart werden.¹⁰⁵ Hieraus errechnet sich eine Substitutionsgutschrift von ca. **42 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS)**. Insgesamt erhält man für die Torfsubstitution durch den Fertigkompost ein Einsparungspotenzial von **452 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS)**.

Des Weiteren können durch die Kompostanwendung mineralische Düngemittel (z.B. Stickstoff) eingespart werden. Laut Lechner et al. [178] werden in Abhängigkeit von den im Kompost enthaltenen Nährstoffen sowie deren Pflanzenverfügbarkeit in der Literatur Werte zwischen 30 bis 62 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS) angegeben.¹⁰⁶ In der Arbeit wird ein Mittelwert von **45 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS)** als vermiedene Emissionen bei der Mineraldüngersubstitution herangezogen.¹⁰⁷

Zudem dient der Kompost als langfristiger Kohlenstoffspeicher (C-Speicher) im Boden. Laut Kompostgüteverband Österreich [179] kann von einer dauerhaften CO₂-Speicherung durch die Aufbringung von ca. 12 Mg Kompost (TS) pro Jahr von ca. 1,38 Mg CO₂ ausgegangen werden.¹⁰⁸ Daraus berechnet sich ein Wert von ca. **69 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS)**.

¹⁰⁴Es wurde unterstellt, dass das in der Quelle [173] angegebene Substitutionspotenzial für Torf, den Prozess der Torfgewinnung nicht enthält und demnach diese Emissionen zusätzlich gut geschrieben werden können.

¹⁰⁵Dieses Substitutionspotenzial bezieht sich auf die Substitution von Weißtorf und fällt im Vergleich zur Substitution von Mischtorf um ca. einen Faktor 10 höher aus. Für eine vereinfachte Umrechnung dieses Substitutionspotenzials bezogen auf 1 Mg Kompost (FS) wurde unterstellt, dass der Torf analog zum Kompost einen TS-Gehalt von ca. 60 Gew.-% aufweist. Laut Kranert et al. [29] liegt der Wassergehalt von Weißtorf im Mittel bei ca. 42 Gew.-% der FS. Demnach ist die Annahme eines Wassergehalts von ca. 40 Gew.-% des Torfs (FS) realistisch. Zudem wird der Gehalt an Humus-C in der organischen TS im Kompost und Torf gleichgesetzt [170].

¹⁰⁶Für Stickstoff N wurde der langfristig düngewirksame und damit pflanzenverfügbare Anteil mit 50% angenommen, während für P₂O₅, K₂O und CaO eine 100%ige Düngewirksamkeit zugrunde gelegt wurde [178].

Es wurde zudem davon ausgegangen, dass sich die Werte auf die FS an Kompost beziehen und ein Wassergehalt von ca. 40 Gew.-% im Kompost enthalten ist.

In der Quelle [173] wird ein Substitutionspotenzial von ca. 52,6 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (TS) angegeben. Dies ergibt einen Wert von ca. 32 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS) und stimmt mit den oben genannten Werten überein.

¹⁰⁷In Lechner et al. [178] wird ein Mittelwert von 46 kg CO₂-Ä./Mg Kompost (FS) verwendet.

¹⁰⁸Die dauerhafte CO₂-Speicherung ist in [179] nicht näher definiert. Häufig wird eine C-Speicherung über einen Zeithorizont von 100 Jahren unter der Annahme, dass 8% des im Kompost enthaltenen Kohlenstoffs gespeichert werden, zugrunde gelegt [180]. In der Arbeit wird davon ausgegangen, dass in [179] diese Tatsache berücksichtigt wurde.

Sachbilanz

Die Sachbilanz beschreibt die Verwertungsverfahren hinsichtlich ihrer Inputströme und ihrer erzeugten Endprodukte (Outputströme). Die verwendeten Parameter für die einzelnen Verwertungsverfahren werden dargelegt und anschließend in den Verwertungskonzepten als Berechnungsgrundlage herangezogen.

Vergärung/Kompostierung (V/K)

Für die V/K wird die im Anhang A.6.3 Abb. A.13 dargelegte Prozesskette mit deren Input- und Outputströmen zugrunde gelegt. Bei dem Vergärungsverfahren am Humuswerk in Essenheim¹⁰⁹ wird keine Gärrestseparierung in feste und flüssige Gärreste durchgeführt, sondern der Gärrest aus den 8 Boxenfermentern (ohne Perkolat) wird komplett einer Nachrotte unterzogen.

Die angesetzten Parameter sowie die wesentlichen In- und Outputströme für die V/K sind in Tab. 3.5 dargelegt. In der Arbeit wird die Monovergärung der GS-Feinfraktion betrachtet.¹¹⁰

Tabelle 3.5: In- und Outputströme und Parameter der Vergärung/Kompostierung für die GS-Feinfraktion

Parameter BHKW	
Wirkungsgrade BHKW*1:	
elektrisch	37,5% [160]
thermisch	43% [160]
Eigenstrombedarf Fermenter und BHKW*2	10% [48]
Eigenwärmebedarf Fermenter und BHKW*2	20% [48]
Inputströme	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
GS – kraut- und z.T. holzartig (Feinfraktion)	ca. 70 Gew.-%
Methanertrag*3	43 m ³ CH ₄ [43]
Strombedarf Fermenter und BHKW	16 kWh
Wärmebedarf Fermenter und BHKW	37 kWh
Outputströme	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
Kompost*4	600 kg (FS)
BHKW (Bruttostrom und -wärme):	
Bruttostrommenge	161 kWh
Bruttowärmemenge	184 kWh
Nettostrom und -wärme	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
Nettostrommenge*5	145 kWh
Nettowärmemenge zur externen Nutzung*5	147 kWh
Entstehende Emissionen (Lastschriften)	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
Vergärung und Nachrotte*6	3700 g CH ₄ , 120 g N ₂ O, 200 g NH ₃ [106]
Methanschlupf bei Gasmotoren	0,5% bezogen auf den Methaninput [182]

*1 Die Wirkungsgrade sind von der Leistung des BHKW abhängig [182]. Das BHKW am Humuswerk in Essenheim soll eine elektrische Leistung von ca. 900 kW aufweisen [146]. Laut Daniel et al. [182] differiert der elektrische Wirkungsgrad bei einer Leistung von 500 bzw. 1000 kW nur minimal um ca. 2,5%, während der thermische Wirkungsgrad bei einem BHKW mit 500 und 1000 kW mit 43% gleich

¹⁰⁹Vergärungsverfahren und anschließende Nachrotte nach dem KOMPOFERM Plus Verfahren der Firma Eggersmann GmbH, Informationen hierzu: [181].

¹¹⁰Zu beachten ist, dass in der Praxis die GS-Feinfraktion gemeinsam mit dem Bioabfall am Humuswerk in Essenheim vergärt wird.

ausfällt. Für den elektrischen Wirkungsgrad wird der niedrigere Wirkungsgrad mit 37,5% für das BHKW am Humuswerk mit einer Leistung von 900 kW herangezogen.

*2 Die Prozentzahlen beziehen sich auf die erzeugte thermische bzw. elektrische Bruttoenergiemenge. Beide Prozentzahlen wurden aus der Literatur für diskontinuierliche Trockenvergärungsverfahren entnommen. Der Eigenbedarf an Strom und Wärme des KOMPOFERM Plus Verfahrens konnte von der Firma Eggersmann nicht beziffert werden.

*3 Für den Methanertrag wurden Werte zwischen 43 und 65 m³ CH₄/Mg GS (FS) ermittelt [43, 96, 160] und Tab. 2.2. Da in der Feinfraktion sowohl kraut- als auch holzartiger GS vorliegt, wurde der vergleichsweise „niedrige“ Wert von 43 m³ CH₄/Mg GS (FS) herangezogen.

*4 Die Menge an erzeugtem Fertigkompost von ca. 600 kg Kompost (FS) aus 1 Mg GS (FS) wurde anhand der Angaben von der Firma Eggersmann [183] berechnet (GS ca. 40% TS-Gehalt; Mittelwert aus Tab. 2.2). Laut der Firma Eggersmann [183] reduziert sich die GS-Inputmenge um ca. 20-25 Gew.-% bei einer 3-wöchigen Behandlungszeit in den Boxenfermentern. Bei der anschließenden Nachrotte entstehen ca. 10-15 Gew.-% Massenverluste.

*5 Die Nettostrommenge ergibt sich nach Abzug des Eigenbedarfs an Strom für den Vergärungs- und Kompostierungsprozess (Trockenvergärung inklusive der Nachrotte). Die Nettowärmemenge ergibt sich nach Abzug des Eigenbedarfs an Wärme primär für die Beheizung des Fermenters. Für die Betrachtung der Klimaschutzeffekte der Vergärung/Kompostierung sind die Nettostrommenge und die Nettowärmemenge entscheidend. Der H_u von Methan liegt bei ca. 9,968 kWh/Nm³ [184, 185] und die Dichte bei ca. 1,2 kg/m³ [105, 186].

*6 Folgende Prozessschritte sind bei den Emissionswerten enthalten: die Anlieferung, die mechanische Aufbereitung, die Vergärung (inklusive Abpressung der Gärrückstände, Bereitstellung des Gärprodukts fest und die Zwischenlagerung des Gärprodukts flüssig), die Nachrotte (Stabilisierung bis zur Herstellung von Fertigkompost) sowie die Zwischenlagerung der Endprodukte (Fertig- und Frischkompost) [106]. Der Unterschied, der hier verwendeten Emissionswerte zum KOMPOFERM Plus Verfahren besteht darin, dass bei Letztgenanntem keine Gärrestseparation durchgeführt wird. Deshalb können die Emissionen bei diesem Verfahren von den angegebenen Emissionen abweichen. Eine Angabe zu den Emissionen beim KOMPOFERM Plus Verfahren konnte die Firma Eggersmann nicht machen.

Bei den Emissionen [106] sind die Transportemissionen in der Anlieferung enthalten. Die zugrunde gelegten durchschnittlichen Fahrtkilometer, die für die Berechnung dieser Emissionen verwendet wurden, sind nicht angegeben. Die Emissionsbeiträge für die Anlieferung können allerdings vernachlässigt werden (Kap. 3.3.3).

Zudem wurde davon ausgegangen, dass in den Emissionswerten auch der Dieselverbrauch, z.B. des Radladers und dessen Einsatz zum Befüllen und Entleeren der Boxenfermenter mit GS, enthalten ist.

Bei der Verwertung des Fertigkomposts werden zwei Verwertungswege betrachtet. Beim ersten Verwertungsweg wird der Fertigkompost als Torfersatz vermarktet. Dies stellt den präferierten Verwertungsweg dar.¹¹¹ Als zweiter Verwertungsweg wird der Fertigkompost als Mineraldüngerersatz eingesetzt. In der Arbeit wird der Ansatz von Springer C. [187] zugrunde gelegt. Dort wird eine durchschnittliche Kompostanwendung von 50% Substitution von mineralischen Düngemitteln und C-Speicherung, 40% Torfersatz¹¹² und 10% des Komposts, der nicht substitutionswirksam ist, angesetzt.

¹¹¹ Laut LUBW [28] enthalten Gärreste, die anschließend nachkompostiert werden, weniger Nährsalze als Kompost. Dadurch wird der Einsatz als Torfersatz im Gartenbau erleichtert.

¹¹² Eine Torfersatzquote von 100% durch Substratkompost ist zwar wünschenswert und aus Klima- und Ressourcenschutzgesichtspunkten anzustreben, kann aber aus verschiedenen Gründen in der Praxis nicht erzielt werden. Zum einen erschweren die variierenden Nährstoffgehalte im Kompost die Torfsubstitution (Anhang A.6.1). Zum anderen ist der Absatz als Torfersatz vor allem auf die Vermarktung an Erdenwerke limitiert.[188]

Verbrennung

Für die Verbrennung des holzartigen GS (ca. 30 Gew.-% vom Gesamt-GS-Aufkommen [98]) wird die im Anhang A.6.2 Abb. A.9 dargelegte Prozesskette zugrunde gelegt. In Tab. 3.6 sind die In- und Outputströme sowie wesentliche Parameter der Verbrennung dargelegt.

Tabelle 3.6: In- und Outputströme und Parameter der Verbrennung für die GS-Grobfraction

Parameter 1. Option: HW	
Netto-Wirkungsgrad Heizwerk*1	75% [49, 160]
Parameter 2. Option: ORC-HKW	
Netto-Wirkungsgrade ORC-HKW:	
elektrisch	12% [189–194]
thermisch	70% [189–194]
Inputströme	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
GS – holzartig (Grobfraction)	ca. 30 Gew.-%
Massenverlust durch Trocknung/Lagerung*2	ca. 10 Gew.-% [195]
H _u nach GS-Trocknung (ca. 3 Monate)*3	3,33 MWh
Outputströme	Bezogen auf 1 Mg GS (FS)
1. Option: HW - Nettowärmemenge	2.500 kWh
2. Option: ORC-HKW	
Nettostrommenge	400 kWh
Nettowärmemenge	2.333 kWh
Asche vom HW und ORC-HKW*4	10 Gew.-% [196]

*1 Der Bedarf an Hilfsenergie (Eigenenergiebedarf), z.B. für den Kratzkettenförderer oder Pumpen, beträgt laut RHE [196] ca. 2-3% der erzeugten Wärmemenge. Der verwendete Nettowirkungsgrad von ca. 75% berücksichtigt bereits diesen Eigenenergiebedarf.

*2 Je nach Trocknungsdauer und Lagerungsart kann der Massenverlust stark variieren.

*3 Es sollte nur der GS, der einen H_u von mindestens 11 MJ/kg aufweist, für eine energetische Verwertung verwendet werden (Kap. 2.2 und Anhang A.6.2). Um diesen Wert sicher einzuhalten, wurde der H_u des GS mit 12 MJ/kg (~ 3,33 MWh/Mg) angesetzt.

*4 Der Wert von 10 Gew.-% Asche beruht auf ca. 3 Betriebsjahren der HW im RHK. Diese werden mit GS als Hackschnitzel betrieben. Laut RHE [196] setzen sich die 10 Gew.-% nicht nur aus Asche, sondern auch aus Steinen zusammen. Für das ORC-HKW liegt kein Wert zum Aschegehalt vor, so dass der Wert von ca. 10 Gew.-% übernommen wird.

In Tab. 3.7 sind die anrechenbaren Endprodukte und -mengen für die zwei Verwertungskonzepte dargelegt. Zur Berechnung der Mengen wurden die Parameter und angegebenen Werte in den Tabellen 3.5 und 3.6 verwendet.

Tabelle 3.7: Endprodukte und deren -mengen der einzelnen Verwertungsverfahren jeweils bezogen auf 1 Mg GS (FS)

Verwertungsverfahren	Endprodukt	1./2. Verwertungskonzept
V/K*1	Kompost	600 kg (FS)
	Strom	145 kWh
1. Fall:	Wärme 50%	74 kWh
2. Fall:	Wärme 80%	118 kWh
1. Option: Verbrennung HW	Wärme	2.500 kWh
2. Option: Verbrennung ORC-HKW*2	Strom	400 kWh
1. Fall:	Wärme 50%	1.167 kWh
2. Fall:	Wärme 100%	2.333 kWh

*1 Bei der Wärmemenge, die zur externen Nutzung zur Verfügung steht (Nettowärmemenge), werden zwei Fälle betrachtet. Beim ersten Fall wird von einer externen Wärmeabnahme von 50% und beim zweiten Fall von einer optimierten Wärmeabnahme von 80% ausgegangen.

*2 Beim ORC-HKW zur energetischen GS-Verwertung werden zwei Fälle differenziert. Im ersten Fall wird eine 50%ige und im zweiten Fall eine 100%ige Wärmeabnahme angenommen.

Bezogen auf die in Tab. 3.4 festgelegten GS-Inputmengen für die zwei Verwertungskonzepte ergeben sich folgende Gesamtmengen für die Endprodukte (Tab. 3.8).¹¹³

Tabelle 3.8: Endprodukte und deren Gesamtmengen bezogen auf die gesamten GS-Inputmengen

Verwertungsverfahren	Endprodukt	1. Verwertungskonzept	2. Verwertungskonzept
V/K	Kompost [Mg (FS)]	11.046	14.360
	Strom [MWh]	2.663	3.462
1. Fall:	Wärme 50% [MWh]	1.357	1.764
2. Fall:	Wärme 80% [MWh]	2.172	2.823
1. Option: HW	Wärme [MWh]	17.753	23.078
2. Option: ORC-HKW	Strom [MWh]	2.840	3.693
1. Fall:	Wärme 50% [MWh]	8.285	10.770
2. Fall:	Wärme 100% [MWh]	16.569	21.540

Aus den erzeugten Endprodukten (Tab. 3.7) errechnen sich mit Hilfe der ausgewählten Referenzsysteme/-produkte und deren Substitutionsgutschrift (Abb. 3.23) spezifische Gutschriften [kg CO₂-Ä./Mg GS (FS)], die in Tab. 3.9 dargelegt sind.

¹¹³ In der Arbeit werden zwei Verwertungskonzepte betrachtet. Das zweite Verwertungskonzept unterscheidet sich vom ersten nur durch eine 30% höher erfasste GS-Menge. Bei den folgenden Berechnungen zum Klimaschutzeffekt werden durchweg Multiplikationen mit konstanten Werten (z.B. dem H_u) durchgeführt. Diese hängen nicht von der GS-Menge ab. Daher liegen die Werte des 2. Verwertungskonzepts in allen folgenden Tabellen um 30% höher. Zum direkten Vergleich werden die Werte der beiden Verwertungskonzepte aufgeführt.

Tabelle 3.9: Spezifische Nettogutschriften für die erzeugten Endprodukte [kg CO₂-Ä./Mg GS (FS)]

Verwertungs- verfahren	Endprodukt	Referenzsystem/ -produkt	1./2. Verwer- tungsverfahren
V/K	Kompost*1	40% Torfersatz, 50% Mineral- düngerersatz/C-Speicherung	170
	Strom	Strommix	65,5
	1. Fall:	50% Heizöl (leicht), 50% Erdgas	17,3
	2. Fall:	50% Heizöl (leicht), 50% Erdgas	27,7
	Summe 1. Fall Summe 2. Fall		252,8 263,2
1. Option: HW	Wärme	50% Heizöl (leicht), 50% Erdgas	586
2. Option: ORC-HKW	Strom	Strommix	181
	1. Fall:	50% Heizöl (leicht), 50% Erdgas	274
	2. Fall:	50% Heizöl (leicht), 50% Erdgas	547
	Summe 1. Fall Summe 2. Fall		455 728

*1 Die Berechnung der spezifischen Gutschrift wurde in Anlehnung an IZES [170] wie folgt durchgeführt:
 $0,6 \text{ Mg Kompost (FS) / Mg GS (FS)} * 0,4 * (452 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg Kompost (FS)} + 45 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg Kompost (FS)} + 69 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg Kompost (FS)}) + 0,6 \text{ Mg Kompost (FS) / Mg GS (FS)} * 0,5 * (45 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg Kompost (FS)} + 69 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg Kompost (FS)}) = 170 \text{ kg CO}_2\text{-Ä./Mg GS (FS)}$

Wirkungsabschätzung

Bei der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz dargelegten Input- und Outputströme hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Klimaschutzeffekt beschränkt auf den Wirkungsindikator „CO₂-Äquivalente“ dargelegt. Die Emissionen, der in der Sachbilanz aufgezeigten Verwertungsverfahren, sind nach IPCC 2007 (Kap. 2.2) in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

In Tab. 3.10 sind die mit Hilfe der Literatur ermittelten Emissionen - kumuliert als CO₂-Äquivalente - für die Verwertungsverfahren dargestellt.

Tabelle 3.10: Spezifische Emissionen (Lastschriften) der Verwertungsverfahren bezogen auf jeweils 1 Mg GS (FS)

Verwertungsverfahren	V/K	1. Option: HW	2. Option: ORC-HKW
Emissionen [kg CO ₂ -Ä./Mg GS (FS)]	135,4	40 [29]*1	40 [29]*1

*1 Der Wert wurde aus der Abb. 24, S.67 in der Quelle [29] durch Interpolation der Energieinputmengen für die Prozesskette der Verbrennung ermittelt (H_u von 12 MJ/kg).

Für die **V/K** wurden mit den in Tab. 3.5 angegebenen Werten Emissionen in Höhe von ca. **135,4 kg CO₂-Ä./Mg GS (FS)** errechnet.

Für die **Verbrennung (1. Option: HW, 2. Option: ORC-HKW)** ergibt sich eine Emissionslastschrift von ca. **40 kg CO₂-Ä./Mg GS (FS)**.¹¹⁴

Auswertung

Basierend auf der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung können den Verwertungsverfahren Emissionen (Lastschriften) und Gutschriften zugeteilt werden. Dadurch kann eine Aussage hinsichtlich des Klimaschutzeffektes der beiden Verwertungskonzepte in Bezug auf die GS-Mengen getroffen werden.

In Tab. 3.11 sind die aus der Wirkungsabschätzung resultierenden Gesamtemissionen bezogen auf die gesamten GS-Mengen für die jeweiligen Verwertungsverfahren (Tab. 3.4)¹¹⁵ dargelegt.

Tabelle 3.11: Absolute Emissionen der Verwertungsverfahren bezogen auf die gesamten GS-Inputmengen [kg CO₂-Ä./a]

Verwertungs- verfahren	V/K	Verbrennung		Gesamt- emissionen
		1. Option: HW	2. Option: ORC-HKW	
1. Verwertungs- konzept	2.492.714	284.040	284.040	2.776.754
2. Verwertungs- konzept	3.240.528	369.240	369.240	3.609.768

In Tab. 3.12 sind die Gesamtgutschriften aufgeführt. Diese ergeben sich durch Multiplikation der spezifischen Gutschriften [kg CO₂-Ä./Mg GS (FS)] in Tab. 3.9 mit den GS-Mengen, die dem jeweiligen Verwertungsverfahren (Tab. 3.4) zugeführt werden.

¹¹⁴In diesem Wert sind der Antransport des GS, die Aufbereitung (Zerkleinerung, Trocknung und Siebung) sowie der Abtransport der GS-Hackschnitzel berücksichtigt.

Der Transport wird über 25 km mit einem LKW durchgeführt. Dieser weist einen Verbrauch von ca. 35 l Diesel auf. Der Transport der GS-Mengen zu den Sammelstellen mit dem privaten PKW von den Bürgern bleibt unberücksichtigt. Weitere Annahmen, die für diese Emissionsmenge der Verbrennung zugrunde gelegt wurden, können in [29] nachgelesen werden. Die Emissionsbeiträge für den Transport spielen keine bedeutende Rolle, da beim Verbrennungsprozess laut Kranert et al. [29] weitaus größere Emissionen anfallen.

Für den Verbrennungsprozess wird in der Arbeit analog zu [29] von einem längeren Bilanzraum von ca. 50 Jahren ausgegangen, so dass die freigesetzten Emissionen beim Verbrennungsprozess durch das Nachwachsen des GS im gleichen Zeitraum ausgeglichen werden (CO₂-neutrale Verbrennung). Kranert et al. [29] weist darauf hin, dass bei einer kurzzeitigen Betrachtung von ca. 2-3 Jahren von einer zusätzlichen Emissionsbelastung durch den Verbrennungsprozess auszugehen ist.

Der Entsorgungsaufwand bzw. Verwertungsaufwand für die anfallende Asche wird in der Arbeit nicht berücksichtigt.

¹¹⁵Bei den GS-Mengen für die Verbrennung ist der Trocknungsverlust von ca. 10 Gew.-% noch zu berücksichtigen. Hieraus ergeben sich geringere GS-Mengen als in Tab. 3.4 aufgeführt.

Tabelle 3.12: Nettogutschriften für die einzelnen Verwertungsverfahren bezogen auf die GS-Inputmengen [kg CO₂-Ä./a]

	V/K		Verbrennung		
	50%	80%	1. Option HW	2. Option: ORC-HKW	
				50%	100%
1. Verwertungskonzept	4.654.048	4.845.512	4.161.186	3.230.955	5.169.528
2. Verwertungskonzept	6.050.262	6.299.165	5.409.366	4.200.105	6.720.168

Je nach externer Wärmeabnahme im LK Mainz-Bingen bei der V/K als auch bei der 2. Option (ORC-HKW) werden unterschiedliche Gesamtgutschriften erzielt. Zudem kann die V/K entweder mit der 1. Option (HW) oder mit der 2. Option (ORC-HKW) kombiniert werden. Die möglichen Verfahrenskombinationen innerhalb der Verwertungskonzepte sowie die extern unterschiedlich abgenommene Wärme führen zu verschiedenen Gesamtgutschriften innerhalb der Verwertungskonzepte (Tab. 3.13).

Die Klimaschutzeffekte für die Verfahrenskombinationen (Tab. 3.14) erhält man aus der Differenz der Gesamtgutschriften (Tab. 3.13) und den Gesamtemissionen (Tab. 3.11). Die Ergebnisse wurden anhand der festgelegten Parameter und verwendeten Literaturwerte ermittelt und beziehen sich auf die getroffenen Annahmen.

In Abb. 3.24 sind die Verfahrenskombinationen mit dem besten, dem schlechtesten sowie den im Mittelfeld liegenden Klimaschutzeffekten mit ihren Gesamtemissionen und -gutschriften für das 1. Verwertungskonzept grafisch verdeutlicht.¹¹⁶

Die unterschiedliche Wärmeabnahme von 50% bzw. 80% bei der V/K (Abb. 3.24) hat nur eine vergleichsweise geringe Auswirkung auf den Klimaschutzeffekt. Eine 80%ige Wärmeabnahme stellt den Optimalfall dar [103, 197] und ist von daher schwer zu realisieren.¹¹⁷

Die Wärmeabnahme von 50% bzw. 100% beim ORC-HKW nimmt dagegen einen signifikanten Einfluss auf das Endergebnis und damit den Klimaschutzeffekt (ca. 36% Erhöhung des Klimaschutzeffektes bei einer Wärmeabnahme von 100% statt nur 50%).

¹¹⁶Für das 2. Verwertungskonzept sieht die Abbildung 3.24 analog aus. Der einzige Unterschied liegt darin, dass sich die Gutschriften und die Lastschriften um 30% erhöhen. Dadurch fällt der Klimaschutzeffekt 30% höher aus.

¹¹⁷Das Humuswerk in Essenheim liegt sehr abseits. Deshalb ist eine 80%ige externe Wärmeabnahme vermutlich nicht gegeben.

Tabelle 3.13: Gesamtgutschriften der Verfahrenskombinationen innerhalb der beiden Verwertungskonzepte [kg CO₂-Ä./a]

	V /K 50%, HW	V /K 50%, ORC-HKW 50%	V /K 50%, ORC-HKW 100%	V /K 80%, HW	V /K 80%, ORC-HKW 50%	V /K 80%, ORC-HKW 100%
1. Verwertungs- konzept	8.815.234	7.885.003	9.823.576	9.006.698	8.076.467	10.015.040
2. Verwertungs- konzept	11.459.628	10.250.367	12.770.430	11.708.531	10.499.270	13.019.333

Tabelle 3.14: Ergebnisse der Klimaschutzeffekte [Mg CO₂-Ä./a]

	V /K 50%, HW	V /K 50%, ORC-HKW 50%	V /K 50%, ORC-HKW 100%	V /K 80%, HW	V /K 80%, ORC-HKW 50%	V /K 80%, ORC-HKW 100%
1. Verwertungs- konzept	-6.038	-5.108	-7.047	-6.230	-5.300	-7.238
2. Verwertungs- konzept	-7.850	-6.641	-9.161	-8.099	-6.890	-9.410

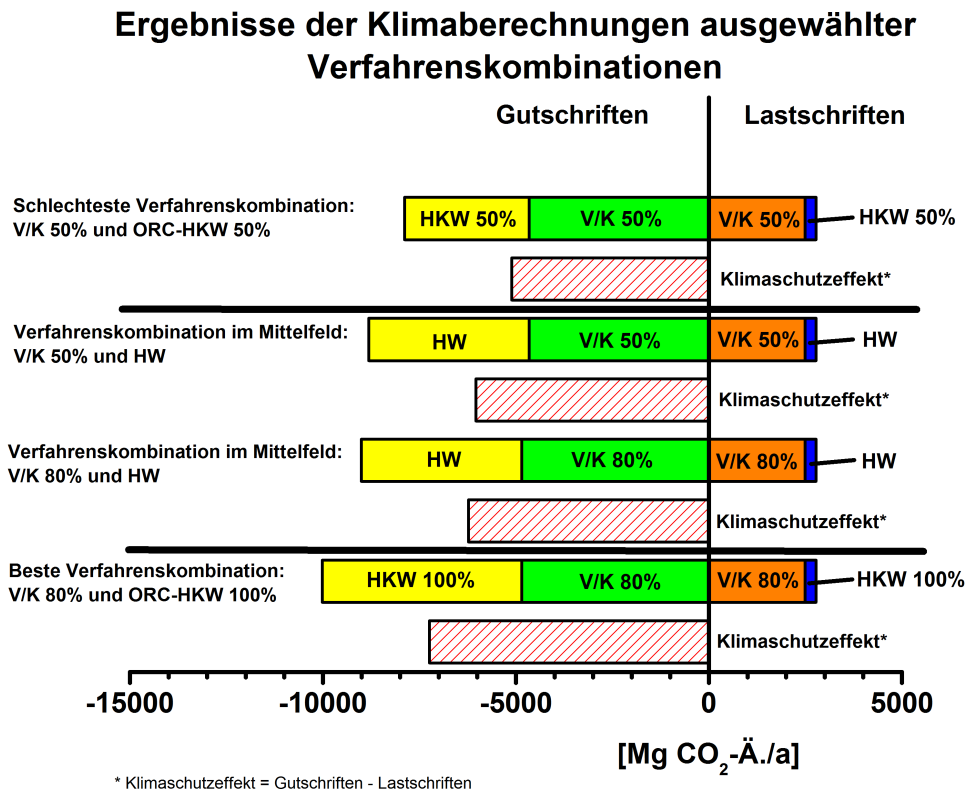


Abbildung 3.24: Ergebnisse der Klimaschutzeffekte ausgewählter Verfahrenskombinationen

Für den LK Mainz-Bingen ergeben sich anhand der Ergebnisse (Tab. 3.14, Abb. 3.24) zwei Verfahrenskombinationen, die in Bezug auf einen möglichst hohen Klimaschutzeffekt auf deren Umsetzbarkeit geprüft werden sollten:

- Verfahrenskombination: V/K der GS-Feinfraktion mit mindestens 50% externer Wärmeabnahme¹¹⁸ sowie Verbrennung des holzartigen GS in mehreren HW:**

Es ergeben sich verschiedene Voraussetzungen bzw. Anforderungen, die an den LK gestellt werden, um diese Verfahrenskombination ökonomisch und ökologisch sinnvoll umzusetzen:

V/K der GS-Feinfraktion:

- Bei der im Bau befindlichen Anlage am Humuswerk Essenheim bestehen freie Anlagenkapazitäten für die Mitvergärung und Kompostierung der GS-Feinfraktion.

¹¹⁸Laut EEG (Anhang A.9) ist als Voraussetzung für eine Vergütung mindestens 60% des Stroms in KWK zu erzeugen. Dabei wird der Eigenbedarf des Fermenters in Höhe von maximal 25% angerechnet. Demnach stellt eine externe Wärmeabnahme von 50% den unteren Bereich dar.

- Am Humuswerk besteht im Optimalfall eine 80%ige externe Wärmeabnahme. Es sollte mindestens eine 50%ige Wärmeabnahme sichergestellt sein.¹¹⁹
- Eine 40%ige Torfersatzquote des erzeugten Fertigkomposts kann erzielt werden.¹²⁰ Dadurch bedingt sind längere Rottezeiten.

Verbrennung des holzartigen GS (Grobfraktion) in einem bzw. mehreren HW:

HW sind ab einer thermischen Leistung von ca. 500 kW ökonomisch interessant (Tab. 2.5). Daher können im LK mehrere HW an verschiedenen Standorten errichtet werden. Beim 1. Verwertungskonzept ergibt sich eine erzeugte Nettowärmemenge von ca. 17.753 MWh/a (Tab. 3.8). Unter der Annahme, dass das HW vorwiegend in den kälteren Monaten zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, werden ca. 4.000 Betriebsstunden pro Jahr angesetzt [49, 198].¹²¹ Unter den getroffenen Annahmen können zum Beispiel im LK 5 HW an geeigneten Standorten mit einer Wärmeabnahme von jeweils 3.500 MWh/a errichtet werden. Für das 2. Verwertungskonzept errechnet sich bei einer gesamten Nettowärmemenge von ca. 23.078 MWh/a (Tab. 3.8) eine Nettoleistung von ca. 5,8 MW. Mit einer thermischen Leistung von ca. 830 kW je HW können ca. 7 HW im LK betrieben werden.

Können die Anforderungen und Voraussetzungen im LK erfüllt werden, kann über diese Verfahrenskombination ein Klimaschutzeffekt von ca. **-6.038 bis -6.230 Mg CO₂-Ä./a** - in Abhängigkeit einer 50%igen oder 80%igen Wärmeabnahme bei der V/K - als CO₂-Einsparung erzielt werden. Beim 2. Verwertungskonzept liegen die Erfassungsmenge und damit der Klimaschutzeffekt um 30% höher.

¹¹⁹Ein Teil dieser Wärme kann alternativ zur Trocknung der GS-Hackschnitzel eingesetzt werden. Ansonsten geht die Wärme ungenutzt an die Umgebung verloren. Die Wärme, die zur Trocknung eingesetzt wird, erbringt keine Klimaschutzgutschrift. Indirekt trägt der Einsatz der Wärme zur Trocknung zur verbesserten Verbrennung der GS-Hackschnitzel bei und damit zu einer höheren Klimaschutzgutschrift.

¹²⁰Der Torfersatz von ca. 40% wirkt sich entscheidend auf den Klimaschutzeffekt aus.

¹²¹Es errechnet sich eine thermische Nettoleistung von ca. 4,4 MW. Im LK können zum Beispiel 5 HW mit einer thermischen Nettoleistung von ca. 830 kW errichtet werden.

Im RHK liegen die Betriebsstunden der HW zwischen 3.500 und 4.500 h/a mit einer Leistung zwischen 650 und 850 kW [49, 196]. Daher sind die verwendeten Annahmen als realistisch einzuschätzen. In Abhängigkeit vom Wärmeabnehmer und dessen Wärmeverbrauch können die angenommenen Betriebsstunden von ca. 4.000 h/a für ein HW auch deutlich höher ausfallen.

Zu berücksichtigen sind noch die Leitungsverluste, die in Abhängigkeit des Leitungsnetzes und dessen Länge unterschiedlich hoch ausfallen [105]. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Klimaschutzeffektes sollten die Leitungsverluste so gering wie möglich gehalten werden.

2. Verfahrenskombination: V/K der GS-Feinfraktion mit mindestens 50% externer Wärmeabnahme sowie Verbrennung des holzartigen GS in einem ORC-HKW mit 100% Wärmeabnahme:

Für diese Verfahrenskombination ergeben sich folgende Voraussetzungen bzw. Anforderungen, die sich im Vergleich zur 1. Verfahrenskombination nur hinsichtlich der Verbrennung unterscheiden:

Verbrennung des holzartigen GS (Grobfraktion) in einem ORC-HKW mit einer 100%igen Wärmeabnahme:

Ein geeigneter Standort ist für die Errichtung eines ORC-HKW entscheidend. Unter der Annahme, dass das ORC-HKW ca. 8.000 Betriebsstunden pro Jahr [199–201] erzielen kann, ergibt sich für das 1. Verwertungskonzept eine elektrische Nettoleistung von ca. 350 kW bei einer thermischen Nettoleistung von ca. 2,1 MW.¹²² Der Standort zeichnet sich durch eine gesicherte 100%ige Wärmeabnahme aus. Dadurch erzielt das ORC-HKW im Vergleich zu einem bzw. mehreren HW im LK einen höheren Klimaschutzeffekt. Hierfür ist ein Standort mit einer jährlichen Wärmeabnahme von 16.569 MWh (bzw. 21.540 MWh beim 2. Verwertungskonzept) erforderlich. Optional kann die anfallende Wärme insbesondere im Sommer über eine Absorptionskältemaschine zur Klimatisierung von Gebäuden eingesetzt werden.

Sofern die Voraussetzungen erfüllt sind, kann so eine CO₂-Einsparung erzielt werden. Dadurch erreicht man einen **jährlichen Klimaschutzeffekt von ca. -7.047 Mg CO₂-Ä. (bei einer 50%igen Wärmeabnahme) bis -7.238 Mg CO₂-Ä. (bei einer 80%igen Wärmeabnahme)**. Beim 2. Verwertungskonzept liegen die Erfassungsmenge und damit der Klimaschutzeffekt um 30% höher.

In Tab. 3.15 sind Empfehlungen und bestehender Handlungsbedarf für die beiden Verfahrenskombinationen zur Prüfung der Umsetzbarkeit im LK Mainz-Bingen dargestellt.

Die 2. Verfahrenskombination - V/K der GS-Feinfraktion und Verbrennung des holzartigen GS in einem ORC-HWK - wird aufgrund der hohen Wärmeabnahme von 100% an einem einzigen Standort im LK schwieriger umsetzbar sein als die

¹²²Der Einsatz eines ORC-HKW ist ab einer elektrischen Leistung von ca. 300 kW ökonomisch interessant (Tab. 2.5). Typischerweise kommt in Kommunen laut Schäfer [86] ein Biomasse-ORC-HKW mit einer thermischen Leistung von ca. 2,5 MW zum Einsatz. Im LK liegt - aufgrund der hier gewählten 8.000 Betriebsstunden im Jahr - die thermische Leistung bei ca. 2,1 MW und damit etwas niedriger. Demnach ist die Auslastung der Anlage alleine durch die Verbrennung des holzartigen GS grenzwertig, zumal die GS-Mengen starken jährlichen Schwankungen unterliegen.

Realisierung mehrerer HW im LK mit geringeren Wärmemengen an den einzelnen Standorten (1. Verfahrenskombination). Zudem besteht im Wärmebereich der privaten Haushalte das größte CO₂-Einsparungspotenzial im LK (Kap. 3.1). Deshalb wird als optimiertes Konzept die Umsetzung mehrerer HW im LK an verschiedenen Standorten in Kombination mit der V/K favorisiert, unter der Prämisse, dass an mehreren Standorten eine entsprechend hohe Wärmeabnahme gewährleistet werden kann.¹²³

Tabelle 3.15: Empfehlungen und Handlungsbedarf für die beiden Verfahrenskombinationen

Empfehlungen/ Handlungsbedarf	1. Verfahrenskombination: V/K und mehrere HW	2. Verfahrenskombination: V/K und ORC-HKW 100%
V/K:	- Prüfung freier Anlagenkapazitäten der V/K am Standort Humuswerk Essenheim - Prüfung einer Torfersatzquote von ca. 40% des erzeugten Fertigkomposts - Prüfung der Wärmeabnahme von mindestens 50% am Standort Humuswerk Essenheim	
Mehrere HW bzw. ein ORC-HKW 100%	- Prüfung geeigneter Standorte hinsichtlich einer Wärmeabnahme von ca. 3.500 MWh/a für die Errichtung mehrerer HW (Annahme: Leistung eines HW ca. 830 kW) - Optional: Prüfung geeigneter Standorte mit einer Wärmeabnahme von ca. 2.000 MWh/a (Annahme: Leistung eines HW ca. 500 kW)¹²⁴	- Prüfung geeigneter Standorte hinsichtlich einer Wärmeabnahme von ca. 16.569 MWh/a (bzw. 21.540 MWh/a) für die Errichtung eines ORC-HKW - Optional: Prüfung der Kälteabnahme im Sommer

Ökonomische Betrachtung

Aus ökonomischer Sicht stellt sich die favorisierte Verfahrenskombination - V/K und Verbrennung in mehreren HW - als sinnvoll dar. Zum einen fallen durch die derzeit im Bau befindliche V/K-Anlage keine zusätzlichen Investitionskosten für die Verwertung der GS-Feinfraktion an. Dadurch kann ca. 1/3 der Kosten (Anhang A.8) vermieden werden. Bei der Verbrennung ist zu beachten, dass trotz der Investiti-

¹²³Ein weiterer Vorteil für die Errichtung mehrerer kleiner HW im Vergleich zu einem großen ORC-HKW im LK Mainz-Bingen liegt darin, dass für ein HW mit einer Feuerungswärmeleistung unter 1 MW kein Genehmigungsverfahren gemäß der 4. BImSchV erforderlich ist. Dadurch entfällt ein erheblicher administrativer Aufwand.

Da bereits zwei Nahwärmenetze mit Holzhackschnitzeln aus Waldrestholz und Landschaftspflegeholz im LK betrieben werden (Kap. 3.1), kann zunächst auch der GS als Hackschnitzel in diesen Feuerungsanlagen - sofern diese hierfür ausgelegt sind - zugemischt werden. Dadurch können erste Erfahrungen mit dem GS als Brennstoff gesammelt werden. Die Ausweitung und Errichtung der HW sollte schrittweise erfolgen. Zudem sind die Schwankungen der GS-Mengen über Jahre hinweg zu beachten, so dass bei der Errichtung der HW auf eine gesicherte Brennstoffbereitstellung aus GS geachtet werden muss.

onskosten, die für die Errichtung der HW anfallen, laut Bakowies [202] durch die Wärmeerzeugung und dem damit zu erzielenden Wärmepreis ein Gewinn verbucht werden kann (Anhang A.8).

Im Rahmen der GS-Verwertung kann für die Errichtung von HW im LK eine Förderung beantragt werden. Diese beträgt 50% der zuwendungsfähigen Ausgaben (maximal 100.000 Euro) [203].¹²⁵

4 Ansätze und Empfehlungen für die praktische Umsetzung der GS-Verwertung

In diesem Kapitel wird auf die favorisierte Verfahrenskombination (Kap. 3.3.4) und deren praktische Umsetzung im LK näher eingegangen. Dabei werden Ansätze und Empfehlungen für die Einbindung regionaler Akteure, für die Umgestaltung des Erfassungssystems, für die Aufbereitungstechnik, für die Ausgestaltung der Verwertungsanlagen sowie für die Analyse potenzieller Abnehmer (Marktanalyse) gegeben. Der Fokus liegt auf der Verbrennung des holzartigen GS in HW.¹²⁶

Einbindung regionaler Akteure

Die Einbindung und Kooperation regionaler Akteure im LK Mainz-Bingen wird - unter anderem aufgrund der Komplexität und Interdisziplinarität der GS-Verwertung - als wesentliches Kernelement für die erfolgreiche Umsetzung und langfristig nachhaltige Etablierung der GS-Verwertungsstrategie angesehen. Durch die Einbindung regionaler Akteure mit Know-How können sich Synergien (z.B. zur Nutzung weiterer Biomassepotenziale) ergeben. Auch hinsichtlich der Erfassung und hochwertigen Verwertung der geringen dezentral anfallenden GS-Mengen bei den kreisangehörigen Kommunen ist eine Kooperation von mehreren Akteuren sinnvoll und empfehlenswert. Nicht zuletzt kann die Einbindung von Akteuren zur Akzeptanz der GS-Verwertungsstrategie beitragen.

Eine geeignete Lösung zur Einbindung und Kooperation verschiedener regionaler Akteure stellt die Bildung eines Netzwerks dar (Kap. 3.3.2). Die Netzwerkbildung und

¹²⁵ Eine ausgewählte investive Maßnahme, die im Klimaschutzkonzept enthalten ist, wird gefördert. Dabei muss die Maßnahme bestimmte Anforderungen erfüllen: z.B. ein Reduktionspotenzial der THG-Emissionen von mindestens 80% [203].

¹²⁶ Die V/K für die GS-Feinfraktion befindet sich bereits im Bau. Daher bestehen nur wenige Einflussmöglichkeiten hinsichtlich deren Ausgestaltung.

deren Vorteile wurden in Kap. 3.3.2 beschrieben.¹²⁷ Eine grundlegende Voraussetzung für die Netzwerkbildung ist ein sogenannter „Kümmerer“ oder „Aktivierer“ als zentraler Akteur und Koordinator des Netzwerks, der die Projektleitung übernimmt. Hierfür kommen z.B. Personen aus der Wirtschaftsförderung oder Vertreter aus der Wissenschaft, die im Bereich der Biomassenutzung tätig sind, in Frage [204].¹²⁸ Darüber hinaus sind weitere regionale Akteure einzubeziehen, um deren Kompetenzen sowie Interessen bei der GS-Verwertungsstrategie und weiteren Biomasseprojekten zu integrieren. Um die relevanten Akteure zum Thema „GS-Verwertung“ zu identifizieren, empfiehlt sich die Durchführung einer Akteursanalyse (Akteurscheck) [205]. Damit können zum einen mögliche Gruppen und Personen im LK Mainz-Bingen lokalisiert werden, die sich aktiv für die GS-Verwertung einsetzen [205]. Zum anderen verschafft eine Akteursanalyse einen Überblick über Akteure, die im LK ein HW oder HKW betreiben und die für die Umsetzung der GS-Verwertung aufgrund ihrer Erfahrung zu Rate gezogen werden sollten.¹²⁹

Auf LK-Ebene kann ein übergeordnetes Netzwerk mit verschiedenen Akteuren und Akteursgruppen initiiert werden. Dieses kann sich aus mehreren Netzwerkgruppen zu verschiedenen Themen (z.B. Biogene Reststoffe) zusammensetzen. In Abb. 4.1 ist ein möglicher Netzwerkaufbau auf LK-Ebene aufgezeigt. Des Weiteren werden die relevanten Akteure für die Netzwerkgruppe III „Biogene Reststoffe“ dargelegt.

Anhand Abb. 4.1 wird deutlich, dass durch die Netzwerkgruppen I bis V, die durch ein gemeinsames übergeordnetes Netzwerk zusammengehalten und miteinander verknüpft werden, Synergien entstehen können. Durch die Netzwerkgruppe IV „Wärmesenken“ können geeignete Standorte für ein HW oder HKW zur GS-Verbrennung (Netzwerkgruppe III „Biogene Reststoffe“) identifiziert werden.

Darüber hinaus sollten Strukturen zum Erfahrungsaustausch und Wissenstransfer mit benachbarten LK (z.B. RHK) aufgebaut werden.¹³⁰

¹²⁷Die in Kap. 3.3.2 ausgeführte Netzwerkbildung bezieht sich im Wesentlichen auf die Ebene der kreisangehörigen Kommunen. Im Folgenden wird die Netzwerkstruktur unter der Voraussetzung betrachtet, dass zukünftig eine GS-Verwertungsstrategie auf LK-Ebene erfolgt. Demnach wird der Akteursradius bzw. die Akteurebene - im Vergleich zu Kap. 3.3.2 von den kreisangehörigen Kommunen - auf den LK ausgeweitet.

¹²⁸Wenn das Netzwerk schon längere Zeit etabliert ist, kann ein Klimaschutzmanager die Organisation und Koordination des Netzwerks und die Kommunikation der Netzwerkakteure übernehmen. Die Schaffung einer Vertrauensbasis zwischen dem Klimaschutzmanager und den Netzwerkakteuren ist hierbei eine wichtige Voraussetzung [204].

¹²⁹Zur Durchführung einer Akteursanalyse kann laut Wehnert et al. [205] folgendes Handbuch [206] herangezogen werden. Oftmals reicht auch ein Brainstorming im LK von wichtigen Initiatoren (z.B. vom UEBZ), um einen Überblick über die Einbindung wichtiger Akteure zu erhalten [205].

¹³⁰Der RHK hat vielfältige Praxisversuche zur Aufbereitung des GS als Brennstoffmaterial durchgeführt. Dies geschah in Zusammenarbeit mit dem Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH. Hiervon kann der LK Mainz-Bingen profitieren.

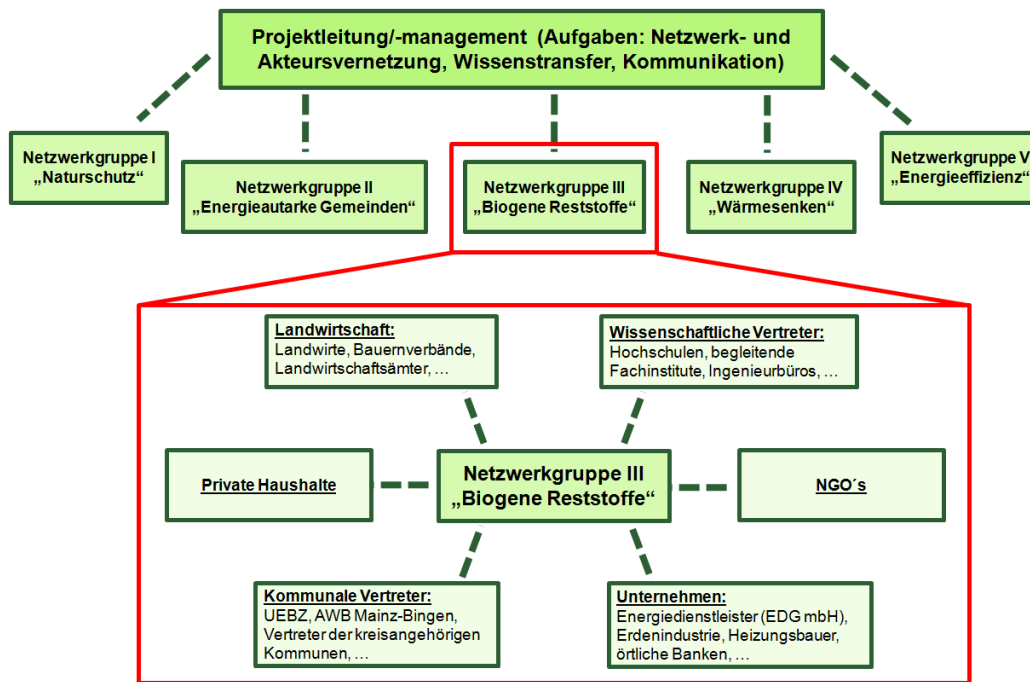


Abbildung 4.1: Beispiel für eine Netzwerkstruktur auf LK-Ebene [in Anlehnung an: [207, 208]]

Folgende Literatur zur Netzbildung sowie zur Akteursanalyse und -einbindung führt weiter: [204, 205, 207–209].

Ausgestaltung des Erfassungssystems

Zur praktischen Umsetzung des favorisierten Verwertungskonzepts ist ein hierauf abgestimmtes Erfassungssystem notwendig. Das Erfassungssystem nimmt einen entscheidenden Einfluss auf die Verwertungsstrategie und legt den Grundbaustein für nachfolgende Prozessschritte. Durch die optimale Abstimmung des Erfassungssystems auf die GS-Verwertung können wesentliche Weichen gestellt und unnötige oder zusätzliche Arbeitsschritte vermieden werden.¹³¹

Für die optimierte Ausgestaltung des Erfassungssystems sind zwei Ansätze vorstellbar. Beim 1. Ansatz wird davon ausgegangen, dass an den Sammelstellen genügend Platz für eine getrennte Annahme des kraut- und holzartigen GS gegeben ist. Beim 2. Ansatz wird angenommen, dass dieser Platz nicht vorhanden ist. Beide Ansätze führen zu einer optimalen Ausschöpfung der beiden Stoffströme und zur Verringerung des Aufbereitungsaufwands.

1. **Ansatz:** An den Sammelstellen im LK erfolgt zukünftig eine getrennte Annahme des krautartigen (Feinfraktion) und des holzartigen GS (Grobfraktion) [32, 69, 210, 211]. Die Umstellung der getrennten Annahme sollte schrittweise

¹³¹ Nachfolgend werden Gegebenheiten, die bereits erfolgreich und optimal durchgeführt werden, wie z.B. die Einzäunung der Sammelstellen und deren Überwachung, nicht aufgeführt.

an den Sammelstellen erfolgen. Die beiden Annahmebereiche sollten durch eine klare Trennung voneinander (z.B. durch die Abtrennung mit einer Steinmauer) abgegrenzt werden [211].¹³²

2. **Ansatz:** Besteht an den meisten Sammelstellen im LK kein ausreichender Platz für eine getrennte Annahme der beiden Fraktionen, sollte die Option geprüft werden, den kraut- und z.T. holzartigen GS (Feinfraktion) über die Biotonne mit zu entsorgen und an den Sammelstellen die Annahme auf den holzartigen GS (Grobfraktion) zu beschränken.

Zu beachten ist, dass beim 2. Ansatz, die Bürger vermutlich eine größere Biotonne beantragen müssen. Dies ist mit direkt spürbar höheren Kosten verbunden. Es besteht zudem die Frage, ob dadurch nicht indirekt die vermehrte Eigenkompostierung des krautartigen GS gefördert wird. Daher wird im Hinblick auf die Akzeptanz der Bürger der 1. Ansatz für besser realisierbar erachtet.

Bei beiden Ansätzen muss anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse überprüft werden, ob die Anzahl der Sammelstellen zur Steigerung der bisher erfassten GS-Mengen erhöht werden kann. Weitere GS-Mengen (z.B. von den kreisangehörigen Kommunen) sollten an den Sammelstellen gegen eine geringe Gebühr angenommen werden.

Zudem sind beide Ansätze auf die Ergänzung um ein Holsystem für den holzartigen GS vor allem hinsichtlich des wirtschaftlichen und logistischen Aufwands hin zu überprüfen. Insbesondere beim 1. Ansatz ist ein Holsystem zur Steigerung der Erfassungsmengen des holzartigen GS ratsam.

Beide Ansätze und Empfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung des Erfassungssystems sind durch eine intensive Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit zu begleiten. Akzeptanzfördernde Maßnahmen für den bevorzugten Ansatz (1. Ansatz) der neuen Ausgestaltung des Erfassungssystems werden in Kap. 5.4 aufgezeigt.

Aufbereitungstechnik und -standorte

Der Schwerpunkt liegt auf der Aufbereitung des holzartigen GS zu einem Brennstoff, der in mehreren noch zu errichtenden HW im LK eingesetzt werden kann.¹³³ Die

¹³²Zur Unterstützung der getrennten Abgabe der GS-Mengen können z.B. finanzielle Anreize gesetzt werden. Während die ungetrennte Anlieferung der beiden Fraktionen (ohne Trennung in holz- und krautartige Anteile) mit einer geringen Gebühr verbunden ist, ist die getrennte Anlieferung der beiden Fraktionen kostenlos. Ob dieser finanzielle Anreiz zur gewünschten Trennung der beiden Fraktionen führt ist fraglich, denn der Ansatz kann zum einen die Eigenkompostierung fördern und zum anderen „wilde Ablagerungen von GS“ in der Gemarkung zur Folge haben.

¹³³Die GS-Feinfraktion soll über die im Bau befindliche V/K mit verwertet werden. Mit den vorhandenen Aufbereitungsaggregaten am Humuswerk Essenheim kann die GS-Feinfraktion gemeinsam mit dem Bioabfall aufbereitet und in die gegebenen Strukturen und Abläufe integriert werden.

Aufbereitung des GS zu Brennstoffhackschnitzeln ist im Vergleich zur Aufbereitung der GS-Feinfraktion für die V/K wesentlich aufwendiger und schwieriger. Deshalb liegt der Fokus im Folgenden auf der Brennstoffherstellung.

Zur Ausschöpfung des im holzartigen GS steckenden energetischen Potenzials ist eine sorgfältige Aufbereitung in Abhängigkeit der Anlagenausführung der HW unverzichtbar und ein bedeutender Schritt für eine nachhaltige Verwertungsstrategie. Die dargelegte Aufbereitungstechnik ist auf die Ausgestaltung und Ausführung der HW abgestimmt. Laut Hackländer/Raussen/Bakowies [85] dürfte das Aufbereitungsverfahren des RHK auf andere Regionen übertragbar sein. Deshalb werden die Aufbereitungsschritte in Anlehnung an den RHK, der bereits vielfältige praktische Versuche zur Aufbereitung des GS zu Hackschnitzeln durchgeführt hat, abgeleitet und dargelegt. In Abb. 4.2 sind die Aufbereitungsschritte und deren - orte dargestellt.

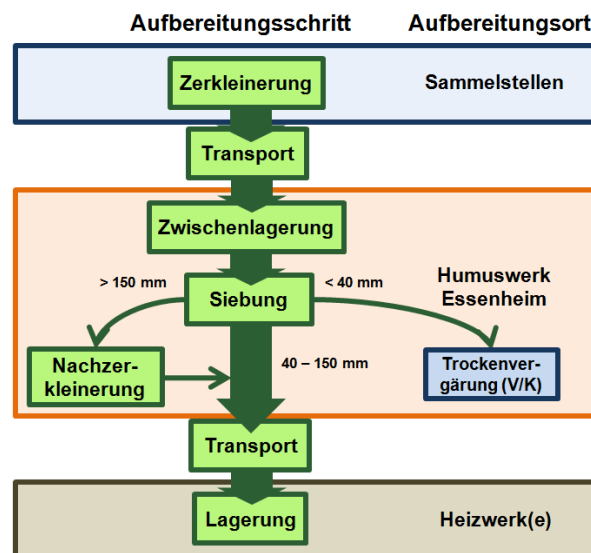


Abbildung 4.2: Aufbereitungsschritte zur Herstellung von GS-Hackschnitzeln [eigene Darstellung]

Zerkleinerung

Die an den Sammelstellen abgelieferten holzartigen GS-Mengen (Grobfraktion) werden - wie bisher - vor Ort mit einem mobilen Schredder zerkleinert, um das Transportvolumen zu reduzieren und damit Kosten zu sparen. Für den holzartigen GS sollte der bereits eingesetzte Langsamläufer verwendet werden (Kap. 3.2.2). Dadurch kann das Material möglichst grobstückig zerkleinert werden und auf eine Größe zwischen 40 und 150 mm reduziert werden. Praktische Versuche belegen, dass mit Langsamläufem im Gegensatz zu den Schnellläufem stückige Materialien und keine ausgefaserten Materialien erzeugt werden. Zu große Stücke (Überlänge > 150 mm) werden bei der Nachzerkleinerung nochmals geschreddert.[5, 212–214]

Sofern genügend Platz an den Sammelstellen vorhanden ist, können die holzartigen GS-Mengen anschließend dort gelagert werden.¹³⁴ Alternativ kann der holzartige GS direkt nach der Zerkleinerung zum Humuswerk in Essenheim transportiert werden. Das Humuswerk in Essenheim ist als zentraler Aufbereitungsplatz zu empfehlen. Zum einen ist seine zentrale Lage im LK aus Organisations- und Kostengründen günstig [50]. Zum anderen sind laut Kern [98] die erforderlichen Aufbereitungsaggregate (z.B. Stern- oder Trommelsieb) an bestehenden Kompostierungsanlagen gegeben und können mit genutzt werden.¹³⁵

Zwischenlagerung (Trocknung)

Praktische Versuche haben ergeben, dass eine Zwischenlagerung nach der Zerkleinerung des holzartigen GS vorteilhaft ist und zu einer besseren Brennstoffqualität führt [5, 211, 213]. Wenn das zerkleinerte Material (ohne Lagerung) direkt gesiebt wird, können die Fraktionen schlechter getrennt werden. Durch die Zwischenlagerung kann eine einfachere Separierung der Fraktionen (< 40 mm, 40 bis 150 mm und > 150 mm (Überlängen)) erzielt werden. Die Zwischenlagerung bewirkt eine Trocknung des Materials. Das anhaftende Feinmaterial und die mineralischen Bestandteile werden reduziert, wodurch die Siebung wesentlich erleichtert wird [5, 159, 213]. Laut rhe [5, 213] sollte die Lagerung ca. 2 bis 4 Wochen betragen. Für die Lagerung und damit die natürliche Trocknung des holzartigen GS ist eine befestigte Lagerfläche mit Sickerwasserfassung am Humuswerk in Essenheim erforderlich.¹³⁶ Dort kann das Material im Freien auf befestigten Flächen aufgeschüttet werden und ein- bis zweimal pro Woche umgesetzt werden, damit das Material ausreichend getrocknet wird [50]. Dadurch reduziert sich der Wassergehalt und der Heizwert wird erhöht. Eine Videoüberwachung ist empfehlenswert, da das Material sich von selbst entzünden kann. Sofern die Abwärme des BHKW von der V/K z.T. nicht genutzt wird, kann diese für eine unterstützende Trocknung eingesetzt werden.

Siebung

Für die Siebung des gelagerten GS-Materials kann das bereits am Humuswerk in Essenheim vorhandene und für die Aufbereitung des Bioabfalls/GS für die V/K

¹³⁴Der krautartige GS (GS-Feinfraktion) ist primär zum Humuswerk nach Essenheim zu fahren, denn dieser sollte möglichst schnell der V/K zugeführt werden. Durch eine längere Lagerung würde der Biogasertag zu stark gemindert [159]. Der zerkleinerte holzartige GS sollte ohnehin zuerst gelagert werden und kann daher sekundär dorthin transportiert werden.

¹³⁵Durch die Verwendung des Humuswerks in Essenheim als Aufbereitungs- und Lagerungsplatz kann die Kostenstruktur für die Verbrennung deutlich günstiger ausfallen.

¹³⁶Sofern keine befestigte Lagerfläche mit Sickerwasserfassung zur Verfügung steht, ist dieser Zwischenschritt der Lagerung nur unter erheblichem Investitionsaufwand einzurichten [5].

eingesetzte Sternsieb mit einem Siebschnitt von 40 mm verwendet werden.¹³⁷ Durch die Kombination mit einem Überlängenabscheider ergeben sich nach der Siebung drei Fraktionen¹³⁸:

- Feinfraktion (< 40 mm): Zuführung zur V/K
- Mittelfraktion (40 bis 150 mm): Verwendung als Brennstoff
- Grobfraktion (> 150 mm): Nachzerkleinerung und anschließende Verwendung als Brennstoff

Sowohl die Mittel- als auch die nachzerkleinerte Grobfraktion (ca. 30 Gew.-% am gesamten GS-Aufkommen) können als Brennstoff in den HW zum Einsatz kommen.

Lagerung (Trocknung)

Um einen Heizwert von mindestens 3,33 kWh/kg GS (12 MJ/kg) zu erzielen, ist eine weitere Lagerung und damit eine Trocknung des Brennstoffs empfehlenswert. Praktische Versuche ergaben einen deutlichen Vorteil der überdachten Lagerung gegenüber der Lagerung im Freien [213].¹³⁹ Laut rhe [213] fallen für die überdachte Lagerung zwar zusätzliche Kapitalkosten an, die allerdings durch die verbesserte Brennstoffqualität infolge des höheren Heizwerts nahezu gedeckt werden. Die Hackschnitzel können bei den HW gelagert werden (Brennstofflager). Der vorwiegend im Frühjahr und Winter anfallende holzartige GS (Kap. 2.1.3) kann aufbereitet werden und anschließend über die Sommermonate (ca. 3-5 Monate Lagerungszeit) in den Brennstofflagern getrocknet werden und steht somit im Winter zur Wärmeerzeugung zur Verfügung.

In Kap. 3.3.4 wurde die Umsetzung mehrerer kleiner HW gegenüber einem großen ORC-HKW favorisiert. Da HW aufgrund ihrer geringen Anlagengröße vergleichsweise höhere Anforderungen an den Brennstoff stellen, ist die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Brennstoffs für eine hohe Anlagenverfügbarkeit erforderlich. Dies ist möglich (Anhang A.6.2), setzt allerdings eine hohe Sorgfalt voraus.¹⁴⁰

Ausgestaltung der Verwertungsanlage(n)

Für die Ausführung der HW ergeben sich aufgrund der verbrennungstechnischen Eigenschaften des GS einige technische Besonderheiten im Vergleich zu konventionellen HW. Diese müssen beim Bau der HW unbedingt beachtet werden, um technische Stö-

¹³⁷ Sternsiebe sind laut Hildenbrand [213] für die Siebung genauso gut geeignet wie Trommelsiebe. Im RHK werden Trommelsiebe verwendet.

¹³⁸ Ob ein Überlängenabscheider bereits verwendet wird, ist unbekannt.

¹³⁹ Im RHK wurde nach der überdachten Lagerung ein Heizwert von ca. 4,1 kWh/kg erreicht [85].

¹⁴⁰ Weiterführende und ausführliche Informationen zur Aufbereitung des holzartigen GS zu Hackschnitzeln können nachgelesen werden in: [5, 85, 159].

rungen gering zu halten und zu vermeiden. In Tab. 4.1 ist ein Überblick über die technischen Besonderheiten für die GS-Verbrennung in HW gegeben.

Tabelle 4.1: Überblick über wesentliche technische Besonderheiten der HW-Ausführung [8, 29, 35, 48, 85, 92, 97, 159]

Brennstofflager	Ausreichende Lagerkapazitäten für mindestens 3 Tage; Ausführung: oberirdisches Lager mit Krananlage
Feuerungstechnik	Bevorzugt Vorschubrostfeuerung; wassergekühlter Rost; unterschiedliche Verbrennungszonen mit Luftzuführung → ausreichende Dimensionierung des Rosts
Fördersysteme	Hydraulische Aggregate (z.B. Kratzkettenförderer); Ascheaustrag im freien Fall
Abgasreinigungssysteme	Kombination aus Zyklon- und Elektrofilter

Das **Brennstofflager** nimmt aufgrund des erheblich geringeren Heizwerts und der Schüttdichte des GS im Vergleich zu fossilen Energieträgern [92] einen hohen Platzbedarf in Anspruch. Dieses Lager dient zur Überbrückung des GS-Anfalls und der Wärmeerzeugung in den Wintermonaten sowie zur Trocknung der GS-Hackschnitzel. Das Brennstofflager sollte so ausgelegt sein, dass eine Brennstoffversorgung des HW auch an anlieferungsfreien Tagen für mindestens 3 Tage sichergestellt ist [92].

Im RHK bestehen oberirdische Brennstofflager mit einer Krananlage [196]. Dies gewährleistet zum einen eine natürliche Trocknung und zum anderen können vorhandene Störstoffe gut entfernt werden.

Als **Feuerungssystem** zur Verbrennung des GS in HW sind Vorschubrostfeuerungen zu empfehlen [29]. Diese werden vorrangig im Leistungsbereich zwischen 150 kW und 15 MW verwendet [60] und sind daher für die HW mit einer Nettoleistung von ca. 830 kW bevorzugt einsetzbar. Zudem sind Vorschubrostfeuerungen im Vergleich zu Unterschubfeuerungen für einen hohen Asche- und Wassergehalt des Brennstoffs und damit geringe Brennstoffqualitäten geeignet [35, 60].¹⁴¹

Bei der GS-Verbrennung fällt ein hoher Aschegehalt an (Anhang A.5). Durch eine wassergekühlte Rostausführung kann die Schlackebildung vermieden werden [8, 48, 85, 92].

Zudem ist eine ausreichende Dimensionierung des Verbrennungsrosts mit unterschiedlichen Verbrennungszonen und einer entsprechenden Luftzuführung empfehlenswert, so dass eine Vortrocknung des holzartigen GS erzielt und die Energieausbeute verbessert werden kann.[8, 48, 85, 92]

¹⁴¹Nachteilig bei Vorschubrostfeuerungen im Vergleich zu Unterschubfeuerungen ist die schlechte Regelbarkeit aufgrund der größeren Brennstoffmengen im Feuerraum sowie die geringe Flexibilität hinsichtlich schneller Lastwechsel [92].

Eine robuste Ausführung der **Fördersysteme** sorgt für einen möglichst störungsfreien Anlagenbetrieb. Robuste Kratzkettenförderer sind gegenüber mechanischen Fördersystemen zur Brennstoffzufuhr zu bevorzugen, um die heterogene Korngröße (Stückigkeit) des GS-Brennstoffs zu bewältigen [8, 35, 48, 85, 92]. Zur Vermeidung von technischen Störungen, durch den hohen Steinanteil in der Asche (Kap. 3.3.4), sowie von mechanischen Abnutzungen der Fördersysteme sollte der Ascheaustrag im freien Fall ausgeführt werden [85].

Die Ausstattung der HW mit **Abgasreinigungssystemen** ist von besonderer Bedeutung für einen ökologischen Anlagenbetrieb und für die Akzeptanz der HW. Zur Einhaltung des ab 2015 gültigen Emissionsgrenzwerts von 20 mg Staub/Nm³ bei Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung kleiner als 1 MW gemäß der 1. BImSchV ist die Kombination eines Zyklon- mit einem Elektrofilter erforderlich [5, 215, 216].¹⁴² Die Rost- und Zyklonasche kann in Abhängigkeit ihrer stofflichen Zusammensetzung und unter Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte als Düngemittelbeisatz verwendet werden, sofern dieser Abnehmer findet (Anhang A.9). Die Asche aus der letzten filternden Einheit, dem Elektrofilter, muss fachgerecht entsorgt werden (Anhang A.9).

Die mit GS betriebenen Feuerungsanlagen kommen aufgrund des schlechteren Betriebsverhaltens im Teillastbereich im Vergleich zu konventionellen Feuerungsanlagen primär zur **Grundlastdeckung** in den Wintermonaten zum Einsatz [217]. Die Auslastung des GS-Heizkessels sollte mindestens 2.500 Vollbenutzungsstunden¹⁴³ erreichen [192]. Für die restlichen Monate sowie zur Spitzenlastdeckung oder bei Betriebsstörungen der GS-Feuerung sind folgende Optionen denkbar:

1. Ausstattung des HW mit einem konventionellen Spitzenlastkessel (z.B. Erdgaskessel)
2. Alternativ können zwei bivalente GS-Heizkessel vorgesehen werden. Dabei kann der eine Heizkessel mit einer höheren Leistung vorrangig im Winter und der andere Kessel mit einer niedrigeren Leistung (mindestens 500 kW (Kap. 2.2)) im Sommer zum Einsatz kommen [218].
3. Eine Solarthermie-Anlage kann großflächig auf dem Dach des Brennstofflagers installiert werden.¹⁴⁴ Diese Anlage liefert in den Sommermonaten Warmwasser für

¹⁴²Frühstens ab 2021/2022 werden aufgrund des bis Ende 2021 bestehenden Vertrags zwischen dem LK und dem Drittunternehmen im LK Mainz-Bingen die HW gebaut. In der Arbeit wurden die Emissionsgrenzwerte ab 2015 herangezogen. Es ist zu überprüfen, ob diese im Jahre 2021 bzw. 2022 noch gültig sind.

¹⁴³Die Vollbenutzungsstunden zeigen auf, wie viele Stunden die Anlage jährlich bei maximaler Wärmeleistung betrieben wurde.

¹⁴⁴Optional kann auch auf den einzelnen Gebäuden eine Solarthermie-Anlage installiert werden.

die ans HW angeschlossenen Gebäude und/oder unterstützt die Trocknung der GS-Hackschnitzel. Die Spitzenlastdeckung erfordert zusätzlich einen konventionellen Heizkessel. Durch die Solarthermie-Anlage sinkt der Erdgasverbrauch für den Heizkessel - im Vergleich zur 1. Option - wesentlich.

Die 1. Option kann am einfachsten, sichersten und kostengünstigsten ausgeführt werden. Klimafreundlicher sind aber die beiden anderen Optionen. Bei der 2. Option müsste für den Kessel mit der niedrigeren Leistung von mindestens 500 kW im Sommer eine entsprechende Wärmemenge abgenommen werden, damit dieser Kessel möglichst im Volllastbetrieb gefahren werden kann. Die 3. Option scheint im Hinblick auf eine langfristig nachhaltige Energieversorgung ebenfalls interessant. Für die praktische Ausführung ist jedoch deren Wirtschaftlichkeit zu überprüfen.¹⁴⁵

Die HW sollten möglichst nah zum potenziellen Aufbereitungsplatz (Humuswerk in Essenheim) errichtet werden. Die maximal empfehlenswerte Transportentfernung liegt bei ca. 50 km [60].

Um eine Wärmeabnahme von mindestens 3.500 MWh pro Jahr sicherzustellen (Kap. 3.3.4) und technische Verluste durch lange Leitungswege des Warmwassers zu vermeiden, ist es notwendig verschiedene Objekte zusammenzufassen („Nahwärmeinseln“) und diese über ein Nahwärmenetz mit der Wärme aus dem HW zu versorgen [202]. Im Optimalfall benötigen die angeschlossenen Objekte zu unterschiedlichen Zeiten Wärme. Krapf [192] empfiehlt für eine Mindestwärmebelegung 1,5 MWh pro Trassenmeter und Jahr [192].

Bei der Standortwahl sind neben den technischen Voraussetzungen sogenannte „weiche“ Kriterien zu beachten. Laut Schweizer-Ries [219] sollte hierbei insbesondere der existierenden Ortsidentität sowie dem Bedürfnis der Anwohner, ihren Ort zu erhalten und mit zu gestalten, Rechnung getragen werden [219]. Ein ortsnaher Standort ist für die Wärmeabnahme der HW - sofern diese für die Versorgung kommunaler oder privater Gebäude verwendet werden - unabdingbar. Dies kann allerdings mit negativen Wahrnehmungen (erhöhtes Transportaufkommen und damit verbundene Lärmbelästigungen) bei den Anwohnern einhergehen. Diese umweltpsychologischen Aspekte sollten innerhalb des technischen Rahmens berücksichtigt und eingebunden werden [219].

¹⁴⁵Für ein GS-HW in Form einer Nahwärmeversorgung sind zudem Anlagen zur Kreislaufwasseraufbereitung, zur Druckaufrechterhaltung des Nahwärmenetzes sowie Netzumwälzpumpen erforderlich [92].

Potenzielle Abnehmer der Endprodukte

Die Identifizierung potenzieller Abnehmer für die erzeugten Endprodukte (Wärme, Torfersatz etc.) ist eine grundlegende Voraussetzung für die Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie und deren Ökoeffizienz.

Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf potenziellen Abnehmern für die erzeugte Wärme aus den HW sowie für den Kompost als Torfersatz (40% der gesamten Kompostmenge). Beide Bereiche tragen entscheidend zum Klimaschutzeffekt der Verwertungsstrategie bei.

Potenzielle Wärmeabnehmer

Potenzielle Wärmeabnehmer sind in Abb. 4.3 aufgrund ihres Wärmeverbrauchs in drei Gruppen dargestellt. Jede Gruppe setzt sich aus verschiedenen Bereichen (private Haushalte, Industrie- und Gewerbebetriebe, kommunale Liegenschaften) zusammen.



Abbildung 4.3: Potenzielle Wärmeabnehmer unterteilt in drei Gruppen [in Anlehnung an: [220–222]]

Größere kommunale Liegenschaften zeichnen sich als Wärmeabnehmer durch mehrere Vorteile aus. Diese Liegenschaften befinden sich im Besitz und Zuständigkeitsbereich der Kommunen oder sogar des LK, so dass für die Umsetzung der Wärmenutzung aus der GS-Verbrennung die Entscheidung alleine bei den Kommunen liegt und somit einfacher zu realisieren ist. Des Weiteren wird die Akzeptanz der Umsetzung der GS-Verwertung erhöht, da der Nutzen durch die regenerative Wärmeversorgung kommunaler Liegenschaften vielen Bürgern im LK zugutekommt. Nicht zuletzt können Kommunen oder z.B. der LK dadurch ihre Vorbildfunktion im Bereich der EE wahrnehmen (Anhang A.2).

Im LK Mainz-Bingen ist laut EDG mbH das Potenzial im kommunalen Bereich für die Wärmeversorgung größtenteils ausgeschöpft (Kap. 3.1). Da allerdings nicht alle Liegenschaften im Zuständigkeitsbereich der EDG mbH liegen, ist die Option der Wärmeversorgung kommunaler Liegenschaften zu überprüfen. Die Einführung eines Energiemanagementsystems, das im Rahmen der Klimaschutzkonzepterstellung von IfaS in einem Workshop - organisiert von der Transferstelle Bingen (TSB) - diskutiert wurde, ist in Erwägung zu ziehen. Dadurch können Potenziale zur Wärmeversorgung kommunaler Liegenschaften identifiziert werden. Im Zuge einer Sanierung dieser Liegenschaften könnte die Wärmeerzeugung aus einem GS-HW integriert und die GS-Verwertung mit Energieeffizienzmaßnahmen kombiniert werden (Kap. 3.3.1).¹⁴⁶ Ein weiterer Grund für die Möglichkeit der Wärmeversorgung kommunaler Liegenschaften liegt darin, dass erst ab dem Jahr 2022, nach Vertragsablauf mit dem Drittunternehmen, Potenziale im Bereich der kommunalen Liegenschaften genutzt werden können. Bis dahin können auch bei den Liegenschaften, die über die EDG mbH mit Energie versorgt werden, Potenziale gegeben sein.

Insbesondere bei den **privaten Haushalten** sind im Wärmebereich große CO₂-Einsparungspotenziale gegeben (Kap. 3.1). Deshalb werden diese als besonders wichtige potenzielle Wärmeabnehmer angesehen. Gemäß der Abb. 4.3 eignen sich besonders bestehende Wohngebiete mit dichter Bebauung und mehreren Geschossen zum Anschluss an ein Nahwärmenetz, das durch ein GS-HW betrieben wird.¹⁴⁷ Der Anschluss bestehender Wohngebiete bereitet Schwierigkeiten. Laut § 16 EEWärmeG (Anhang A.9) besteht für diese kein Anschluss- und Benutzungszwang an ein Nahwärmenetz aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes, so dass der Anschluss nur auf freiwilliger Basis realisiert werden kann.¹⁴⁸

Neubaugebiete sind dahingegen durch einen Anschluss- und Benutzungszwang per Satzung leichter an ein Nahwärmenetz anzuschließen (§ 16 EEWärmeG) (Anhang A.9). Neubauten nehmen in der Regel aufgrund ihres geringen Wärmeverbrauchs weniger Wärme ab als Altbauten. Eine ausreichende Wärmeabnahme erfordert daher eine sehr dichte Bebauung von Neubauten [223].

¹⁴⁶ Es ist bei der Auslegung des GS-HW darauf zu achten, dass nach der Sanierung der Wärmebedarf der Liegenschaften geringer ausfällt.

¹⁴⁷ Bestehende Wohngebiete weisen einen höheren Wärmeverbrauch als Neubaugebiete mit einem neuen Effizienzstandard (z.B. einem Passivhausstandard) auf. Es wird angenommen, dass unter bestehenden Wohngebieten größtenteils Altbauten zu verstehen sind.

¹⁴⁸ Zudem zeichnen sich bestehende Wohngebiete in der Regel durch geringere Energieeffizienzstandards aus, so dass unter den in Kap. 3.3.1 festgelegten Anforderungen und Zielsetzungen zunächst eine Sanierung dieser durchzuführen ist. Dadurch verringert sich jedoch deren Wärmeverbrauch und deren Eignung als Wärmeabnehmer wird vermindert.

Bestimmte Gewerbe- und Industriebetriebe - z.B. Brauereien, Molkereien (Abb. 4.3) - weisen häufig auch außerhalb der Heizperiode (in den Sommermonaten) einen hohen Wärmeverbrauch auf [92] und sind deshalb als Wärmeabnehmer gut geeignet. Die Brauerei in Ingelheim („Goldener Engel“) und das Großunternehmen Boehringer Ingelheim (Kap. 3.1) können als Wärmeabnehmer in Erwägung gezogen werden.¹⁴⁹

Aus oben genannten Gründen ist es zu empfehlen, zuerst ein GS-HW im kommunalen Bereich umzusetzen, wenn sich zukünftig hier Potenziale ergeben. Nach der Umsetzung und dem Betrieb des ersten GS-HW im kommunalen Bereich können weitere HW mit einem Nahwärmenetz errichtet werden. Insbesondere sollten die privaten Haushalte aufgrund ihrer hohen Einsparungspotenziale mit eingebunden werden. Durch das Referenz GS-HW im kommunalen Bereich können die privaten Haushalte vom Anschluss an ein GS-HW leichter überzeugt und hierfür gewonnen werden.¹⁵⁰ Durch eine zentrale Lage des GS-HW und dessen Nahwärmenetz können Synergien ausgeschöpft werden [60], indem Wärmeabnehmer aus allen drei Bereichen gemeinsam angeschlossen werden.

Potenzielle Abnehmer für den erzeugten Kompost als Torfersatz

Für die favorisierte Verfahrenskombination und die Erzeugung von Kompost durch die V/K der GS-Feinfraktion wurde eine Torfersatzquote von 40% der erzeugten Kompostmenge angesetzt (Kap. 3.3.4).¹⁵¹ Damit diese Quote erreicht werden kann und zu dem errechneten Klimaschutzeffekt beiträgt (Kap. 3.3.4), ist es hilfreich, neue Absatzwege zu erschließen. Hierfür sollte eine breite Abnehmerstruktur aufgebaut werden [159], damit man nicht von der Nachfrage eines einzelnen Abnehmers abhängig ist. Der Kompost als Torfersatz kann vor allem über die Erdenindustrie (Erdenwerke) als „Zwischenhändler“ vermarktet werden. Der Vorteil liegt darin, dass keine Marketingstrategien für die Endkunden (z.B. Gärtnereien), sondern nur für die Erdenwerke erforderlich sind.¹⁵²

¹⁴⁹Boehringer Ingelheim betreibt seit mehreren Jahren ein Biomasseheizkraftwerk, das mit Altholz als Brennstoff befeuert wird. Ob hier GS zum Teil Altholz ersetzen kann, hängt von zu prüfenden Randbedingungen ab, z.B. dem Altholzpreis oder der Ausführung des Heizkraftwerks.

¹⁵⁰Es schwierig, dass erste GS-HW direkt bei den privaten Haushalten umzusetzen. Diese Einschätzung ergibt sich daraus, dass die Motivation und Überzeugung zum Anschluss an das Nahwärmenetz schwieriger ist, wenn die Kommunen oder der LK selbst diese Nutzungsmöglichkeit nicht verwenden.

¹⁵¹Beim 1. Verwertungskonzept entspricht dies einer Menge von ca. 4.420 Mg Kompost (FS) und beim 2. Verwertungskonzept ca. 5.740 Mg Kompost (FS) pro Jahr, die als Torfersatz vermarktet werden müssen.

¹⁵²Erdenwerke stellen hohe Anforderungen an den Kompost als Torfersatz. Es wird jedoch erwartet, dass der Einsatz von Kompost als Torfersatz langfristig zunimmt, da ökologische Bedenken beim Torfabbau bestehen. Zudem sind die Torfabbauflächen begrenzt und verregnete Sommermonate beeinträchtigen die Torfgewinnung.[224, 225]

Die Suche nach potenziellen Erdenwerken gestaltet sich meistens schwierig [159], da Erdenwerke häufig Kooperationen mit wenigen Kompostherstellern präferieren [225]. Deshalb besteht eine hohe Konkurrenzsituation. In Knappe/Turk [159] sind einige Erdenwerke genannt, die sich allerdings nicht in der näheren Umgebung des LK befinden. Eigene Recherchen führten zu einem Erdenwerk in Mannheim [226].

Eine Marketingstrategie empfiehlt sich, um den Kompostabsatz in die Zielgruppe „Erdenindustrie/-werke“ zu erhöhen. Eine mögliche Marketingstrategie ist in Abb. 4.4 gegeben. Diese zeichnet sich durch eine Kombination von vier Bereichen (Marketing-Mix) aus.



Abbildung 4.4: Beispiel für eine mögliche Marketingstrategie zur Erhöhung der Absatzchancen [in Anlehnung an: [225]]

Für die Erdenindustrie ist laut Hertrich [225] aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an den Kompost der Aufbau einer Vertrauensbasis mit den Kompostherstellern (Absatzförderungs- und Kommunikations-Marketing) besonders bedeutend. Dahingegen spielt der Preis (Preis-Marketing) nur eine sekundäre Rolle [225]. Um die zukünftig zu erwartende steigende Nachfrage der Erdenwerke nach Ersatzprodukten für Torf zu erfüllen, sollten die Komposthersteller ihren Schwerpunkt auf Maßnahmen in diesen Marketingbereichen legen.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Marketingstrategie zur Steigerung des Torfersatzes einen Mehraufwand bedeutet. Langfristig gesehen ist dies jedoch nachhaltig und wird sich auszahlen.[227]

5 Hemmnisanalyse - Akzeptanz der GS-Verwertungsstrategie

5.1 Hemmnisanalyse für die Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie

Die praktische Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie ist nicht nur unter technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten zu betrachten. Die optimierte GS-Verwertungsstrategie kann im Hinblick auf die genannten Gesichtspunkte eine nachhaltige und geeignete Lösung darstellen. Trotzdem können vielfältige Hemmnisfaktoren das Scheitern der Strategie verursachen. Abb. 5.1 zeigt einige Hemmnisfaktoren, die zur „Nicht-Umsetzung“ der GS-Verwertungsstrategie führen können.



Abbildung 5.1: Hemmnisfaktoren für die praktische Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie [eigene Darstellung]

Zur Herstellung eines konkreten Bezugs der Hemmnisfaktoren zur GS-Verwertungsstrategie werden einige Beispiele aufgezeigt, um diese Faktoren zu veranschaulichen. Es ist anzumerken, dass sich die verschiedenen Hemmnisbereiche zum Teil gegenseitig bedingen und nur schwer voneinander zu trennen sind.

Technische Hemmnisse:

Im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung ist die Energieerzeugung aus GS als neu einzustufen. Es liegen vergleichsweise wenige Erfahrungen mit technischen Anlagen zur energetischen Verwertung des GS und mit ggf. auftretenden Störungen vor. Des Weiteren ist eine komplexe Aufbereitungslogistik für den holzartigen GS zur energetischen Verwertung erforderlich [35]. Technische Hemmnisse können vermindert werden, indem Erfahrungen erfolgreich umgesetzter Projekte (z.B. vom RHK) eingebracht werden. Dadurch können Unsicherheiten sowie mögliche Zweifel an der Technik abgebaut werden.

Organisatorische/Administrative Hemmnisse:

Die Organisation der optimierten GS-Verwertungsstrategie bedarf letztendlich vieler Veränderungen und sofern die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen über den LK mit verwertet werden, müssen Absprachen und Einigungen mit verschiedenen Akteuren getroffen werden. Dabei kann es zu Meinungsverschiedenheiten kommen, insbesondere wenn es um die Organisation und Kostenübernahme für die Errichtung der neuen GS-Sammelstellen sowie die Verwertung der mit erfassten GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen geht. Zudem muss es mindestens einen sogenannten „Kümmerer“ geben, der das Projekt und die Akteure mit einer hohen Motivation voran treibt. Die Vertragsdauer (bis Ende 2021) und die Langzeitbindung mit dem Drittunternehmen (seit 1995) stellen weitere Hemmnisse dar. Zudem wird im LK ein Energiedienstleister benötigt, der erstens bereits Erfahrungen im Bereich der energetischen Biomassenutzung gesammelt hat und zweitens technische Schwierigkeiten kennt und damit umzugehen weiß (z.B. erhöhter Aschegehalt bzw. lokal erhöhte Emissionen).

Ökonomische Hemmnisse:

Ökonomische Hemmnisse nehmen in der Regel eine Sonderstellung ein [228]. Die optimierte GS-Verwertungsstrategie wird nicht realisiert, wenn eine im Vorfeld durchgeführte Wirtschaftlichkeitsprüfung negativ ausfällt oder nicht gegeben ist.¹⁵³

Die optimierte GS-Verwertungsstrategie erfordert vor allem höhere Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Waldhackschnitzel-Anlagen oder konventionellen Energieerzeugungsanlagen (Anhang A.8). Demnach ist die ökonomische Hemmschwelle recht hoch einzustufen.

Als besonders wichtig für den Abbau von ökonomischen Hemmschwellen haben sich bei Bioenergieprojekten „Contracting-Modelle“ erwiesen [228].¹⁵⁴ Die ökonomische Hemmschwelle kann zum Beispiel durch ein Contracting-Modell über die EDG mbH, die für die energetische Verwertung von GS als Hackschnitzel zu überzeugen ist, verringert werden. Dabei sollte der Wärmepreis z.B. an den Erdgaspreis gekoppelt werden, um eine langfristige Sicherheit für die Wärmeabnehmer zu gewährleisten.

¹⁵³ Mit der Wirtschaftlichkeitsprüfung ist ein renommiertes Fachbüro zu beauftragen. Dadurch können überzogene Gewinnerwartungen und Kalkulationsfehler vermieden werden. Man geht bei der Beauftragung einer Wirtschaftlichkeitsprüfung das Risiko ein, dass sie auch bei negativem Ergebnis bezahlt werden muss und damit Kosten verursacht.

¹⁵⁴ Es gibt verschiedene Ausführungen von „Contracting-Modellen“. Besonders weit verbreitet ist das sogenannte Anlagen-Contracting (auch Liefer-Contracting genannt) [229]. Hierbei finanziert und betreibt der Contractor die Anlagen und verkauft die erzeugte Wärmemenge an die Abnehmer [229].

So werden höhere Preise für die aus dem GS erzeugte Wärme im Vergleich zu konventionellen Energiepreisen verhindert.¹⁵⁵

Politische Hemmnisse:

Politische Hemmnisse sind nicht nur für die GS-Verwertungsstrategie sondern bei jeglichen Projekten von zentraler Bedeutung. Ohne eine politische Unterstützung oder ohne eine Duldung können Projekte nicht erfolgreich umgesetzt werden [228]. Politische Entscheidungsträger im LK und in den Kommunen (Landrat, Bürgermeister) müssen für die GS-Verwertungsstrategie gewonnen werden. Diese nehmen als Meinungsträger eine Vorbildfunktion ein. Eine Besichtigung bereits erfolgreich umgesetzter Projekte kann zur Überzeugung der Entscheidungsträger beitragen (Kap. 5.4).

Bürokratische Hürden und rechtliche Hemmnisse:

Für die Errichtung von GS-HW im LK kann unter bestimmten Voraussetzungen eine Förderung beantragt werden (Kap. 3.3.4). Vielfach stellt die Beantragung von Fördermitteln bürokratische Hürden dar. Laut Deffner [231] wird die Zusage bzw. Anerkennung einer gewissen Förderhöhe als Voraussetzung zur Umsetzung gemacht und damit können manchmal Förderinstrumente zum „Verhinderungsinstrument“ werden. Unterschiedliche Zuständigkeiten für den GS können zum bürokratischen Hemmnis werden. Dieses kann durch eine Vernetzung und Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure abgebaut werden.

Zudem erschwert die Fülle an rechtlichen Regelungen (KrWG, BImSchV u.a.), die beispielsweise bei der Errichtung von HW im LK beachtet werden müssen, die Umsetzung.

Soziale/Psychologische Hemmnisse:

Es gibt eine Vielzahl von sozialen und psychologischen Hemmnissen, die der Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie entgegen stehen können. Beispielsweise können Informationsdefizite bzw. ein mangelndes Wissen über die Möglichkeit der energetischen GS-Verwertung bei verschiedenen Akteuren (AWB, Bürgern, Bürgermeistern) bestehen. Die Verwertungsstrategie des GS und die damit einhergehenden regionalen Veränderungen (erhöhte Feinstaubbelastung und erhöhtes Transportaufkommen)

¹⁵⁵In einem derzeit laufenden Projekt vom BBE (Laufzeit bis 08/2013) [230] werden/wurden kommunale Entscheidungsträger zu Hemmnissen und Barrieren befragt, die aus deren Sicht der Initiierung von Bioenergie-Projekten entgegenstehen. Dabei wird/wurde auch eine Frage zu den Kosten von Bioenergie-Projekten gestellt. Die bisherige Auswertung ergab, dass ca. 61% der Befragten der Ansicht sind, dass hohe Kosten die Umsetzung von Bioenergie-Projekten verhindern. Weitere Fragen, die im Rahmen des Projekts gestellt wurden, können in der Literaturstelle [230] nachgelesen werden.

können ebenfalls zu Akzeptanzproblemen bei einzelnen Akteuren führen. Auch die Angst vieler Menschen vor Veränderungen und damit das Festhalten an Gewohnheiten kommen unter dem Aspekt der psychologischen Hemmnisse zum Tragen. Nachteilige Effekte der optimierten GS-Verwertungsstrategie müssen transparent dargelegt werden und Befürchtungen sollten Ernst genommen und diskutiert werden.

Weitere Hemmnisse, die keinem speziellen Hemmnisfaktor zugeordnet werden konnten, sind die große Datenunsicherheit, die stark schwankenden GS-Mengen sowie deren dezentral gering anfallendes Mengenaufkommen.

Nach eigenen Einschätzungen spielen bei allen Hemmnissen, die in Bezug auf die Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie auftreten können, soziale/psychologische Faktoren eine entscheidende Rolle.¹⁵⁶

Im Folgenden liegt daher der Schwerpunkt auf der „Akzeptanz der GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen“ (Kap. 5.2, 5.3) und Maßnahmenvorschlägen zur Akzeptanzförderung/-steigerung (Kap. 5.4). Nur durch das Zusammenspiel von technischen und psychologischen Maßnahmen kann die GS-Verwertungsstrategie langfristig erfolgreich und nachhaltig sein.¹⁵⁷

5.2 Akzeptanzbegriff/-definition

Der Begriff „Akzeptanz“ findet in vielfältiger Weise und in verschiedenen Anwendungsbereichen Verwendung.¹⁵⁸ Eine allgemeine Definition des Begriffs ist nicht gegeben. Je nach Kontext können verschiedene Akteure ein unterschiedliches Verständnis für den Begriff „Akzeptanz“ aufweisen, wodurch sich verschiedene Interpretationen ergeben. Der Begriff „Akzeptanz“ ist durch eine gewisse „Unschärfe“ und „Bandbreite“ charakterisiert [232, 235–237]. In der Arbeit wird die Definition von Schweizer-Ries [235] zugrunde gelegt (Abb. 5.2).¹⁵⁹

¹⁵⁶ Beispielsweise kann ein relevanter Akteur, der bei der Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie zu beteiligen ist, die vergleichsweise „nicht ausgereifte Technik“ der Verbrennung von GS (im Vergleich zur konventionellen Verbrennung von fossilen Energieträgern) als Hemmnisfaktor vorgeben. Hinter diesem „technischen“ Hemmnis können allerdings wiederum psychologische Faktoren, wie z.B. die Angst vor einer Veränderung bzw. vor Innovationen, stehen.

¹⁵⁷ Einige kommunale Akteure, die bereits Biomasseprojekte umgesetzt haben, behaupten, dass die Erreichung von Akzeptanz und Unterstützung für das Projekt vorentscheidend ist [92]. Kann dies erzielt werden, stellt die eigentliche Projektumsetzung lediglich ein Abarbeiten der Aufgaben dar [92].

¹⁵⁸ Laut Schenk [232] wird der Akzeptanzbegriff in letzter Zeit zunehmend in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet, während er in der Vergangenheit lange Zeit selten benutzt wurde. Auch im Zusammenhang mit der Energiewende und dem dafür notwendigen dezentralen Ausbau der EE-Anlagen taucht der Begriff häufig auf (z.B. in: [233, 234]).

¹⁵⁹ Die Auswahl der Definition des Akzeptanzbegriffs nach Schweizer-Ries [235] wurde getroffen, weil der Akzeptanzbegriff hier im Kontext mit EE definiert wird und damit am besten übertragbar und anwendbar für die GS-Verwertung ist.

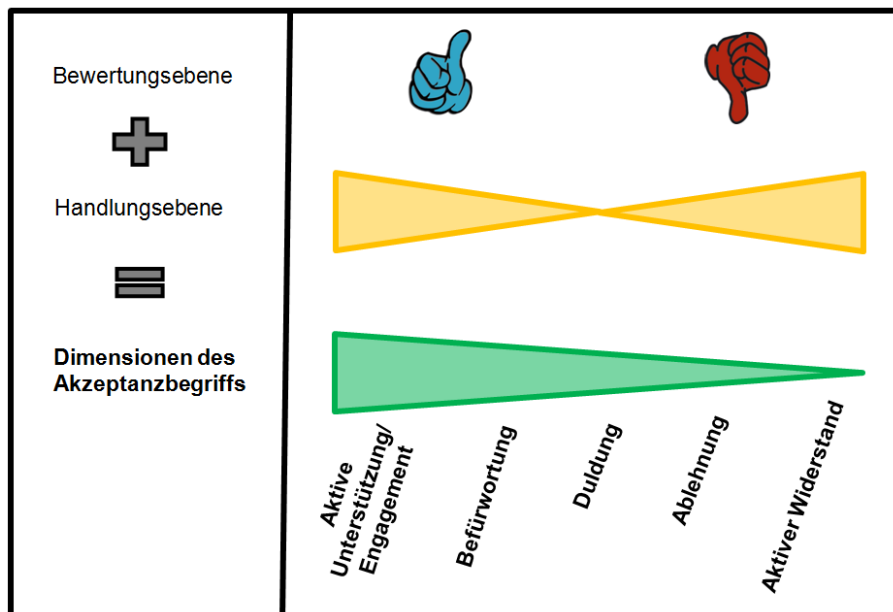


Abbildung 5.2: Definition und Verständnis des Akzeptanzbegriffs [eigene Darstellung; Datengrundlage: [235]]

Die Akzeptanz wird durch zwei verschiedene Ebenen - die Bewertungs- und die Handlungsebene - bestimmt. Während sich die Bewertung in einer positiven oder negativen Einstellung widerspiegelt, ist die Handlung durch eine aktive oder passive Verhaltensweise gekennzeichnet. Abhängig von der Bewertungs- und Handlungsebene lassen sich daraus verschiedene Dimensionen des Akzeptanz-Begriffs ableiten, die von einer hohen Akzeptanz (aktive Unterstützung/Engagement) bis hin zu keiner Akzeptanz (aktiver Widerstand) reichen. Entscheidend bei der Definition des Akzeptanzbegriffes ist die Einbeziehung der Handlungsebene [238]. Diese ist vermutlich auf die häufig vorliegende Diskrepanz zwischen der positiven Bewertung und dem geringen Einsatz (aktive Unterstützung) für den Ausbau der Biomassenutzung zurückzuführen [238].¹⁶⁰

Im Kontext der GS-Verwertungsstrategie ergibt sich folgende Definition für den Begriff „Akzeptanz“:

Die Akzeptanz der GS-Verwertungsstrategie (=Akzeptanzobjekt) stellt das positive Ergebnis eines Bewertungsprozesses durch die Bürgerinnen/Bürger (=Akzeptanzsubjekt) dar (=Bewertungsebene). Die Akzeptanz beruht dabei auf einem langfristigen Bewertungsprozess und ist nicht das Ergebnis, das durch kurzfristige Einstellungen/Bewertungen charakterisiert ist. Der Bewertungsprozess ist an bestimmte Rahmenbedingungen (=Einflussfaktoren) geknüpft. Die positive Bewertung kann letzt-

¹⁶⁰Die Diskrepanz zwischen Bewertungs- und Handlungsebene kann analog zur Diskrepanz zwischen dem Umweltbewusstsein und dem Umweltverhalten angesehen werden.

endlich mit einer Handlungsabsicht bis hin zu einer konkreten unterstützenden Handlung für die Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie einhergehen (=Handlungsebene).

Als Akzeptanzsubjekt werden in der vorliegenden Arbeit die „Bürgerinnen/Bürger“ (im Folgenden kurz als Bürger bezeichnet) gewählt. Nach eigenen Einschätzungen sind die Bürger von entscheidender Bedeutung, weil diese eine sehr große Akteursgruppe darstellen und damit einen bedeutenden Einfluss auf die praktische Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie nehmen. Zudem kann durch eine aktive Mitarbeit und Unterstützung der Bürger die optimierte GS-Verwertungsstrategie besser erzielt werden.¹⁶¹ Anzumerken ist, dass die Akteursgruppe „Bürger“ eine große Heterogenität von verschiedenen Menschen beinhaltet, so dass es nicht „die Bürgerin bzw. den Bürger“ an sich gibt. Dies kann erschwerend zur Akzeptanzförderung bzw. -steigerung von Projekten beitragen.

5.3 Akzeptanzerhebung und -probleme bei der Biomasse/GS-Verwertung

Akzeptanzerhebung der GS-Verwertung

Mit Hilfe einer Akzeptanzerhebung im LK - beispielsweise mittels Fragebögen oder Interviews - kann die Sensibilität der Bürger sowie die aktuelle Akzeptanzquote hinsichtlich der Biomassenutzung und speziell hinsichtlich der bestehenden GS-Verwertungsstrategie erfasst werden. Des Weiteren können Fragen zur Ausgestaltung der optimierten GS-Verwertungsstrategie integriert und mögliche Bedenken erfasst werden.¹⁶² Entscheidend ist, dass nach der Erhebung, die Ergebnisse der Akzeptanzerhebung dargelegt und ermittelte Bedenken aufgegriffen und thematisiert werden. Im besten Fall sollten diese durch geeignete Maßnahmen minimiert werden.

Vor der konkreten Planung und Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie ist eine Akzeptanzerhebung im LK Mainz-Bingen empfehlenswert.¹⁶³ Im LK Mainz-Bingen

¹⁶¹ Des Weiteren beziehen sich die meisten Studien und Untersuchungen zur Akzeptanzforschung im Bereich der EE auf die Akteursgruppe die „Bürgerinnen und Bürger“ [238]. Um eine entsprechende Literaturbasis zu haben, wurde auch aus diesem Grund die Gruppe „Bürgerinnen und Bürger“ präferiert.

¹⁶² Laut Dienel et al. [239] ist es sinnvoll, die Akzeptanzerhebung bzw. Fragen zur Ausgestaltung der optimierten GS-Verwertungsstrategie nicht erst am Ende der technischen Planung durchzuführen, sondern möglichst frühzeitig die Bürger in den gesamten Prozess - von der Ideensammlung bis hin zur Umsetzung - zu integrieren.

¹⁶³ In Kooperation mit der Forschungsgruppe - Umweltpsychologie - der Universität des Saarlandes mit Außenstelle an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, die bereits Erfahrungen im Bereich der Akzeptanzforschung von erneuerbaren Energien gesammelt hat, könnte hierzu ein auf den LK Mainz-Bingen abgestimmter Fragebogen erarbeitet und zur Akzeptanzerhebung verwendet werden.

liegen bisher keine Akzeptanzerhebungen zum Thema „Biomassenutzung“ vor. Im Folgenden wird auf Akzeptanzerhebungen von Deutschland und von RLP zurückgegriffen.¹⁶⁴

In Deutschland wurde eine Umfrage zur Akzeptanz von verschiedenen erneuerbaren Energieanlagen zur Stromerzeugung in der Nachbarschaft durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abb. 5.3 dargestellt.

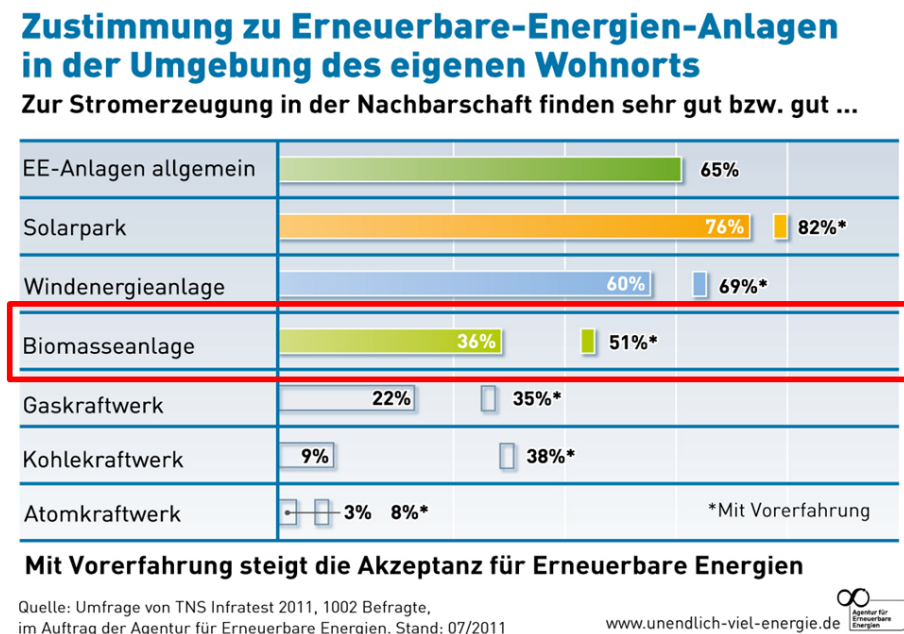


Abbildung 5.3: Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen zur Stromerzeugung in der Nachbarschaft [240]

In Abb. 5.3 fällt auf, dass Biomasseanlagen deutlich weniger Zustimmung in der Umgebung des eigenen Wohnorts erfahren als Windenergieanlagen oder Solarparks. Dies kann auf die allgemein bekannten „klischeehaften“ Akzeptanzprobleme von Biomasseanlagen (z.B. Geruchsbelästigungen) zurückzuführen sein. Auch wenn diese Probleme nicht alle Biomasseanlagen - wie beispielsweise ein HW zur GS-Verbrennung - aufweisen, nimmt dieser Aspekt sicherlich eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanzerhebung zum Thema „Biomassenutzung“ ein.¹⁶⁵

¹⁶⁴ Diese Daten und Ergebnisse der Akzeptanzerhebungen sind nicht direkt auf den LK Mainz-Bingen übertragbar.

¹⁶⁵ Die zugrunde gelegte Definition ist in Abb. 5.3 nicht ersichtlich. In Abb. 5.3 wird nach der Zustimmung gefragt, die annähernd mit der Akzeptanzdefinition in Kap. 5.2 mit der „Befürwortung“ gleich gesetzt werden kann. Zudem zeigt die Abb. 5.3 nur die Akzeptanz für die Strom- und nicht für die Wärmeenergieerzeugung. Grundsätzlich nimmt auch die Anzahl sowie die Auswahl der Befragten einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis einer Umfrage. Zudem bestehen offene Fragen hinsichtlich der Unbestimmtheit von Begriffen wie z.B. „in der Umgebung des eigenen Wohnorts“. Demnach sind Umfragen von verschiedenen Faktoren abhängig und werden dadurch bestimmt.

In RLP stellt sich das Ergebnis zur Akzeptanzerhebung einer Biomasseanlage in der Nachbarschaft ähnlich dar. Hier wurde eine Akzeptanzquote von ca. 43% im Jahr 2011 ermittelt, während im Vergleich dazu ca. 97% der Befragten aus RLP den Ausbau der EE befürworten [241].¹⁶⁶

Das Ergebnis einer Umfrage zum Thema „Biomasse“ ist in Abb. 5.4 dargestellt.

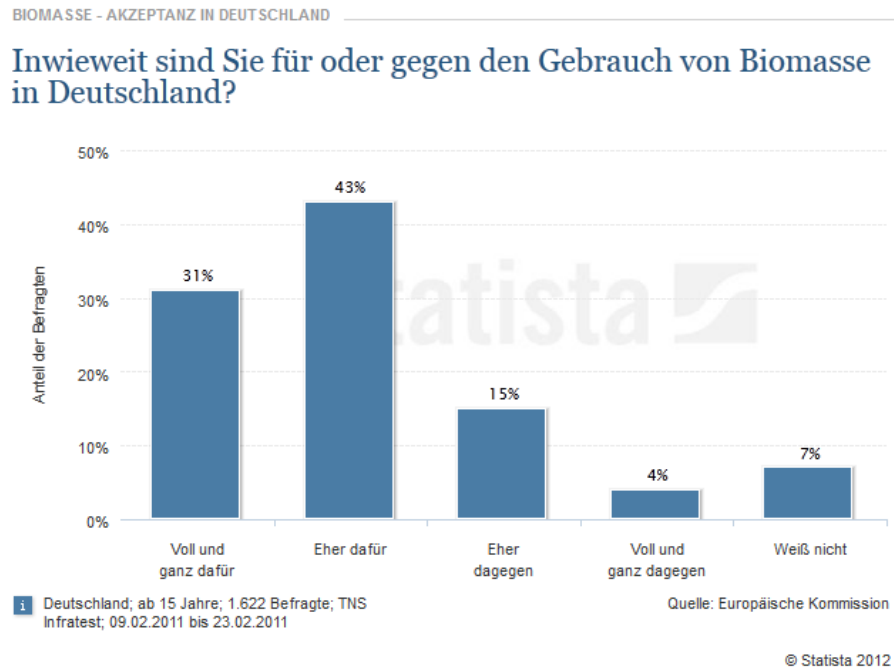


Abbildung 5.4: Ergebnisse der Umfrage zum Gebrauch von Biomasse in Deutschland [242]

Laut dieser Umfrage sind ca. 74% der Befragten für den Gebrauch von Biomasse und nur ca. 20% gegen die Biomassenutzung. Das abweichende Ergebnis zu den vorher dargelegten Umfragen kann dadurch zustande kommen, dass hier eine andere Fragestellung vorliegt. So weist diese Fragestellung keinen Bezug der Biomassenutzung zum eigenen Wohnort auf.¹⁶⁷

Eine abschließende Aussage zur allgemein gültigen Akzeptanz der Biomassenutzung (z.B. GS-Verwertung) kann nicht getroffen werden. Noch weniger ist eine Aussage zur erwarteten Akzeptanz der optimierten GS-Verwertungsstrategie im LK möglich.

¹⁶⁶Im Vergleich dazu liegt die Akzeptanz für einen Solarpark in der Nachbarschaft doppelt so hoch (ca. 80%). Die Akzeptanz von Atomkraftwerken sowie von Kohlekraftwerken in der Nachbarschaft liegt dagegen bei ca. 1% bzw. bei ca. 6% (Bezugsjahr: 2011).[241]

¹⁶⁷Die differierenden Ergebnisse der beiden Akzeptanzerhebungen zur Biomassenutzung können durch das NIMBY-Prinzip erklärt werden. Das NIMBY steht für „Not in my backyard“ und legt nahe, dass Bürger im Allgemeinen die Biomassenutzung positiv bewerten, wohingegen sie eine Biomasseanlage in der Nähe ihres Wohnumfeldes ablehnen. Das NIMBY-Prinzip ist in den letzten Jahren als Erklärungsansatz für eine fehlende Akzeptanz von EE-Projekten unter Wissenschaftlern stark in die Kritik geraten und ist als Erklärung für Akzeptanzprobleme eher nicht geeignet. Hauptkritikpunkte am NIMBY-Prinzip sind u.a. ein nicht ausreichender Differenzierungsgrad und ein fehlendes theoretisches Fundament auf dem das NIMBY-Prinzip beruht.[243]

Es gibt eine Vielzahl von Biomasseanlagen und -ausführungen sowie unterschiedliche Biomassearten (z.B. GS oder Energiepflanzen)¹⁶⁸, die zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich deren Akzeptanz führen können. Die dargelegten und zitierten Akzeptanzerhebungen beruhen nach eigenen Einschätzungen auf stark vereinfachten Umfragen. Da es nicht „die Biomasseanlage“ gibt, ist eine Akzeptanzerhebung zur Biomassenutzung im Vergleich zu anderen EE wie Solar- und Windenergie sehr schwierig.

An dieser Stelle sei - speziell im Hinblick auf die optimierte GS-Verwertungsstrategie - auf die Akzeptanzsituation im RHK hingewiesen.¹⁶⁹ Laut rhe [245] gab und gibt es keine Akzeptanzprobleme von Seiten der Bürger hinsichtlich dieser GS-Verwertungsstrategie. Im Gegenteil, die Bürger waren zum Teil sehr begeistert von der Idee der Verwertung des holzartigen GS (Baum- und Strauchschnitt) zur Beheizung von öffentlichen Einrichtungen.

Allerdings ist auch die Übertragbarkeit der Akzeptanz im RHK auf den LK Mainz-Bingen nicht gegeben, denn die beiden Kreise sind recht unterschiedlich.¹⁷⁰

Einflussfaktoren auf die Akzeptanz

Die Akzeptanz zur Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie wird durch vielfältige Faktoren beeinflusst (Abb. 5.5).

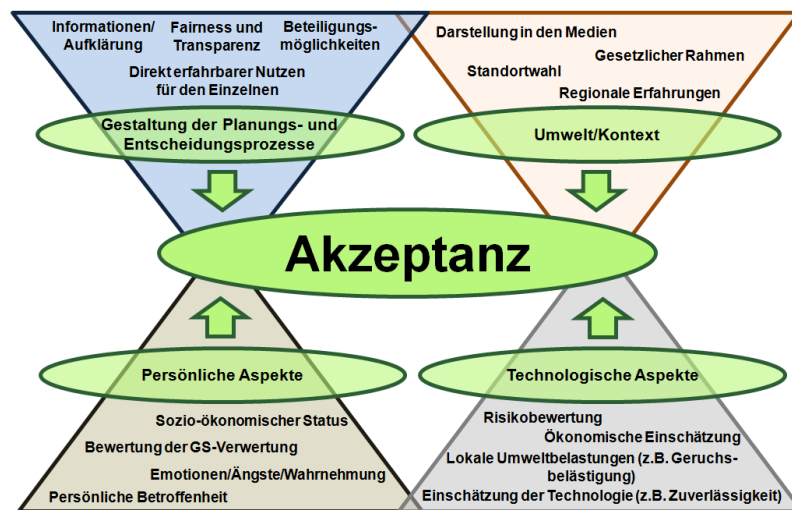


Abbildung 5.5: Einflussfaktoren auf die Akzeptanz [eigene Darstellung; Datengrundlage: [246]]

¹⁶⁸ Laut Zoellner [244] sind die favorisierten Biomassearten/-substrate Klärschlamm und Abfälle (wie beispielsweise GS), wohingegen Energiepflanzen eher abgelehnt bzw. nicht akzeptiert werden.

¹⁶⁹ Die Nähe zum LK Mainz-Bingen sowie die Tatsache, dass der RHK bereits einige Heizwerke - mittlerweile 3 Anlagen - zur Wärmeerzeugung aus GS-Hackschnitzeln zur Beheizung von Schulgebäuden o.ä. verwendet, führte zur Auswahl dieses Kreises.

¹⁷⁰ Im Vergleich zum LK Mainz-Bingen ist der RHK wesentlich ländlicher geprägt. Die Bürger haben andere Einstellungen und einen anderen Umgang mit der GS-Verwertungsstrategie.

Die Vielzahl der dargelegten Einflussfaktoren zeigt erstens auf, wie wichtig die Einbeziehung von sozialen Aspekten im Kontext der Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie ist und zweitens, dass die Akzeptanzförderung ein komplexes und schwieriges Thema ist. Es reicht ein Einflussfaktor (z.B. fehlende Informationen) aus, um die Akzeptanz zu gefährden. Zu den Einflussfaktoren, die die Akzeptanz der Akteursgruppe „Bürger“ prägen und bestimmen, kommt erschwerend hinzu, dass noch weitere Akteure, wie z.B. Kommunalpolitiker, an der Planung und Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie beteiligt sind. Dadurch können zusätzlich Interessens- und Zielkonflikte sowie Verteilungs- und Nutzungskonflikte auftreten, die den Prozess der Akzeptanzförderung/-steigerung negativ tangieren [247].

Ein entscheidender Einflussfaktor für die Akzeptanz ist bei allen Anlagen die Vorerfahrung und regionale Vorprägung. Bestehen im LK bereits positive Erfahrungen mit dem Ausbau von Biomasseanlagen, so steigt die Akzeptanz hierfür deutlich an [240].

Akzeptanzprobleme bei der GS-Verwertungsstrategie

Je nach Bewertung oder Wahrnehmung der Einflussfaktoren können diese eine Ursache für Akzeptanzprobleme darstellen oder zur Akzeptanz führen. Nachfolgend werden mögliche Ursachen für eine fehlende Akzeptanz und damit für das Auftreten von Akzeptanzproblemen bei der Umsetzung der „optimierten“ GS-Verwertungsstrategie aufgezeigt. Dabei wird auch auf Argumente zurückgegriffen, die häufig gegen eine Biomasseanlage und nicht speziell gegen eine GS-Verwertungsanlage vorgebracht werden.

Für die erfolgreiche Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie ist unerheblich, ob die Gründe (Akzeptanzprobleme), die gegen die Verwertungsstrategie vorgebracht werden, objektiv gerechtfertigt sind oder nicht [92]. Es ist vorstellbar, dass Gründe, wie z.B. Lärmbelästigungen, vorgeschoben werden auch wenn die Anlage gar keine Lärmbelästigungen verursachen wird.

Tab. 5.1 zeigt einige Ursachen für Akzeptanzprobleme, die bei der konkreten Planung und Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie auftreten können.¹⁷¹

Die genannten Ursachen für Akzeptanzprobleme (Tab. 5.1) lassen sich unterschiedlich gut durch entsprechende akzeptanzfördernde Maßnahmen beeinflussen. Der Einflussgrad auf ein erhöhtes Transportaufkommen/-belästigung und die erhöhten lokalen

¹⁷¹ Bei den dargestellten Ursachen handelt es sich lediglich um eine Auswahl, so dass keine Vollständigkeit gewährleistet werden kann.

Schadstoffemissionen wurden am geringsten eingeschätzt. Dies lässt sich damit begründen, dass die favorisierte Verfahrenskombination (Kap. 3.3.4) infolge der Errichtung von mehreren HW mit einem erhöhten Transportaufkommen im LK verbunden ist. Zudem ist durch die gesteigerte Erfassung von GS-Mengen ebenfalls mit einer Zunahme der Transportbelastungen zu rechnen. Diese Probleme lassen sich allerdings nicht vermeiden und können nur durch entsprechende Regelungen vermindert werden, z.B. Anlieferung der GS-Hackschnitzel zu den HW mit wenigen Beeinträchtigungen. Hierfür sind die direkten Anwohner mit einzubeziehen und deren Wünsche und Äußerungen zu integrieren.

Tabelle 5.1: Ursachen für Akzeptanzprobleme bei der GS-Verwertungsstrategie und deren Einflussgrad

- erhöhte/s Transportaufkommen/-belastung - erhöhte lokale Schadstoffemissionen - (NIMBY)	- kein direkt erfahrbare Nutzen; nur Nachteile - Änderung von Verhaltensmustern (Mensch = Gewohnheitstier) - Skepsis gegenüber neuen und damit häufig als komplex wahrgenommene Technologien [34] - Geruchsbelästigung	- Untransparenz des Planungs-/ Entscheidungs- und Umsetzungsprozesses - fehlende und/oder falsche Informiertheit - schlechte Erfahrungen mit dem Projektleiter/initiator - mangelnde Kenntnisse über GS-Verwertungstechnologien
---	---	--



Ein weiteres Akzeptanzproblem stellen die erhöhten lokalen Schadstoffemissionen dar. Zum einen ergeben sich diese durch ein erhöhtes Transportaufkommen und zum anderen durch die Verbrennung der GS-Hackschnitzel in den HW. Die Emissionen können zwar durch nachgeschaltete Rauchgasreinigungsanlagen (insbesondere Filtereinrichtungen zur Staubabscheidung) verringert werden, sind aber nicht vollständig vermeidbar.

Nach eigenen Einschätzungen sind die Bürger im LK Mainz-Bingen vor allem durch Geruchsbelästigungen im Zusammenhang mit dem Humuswerk in Essenheim geprägt und sensibilisiert. Die bislang reine Kompostierungsanlage war häufig wegen seiner Geruchsbelästigungen in den nahe gelegenen Ortschaften und in den Medien in der Kritik [248–250].¹⁷²

¹⁷²Beim „Forum Umwelt“ (Kap. 3.1) im Jahr 2012 bei dem das Thema „Zu viel oder zu wenig - Akzeptanz der regenerativen Energien“ im Fokus stand, kam bei den Diskussionen das „Humuswerk Essenheim“ ins Gespräch. Laut eines Gastes beim „Forum Umwelt“ hat man vor der Errichtung des Humuswerks den Anwohnern versprochen, dass es zu keinen Geruchsbelästigungen kommt. Dies ist in der Realität nicht der Fall. Durch die Vorschaltung einer Vergärungsstufe vor dem Humuswerk gab es einen erneuten Artikel [251] in dem geschrieben stand, dass sich die Geruchsemissionen und -belästigungen vermindern werden. Das Vertrauen der Bürger ist nun allerdings nicht mehr vorhanden. Es ist davon abzuraten, das Thema „GS-Verwertung“ in Verbindung mit dem Humuswerk Essenheim bzw. der Bioabfallverwertung an die Öffentlichkeit zu tragen.

Die Verbrennung der GS-Hackschnitzel in HW sollte mit keinen Geruchsbelästigungen verbunden sein.¹⁷³ Die Vergärung des krautartigen GS in der Vergärungsanlage in Essenheim kann zu Geruchsproblemen führen. Die Vergärungsanlage und nachgeschaltete Kompostierungsanlage sollen technisch so ausgerüstet werden, dass nur geringe Geruchsemissionen auftreten [146]. Unabhängig davon, ob der GS und dessen Verwertung zu Geruchsbelästigungen führt oder nicht und ob diese Geruchsbelästigungen eher den Bioabfall betreffen, muss mit diesem Akzeptanzproblem aufgrund der Vorprägung der Bürger gerechnet werden.

Abschließend zu den Akzeptanzproblemen und deren Ursachen ist festzuhalten, dass sich die Bürger darüber bewusst werden müssen, dass der Ausbau der EE nur mit Veränderungen ihres gewohnten Umfeldes einhergehen kann. Derzeit findet die Strom- und Wärmeerzeugung beispielsweise durch ein Kohlekraftwerk, das sicherlich zu einer höheren Nicht-Akzeptanz vor der eigenen Haustür führen würde, nicht direkt vor ihrer Haustür statt. Daher registrieren die Bürger nicht viel davon. Das Zeitalter der erneuerbaren Energien ist allerdings - aufgrund deren dezentralen Nutzung - durch die direkte Wahrnehmung der Strom- und Wärmeerzeugung vor Ort und damit vor der eigenen Haustür gekennzeichnet [252].

5.4 Maßnahmenvorschläge zur Akzeptanzförderung/-steigerung für die GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen

Ein wichtiges „Instrument“ zur Akzeptanzförderung bzw. -steigerung sind Partizipationsmaßnahmen (-formen, -methoden) [34, 105, 219, 238, 253–258], die auf kommunaler Ebene besonders wichtig sind [257]. Dadurch können Bürger vor Ort zur Erarbeitung einer akzeptablen Lösung beitragen und lokale Widerstände (Nicht-Akzeptanz) verhindert werden. Im Idealfall kann dies bei den Bürgern zu einer aktiven Unterstützung (Kap. 5.2) der GS-Verwertungsstrategie führen.

Der Begriff „Partizipation“ (auch Beteiligung genannt) wird sehr vielfältig eingesetzt und ist - wie der Begriff „Akzeptanz“ - nicht eindeutig definiert [235]. In der Arbeit wird die Definition bzw. das Verständnis von Schweizer-Ries [235] für den Partizipations-Begriff zugrunde gelegt (Abb. 5.6).

¹⁷³ Da Geruchsbelästigungen bekanntlich subjektiv sind, kann der erdige Geruch der HHS als Geruchsbelästigung wahrgenommen werden.

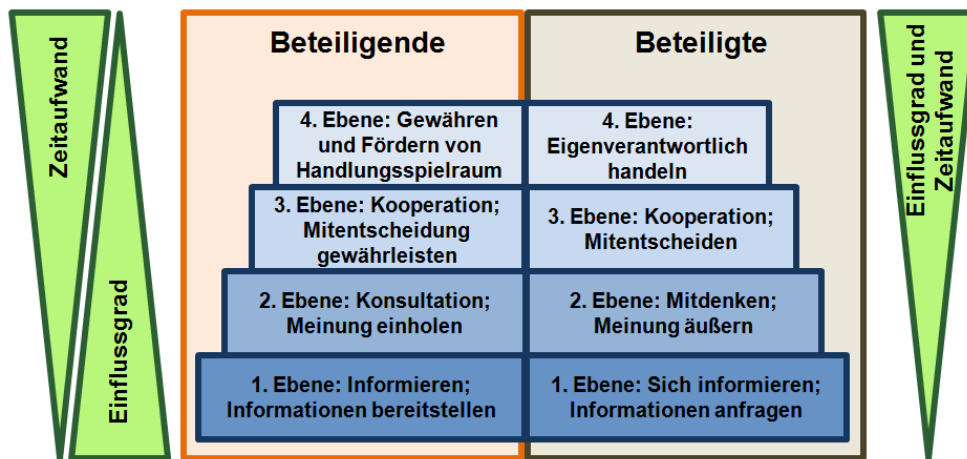


Abbildung 5.6: Definition und Verständnis des Partizipationsbegriffs [in Anlehnung an [235, 259]]

Partizipation ist als kommunikatives Instrument zu verstehen und kann auf 4 verschiedenen Ebenen stattfinden, die sich durch einen unterschiedlichen Aktivitäts- und Einflussgrad der Beteiligten und der Beteiligten auszeichnen. Die Beteiligten und damit die Zielgruppe der Partizipationsmaßnahmen sind die Bürger als Akzeptanzsubjekt (Kap. 5.2). Die Beteiligten sind die Initiatoren der GS-Verwertungsstrategie (z.B. der LK Mainz-Bingen). Bei der 1. Ebene der Partizipation besteht durch die Bereitstellung von Informationen von Seiten des LK eine einseitige Kommunikation. Die Bürger können sich diese Informationen ansehen und sich über das geplante Vorhaben „die GS-Verwertung“ informieren. Bei der 4. Ebene des Partizipationsverständnisses ist der Einflussgrad der Beteiligten am größten und die Beteiligten werden durch eigenverantwortliches Handeln in den Prozess der GS-Verwertung eingebunden. Dadurch entsteht eine beidseitige Kommunikation. Die Bürger als Beteiligte sind nicht mehr nur Empfänger (wie bei der 1. Partizipationsebene), sondern auch Sender durch die aktive Einbringung und Mitgestaltung des GS-Verwertungsprozess. Für die Beteiligten ergibt sich mit zunehmender Partizipationsebene (1 bis 4) ein größerer Einflussgrad aber auch ein höherer Zeitaufwand (Abb. 5.6). Dagegen nimmt der Einflussgrad der Beteiligten mit zunehmender Ebene ab und der Zeitaufwand erhöht sich (Abb. 5.6).

Eine Bürgerbefragung der Forschungsgruppe - Umweltpsychologie - [238, 259, 260] zu verschiedenen Partizipationsmaßnahmen auf den vier Partizipationsebenen hat folgende Erkenntnisse gebracht. Es besteht ein deutliches Interesse der Bürger nach Partizipation bei der Einführung von EE-Anlagen vor allem auf der Ebene der Information (1. Ebene) und der Konsultation (2. Ebene) [238, 259, 260]. Auf den Ebenen der Kooperation (3. Ebene) und dem eigenverantwortlichen Handeln (4. Ebene) ist

das Interesse geringer ausgeprägt. Diese beiden Ebenen sind jedoch entscheidend für eine aktive Unterstützung [238]. Um die aktive Unterstützung (Kap. 5.2) der Bürger zu gewinnen, ist es wichtig sie rechtzeitig in die GS-Verwertungsstrategie einzubinden [238, 259, 260].¹⁷⁴

Partizipationsmaßnahmen können insbesondere die in Tab. 5.1 (Kap. 5.3) aufgezeigten möglichen Akzeptanzprobleme in der rechten Tabellenspalte vermindern bzw. deren Auftreten vermeiden. Die Entstehung und das Auftreten dieser Akzeptanzprobleme ist entscheidend vom Projektinitiator (hier: dem LK) bzw. der Prozessgestaltung abhängig. Deshalb besteht hier eine große Einflussnahme.

Die inhaltliche Schwerpunktsetzung der nachfolgend aufgezeigten akzeptanzfördernden Maßnahmen liegt auf der Verbrennung des GS in HW sowie der Umgestaltung des Erfassungssystems durch eine getrennte Annahme der beiden GS-Fraktionen an den Sammelstellen im LK (Kap. 4, 1. Ansatz).

Es gibt eine Vielzahl von Partizipationsmaßnahmen die im Zusammenhang mit der inhaltlichen Schwerpunktsetzung eingesetzt werden können. In der Arbeit wird folgendes Portfolio an Partizipationsmaßnahmen betrachtet und konkrete Umsetzungs- und Ausführungsmöglichkeiten für die GS-Verwertung dargelegt (Abb. 5.7).¹⁷⁵

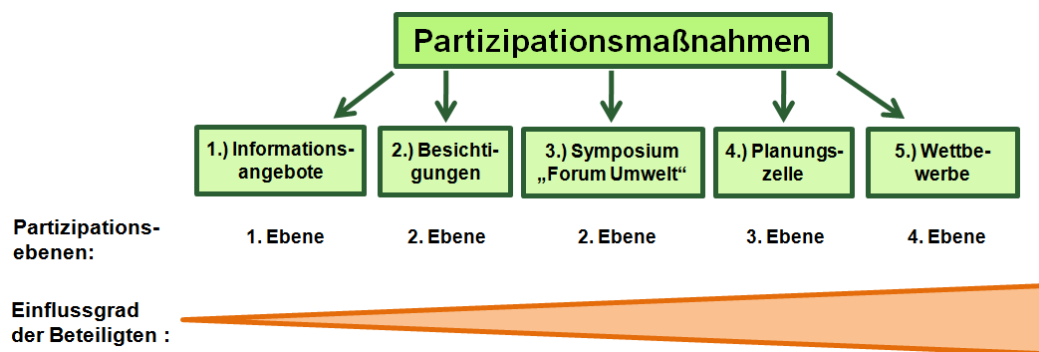


Abbildung 5.7: Portfolio an Partizipationsmaßnahmen für die GS-Verwertung [eigene Darstellung]

¹⁷⁴ Partizipationsmaßnahmen, die vom Bürger nicht wahrgenommen werden, können sich negativ auswirken und mit einer Ablehnung bis hin zum aktiven Widerstand einhergehen [238].

¹⁷⁵ Laut Schweizer-Ries [238] besteht hinsichtlich der konkreten Ausgestaltung von Erfolg versprechenden Partizipationsmaßnahmen in Bezug auf die Zielgruppe (z.B. Bürger) und den Zeitpunkt ihrer Einbindung noch ein hoher Forschungsbedarf.

1. Informationsangebote (1. Partizipationsebene)

Informationsangebote stellen die am meisten präferierte Partizipationsmaßnahme dar [238]. Bestehende Informationsangebote bleiben laut Schweizer-Ries [238] nach der Wahrnehmung der Bürger hinter dem Wunsch nach Informationen zurück. Die Wahrnehmung fehlender Informationsangebote wirkt sich unmittelbar in einer mangelnden Akzeptanz aus.

Die Bereitstellung von Informationen und damit zugleich die Schaffung von Transparenz sind grundlegende Voraussetzungen als Basis für die Akzeptanzförderung. Laut Stiehler [261] wirkt sich der Informationsgrad signifikant positiv auf das Akzeptanzverhalten aus. Unwissenheit bei Bürgern infolge fehlender Informationen erzeugt einen aktiven Widerstand [256, 257].¹⁷⁶ Demnach sind Informationsangebote über die optimierte GS-Verwertungsstrategie als akzeptanzfördernde Maßnahmen entscheidend und unbedingt einzubinden.

Für die Gestaltung bzw. Verbreitung von Informationsangeboten steht eine Vielzahl von Informationsmedien (z.B. Internet, Zeitung, öffentliche Veranstaltungen) und insbesondere von Informationsmaterialien (z.B. Flyer, Plakat, Katalog) zur Verfügung. Um eine möglichst breit angelegte öffentlichkeitswirksame Informationspolitik zu erzielen und viele Bürger zu erreichen, ist der Einsatz verschiedener Medien und Materialien empfehlenswert.

Für die Verbreitung von Informationen stellt sich in erster Linie die Frage nach dem richtigen Informationsmedium. Die Antwort ist abhängig von der Zielgruppe und deren Erreichbarkeit.

Zudem ist die Informationsquelle (Absender, Ansprechpartner) entscheidend. Kritisch hierbei wird insbesondere die Rolle des Projektinitiators als Hauptinformationsquelle angesehen [253], da dieser das Projekt nicht objektiv darstellen wird. Es ist ratsam unabhängige Gutachten oder Dritte, die keinen direkten Nutzen von dem Vorhaben haben (z.B. Wissenschaftler), einzubinden.

Nicht zuletzt ist auch die Gestaltung der Informationen ein bedeutender Einflussfaktor für die Akzeptanz des Projektes. Anschauliche Informationsmaterialien mit einem prägnanten und leicht verständlichen Text sind unabdingbar [255], um möglichst viele Bürger zu erreichen. Ein Ansprechpartner für eventuelle Rückfragen sollte mit angegeben werden [262].

¹⁷⁶Gründe für den aktiven Widerstand von Bürgern durch eine fehlende Informationspolitik können darin gesehen werden, dass sich die Bürger übergangen fühlen und Geheimnisse der Projektinitiatoren vermuten. Zudem können sie fehlende Informationen als Anzeichen wahrnehmen, dass z.B. mit dem Bau eines GS-HW Gefährdungen für sie entstehen.

In Bezug auf die Akzeptanzförderung für die GS-Verwertungsstrategie ist unter Beachtung der vorher genannten Ausführungen zum Einsatz von Informationsangeboten als Beispiel ein Flyer entworfen worden (Abb. 5.8). Dieser Flyer informiert die Bürger erstens über die Änderungen der GS-Verwertung und deren Sinn (Vorderseite) und zweitens über die zukünftig getrennte Annahme der beiden GS-Fractionen an den Sammelstellen (Rückseite). Durch die Verwendung eines Flyers, der zum Beispiel als Beileger im „Dreckblättchen“ (Kap. 3.3.3) integriert werden kann, können die Bürger im LK erreicht werden [263].



Abbildung 5.8: Entwurf eines Flyers zur Information der Bürger über die optimierte GS-Verwertungsstrategie [eigene Darstellung]

Für die zukünftig getrennte Annahme an den Sammelstellen (präferierter Ansatz, Kap. 4) sollten diese entsprechend umgestaltet werden. Durch Hinweisschilder und Markierungen sollte die Umstellung für den Bürger so leicht wie möglich gemacht werden. Im LK Emsland ist bereits eine getrennte Annahme der beiden Fraktionen eingeführt. Hier wurde festgestellt, dass nicht nur die bildliche Darstellung der zu trennenden Fraktionen, sondern in erster Linie die Aufforderung „Bitte trennen“ an den Sammelstellen entscheidend ist (Abb. 5.8).

Informationen sollten den gesamten Prozess der „optimierten GS-Verwertungsstrategie“ von der Planung bis zur praktischen Umsetzung begleiten. Auch nach Umsetzung der Strategie sollten in regelmäßigen Abständen Informationen bereitgestellt werden.

Abschließend zu den Informationsangeboten als Partizipationsmaßnahme ist festzuhalten, dass umfangreiche und qualitativ hochwertige Informationen noch keine Garantie für die Akzeptanz bzw. für die Zustimmung zur GS-Verwertung darstellen. Je konfliktbehafteter ein Projekt ist, desto wichtiger sind zweiseitige Kommunikationsprozesse als Partizipationsmaßnahmen (3. und 4. Ebene Abb. 5.7), die nachfolgend betrachtet werden.[257]

2. Besichtigungen/Tag der offenen Tür (2. Partizipationsebene)

Besichtigungen oder Tage der offenen Tür werden als Partizipationsmaßnahme laut Rau/Zoellner [259] als sehr wichtig bewertet. Es gibt verschiedene Arten von Besichtigungen. Während Besichtigungsfahrten (Exkursionen) meistens vor der Umsetzung eines Projektes erfolgen, stellen Tage der offenen Tür Besichtigungen dar, die bereits über die Realisierung/Umsetzung des Projekts im eigenen LK informieren. Im Folgenden wird die Betrachtung auf Besichtigungsfahrten fokussiert, da diese Art der Besichtigung vor der Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie zur Akzeptanzförderung/-steigerung eingesetzt werden kann.

Eine Besichtigungsfahrt zu bereits bestehenden Anlagen in der Region trägt zur Akzeptanzförderung bei. Durch die Besichtigung vor Ort können die für viele Bürger zunächst abstrakten Planungen einer Anlage greifbar bzw. vorstellbar werden [256]. Die Bürger können die Anlage hautnah erleben, wodurch Bedenken oder „falsche“ Vorstellungen aus dem Weg geräumt werden können.

Es ist wichtig bei der Auswahl der Referenzanlagen darauf zu achten, dass diese der geplanten Anlagentechnik und den vorgesehenen Standortbedingungen im eigenen LK ähneln, damit die Anlage eine entsprechende Vergleichbarkeit aufweist.

Analog zu den Informationsangeboten ist es entscheidend, die Glaubwürdigkeit bzw. Neutralität zu bewahren. Deshalb sollten nicht nur Anlagenbetreiber sondern auch Anwohner der Anlage als Ansprechpartner für Fragen zur Verfügung stehen [262]. Insbesondere für die Planung einer Besichtigungsfahrt mit Bürgern aus dem LK sind Anwohner bereits realisierter Anlagen als Austausch- und Gesprächspartner unbedingt anzufragen.

In Bezug auf die optimierte GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen kann eine Besichtigungsfahrt wie folgt aussehen. Über die geplante Fahrt können interessierte Bürger z.B. über die Lokalzeitung informiert werden. Mit einem Bus werden die Bürger zu verschiedenen in der Nähe des LK Mainz-Bingen liegenden bereits realisierten

Anlagen gefahren. Folgende Referenzanlagen kommen hierfür in Frage: GS-HW im RHK (mittlerweile 3 HW), HW in Mainz, Landstuhl, Weilerbach und Mackenbach (zu ca. 50-75% GS als Brennstoff) [35], BioTherm-HKW Baden-Airpark in Rheinmünster (sofern dieses noch mit GS betrieben wird).¹⁷⁷

Nach der Besichtigung von ca. 2 Anlagen können sich die Bürger mit Nachbarn einer bereits realisierten Anlage austauschen und Fragen stellen. Anschließend werden ca. 2 weitere Anlagen besichtigt.

Um eine Meinung von den Bürgern (2. Ebene der Partizipation) einzuholen, sollte am Ende der Besichtigungsfahrt ein Fragebogen von diesen ausgefüllt werden. Hiermit kann z.B. herausgefunden werden, ob mögliche Bedenken aus dem Weg geräumt werden konnten oder sich bestätigt haben.¹⁷⁸

Abschließend sei noch der Hinweis gegeben, dass von BioKommunal Besichtigungsfahrten speziell für kommunale Entscheidungsträger angeboten werden [264]. In Kooperation mit BioKommunal könnte eine Besichtigungsfahrt für die Bürgermeister der kreisangehörigen Kommunen im LK organisiert werden. Dadurch können diese von der Notwendigkeit einer effizienten und hochwertigen GS-Verwertung und zur Kooperation mit dem LK im Bereich der GS-Verwertung überzeugt werden.

3. Symposium „Forum Umwelt“ (2. Partizipationsebene)

Öffentliche Vortragsveranstaltungen gewinnen zunehmend an Bedeutung [255]. Vortragsveranstaltungen können zur Sensibilisierung und Erstinformation eingesetzt werden. Bürger können im Anschluss an die Vorträge Fragen stellen sowie ihre Meinung äußern und werden damit integriert.

Um eine einseitige Vortragsveranstaltung zu vermeiden, sind nicht nur Befürworter als Referenten einzuladen. Wichtig ist, dass auch Gegner zu Wort kommen und ihren Standpunkt äußern können.

Die Vorträge der Referenten sollten kurz, allgemein verständlich und prägnant sein. Zudem sind ausreichende Pausen für den Austausch zwischen den Zuhörern untereinander und mit den Referenten einzuplanen.

Für die Diskussionsrunde sollte genügend Zeit eingerichtet werden. Diese sollte von einem Moderator geleitet werden. Zur Festhaltung der Ergebnisse aus den Diskus-

¹⁷⁷ Zudem kann, je nach dem wann die GS-Verwertungsstrategie umgesetzt wird und wie sich der Stand der Technik entwickelt, auch die seit 2010 in Karlsruhe betriebene HTC-Anlage besichtigt werden.

¹⁷⁸ Sofern im LK Mainz-Bingen sowohl ein Standort für ein großes ORC-HKW mit einer entsprechend hohen Wärmeabnahme als auch mehrere Standorte, die sich für GS-HW eignen, ausfindig gemacht werden können, kann auch die Frage an die Bürger gestellt werden, ob sie ein großes ORC-HKW oder mehrere kleine GS-HW präferieren.

sionsrunden sollte ein Protokoll verfasst werden. Dieses kann auf der Homepage des LK für interessierte Bürger veröffentlicht werden und dort um eine Forum-Diskussion erweitert werden.

Im Rahmen des jährlich stattfindenden Forums Umwelt (Symposium des UEBZ (Kap. 3.1)) kann die „GS-Verwertung“ als Thema eingebunden werden. Es kann über die verschiedenen GS-Verwertungsmöglichkeiten oder speziell nur auf die zu dem Zeitpunkt der Veranstaltung bereits aus technischer Sicht etablierten Verwertungsmöglichkeiten referiert werden. Zur Erstinformation über die „GS-Verwertung“ ist es ratsam, das Thema weiter zu fassen und verschiedene Referenten auch zu noch nicht etablierten Verfahren einzuladen.

Ergänzend zu den Vorträgen kann für die Pausen eine Ausstellung zum Thema „Bioenergie“, z.B. von der DUH [265], dienen.

4. Planungszelle/Bürgergutachten (3. Partizipationsebene)

Als nächstes wird die Planungszelle näher betrachtet. Diese wurde Anfang der 1970er Jahre von Peter Dienel entwickelt und wird seitdem vielfach eingesetzt [239, 266]. Der Grundgedanke einer Planungszelle besteht darin, dass die häufig eingeschränkte fachspezifische Sichtweise der Projektinitiatoren (Planer) um bürgernahe Aspekte und Ideen erweitert wird [239]. Die Bürger bekommen die Gelegenheit ihre Erfahrungen und ihre Kompetenzen einzubringen und dadurch zur Problemlösung beizutragen [266]. Durch die zufällige Auswahl, der nicht direkt vom Problem betroffenen Bürger aus verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen, kann eine gerechte Entscheidung für das Allgemeinwohl erzielt werden. Diese Tatsache führt zu einer hohen Akzeptanz des aus einer Planungszelle resultierenden Bürgergutachtens [266].

Im Rahmen einer Planungszelle werden ca. 25 Bürger aus dem LK zufällig ausgewählt, die für ca. 3-5 Tage von ihren alltäglichen Verpflichtungen (insbesondere ihrer Arbeit) freigestellt werden, um innerhalb dieser Zeit Lösungsvorschläge bzw. Empfehlungen für ein vorgegebenes Problem auszuarbeiten [239]. Die Motivation und Wertschätzung zur Teilnahme an der Planungszelle wird gesteigert, in dem die Ausgewählten schriftlich eingeladen werden und eine Vergütung erhalten. Die Referate externer Fachexperten werden als Impulsgeber für die anschließenden Diskussionen in Kleingruppen (ca. 5 Personen) eingebracht. Als Ergebnis der Planungszelle wird ein Bürgergutachten mit den Empfehlungen und Lösungsvorschlägen erstellt.

Laut Lackner/Rappl [267] eignet sich der Einsatz von Planungszellen insbesondere auf der Gemeinde- oder Kreisebene. Zudem ist die Planungszelle für die Bewertung mehrerer zur Auswahl stehender Planungsalternativen bevorzugt einsetzbar [267].

Bei der Ausgestaltung und Organisation einer Planungszelle sind einige Aspekte zu beachten. Von besonderer Bedeutung ist die Heterogenität der ausgewählten 25 Bürger [268]. Die Erarbeitung von Lösungen und Empfehlungen sollte in stetiger Gruppenarbeit stattfinden [268]. Dabei ist die Unterstützung und beratende Funktion von Fachleuten, die innerhalb der 3-5 Tage zur Verfügung stehen, notwendig.¹⁷⁹

Die Ergebnisse der Planungszelle werden in einem Bürgergutachten zusammengetragen, das anschließend dem Projektinitiator (z.B. dem LK) als Entscheidungs- und Umsetzungsgrundlage zur Verfügung gestellt wird. Um die 3. Partizipationsebene zu gewährleisten, sollten die Empfehlungen und Lösungsvorschläge dieses Bürgergutachtens in die Umsetzung der GS-Verwertungsstrategie mit einfließen. Im Hinblick auf die optimierte GS-Verwertungsstrategie wird in der Partizipationsmaßnahme „Planungszelle“ vor allem die Möglichkeit gesehen, diese Strategie zum einen sozialverträglich auszugestalten und zum anderen einen möglichst hohen Nutzen für die Bürger im LK zu erzielen. Das Bürgergutachten kann Antworten auf wichtige Fragen geben:

1. Wie kann das GS-Erfassungssystem sozialverträglicher, bürgerfreundlicher und effizienter (in Bezug auf die Stoffstromtrennung) gestaltet werden?
2. Wie werden die 2 Verfahrenskombinationen beurteilt: 1. V/K und mehrere HW;
2. V/K und ein großes ORC-HKW (Schwerpunkt: Verbrennung in mehreren HW oder in einem großen ORC-HKW)?
3. Wie können die Bürger zum Anschluss an ein Nahwärmenetz, das durch ein GS-HW (oder ORC-HKW) mit Wärme gespeist wird, motiviert werden und wie sollte der Anschluss an ein Nahwärmenetz ausgestaltet werden?
4. Wie kann der regionale Nutzen (im LK) durch eine optimierte GS-Verwertungsstrategie erhöht werden?
5. Sollte die GS-Verwertung rekommunalisiert werden?

Eine weitere Partizipationsmaßnahme auf der 3. Ebene ist der in Kap. 4 vorgeschlagene Aufbau eines Netzwerks.

¹⁷⁹ Es ist schwierig, bei der Planungszelle die richtige Balance zwischen der Bearbeitungstiefe des Themas sowie der zur Verfügung stehenden Zeit zu finden [269]. Um diese Balance zu erreichen, ist es hilfreich einen Arbeitsplan zu erstellen und die Planungszelle durch einen externen unabhängigen Dritten durchführen und organisieren zu lassen. Vor der Durchführung der Planungszelle sollte die Problematik bei den Bürgern einen gewissen Bekanntheitsgrad aufweisen.

5. Wettbewerbe (4. Partizipationsebene)

Eine zunehmende Bedeutung nehmen laut Difu [255] einzelne öffentliche Aktionen ein, z.B. die Durchführung von Wettbewerben mit anschließender Preisverleihung. Durch diese Maßnahme können Bürger zum Handeln aufgefordert und deren Ideen und Vorstellungen zur GS-Verwertungsstrategie eingebracht werden. Damit kann die aktive Unterstützung der Bürger - als höchste Stufe der Akzeptanz (Kap. 5.2) - zur optimierten GS-Verwertungsstrategie erzielt werden.

Für die Gestaltung eines Wettbewerbs ist es wichtig, dessen Durchführung öffentlich zu kommunizieren (z.B. über lokale Zeitungen). Bedeutend ist die genaue Festlegung was ausgezeichnet wird und wozu der Wettbewerb durchgeführt wird. Zudem sind die Teilnehmenden bzw. Wettbewerber (Wettbewerbssubjekt) genau zu definieren und zu benennen. Nicht zuletzt ist der Preis, der bei dem Wettbewerb gewonnen werden kann, anzugeben.

Für die Optimierung der GS-Verwertungsstrategie sind zwei Beispiele für eine mögliche Ausgestaltung eines Wettbewerbs vorstellbar:

1. Dieses Beispiel ist für den Fall, dass zukünftig die GS-Mengen von den kreisangehörigen Kommunen nicht in Kooperation mit dem LK verwertet werden. Damit die GS-Mengen von den Kommunen effizienter verwertet werden, sollten Anreize gesetzt werden. Die alle zwei Jahre stattfindende Verleihung des Klimaschutzpreises vom UEBZ (Kap. 3.1) könnte hierfür einen Ansatz bieten. Kreisangehörige Kommunen im LK, die ihren Wärme- und Stromverbrauch zukünftig verstärkt durch Biomasse (inklusive GS) decken wollen und konkrete Konzepte und Ideen zu deren Umsetzung haben, können sich für den Preis bewerben. Die Voraussetzung ist, dass in das Konzept die GS-Mengen ihrer Kommune eingebunden werden. Darüber hinaus können noch weitere Biomassearten mit genutzt und integriert werden. Der Gewinner erhält zur Umsetzung seines Konzepts eine fachliche und organisatorische Unterstützung, ein Preisgeld (ca. 5.000 Euro (Kap. 3.1)) und wird mit dem Klimaschutzpreis im Bereich der Biomassenutzung im LK ausgezeichnet.¹⁸⁰
2. Dieses Beispiel ist für den Fall, dass sich der LK dazu entschließt, den holzartigen GS, der über den AWB erfasst wird, in mehreren HW im LK zu verbrennen.

¹⁸⁰Darüber hinaus können sich diese Kommunen, nach der Umsetzung ihres Konzepts für den Bundeswettbewerb „Bioenergiedörfer“ unter bestimmten Voraussetzungen und der Erfüllung bestimmter Kriterien bewerben und dort weitere 10.000 Euro gewinnen.

Hierfür werden Standorte gesucht.¹⁸¹ Kreisangehörige Kommunen, die einen geeigneten Standort mit einer Wärmeabnahme von mindestens 3.500 MWh/a (Kap. 3.3.4) vorlegen können, können unter Angabe der mit Wärme zu versorgenden Gebäude eine Bewerbung einreichen. Um die Kreativität der Kommunen zu fördern, ist dieser Wettbewerb an weitere Bedingungen geknüpft. Es müssen innovative Ideen und Maßnahmen, die mit dem Bau des GS-HW kombiniert werden können und ebenfalls einen Beitrag zum Klimaschutz im LK leisten, vorgeschlagen werden.¹⁸²

Für die Wettbewerbe sollten Bewerbungen sowohl für bereits umgesetzte Projekte als auch für Ideen oder Planungen berücksichtigt werden. Ideen oder Planungen sind allerdings unter dem Vorbehalt, dass diese auch umgesetzt werden, auszuzeichnen. Um bei dieser Partizipationsmaßnahme das eigenverantwortliche Handeln der Bürger zu fördern und zu gewährleisten, ist die Bildung einer Projektgruppe für den Wettbewerb unabdingbar. In diese Projektgruppe sind interessierte Bürger aus der jeweiligen Kommune mit einzubinden. Der Zusammenschluss von mehreren kleinen Kommunen (mit weniger als 1.000 EW) ist erwünscht und erlaubt. Diese können gemeinsam ihre Projektidee oder -umsetzung für den Wettbewerb einreichen. Des Weiteren werden Projekte, die verschiedene Biomassearten zur Energieversorgung (Wärme, Strom) und nicht nur eine Biomasseart nutzen, präferiert. GS muss jedoch auf jeden Fall mit genutzt werden.¹⁸³ Des Weiteren sind die in Kap. 3.3.1 genannten Zielsetzungen an eine optimierte GS-Verwertungsstrategie als Auswahlkriterien für den Gewinner des Wettbewerbs zu beachten.

Als besondere Partizipationsmaßnahme zur Implementierung eines Vorhabens sei an dieser Stelle auf die finanzielle Teilhabe, z.B. durch die Schaffung von Bürgeranlagen, hingewiesen [259, 270]. Bürger können sich hierbei an der geplanten Anlage (z.B. dem GS-HW) beispielsweise als Kapitalgeber finanziell beteiligen und von den Erträgen (z.B. durch Rendite der Anlage) profitieren [256].¹⁸⁴

¹⁸¹ Um seine Vorbildfunktion zu bewahren und Anreize für die GS-Verbrennung zu setzen, sollte der LK mindestens ein GS-HW selbst realisiert haben und für die Wärmeversorgung seiner eigenen Liegenschaften nutzen (Kap. 4).

¹⁸² Ein Beispiel ist z.B. die Wärmeerzeugung über das GS-HW vorwiegend in den Wintermonaten in Verbindung mit der Warmwassererzeugung über eine Solartherme-Anlage in den Sommermonaten. Neben dem Klimaschutzaspekt der Ideen und Maßnahmen sind auch ökologische Aspekte (z.B. Maßnahmen zum Lärmschutz oder zur Einbindung in das Landschaftsbild) bei der Wahl des Gewinners zu berücksichtigen.

¹⁸³ Aufgrund der vergleichsweise geringen Mengen, insbesondere auf der Ebene der kreisangehörigen Kommunen sollten andere Biomassearten, die in den Kommunen anfallen mit eingebunden werden oder alternativ der Zusammenschluss mehrerer Kommunen erfolgen.

¹⁸⁴ Beispiele für mögliche Ausgestaltungen einer finanziellen Teilhabe durch Bürgeranlagen sind u.a. in folgenden Literaturquellen zu finden: [271–273]

Abschließend zu den Partizipationsmaßnahmen ist anzumerken, dass Maßnahmen auf den vier verschiedenen Ebenen angeboten und miteinander kombiniert werden sollten. Die Reihenfolge bzw. der Zeitpunkt der einzelnen Maßnahmen sollte sinnvoll aufeinander abgestimmt werden.

Die professionelle Durchführung von Partizipationsmaßnahmen stellt keine Garantie für den gewünschten Erfolg „die Akzeptanzförderung/-steigerung“ dar. Allerdings werden ohne Partizipationsmaßnahmen Veränderungen von den Bürgern schwer akzeptiert und nicht mitgetragen [238].

6 Zusammenfassung und Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde eine optimierte GS-Verwertungsstrategie für den LK Mainz-Bingen entwickelt, um einen Beitrag zum „Null-Emissions-Landkreis“ zu leisten. Als Zielsetzungen für die Strategie wurden aufgestellt: möglichst hoher Klima- und Ressourcenschutz, verbessertes Stoffstrommanagement und Erhöhung der regionalen Wertschöpfung.

Die verschiedenen Prozessschritte (Erfassung, Sammel-/Transportlogistik, Aufbereitung/Verwertung) sowie die Organisation/Zuständigkeit der GS-Verwertungsstrategie mussten aufeinander abgestimmt werden. Hierfür wurde die IST-Situation der einzelnen Prozessschritte analysiert und daraus - anhand von empirischen Daten sowie der ermittelbaren Daten aus dem LK - Schwachstellen identifiziert. Aus diesen wurden Optimierungsvorschläge/-maßnahmen entwickelt und aufgezeigt. Folgende Ansätze lassen sich in diesem Zusammenhang darstellen:

Organisation/Zuständigkeit:

- Erhöhung der Einflussnahme des LK $\implies$ Ausschreibung an Nachhaltigkeitsaspekten ausrichten, optional: Rekommunalisierung der GS-Verwertung
- Förderung von Kooperationen $\implies$ Aufbau einer Netzwerkstruktur

GS-Mengen und deren Erfassung:

- Steigerung/Mobilisierung weiterer GS-Mengen/-stoffströme um ca. 30 Gew.-% und Schaffung einer besseren Datenlage $\implies$ Einführung eines Holsystems und Ausweitung der Sammelstellen prüfen, Reduzierung des GS-Anteils in der Restmülltonne, Aufklärung über die negativen Auswirkungen der Eigenkompostierung und Überprüfung der finanziellen Begünstigung für Eigenkompostierer,

Einbeziehung weiterer GS-Stoffströme (z.B. Uferbegleitgrün, Rebschnitt) durch den Aufbau eines flächendeckenden Stoffstrommanagements

- Stoffstromspezifische Erfassung $\implies$ getrennte Annahme der beiden GS-Fraktionen (holz- und krautartig) an den Sammelstellen

Sammel- und Transportlogistik:

- Klimafreundliche Sammel-/Transportlogistik $\implies$ verstärkte regionale Verwertung des GS in Anlagen im LK, EDV-gestützte Tourenplanungen, Sammel- und Transportfahrzeuge nach dem Stand der Technik, Schulung der Fahrer für eine nachhaltige Fahrweise

Verwertung:

Speziell für den Prozessschritt der GS-Verwertung wurde ein optimiertes Verwertungskonzept entwickelt. In Frage kommende Verwertungsverfahren wurden recherchiert und die daraus resultierenden Prozessketten, stoffstromspezifischen Anforderungen, regionalspezifischen Voraussetzungen, qualitativen Klimaschutzwirkungen und Kostenstrukturen für GS erarbeitet. Die ökologischen, ökonomischen und sozialen Vor- und Nachteile sowie der Stand der Technik dieser Verfahren wurden einander unter Berücksichtigung systemrelevanter Effekte gegenübergestellt. Hieraus wurden Kriterien unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit abgeleitet und eine Bewertungsmatrix entwickelt, in der die nach dem Stand der Technik etablierten Verfahren eingeschätzt wurden. Anhand der Einschätzung in der Bewertungsmatrix sowie unter Beachtung regionaler Gegebenheiten und der Zielsetzungen für die GS-Verwertungsstrategie wurden zwei Verfahren präferiert:

1. Vergärung/Kompostierung (V/K) für die Feinfraktion (kraut- und holzartiger GS, Korngröße < 40 mm) und
2. Verbrennung für die Grobfraktion (holzartiger GS, Korngröße > 40 mm).

Für die Verbrennung wurde die Umsetzung mehrerer dezentraler Heizwerke (HW) mit der Realisierung eines zentralen ORC-Heizkraftwerks (ORC-HKW) verglichen. Des Weiteren wurde der Einfluss einer unterschiedlichen Wärmeabnahme bei der V/K und dem ORC-HKW auf den Klimaschutzeffekt untersucht. Während beim ORC-HKW eine 50%ige bzw. 100%ige Wärmeabnahme einen signifikanten Einfluss (Zunahme der CO₂-Ä.-Einsparung um mehr als 35%) auf das Ergebnis des Klimaschutzeffekts nimmt, hat bei der V/K, aufgrund der in Relation zum Strom geringeren Wärmeauskopplung, eine 50%ige oder 80%ige Wärmeabnahme nur eine vergleichsweise geringe Auswirkung auf den Klimaschutzeffekt.

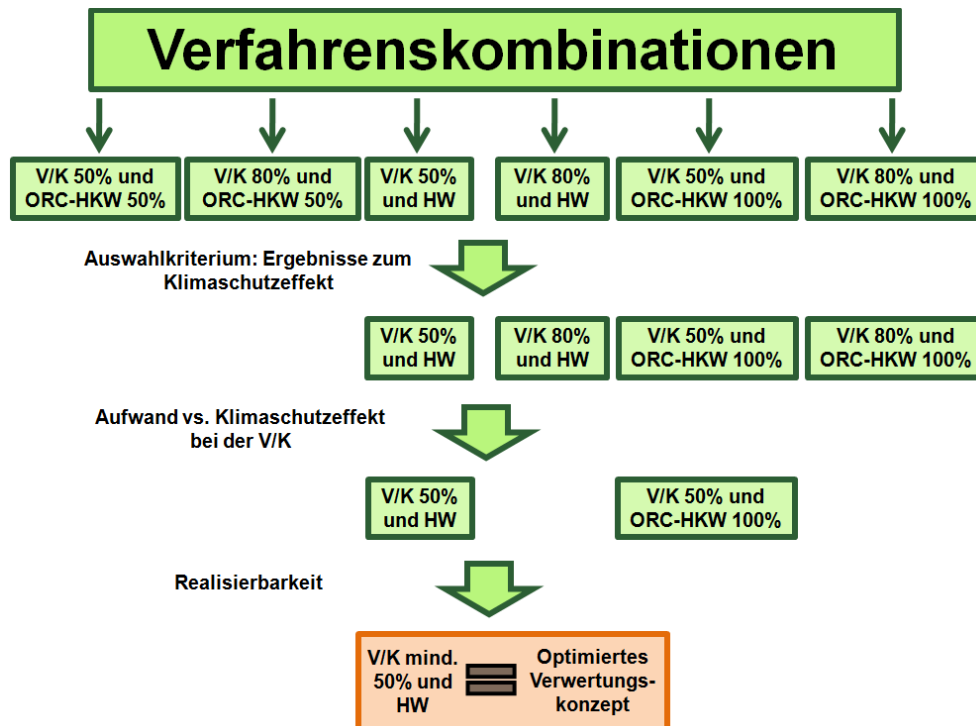


Abbildung 6.1: Entscheidungsbaum für das optimierte GS-Verwertungskonzept [eigene Darstellung]

Letztendlich wurden zwei Verfahrenskombinationen (Abb. 6.1) ermittelt, die für den LK umsetzbar erscheinen:

1. V/K mindestens 50% in Kombination mit der Verbrennung in mehreren HW und
2. V/K mindestens 50% in Kombination mit der Verbrennung in einem ORC-HKW 100%.

Ein Vergleich dieser beiden Verfahrenskombinationen spricht hinsichtlich des Klimaschutzeffektes für das ORC-HKW. Es wurde dargelegt, dass dieses allerdings - aufgrund des problematischen Wärmeabsatzes - schwieriger realisierbar ist. Die Verfahrenskombination mit mehreren HW an verschiedenen Standorten im LK wurde daher als optimiertes GS-Verwertungskonzept favorisiert (Abb. 6.1).

Die kompletten Berechnungen zum Klimaschutzeffekt der Verfahrenskombinationen wurden zudem für eine erhöhte Erfassungsmenge der GS-Mengen von ca. 30 Gew.-% durchgeführt. Die Ergebnisse der Klimaschutzeffekte liegen für die gesteigerte Erfassungsmenge linear korrelierend um 30% höher. Über das optimierte GS-Verwertungskonzept können im LK Mainz-Bingen jährlich ca. 6.038 Mg CO₂-Ä. eingespart werden (ca. 7.850 Mg CO₂-Ä./a bei einer um 30 Gew.-% erhöhten Erfassungsmenge). Diese Einsparung trägt zur Erreichung des Ziels „Null-Emissions-Landkreis“ bei. Um diese Einsparung zu erreichen, wurde - unter verschiedenen

getroffenen Annahmen - die Errichtung von 5 HW im LK Mainz-Bingen vorgeschlagen (7 HW bei einer um 30 Gew.-% erhöhten Erfassungsmenge). Hierfür müssen geeignete Standorte mit einer Wärmeabnahme von mindestens 3.500 MWh/a gewährleistet sein.

Eine Hemmnisanalyse wurde durchgeführt, um Hemmnisse, die der praktischen Umsetzbarkeit der optimierten GS-Verwertungsstrategie entgegen stehen können, zu analysieren. Hieraus ergab sich, dass die Akzeptanz der Bürger von entscheidender Bedeutung ist. Im LK Mainz-Bingen sind die Bürger insbesondere hinsichtlich der Geruchsproblematik der Biomassenutzung sensibilisiert. Um die Akzeptanz im LK Mainz-Bingen für eine optimierte GS-Verwertungsstrategie zu steigern, wurde ein Portfolio an konkreten Partizipationsmaßnahmen zur Einbindung und Beteiligung der Bürger entwickelt.

Durch die akzeptanzfördernden Maßnahmen in Kombination mit der optimierten GS-Verwertungsstrategie kann der LK Mainz-Bingen seiner rechtlichen Verpflichtung zur Verwertung des GS nachkommen und gleichzeitig einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung hinsichtlich des Klima- und Ressourcenschutzes leisten.

7 Ausblick

Für die praktische Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie im LK Mainz-Bingen sollten vorab die einzelnen Empfehlungen bzw. der aufgezeigte Handlungsbedarf in den vorangegangenen Kapiteln beachtet bzw. überprüft werden. Zum Beispiel sind geeignete Standorte mit einer entsprechenden Wärmeabnahme für die Errichtung mehrerer HW für die Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie zu ermitteln.

Die in der Arbeit präferierten Verwertungsverfahren (V/K und Verbrennung in mehreren HW) stellen derzeit das favorisierte Konzept für eine optimierte GS-Verwertung dar. Zukünftig können allerdings andere Verwertungsverfahren, die noch nicht für GS etabliert sind, interessant werden. Angesichts voraussichtlich steigender Preise für die CO₂-Zertifikate stellt das HTC-Verfahren eine ökonomisch attraktive Option zur Verwertung des krautartigen GS dar. Aufgrund ihrer hohen Flexibilität hinsichtlich der Inputmaterialien kann der holzartige GS der Anlage ebenfalls zugeführt werden, falls dieser infolge eines sehr milden Winters nicht vollständig verbrannt

wird. Zudem ist der Einsatz weiterer Biomassearten (z.B. Klärschlamm) möglich. Denkbar wäre auch das mehrere LK kooperieren. Dadurch können erstens die Inputmengen gesteigert werden und zweitens können die hohen Investitionskosten der HTC-Anlage für den LK Mainz-Bingen reduziert werden.

Eine weitere alternative Verwertungsoption besteht speziell für den Rasenschnitt der krautartigen GS-Fraktion. Dieser kann siliert und bedarfsweise der Vergärungsanlage am Humuswerk Essenheim zugeführt werden, z.B. bei zu geringen Bioabfallmengen oder einem zu geringen Methanertrag.

In der Arbeit wurden Kennwerte zum GS anhand einer Literaturrecherche zusammengestellt. In vielen Literaturstellen, aus denen die Kennwerte entnommen wurden, fehlten wichtige Angaben, z.B. welche Art oder welcher GS-Stoffstrom zugrunde gelegt wurde oder die Bedingungen, unter denen die Kennwerte gemessen wurden. Aufgrund der bisher unzureichenden Datenbasis hinsichtlich der Kennwerte für GS [75] ist es sinnvoll, vor der praktischen Umsetzung der optimierten GS-Verwertungsstrategie Untersuchungen und Analysen zum GS im LK Mainz-Bingen im Jahresverlauf durchzuführen. Hierdurch kann eine einheitlichere Datenbasis geschaffen werden. Insbesondere ist laut Knappe/Turk [159] der GS für die Verbrennung in mehreren HW hinsichtlich seines Ascheschmelzverhaltens, des Chlorgehalts, der Schwermetallgehalte sowie des Heizwerts zu untersuchen. Möglich wäre eine solche Untersuchung im Rahmen des Umweltschutzstudiums an der FH Bingen im Studienfach Abfallwirtschaft.¹⁸⁵

In der Arbeit wurde anhand von Literaturrecherchen ermittelt, dass ca. 30 Gew.-% des jährlichen GS-Aufkommens als Brennstoff (holzartiger GS, Grobfraktion > 40 mm) sinnvoll - ohne Beeinträchtigung der restlichen GS-Mengen für die Vergärung/Kompostierung - verwertet werden können. Vor der Umsetzung ist es empfehlenswert zu ermitteln, ob der Anteil von 30 Gew.-% auch tatsächlich im LK als Brennstoff verwertet werden kann.

Da häufig keine LK-spezifischen Informationen und Daten vorlagen, wurde auf empirische Werte, Daten und Informationen zurückgegriffen. Diese sind z.T. nicht speziell auf den LK bezogen und können damit auch auf andere LK übertragen werden. Anhand empirischer Daten und Ermittlungen wurden z.B. die GS-Kennwerte, die Bewertungsmatrix sowie die Kostenstruktur erstellt und zusammengetragen. Diese sind für eine grobe Abschätzung in anderen LK verwendbar.

¹⁸⁵ Durch den Aufbau eines Netzwerks, bei dem u.a. wissenschaftliche Institute integriert werden, kann eine solche Kooperation und damit die Untersuchung des GS hinsichtlich seiner Kennwerte umgesetzt werden.

Die spezifischen GS-Mengen im LK sowie die daraus resultierenden Berechnungen der Klimaschutzeffekte können nicht ohne Weiteres auf andere LK übertragen werden, da in anderen LK andere GS-Mengen vorliegen können. Die Berechnungen können jedoch als Vorlage dienen.

Vor allem in LK in denen bereits eine V/K oder Kompostierungsanlage gegeben ist, kann das in der Arbeit dargelegte optimierte Konzept vereinfacht umgesetzt werden, da lediglich die HW errichtet werden müssen und ggf. die Vorschaltung einer Vergärungsstufe umgesetzt werden muss. Dies ist unter ökonomischen Gesichtspunkten ein entscheidender Vorteil.

A Anhang

A.1 Stellenwert der Biomasse- bzw. Grünschnittverwertung in der nationalen Klimaschutz- und Energiepolitik

Eine konsequente Umstellung der Energieversorgung auf klimafreundlichere erneuerbare Energieträger (EE) - Wind-, Sonnen-, Wasser-, Bioenergie und die Geothermie - ist zwingend erforderlich.

Die deutsche Bundesregierung hat sich in ihrem „Integrierten Energie- und Klimaschutz-Programm“ das ambitionierte Klimaschutzziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) um 40% bis 2020 gegenüber 1990 zu reduzieren [87, 274]. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die EE in Zukunft deutlich mehr zur Deckung der Energienachfrage beitragen [275]. Der Anteil der EE am Endenergieverbrauch lag im Jahr 2011 in Deutschland bei 12,2% [276]. Dieser Anteil kann gesteigert werden.¹⁸⁶

Zur Erreichung der Klimaschutzziele ist Deutschland auf einen wesentlichen Beitrag der Biomasse als Kraftstoff sowie als Brennstoff zur Strom- und/oder Wärmeherzeugung angewiesen. Daher wird der Biomassenutzung in der nationalen Klimaschutzpolitik eine Schlüsselrolle zugewiesen.[278]

In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus aufgrund des Themas „GS“ auf der Biomassenutzung.¹⁸⁷ Demnach wird vertiefend nur der Bereich der Biomassenutzung betrachtet. Im Folgenden wird die Biomassenutzung, der Nutzung der fossilen Energieträger und den anderen EE gegenübergestellt.

Der entscheidende Vorteil der Biomassenutzung im Vergleich zu den fossilen Energieträgern liegt in der annähernden Klimaneutralität der Energieerzeugung [279, 280].¹⁸⁸

¹⁸⁶ Der Anteil der EE am Endenergieverbrauch nahm von 1998 bis 2011 kontinuierlich zu [277]. Deutschland ist auf dem richtigen Weg zum Ausbau der EE und damit zur Erreichung der Klimaschutzziele.

¹⁸⁷ GS gehört zu den biogenen Abfällen. Laut BioAbfV gehört GS, der in der vorliegenden Arbeit betrachtet wird, zum Bioabfall. Da zur Biomasse unter anderem Bioabfall gemäß der BioAbfV gehört, ist GS als Biomasse anzusehen (Kap. 2.1.2).

¹⁸⁸ Diese Aussage bezieht sich lediglich auf die reine Energieumwandlung (z.B. Verbrennung) und lässt vor- und nachgelagerte Prozesse, wie z.B. den Transport und die Aufbereitung der Biomasse, die ebenfalls mit klimarelevanten Emissionen verbunden sind, außer Acht. Die Biomassenutzung kann nie vollständig „CO₂-neutral“ bzw. „klimaneutral“ sein.

Bei der Nutzung von Biomasse werden generell nur die CO₂-Emissionen freigesetzt, die vorher von der Biomasse durch die Fotosynthese aus der Atmosphäre assimiliert wurden.¹⁸⁹

Die Nachhaltigkeit der Bioenergie-Nutzung wird durch verschiedene Aspekte negativ tangiert. Mit dem forcierten Ausbau der Bioenergie-Nutzung, z.B. dem zunehmenden Energiepflanzenanbau, entstehen Landnutzungsänderungen.¹⁹⁰ Diese führen - durch unterschiedliche Nutzungsansprüche - zu einem zunehmenden Druck auf die Flächenverfügbarkeit [1]. Zudem kann die Landnutzungsänderung mit negativen Folgen für die Umwelt und das Klima verbunden sein [278]. Aufgrund der möglichen Nutzungskonkurrenzen, die in Abb. A.1 dargestellt sind, sowie negativer Umwelt- und Klimafolgen des Energiepflanzenanbaus, muss die energetische Biomasse-Nutzung hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit kritisch hinterfragt werden. Um die Nachhaltigkeit der Bioenergie-Nutzung zukünftig zu gewährleisten, sind Nutzungskonkurrenzen möglichst zu vermeiden¹⁹¹ und die Nachhaltigkeitskriterien zur Bioenergie-Nutzung zu erfüllen.¹⁹²

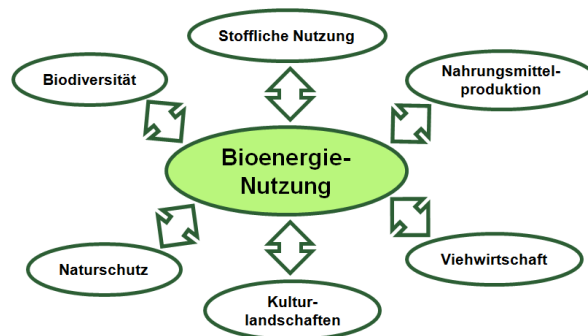


Abbildung A.1: Spannungsfeld Bioenergie-Nutzung bzw. Nutzungskonkurrenzen beim Energiepflanzenanbau [eigene Darstellung]

¹⁸⁹ Fossile Rohstoffe sind ebenso wie Biomasse eine CO₂-Senke. Im Vergleich zur Biomasse, die Kohlendioxid über wenige Monate bis Jahre aufnimmt und bindet, ist das CO₂ in den fossilen Rohstoffen (z.B. Erdöl, Kohle) bereits schon seit Jahrtausenden gebunden. Während das CO₂ in der Biomasse durch Wachstum und Zersetzung im Gleichgewicht steht, die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre konstant und der CO₂-Kreislauf geschlossen bleiben, sind fossile Rohstoffe in den Kreislauf nicht mehr eingebunden [74], weil deren CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre Jahrtausenden zurückliegt. Die Klimabilanz ohne zeitliche Beschränkung und ohne zeitlichen Rahmen ist bei fossilen Rohstoffen und der Biomasse gleich anzusehen. Beide setzen bei ihrer energetischen Nutzung die Menge an CO₂ frei, die sie zuvor (vor Monaten/Jahren oder Jahrtausenden) aufgenommen haben. Da man im Hinblick auf das Klima allerdings das Referenzjahr der CO₂-Emissionen von 1990 verwendet, ist die Biomasse als annähernd „klimaneutral“ und die fossilen Energieträger als „klimaschädigend“ bzw. „klimaneutral“ anzusehen.

¹⁹⁰ Insbesondere der Energiepflanzenanbau verursacht in besonderem Maße Nutzungskonkurrenzen [281]. Näheres zu den Umweltauswirkungen und den Nutzungskonkurrenzen der Bioenergie kann in folgenden Literaturquellen nachgelesen werden: [281–285]

¹⁹¹ Ein möglicher Weg zur Vermeidung von Nutzungskonkurrenzen wird in der Kaskadennutzung gesehen. Hierbei wird die Biomasse zunächst (mehrfach) stofflich und anschließend energetisch genutzt (Anhang A.6.3).[1]

¹⁹² Es gibt bereits mehrere Studien [286–288], die Nachhaltigkeitskriterien für die Bioenergie-Nutzung definieren.

Innerhalb der EE hat die Biomasse einen hohen Stellenwert, der sich vor allem durch die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten (Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung), die Möglichkeit der Speicherung sowie die regionale Verfügbarkeit von Biomassepotenzialen erklären lässt [2, 74, 285].

Aufgrund dieser vielfältigen Vorteile der Biomassenutzung gegenüber den anderen EE gewinnt die Biomasse national wie international zunehmend an Bedeutung [279].

Bereits im Jahr 2011 nahm die Biomasse mit ca. 67% [276] den größten Anteil an der regenerativen Endenergiebereitstellung (Wärme-, Strom- und Kraftstoffsektor) im nationalen Vergleich ein. Während die Biomasse zur regenerativen Strombereitstellung knapp 1/3 beitrug, deckte die Biomasse den größten Anteil an der regenerativen Wärmeproduktion (Abb. A.2).¹⁹³

Gegenwärtig besitzt die Biomasse den bedeutendsten Stellenwert von den EE und trägt entscheidend zur Energieversorgung aus EE bei.

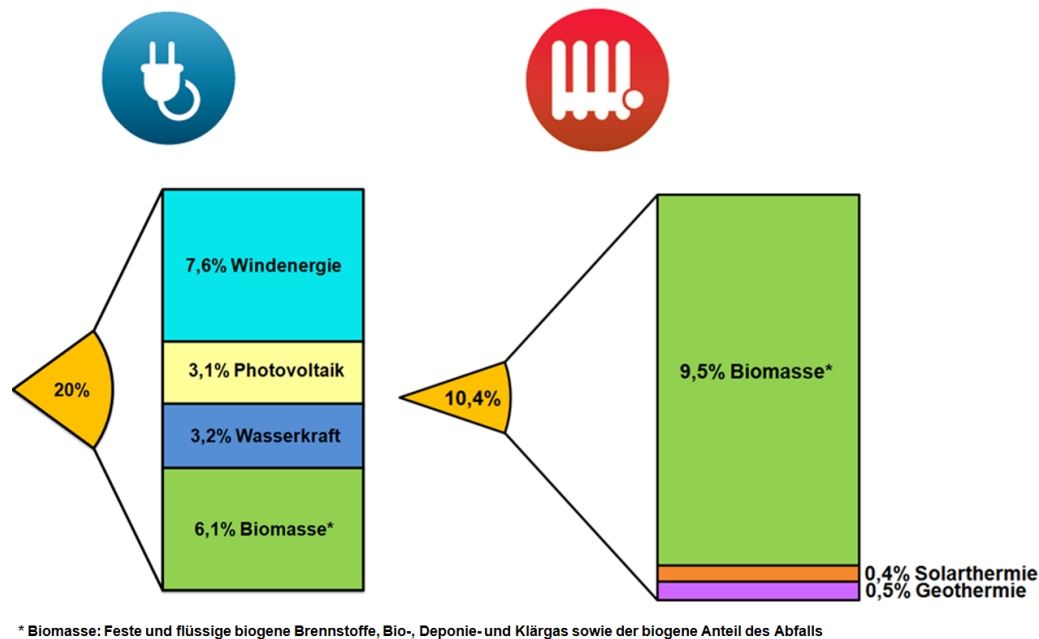


Abbildung A.2: Anteile der erneuerbaren Energien (EE) an der Strom- und Wärmebereitstellung (Endenergie) 2011 [eigene Darstellung, Datengrundlage: [276]]

Innerhalb der Biomassenutzung wird den biogenen Abfällen zukünftig ein vorrangiger Stellenwert und eine stärkere Gewichtung beigemessen [2–9]. Durch die

¹⁹³Die regenerative Kraftstoffbereitstellung - nicht in Abb. A.2 dargestellt - nahm im Jahr 2011 ca. 5,6% der gesamten Kraftstoffbereitstellung ein, wobei der regenerative Anteil von 5,6% zu 100% aus Biomasse bereitgestellt wurde.

Innerhalb der Biomasse ist der biogene Anteil des Abfalls - wozu GS gezählt werden kann (Kap. 2.1.2) - enthalten. Der Anteil des biogenen Abfalls zur regenerativen Stromerzeugung betrug ca. 4 Prozentpunkte bzw. knapp 14 Prozentpunkte vom Biomasse-Anteil und bei der Wärmebereitstellung trug der biogene Anteil des Abfalls zur regenerativen Wärmebereitstellung ca. 5,7 Prozentpunkte bei bzw. innerhalb des Biomasse-Anteils knapp 6,2 Prozentpunkte.

verstärkte energetische Nutzung von biogenen Abfällen sowie die Verbesserung der Energieeffizienz der energetischen Verwertung in der Abfallwirtschaft sollen jährlich Reduktionspotenziale von mehr als 10 Mio. t CO₂-Äquivalente bis 2020 möglich sein [274, 289]. Dieses Potenzial beträgt ca. 2 Prozentpunkte (10 Mio. t CO₂-Äquivalente/a Reduktionspotenzial von insgesamt 486 Mio. t CO₂-Äquivalente/a als Reduktionsziel bis 2020) des Einsparungsziels von 40% der Bundesregierung.¹⁹⁴

Insgesamt wird der Abfallwirtschaft ein potenzieller Beitrag zum Klimaschutzziel von 40% CO₂-Äquivalent-Einsparungen (von 1990 bis 2020) für Deutschland von 57 Mio. t CO₂-Äquivalente/a - ohne Altholznutzung - bzw. 65,3 Mio. t CO₂-Äquivalente/a - mit Altholznutzung - beigemessen [290].¹⁹⁵

Da die Biomassepotenziale in Deutschland begrenzt sind [292] und im Sinne einer nachhaltigen Energieversorgung nur die Anteile an Biomasse genutzt werden sollten, die wieder nachwachsen, ist es wichtig, Maßnahmen der Bioenergienutzung mit Energieeffizienzmaßnahmen zu bündeln. Schließlich ist die klimafreundlichste Energie die Energie, die nicht verbraucht und damit nicht erzeugt werden muss.

A.2 Die Rolle und Bedeutung der Kommunen in der Klimaschutz- und Energiepolitik

Die Kommunen (z.B. Städte und Gemeinden) sind zentrale Akteure bei der praktischen Umsetzung der Energie- und Klimaschutzpolitik der Landes- bzw. Bundesregierung [293]. Maßnahmen zum Klimaschutz und der Energiepolitik können zwar national oder global vereinbart und festgelegt werden, bleiben aber wirkungslos, wenn diese Maßnahmen nicht in den Kommunen - auf regionaler und lokaler Ebene - Berücksichtigung und Anwendung finden. Die gesetzten Klimaschutzziele für Deutschland bzw. weltweit sind daher nur erreichbar, wenn Kommunen für den Klimaschutz aktiv werden und sich in diesem Bereich engagieren.

¹⁹⁴ Von 1990 bis 2005 konnte bereits vor allem durch das Deponierungsverbot von unbehandelten Abfällen und dem damit verbundenen Rückgang der Methanemissionen eine jährliche Einsparung von ca. 46 Mio. t CO₂-Äquivalente erzielt werden. Der Abfallsektor konnte dadurch ca. 20% zur insgesamt für den Zeitraum von 1990 bis 2005 angestrebten CO₂-Reduktion von jährlich 230 Mio. t CO₂-Äquivalente beisteuern. [274]

¹⁹⁵ Das Klimaschutzziel von 40% Reduktion bis 2020 entspricht - beruhend auf dem Basisjahr 1990 - einer THG-Reduktionsmenge von ca. 486 Mio. t CO₂-Äquivalente/a. Die beiden angegebenen Zahlen von 57 bzw. 65,3 Mio. t CO₂-Äquivalente/a ergeben sich durch die Nicht-Einbeziehung bzw. Einbeziehung der Altholznutzung zur energetischen Verwertung. Diese Differenzierung wurde vorgenommen, da für die Bilanzierung der THG-Emissionen im Basisjahr 1990 die Altholznutzung nicht mit untersucht wurde [290, 291]. Die zur Erreichung dieser Einsparungen notwendigen Maßnahmen sind in der Studie [290] nachlesbar.

Kommunen besitzen den entscheidenden Vorteil, dass sie über gewisse Schlüsselkompetenzen verfügen [294], die in besonderer Weise für die Umsetzung von Energie- und Klimaschutzprojekten geeignet sind. Unter diese Schlüsselkompetenzen fallen die detaillierten Kenntnisse über Strukturen und Gegebenheiten vor Ort bzw. im Hoheitsgebiet, die Bürgernähe sowie die vorhandenen Planungskompetenzen. Diese Kompetenzen sind zur Einbindung und Durchführung von Klimaschutzprojekten in den regionalen bzw. lokalen Kontext von hoher Bedeutung.

Der LK Mainz-Bingen - zusammengesetzt aus mehreren Kommunen (z.B. Städten und Gemeinden) - hat sich das Ziel „Null-Emissions-Landkreis“ zu werden bis 2050 gesetzt [295]. Um dieses Ziel zu erreichen sind in den verschiedenen Bereichen (Private Haushalte, kommunale Liegenschaften, Industrie u.a.) Neuausrichtungen erforderlich. Die verschiedenen Bereiche müssen ebenso wie die Kommunen einen Beitrag zum gesetzten Ziel leisten. Entscheidend ist, dass der LK in seinen eigenen Zuständigkeitsbereichen (wie z.B. der Abfallwirtschaft) tätig wird. Nur durch das vorbildliche Verhalten (Vorbildfunktion) und die Vorreiterrolle des LK durch die Umsetzung von klimaschutzfreundlichen Maßnahmen und Projekten in seinem eigenen Tätigkeitsbereich kann der LK die privaten Haushalte, Industrie etc. zukünftig ebenfalls zu klimafreundlichen Projekten mobilisieren.

Jede Kommune besitzt Potenziale unterschiedlichster Art, wie z.B. GS, der zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung eingesetzt werden kann [223]. Dadurch können öffentliche Liegenschaften (Schulen oder Krankenhäuser), die die höchsten Energieverbräuche mit meist noch ineffizienten Anlagen aufweisen, klimafreundlich mit Energie (Wärme/Strom) versorgt werden.

Um eine möglichst hohe Nachahmung von klimafreundlichen Aktivitäten bei privaten Haushalten, Industrie etc. zu erreichen, ist eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit (Vermarktung) der vom LK selbst durchgeführten Klimaschutzmaßnahmen notwendig [223]. Eine intensive Öffentlichkeitsarbeit ist insbesondere dann von enormer Bedeutung, wenn es zu klimafreundlichen Maßnahmen keine ergänzenden Fördermöglichkeiten gibt [223] und somit die Attraktivität einer Klimaschutzmaßnahme nicht durch finanzielle Anreize gesichert ist. Durch entsprechend öffentliche Veranstaltungen oder die Organisation von Wettbewerben, kann der LK für diese klimafreundlichen Maßnahmen die Rolle des Initiators einnehmen. Kommunen dienen zudem als Multiplikator in der Entwicklung der regionalen Bioenergienutzung.[258] Durch die Errichtung dezentraler Anlagen zur Beheizung von kommunalen Gebäuden können Kommunen Wegbereiter für umfangreichere Bioenergienutzungen werden [258].

Speziell bei der Entwicklung von Grünschnittprojekten haben Kommunen eine Schlüsselrolle für den Klimaschutz und die zukünftige Energieversorgung. Die Kommune kann hier sowohl als Anbieter von Inputstoffen z.B. GS als Brennstoff sowie als Nachfrager von Energie auftreten [35].

In Abb. A.3 ist die Rolle der Kommune in der Klimaschutz- und der Energiepolitik (z.B. Energieversorgung) schematisch aufgezeigt. Daraus ist erkennbar, dass die Kommune eine vielfältige Rolle einnimmt und ein zentraler Akteur - wenn nicht sogar der zentrale Akteur - in der Klima- und Energiepolitik ist.

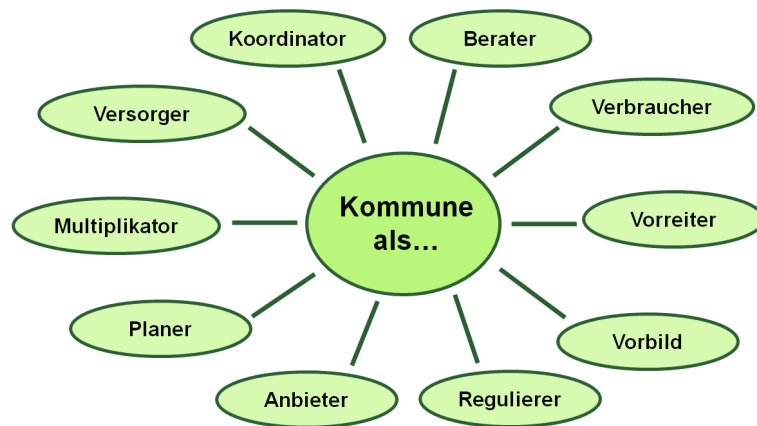


Abbildung A.3: Die Rolle der Kommune beim Klimaschutz und in der Energiepolitik

A.3 Rechtliche Einordnung der in der Arbeit betrachteten GS-Stoffströme

Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis Verordnung – EU-AVV): Abfallschlüsselnr. für GS?

Der Begriff GS - bzw. Grüngut oder Grünabfälle – wird in der **AVV**¹⁹⁶ [39] nicht als eigenständiger Begriff geführt. Der in der Arbeit betrachtete GS aus den privaten Haushalten und von den kreisangehörigen Kommunen kann im Sinne der AVV [39] in erster Linie den „Garten- und Parkabfällen (einschließlich Friedhofsabfälle)“ mit der Nummer 20 02 zugeordnet werden. Darunter kann der GS anhand der Abfallschlüsselnummer „20 02 01 biologisch abbaubare Abfälle“ eingestuft werden [31].¹⁹⁷

¹⁹⁶Die AVV regelt unter anderem die Bezeichnung eines Abfalls und ordnet dem Abfall bestimmte Abfallarten zu [296]. Diese Abfallarten sind wiederum mit einer sechsstelligen Abfallschlüsselnummer versehen. Dadurch ist eine Abfallart eindeutig anhand seiner Abfallschlüsselnummer definiert.

¹⁹⁷GS setzt sich aus biologisch abbaubaren Materialien zusammen (Kap. 2.1.1). Zwar ist der GS aufgrund seiner Zusammensetzung (holz- und krautartig) und deren unterschiedlichen Anteile verschieden gut biologisch abbaubar, aber das ändert nichts an der Tatsache, dass er den biologisch abbaubaren Abfällen zugeordnet werden kann.

Bioabfall bzw. -müll, der bei den privaten Haushalten nicht im Garten anfällt, sondern sich im Wesentlichen aus Essensresten und Küchenabfällen zusammensetzt und meistens über eine separate Tonne (Holsystem) erfasst wird, ist im Vergleich zum GS den Abfallschlüsselnummern „20 01 08 biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle“ bzw. „20 03 02 Marktabfälle“ zu zurechnen [31]. Demnach ist gemäß AVV der GS vom Bioabfall zu differenzieren.

Nicht erwähnt wird hier der GS, der bei der Pflege von Spiel- und Sportplätzen anfällt. Dennoch ist dieser GS als „biologisch abbaubarer Abfall“ gemäß der Abfallschlüsselnummer „20 02 01“ zu bezeichnen, weil er sich z.B. zum GS aus Parkanlagen nicht wesentlich unterscheidet.

Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz (KrW-/AbfG): GS als Abfall?

Als wesentliches Element der nationalen Abfallwirtschaft ist das **KrW-/AbfG** anzusehen. Laut dem Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts [40] werden im § 3 Abs. 7 „Bioabfälle“ wie folgt definiert:

„Bioabfälle im Sinne dieses Gesetzes sind biologisch abbaubare pflanzliche, tierische oder aus Pilzmaterialien bestehende

1. *Garten- und Parkabfälle,*
2. *Landschaftspflegeabfälle,*
3. *Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushaltungen, aus dem Gaststätten- und Cateringgewerbe, aus dem Einzelhandel und vergleichbare Abfälle aus Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben sowie*
4. *Abfälle aus sonstigen Herkunftsbereichen, die den in Nummer 1 bis 3 genannten Abfällen nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften vergleichbar sind.“*

Gemäß dieser Definition fällt GS aus den privaten Haushalten unter die Nr. 1 „Garten- und Parkabfälle“ und ist als Bioabfall anzusehen. Der GS, der bei den kreisangehörigen Kommunen entsteht, ist ebenfalls der Nr. 1 zuzuordnen. Inwiefern zu den Parkabfällen auch der GS aus den Herkunftsbereichen Friedhofsanlagen, Sport- und Spielplätze zählt, ist nicht erkennbar. Dennoch wird diese Unbestimmtheit durch die Regelungen in Nr. 4 aufgefangen. Nr. 4 beinhaltet die Abfälle aus sonstigen Herkunftsbereichen, die den in Nummern 1 bis 3 genannten Abfällen nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften vergleichbar sind. Da davon ausgegangen werden kann, dass der GS von Sport- und Spielplätzen sowie Friedhofsanlagen dem GS aus Parkanlagen nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften ähnlich ist, kann der GS aus den kreisangehörigen Kommunen als Bioabfall eingestuft werden.¹⁹⁸

Laut dem Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts kann demnach GS aus den beiden Herkunftsbereichen (private Haushalte und kreisangehörige Kommunen) als „Teilstrom“ des Bioabfalls angesehen werden und ist dem Bioabfall zu zuordnen.

¹⁹⁸ Bei den Friedhofsabfällen ist damit zu rechnen, dass die Belastung mit Schwermetallen oder Störstoffen (z.B. Kerzenreste (Plastik)) im Vergleich zu dem GS aus den anderen Herkunftsbereichen (z.B. Sport- und Spielplätzen) höher ist. Da hierzu jedoch keine näheren Informationen vorliegen bzw. der GS von den Friedhöfen mit den stofflichen Eigenschaften von Parkabfällen vergleichbar ist und nicht klar ist, inwieweit diese vergleichbar sein müssen, wird die Einordnung als zulässig angesehen.

Ergänzend steht im § 11 Abs. 2 Nr. 1 des Entwurfs: „Die Bundesregierung wird ermächtigt, (...) durch Rechtsverordnung (...), insbesondere festzulegen, welche Abfälle als Bioabfälle gelten.“ Von dieser Ermächtigung hat die Bundesregierung durch Erlass der Bioabfallverordnung Gebrauch gemacht.

Bioabfallverordnung (BioAbfV): GS als Bioabfall?

Die derzeit gültige Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (**BioAbfV**) [41] regelt insbesondere die stoffliche Verwertung von Bioabfällen. Gemäß § 2 Nr. 1 steht unter dem Begriff „Bioabfälle“ folgende Definition:

„Abfälle (...) pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können; hierzu gehören die in Anhang 1 Nr. 1 genannten Abfälle; (...)“. Im Anhang 1 Nr. 1 der Verordnung werden die Abfälle genannt, die im Sinne der BioAbfV unter den Begriff „Bioabfälle“ fallen und Abfälle zur Verwertung (Kap. 2.2) sind. Im Anhang 1 ist GS anhand der Abfallschlüsselnummer 20 02 01 „biologisch abbaubare Abfälle“ zu finden. Dort werden folgende Abfallarten unter der Abfallschlüsselnummer „20 02 01“ genannt und differenziert:

- **Garten- und Parkabfälle,**
- Landschaftspflegeabfälle,
- Gehölzrodungsrückstände,
- pflanzliche Bestandteile des Treibseils,
- Grün- und Strauchschnitt von Straßenrändern (Straßenbegleitgrün),
- Grün- und Strauchschnitt von Industriestandorten

Der GS, der in der Arbeit betrachtet wird, ist hierbei unter den Begriff „Garten- und Parkabfälle“ einzuordnen.

Im Entwurf zur Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung [42] werden die unter die Abfallschlüsselnummer 20 02 01 fallenden Abfallarten weiter konkretisiert und differenziert, wie anhand der nachfolgenden Aufzählung ersichtlich ist:

- **Biologisch abbaubare Abfälle von Sportanlagen, -plätzen, -stätten und Kinderspielplätzen (soweit nicht Garten- und Parkabfälle),**
- **Biologisch abbaubare Friedhofsabfälle,**
- **Biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle,**
- Gehölzrodungsrückstände (soweit nicht Garten- und Parkabfälle),
- Landschaftspflegeabfälle,
- Pflanzliche Abfälle aus der Gewässerunterhaltung (soweit nicht Garten- und Parkabfälle),

- Pflanzlichen Bestandteile des Treibseils (einschließlich von Küsten- und Uferbereichen),
- Pflanzliche Materialien von Verkehrswegebegleitflächen (an Straßen, Wegen, Schienentrassen, Flughäfen),
- Pflanzliche Materialien von Industriestandorten

Durch die differenzierte Aufzählung der Abfallarten in der Spalte 2 und 3 des Anhangs 1 ist die Abgrenzung verschiedener Abfallarten aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen innerhalb der Abfallschlüsselnummer 20 02 01 erkennbar. In Kap. 2.1.1 wurden Herkunftsbereiche bzw. GS-Stoffströme (Abb. 2.2) festgelegt, die in der Arbeit Berücksichtigung finden. Diese relevanten GS-Stoffströme sind gemäß dem Anhang 1 der Spalte 2 laut Entwurf zur Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung [42] von anderen GS-Stoffströmen z.B. Straßenbegleitgrün oder Landschaftspflegeabfällen, die ebenfalls unter die Abfallschlüsselnummer 20 02 01 fallen, zu unterscheiden und abzugrenzen.

Biomasse-Verordnung (BiomasseV): GS als Biomasse?

Die **BiomasseV** [43] regelt für den Anwendungsbereich des EEG unter anderem, welche Stoffe als Biomasse gelten. Biomasse wird in der Verordnung laut § 2 Abs. 1 wie folgt definiert:

„Biomasse im Sinne dieser Verordnung sind Energieträger aus Phyto- und Zoomasse. Hierzu gehören auch aus Phyto- und Zoomasse resultierende Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, deren Energiegehalt aus Phyto- und Zoomasse stammt.“ Als anerkannte Biomasse im Sinne dieser Verordnung gelten die unter § 2 Abs. 2 Nr. 4 aufgeführten Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung. Da die GS-Stoffströme, die in der Arbeit betrachtet werden, gemäß § 2 Nr. 1 Bioabfallverordnung in Verbindung mit Anhang 1 rechtlich zum Begriff „Bioabfall“ zählen, ist GS als Biomasse im Sinne des EEG anerkannt.

Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG): GS als erneuerbare Energie?

Das **EEG** [44] regelt unter anderem die Einspeisevergütung der erneuerbaren Energien im Strombereich. Im Sinne des Gesetzes ist im § 3 Nr. 3 folgende Definition für „erneuerbare Energien“ zu finden:

„Im Sinne des Gesetzes ist „Erneuerbare Energien“ (...), Energie aus Biomasse einschließlich Biogas, Biomethan, (...) sowie aus dem biologisch abbaubaren Anteil von Abfällen aus Haushalten und Industrie.“ Da GS gemäß der BiomasseV zur Biomasse gehört, ist GS als erneuerbare Energie anzusehen.

A.4 Grundlegende (allgemeine) Definitionen der Kennwerte

Volumengewicht:

Das Volumengewicht wird auch als Schüttgewicht bzw. Schüttdichte bezeichnet. Es ist definiert als der Quotient aus der Masse und dem Volumen des GS [297].

Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) und organischer Trockensubstanzgehalt (oTS-Gehalt):

Der TS-Gehalt (TS), auch als Trockenmasse (TM) bezeichnet, ist der wasserfreie Bestandteil des GS. Dieser setzt sich aus einem organischen Anteil (oTS-Gehalt), der vorwiegend aus Kohlenstoff (C) besteht, sowie einem mineralischen Anteil zusammen.[47, 298].

Die TS von Pflanzen besteht im Allgemeinen zu ca. 42-47% aus Kohlenstoff C und 40-44% Sauerstoff O sowie zu 6% aus Wasserstoff H. Der Rest der TS setzt sich zu 1-5% aus Stickstoff und geringen Mengen an Phosphor, Kalium, Calcium u.a. Makronährstoffen zusammen (mineralischer Anteil) [34, 90]. In den zitierten Quellen wird die Zusammensetzung der TS nicht differenziert für kraut- bzw. holzartige Pflanzen betrachtet. Der krautartige GS ist nährstoffreicher als der holzartige GS [159, 299]. Innerhalb des holzartigen GS sind dünne Äste/Hölzer durch wesentlich mehr Nährstoffe als dicke Äste/Hölzer gekennzeichnet.[300]

Der TS-Gehalt setzt sich mit dem Wasseranteil zur Frischsubstanz (FS-Gehalt, auch Feuchtmasse (FM) genannt) zusammen und ergibt insgesamt 100% [301].

Heizwert H_u :

Als Heizwert bezeichnet man die Wärmemenge, die bei der vollständigen Oxidation des Brennstoffs (z.B. GS) ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des Wasserdampfes (ergibt sich aus dem Wassergehalt im Brennstoff) freigesetzt wird [302].

A.5 Erläuterungen zu den quantitativen und qualitativen bundesweiten Kennwerten des GS

Absolute und spezifisches GS-Mengenauflkommen und Zusammensetzung des GS-Aufkommens:

Das absolute GS-Aufkommen [Mio. Mg/a] sowie die spezifischen Mengen an GS [kg/EW · a] aus den privaten Haushalten in Deutschland sind in Abb. A.4 von 2002

bis 2010 dargestellt.¹⁹⁹ Anhand Abb. A.4 ist ersichtlich, dass sich die GS-Mengen aus den privaten Haushalten in den Jahren von 2007 bis 2010 auf einem relativ stabilen Niveau bei ca. 56 kg/EW*a bzw. um die 4,5 Mio. Mg/a einpendelt haben.²⁰⁰ Die Tendenz der leicht steigenden GS-Mengen von 2002 bis 2010 kann z.T. durch die zunehmende Ausweitung der GS-Erfassungssysteme erklärt werden. Die zunehmende Ausweitung des Erfassungssystems kann wiederum auf der Neuausrichtung der Abfallwirtschaft von einer Entsorgungswirtschaft zu einer Versorgungswirtschaft und damit der Betrachtung des GS als wertvoller Rohstoff und Energielieferant beruhen. Der spezifische Anfall an GS unterscheidet sich innerhalb von Deutschland zwischen den alten und neuen Bundesländern erheblich, wobei in letztgenannten der Anfall wesentlich geringer ist [29].²⁰¹

Diese absoluten und spezifischen Mengen an GS sind nicht homogen übers Jahr verteilt, sondern fallen in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode und der Sammelgebietsstruktur in sehr unterschiedlichen Mengen an [30, 160, 210]. Der Anteil der holzartigen Fraktion bezogen auf das Gesamtaufkommen an GS wird in der Literatur im Jahresverlauf durchschnittlich mit 20 bis 35 Gew.-% [28, 29, 50–53, 307–310] quantifiziert.²⁰² Die Mehrzahl der Studien [12, 29, 50–53, 310] kommt zu dem Schluss, dass ein Anteil von ca. 30 Gew.-% der holzartigen Fraktion am Gesamtaufkommen,

¹⁹⁹Die Daten für die GS-Mengen vor 2002 sind aufgrund der nicht getrennt erfassten Statistik dieses Abfallstroms in der benötigten Form nicht vorhanden [303, 304]. Laut Statistischem Bundesamt [303] wurden „Garten- und Parkabfälle“ bis 2001 den „anderen Siedlungsabfällen“ zugeordnet. Seit 2002 werden „biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle“ unter den „Haushaltsabfällen“ getrennt aufgeführt und erfasst. Vor 2002 konnten lediglich Daten zum absoluten Aufkommen an Bio- und Grünabfällen [94] gefunden werden.

Zu beachten ist, dass bis 2005 die Erhebung der GS-Mengen nach dem sogenannten Nettomengenprinzip [305] und ab 2006 nach dem Bruttomengenprinzip [305] durchgeführt wurde. Von daher ist ein Vergleich der Mengen vor und nach 2006 nur eingeschränkt möglich.[305]

Bei den in Abb. A.4 dargestellten Mengen handelt es sich um die GS-Mengen, die über die Landesabfallbilanzen der einzelnen Bundesländer getrennt erfasst werden. Das Angebot zur separaten Erfassung dieser Mengen ist bundesweit annähernd flächendeckend [160]. Nicht mit enthalten sind unter anderem die GS-Mengen, die über die Biotonne oder die Hausmülltonne (Graue Tonne) mit entsorgt werden oder die über die Eigenkompostierung verwertet werden. Der Grünabfallanteil in der Biotonne ist stark vom Gebührensystem, dem Einzugsgebiet und der Jahreszeit abhängig.

²⁰⁰Die starke Korrelation des absoluten und spezifischen GS-Aufkommens beruht auf der geringen Änderung der Bevölkerung von 2002 bis 2010 (Bevölkerungsabnahme < 1% [306]).

²⁰¹Auf die spezifische Situation in Rheinland-Pfalz bzw. im LK Mainz-Bingen wird im Kap. 3.2.2 genauer eingegangen.

²⁰²Die Schwankungsbreite des holzartigen GS-Anteils lässt sich vor allem durch folgende Tatsachen begründen:

1. Je nach verwendeter GS-Menge und -qualität erhält man unterschiedliche Anteile der holzartigen Fraktion. Zudem ist die Ermittlung über mehrere Jahre erforderlich, um einen repräsentativen Anteil zu bekommen. Auch die regionalen und lokalen Schwankungen und Unterschiede können zu dieser Schwankungsbreite beitragen.

2. Häufig wird die holzartige Fraktion gleich gesetzt mit der energetisch verwertbaren Fraktion. In Abhängigkeit von den Anforderungen an die Brennstoffqualität des GS, die unterschiedlich definiert sein können, kann man größere energetisch verwertbare (holzartige) GS-Mengen oder weniger große Mengen erhalten.

Bei ländlich geprägten Sammelstellen für GS kann der Anteil der holzartigen Fraktion bezogen auf das Gesamtaufkommen an GS sogar bei 70% liegen.[35]

die energetisch sinnvoll genutzt werden kann, bundesweit als realistisch angesehen werden kann. Deshalb wird dieser Wert in der Arbeit zugrunde gelegt.²⁰³

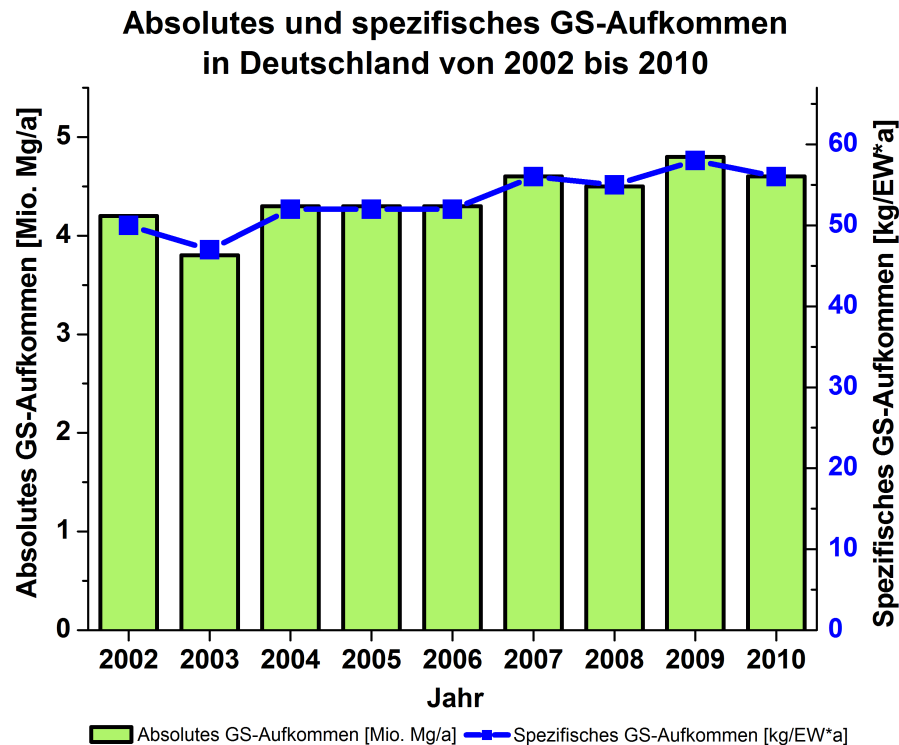


Abbildung A.4: *Absolutes und spezifisches GS-Aufkommen - von den privaten Haushalten - in Deutschland von 2002 bis 2010 [eigene Darstellung]*
(Datengrundlagen: Werte für 2002 und 2003: [311, 312] (spezifische GS-Mengen berechnet); Werte von 2004-2010: [137])

Bedingt durch die schwankende Zusammensetzung des GS hinsichtlich der holz- und krautartigen Anteile im Jahresverlauf weist der GS eine breite Spannweite stofflicher und energetischer Eigenschaften auf. Im Folgenden werden die wesentlichen Kenndaten des GS qualitativ betrachtet und anschließend quantitative Kennwerte in tabellarischer Form zusammengefasst dargestellt. Grundlegende Erläuterungen und Definitionen zu einigen Kennwerten bzw. -daten können im Anhang A.4 nachgelesen werden.²⁰⁴

²⁰³ Ob dieser Anteil der holzartigen Fraktion im LK Mainz-Bingen vorliegt und der Realität entspricht, kann nur durch Untersuchungen über mehrere Jahre hinweg ermittelt werden.

²⁰⁴ Aufgrund der stark schwankenden Zusammensetzung des GS im Jahresverlauf unterscheiden sich die Kennwerte im Jahresverlauf erheblich. Zur annähernden Abschätzung werden die durchschnittlichen Jahresmittelwerte herangezogen. Weiterführende Informationen zu den Kennwerten in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode und Untersuchungen sind in der Literaturquelle von Kranert et al. [29] zu finden.

Volumengewicht von GS:

Das Volumengewicht des GS spielt eine entscheidende Rolle für die Lagerung und den Transport des GS [90]. Untersuchungen hinsichtlich des Volumengewichts von GS im Jahresverlauf sind - im Rahmen der Arbeit - nur in der Studie [29] gefunden worden. Das Volumengewicht wird in besonderem Maße von den Lagerungsbedingungen (Zeitraum, Art der Lagerung) und damit verbunden dem Wassergehalt des GS-Materials geprägt. Zudem wird das Volumengewicht durch miterfasste mineralische Bestandteile (z.B. Sand) beeinflusst, wodurch sich die Werte für das Volumengewicht erhöhen.[29]

Die in der Studie [29] angegebenen Volumengewichte deuten darauf hin, dass ein höherer Anteil an holzartigem GS am Gesamtaufkommen mit einem niedrigeren Volumengewicht verbunden ist. Entgegen dieser Feststellung rechnet z.B. die Studie von IfaS [50] mit einem höheren Volumengewicht beim holzartigen GS im Vergleich zum krautartigen GS. Diese Unstimmigkeit verdeutlicht die Tatsache, dass erstens der GS ein sehr stark schwankendes Gemisch darstellt und zweitens bei der Angabe eines Volumengewichts entscheidend ist, dass angegeben wird, unter welchen Bedingungen das Volumengewicht gemessen wurde, d.h. z.B. welchen Wassergehalt der GS zum Zeitpunkt der Volumengewichtsmessung hatte. Beispielsweise werden in einer Literaturquelle [66] für den krautartigen GS zwei verschiedene Volumengewichte angegeben, die sich beide sehr stark unterscheiden. Während für den frischen krautartigen GS ein Volumengewicht von 600 kg/m^3 angegeben wird, beträgt das Volumengewicht für trockenen krautartigen GS ca. 200 kg/m^3 .²⁰⁵ Die in der Tab. 2.2 angegebenen Werte für den GS zeigen insgesamt eine große Spannweite auf.

Trockensubstanz (TS-Gehalt) und organischer Trockensubstanz-Gehalt (oTS-Gehalt):

Die in der Literatur vorhandenen Werte zum TS-Gehalt bzw. oTS-Gehalt von GS weisen eine sehr große Spannweite auf (Tab. 2.2). Dies ist auf folgende Gründe zurückzuführen. Der TS- und oTS-Gehalt variiert stark in Abhängigkeit von dem erfassten GS-Material.

²⁰⁵Des Weiteren wirken sich der Umgang mit dem GS-Material bei der Messung des Volumengewichts und die Messmethode nach eigenen Einschätzungen ebenfalls auf das gemessene Volumengewicht aus.

Darüber hinaus werden diese beiden Parameter erheblich durch das Sammelsystem und die Lagerungsbedingungen (vor allem Art und Zeitraum der Lagerung) des GS beeinflusst [29, 47].²⁰⁶

Grundsätzlich nimmt der TS-Gehalt mit steigendem Verholungsgrad, der durch den Ligninanteil bestimmt wird, zu. Dies ist anhand der Kennwerte in der Tab. 2.2 ersichtlich. Es ist anzumerken, dass alle pflanzlichen Materialien in der Regel einen hohen oTS-Gehalt aufweisen, weil die Grundsubstanz pflanzlicher Masse der organische Kohlenstoff ist. Geringe oTS-Gehalte weisen auf einen hohen Anteil miterfasster Bodenanteile, auf eine bereits eingesetzte Verrottung des Materials [29] oder auf einen hohen Anteil an sonstigen Nährstoffen, z.B. Stickstoff, hin.

Wassergehalt (H_2O -Gehalt):

Der Wassergehalt ist von der Zusammensetzung des GS (Anteile kraut- und holzartiger Fraktion) abhängig. Da wiederum die Zusammensetzung des GS von vielfältigen Faktoren beeinflusst wird, wie z.B. der Jahreszeit und damit den klimatischen Gegebenheiten, unterliegt der Wassergehalt von GS über den Jahresverlauf betrachtet großen Schwankungen. Der Wassergehalt hat einen großen Einfluss auf den Heizwert und ist daher für eine energetische Verwertung entscheidend. Je mehr Wasser der GS enthält, desto mehr Energie wird für die Verdampfung des Wassers benötigt und geht der eigentlichen Energieerzeugung verloren.

Im Allgemeinen liegen die durchschnittlichen Wassergehalte von GS im Frühjahr am niedrigsten und steigen zum Sommer und Herbst hin an. Der höchste Wassergehalt wird meistens im Herbst erreicht, was auf verschiedenen Ursachen (z.B. erhöhte Niederschläge oder besonders hoher Laubanteil²⁰⁷) beruhen kann. Die im Spätwinter und Frühjahr anfallenden GS-Mengen mit meist dominierendem Anteil der holzartigen Fraktion weisen in der Regel geringere Wassergehalte (höheren TS-Gehalt) auf.[29]

²⁰⁶ Laut Kranert et al. [29] hat die Art des Sammelsystems einen Einfluss auf den TS- und oTS-Gehalt. Dies wird damit begründet, dass bei einer Sammlung im Holsystem – im Vergleich zum Bringsystem – die holzartige Fraktion überwiegt und zudem weitestgehend frei von mineralischen Anteilen (z.B. Bodenanteile) ist. Dadurch sind die TS- und oTS-Gehalte des GS beim Holsystem meistens deutlich höher als bei einem Bringsystem.

In Abhängigkeit von dem Lagerungszeitraum und der Lagerungsart (z.B. unter einem Dach zur trockenen Lagerung oder im Freien zur nicht trockenen Lagerung) verdunstet unterschiedlich viel Wasser und infolge dessen nimmt der Wassergehalt ab. Dadurch nimmt der TS-Gehalt bzw. der oTS-Gehalt zu, weil der Wassergehalt und der TS-Gehalt zusammen 100% ergeben. Eine längere Lagerungszeit lässt einen geringeren Wassergehalt und einen höheren TS- bzw. oTS-Gehalt erwarten. Eine Literaturstelle [29] weist darauf hin, dass GS-Material mit vorwiegend holzartigem Anteil, der eine Weile gelagert wird, meist hohe bis sehr hohe oTS-Gehalte aufweist, da miterfasste mineralische Anteile lagerungsbedingt oft abtrocknen und abfallen. Zudem führt eine Lagerung unter Dach im Vergleich zur Lagerung im Freien zu einem deutlich trockenerem GS-Material.[5]

²⁰⁷ Besonders abgestorbenes Laubmaterial kann aufgrund seiner „Schwammstruktur“ bei starken Niederschlägen hohe Wassergehalte aufweisen [29].

Heizwert (H_u):

In Abhängigkeit der teilweise sehr hohen Wassergehalte kann der H_u von GS in einem sehr weiten Bereich zwischen 1 bis 13 MJ/kg variieren [29, 33]. Abb. A.5 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem H_u und dem Wassergehalt für Laub- bzw. Nadelhölzer.²⁰⁸ Für den holzartigen GS ist ein etwas geringerer H_u - als in Abb. A.5 dargestellt - zu vermuten, da der hohe Rindenanteil und damit verbunden der hohe Aschegehalt den H_u zusätzlich schmälert.

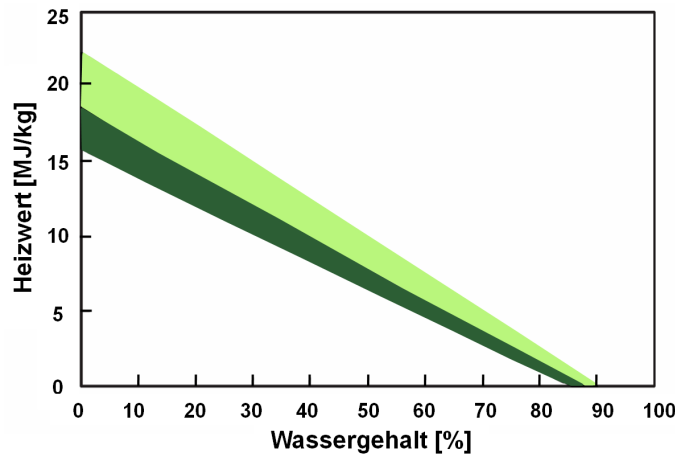


Abbildung A.5: Zusammenhang zwischen dem H_u und dem Wassergehalt von Laubhölzern (dunkelgrüner Balken) und Nadelhölzern (hellgrüner Balken) [in Anlehnung an: [314]; Datengrundlage: [314, 315]]

Zudem wird der H_u vom TS- und oTS-Gehalt bestimmt [316]. Ein größerer TS- bzw. oTS-Gehalt lässt demnach einen höheren H_u erwarten.

Anhand mehrerer GS-Untersuchungen in einer Studie [29] konnte festgestellt werden, dass besonders im Frühjahr und Spätwinter der größte Anteil an heizwertreichem - also überwiegend trockenem holzartigem - Material im GS vorliegt. Dagegen zeichnet sich der GS im Sommer und Herbst durch geringere Heizwerte aus, aufgrund dominierender Mengen an krautartigem GS (Laub und Rasenschnitt) und damit hohen Wassergehalten.

Schwermetalle, Störstoffe (z.B. Kunststoff) und Aschegehalt:

Unerwünschte Stoffe im GS sind Schwermetalle und andere Störstofffraktionen (z.B. Kunststoffe, Glas oder Steine). Diese Stoffe wirken sich auf eine anschließende Verwertung – stofflich oder energetisch – nachteilig aus. Beispielsweise ist die Schwermetallproblematik bei Straßenbegleitgrün/-holz, das in der Nähe von Straßen/Autobahnen anfällt, nicht zu unterschätzen [37, 38] und muss bei einer anschlie-

²⁰⁸Für Nadelhölzer liegt der H_u um ca. 2% höher als für Laubhölzer [313]. Dies wird damit begründet, dass Nadelhölzer einen höheren Ligningehalt und zum Teil einen erhöhten Gehalt an Holzextraktstoffen (Harze und Fette) aufweisen [90, 198].

ßenden Verwertung beachtet werden. Dagegen weisen die in der Arbeit betrachteten GS-Stoffströme aus den privaten Haushalten und aus der Pflege von öffentlichen Flächen vergleichsweise nur geringe Schwermetallkonzentrationen auf.²⁰⁹ In Tab. A.1 sind Schwermetallgehalte für GS²¹⁰ beispielhaft dargestellt. Der Störstoffgehalt bzw. Verunreinigungsgrad von GS ist meistens so gering (< 1 Gew.-% [[318, 319] zitiert nach [48]], [[29] zitiert nach [47]]), dass auf eine Störstoffentfrachtung in der Regel verzichtet werden kann [51, 97, 320].

Tabelle A.1: Schwermetallgehalte (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) von GS [in Anlehnung an: [[56, 317] zitiert nach [59]]]

	Schwermetallgehalte von GS [mg/kg TS]						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Spannweiten	0,07-2,1	4-24,6	10-68,8	1-17	13,8-70	8-100	0,05-0,18
Mittelwert	1,1	14,3	39,4	9	41,9	54	0,12

Im Vergleich dazu sind folgende Grenzwerte für die einzelnen Schwermetalle (Tab. A.2) laut BioAbfV [41] bei einer stofflichen Nutzung durch Aufbringung gemäß § 6 Abs. 1 Satz 1 und 2 maßgebend und dürfen nicht überschritten werden.

Tabelle A.2: Grenzwerte für Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) gemäß der BioAbfV [41] für eine Aufbringung nach § 6 Abs. 1 Satz 1 und 2

	Schwermetallgehalte [mg/kg TS]						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Grenzwerte	1,5	100	100	50	150	400	1

Beim Vergleich der Schwermetallgehalte von GS und den Grenzwerten gemäß BioAbfV fällt auf, dass die Schwermetallgehalte mit Ausnahme von Cd deutlich unter den angegebenen Grenzwerten liegen.

Der Aschegehalt von GS spielt bei der energetischen Verwertung des GS eine besondere Rolle. Die Asche besteht überwiegend aus inerten mineralischen Stoffen. Die Asche beinhaltet Mineralstoffe in Form von Magnesium-, Calcium- und Kaliumoxiden und Schwermetalle [92]. Beim GS sind vor allem erhöhte Aschegehalte

²⁰⁹Weihnachtsbäume, die als GS bei den privaten Haushalten anfallen, können z.B. mit sehr hohen Schwermetallkonzentrationen belastet sein, sofern Schmuckstücke wie Lametta oder Lichterstränder nicht entfernt wurden [38]. Bei einer Annahme des GS im Bringsystem ist darauf zu achten, dass diese Störstoffe vorher vollständig entfernt wurden, ansonsten kann die anschließende Verwertung des GS stark beeinträchtigt werden.

²¹⁰Welcher GS hier hinsichtlich seiner Schwermetallgehalte analysiert wurde, ist nicht eindeutig. In der Literaturquelle [[317] zitiert nach [59]] ist die Rede von Grün- und Rasenschnitt von Parkflächen und begrünten Straßenrändern. Letztgenannter Herkunftsbereich für GS kann demnach entscheidend die in der Tab. A.1 dargestellten Gehalte beeinflussen und in die Höhe treiben. In der Literaturquelle [56] steht lediglich der Begriff „Grünabfälle“, aber nicht aus welchem Bereich der Grünabfall stammt.

(ca. 10 Gew.-% [29]) durch die energetische Nutzung der krautartigen Fraktion und durch den relativ hohen Rindenanteil des holzartigen GS zu erwarten [35, 321].²¹¹ Mit zunehmendem Aschegehalt steigen die Umweltbelastungen. Der Aufwand für eine energetische Verwertung, z.B. hinsichtlich notwendiger Entstaubungseinrichtungen (Gewebefilter o.ä.), wird größer [302] und die Wirtschaftlichkeit der energetischen Verwertung nimmt ab.

A.6 Verwertungsverfahren für GS

A.6.1 Stoffliche Verwertungsverfahren

Bei den verschiedenen stofflichen Verwertungsverfahren steht die Nutzung der Nährstoffe (z.B. Stickstoff), die im GS enthalten sind (stoffliches Nutzenpotenzial), an primärer Stelle. Der Fokus liegt auf der Schließung von Stoffkreisläufen (Stickstoff-, Kohlenstoff- und Phosphorkreislauf).²¹² Eine sekundäre Wirkung, die mit der stofflichen Nutzung des GS einhergeht, ist die Schonung bzw. Substitution von stofflichen Primärrohstoffen (z.B. von Torf und mineralischen Düngemitteln). Durch die Einsparung von Primärrohstoffen können wiederum klimarelevante Treibhausgase reduziert werden, die z.B. bei der Gewinnung (Abbau) und beim Transport dieser Primärrohstoffe entstanden wären. Zudem kann durch die langfristige Bindung von Kohlenstoff über die erzeugten Endprodukte eine Kohlenstoffsénke (C-Sénke) entstehen. Neben dem Beitrag zum Ressourcenschutz kann die stoffliche Nutzung des GS einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Für GS kommen drei stoffliche Verwertungsverfahren in Betracht:

- Nutzung als Mulch-/Häckselmaterial
- Kompostierung
- Terra Preta

Nutzung als Mulch-/Häckselmaterial:

Die Nutzung von GS als Mulch- bzw. Häckselmaterial ist eine Sonderform der stofflichen Nutzung. In der Literatur, die im Rahmen der Arbeit gefunden wurde, wird

²¹¹ Mineralstoffe befinden sich vor allem in der Rinde, so dass der Aschegehalt in Abhängigkeit vom Rindenanteil schwankt. Während der Aschegehalt für reines Holz (ohne Rinde) zwischen 0,5 und 1,5 Gew.-% der TS liegt, variiert der Aschegehalt für Rinde von 5 bis 8 Gew.-% der TS und ist damit deutlich höher [34].

²¹² Die Rückführung von Phosphor in den Stoffkreislauf ist von enormer Wichtigkeit. Dies ergibt sich daraus, dass der Phosphor, der in Form von Phosphat für die Pflanzen verfügbar ist, eine begrenzte Ressource darstellt. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern gibt es für diesen Pflanzennährstoff keine Alternativen.[81, 322]

diese Verwertungsart nicht detailliert beschrieben, obwohl sie in der Praxis Anwendung findet.²¹³ Die Prozesskette zur Erzeugung von Häckselmaterial besteht lediglich aus der Zerkleinerung des holzartigen GS-Materials. Nach der Zerkleinerung wird das Häckselmaterial direkt am Anfallort belassen oder auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Bei den landwirtschaftlichen Flächen handelt es sich z.B. um erosionsgefährdete Flächen, bei denen das Häckselmaterial primär die Aufgabe des Bodenschutzes übernimmt [64]. Nach dem Ausbringen des Häckselmaterials finden biologische Abbau- und Zersetzungsprozesse des Materials statt.²¹⁴ Auf welche Weise ein Abbau des GS stattfindet ist laut Pitschke et al. [12] fraglich.

Das Häckselmaterial wird aus dem holzartigem GS [64, 69] durch eine Zerkleinerung hergestellt. Der holzartige GS besitzt bei einer Verwendung als Häckselmaterial folgende Vorteile:

- Der holzartige GS trägt im Gegensatz zum krautartigen GS als Strukturmaterial zum Boden- und Erosionsschutz bei [64].
- Im Vergleich zum Kompost zeichnet sich der holzartige GS durch ein niedrigeres Nährstoffangebot aus. Daraus folgt ein geringerer Befall mit Fäulniserregern²¹⁵ (z.B. Pilze auf Weinreben).[64]

Der Nachteil dieser Nutzungsform besteht in der Tatsache, dass das stoffliche Nutzenpotenzial aufgrund des langsamen biologischen Abbaus des holzartigen GS nicht effizient ausgeschöpft wird. Im Hinblick auf die Ausnutzung des stofflichen Nutzenpotenzials ist die Nutzung als Häckselmaterial von daher wenig effizient [12].

Sofern dieser Verwertungsweg präferiert wird ist es entscheidend, dass entsprechende Landwirtschaft in der Region vorhanden ist und Landwirte das Häckselmaterial abnehmen. Alternativ kann der GS als Häckselmaterial an Ort und Stelle belassen werden und dort als Strukturmaterial dienen.

Hinsichtlich der freigesetzten Emissionen bei der Nutzung als Häckselmaterial sind laut Pitschke et al. [12] keine Daten vorhanden und es besteht hierzu Untersuchungsbedarf.

Zukünftig ist die Nutzung des GS als Häcksel- oder Mulchmaterial in der zuvor beschriebenen Form nicht mehr möglich. Die Novellierung der BioAbfV [42] sieht seit

²¹³ Laut Kern/Raussen [323] werden ca. 80-90% der Bio- und Grünabfälle in Deutschland einer direkten Nutzung (z.B. als Häckselmaterial) bzw. einer Kompostierung zugeführt.

²¹⁴ Im Gegensatz zur Kompostierung, die im Anschluss beschrieben wird, findet hier der biologische Abbauprozess ohne jegliche Steuerung und Betriebsführung statt.

²¹⁵ Der holzartige GS enthält zum Großteil schwer abbaubare Substanzen (Lignin), die nur schwer von Mikroorganismen zersetzt werden können.

1. Mai 2012 für Garten- und Parkabfälle eine Untersuchungs- und Behandlungspflicht vor [324]. Bislang wurden Garten- und Parkabfälle nach § 10 Abs. 1 BioAbfV [41] generell von der Untersuchungs- und Behandlungspflicht freigestellt. Durch diese Neuordnung müssen Garten- und Parkabfälle vor einer stofflichen Nutzung als Häcksel- oder Mulchmaterial einer hygienisierenden Behandlung (z.B. Kompostierung unter Einwirkung von mindestens 55°C über einen Zeitraum von 2 Wochen oder von 65°C (bei geschlossenen Anlagen 60°C) über 3 Tage im gesamten Rottematerial) zugeführt werden.[325] Die Aufbringung von unbehandeltem GS als Häckselmaterial ist laut Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) [324] nur noch im Ausnahmefall mit Zustimmung der zuständigen Behörde möglich.

Kompostierung:

Die Kompostierung ist derzeit bundesweit das am häufigsten eingesetzte Verfahren für die Verwertung von GS [31, 33, 326].²¹⁶ Das bedeutet, dass sich die bisherige Verwertung von GS vor allem auf die Ausnutzung der stofflichen Eigenschaften konzentriert.

Die Kompostierung ist ein biologischer Prozess (=Rotteprozess), bei dem durch die Aktivität von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze etc.) unter kontrolliert²¹⁷ aeroben Bedingungen der GS abgebaut wird. Das Ziel der Kompostierung ist die Herstellung eines huminstoffreichen Produkts (Kompost). Stark vereinfacht lässt sich der Prozess durch folgende Reaktionsgleichung beschreiben [63]:



In Abb. A.6 ist die grundsätzliche Kompostierungstechnologie mit den einzelnen Prozessschritten vereinfacht dargestellt.

An erster Stelle der Prozesskette steht die Aufbereitung des GS. Die Aufbereitung ist erforderlich, um vor allem einen möglichst optimalen (=ungestörten, emissionsarmen) und schnellen Abbauprozess sicherzustellen. Die Zerkleinerung des GS-Materials ist wichtig, um die spezifische Oberfläche des GS zu vergrößern und die

²¹⁶Laut Kern/Raussen [323] werden ca. 80-90% der Bio- und Grünabfälle in Deutschland einer Kompostierung bzw. einer direkten Nutzung (z.B. als Häckselmaterial) zugeführt.

²¹⁷Die Kompostierung ist nur bedingt steuer- bzw. kontrollierbar. Letztendlich findet bei der Kompostierung ein biologischer Prozess statt, der nicht direkt gesteuert werden kann und von den Mikroorganismen abhängig ist. Es können lediglich optimale Voraussetzungen für den biologischen Abbau – z.B. durch die Mischung der Inputmaterialien zur Herstellung eines geeigneten C/N-Verhältnisses – geschaffen werden. Wie die Kompostierung erfolgt, liegt letztendlich in den „Händen“ der Mikroorganismen.

Substrataufschließung durch die Mikroorganismen zu beschleunigen. Anschließend wird das zerkleinerte GS-Material bei einer entsprechenden Siebmaschenweite gesiebt und so die Feinfraktion - als Siebdurchgang - von der Grobfraktion - als Siebüberlauf - getrennt. Die Feinfraktion mit ca. 70 Gew.-% [48, 49, 52, 97] wird kompostiert und die Grobfraktion (ca. 30 Gew.-% [48, 49, 52, 97]) wird ausgeschleust und kann z.B. nach einer entsprechenden Aufbereitung energetisch genutzt werden.²¹⁸

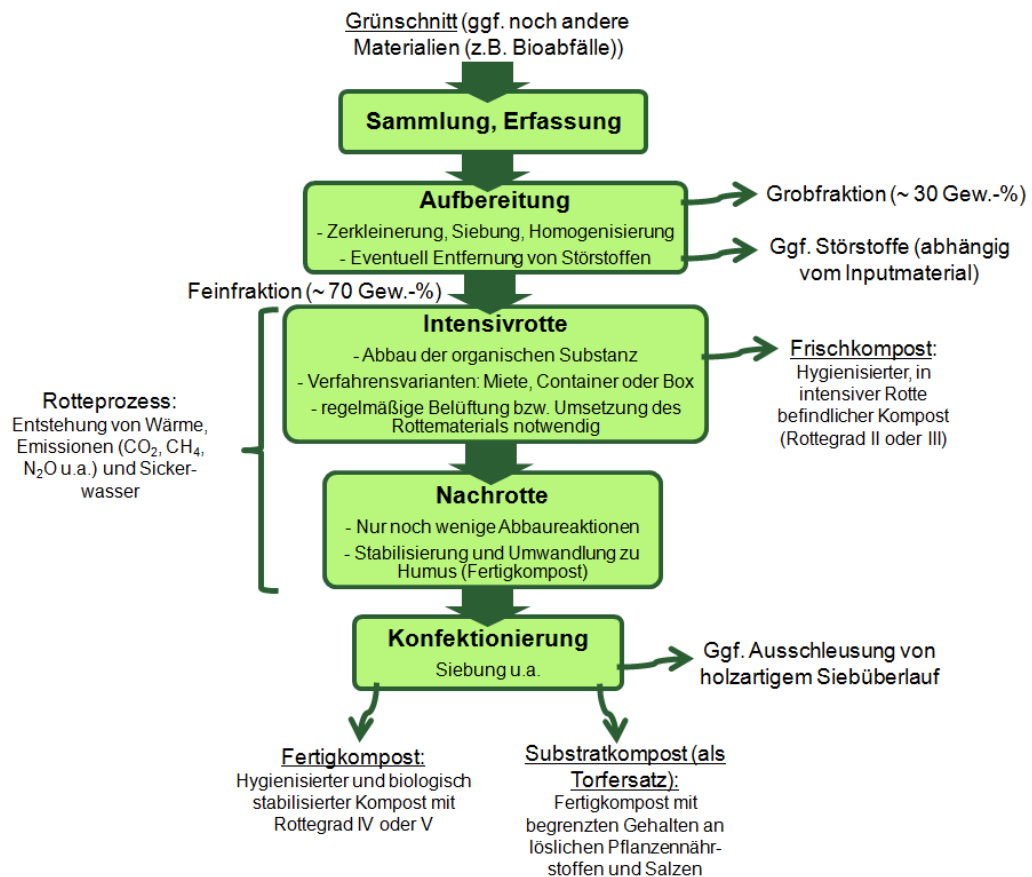


Abbildung A.6: Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Kompostierung von GS [eigene Darstellung]

Als Kernelement der Kompostierung folgt die Intensivrotte, die auch als Vorrotte oder Hauptrotte bezeichnet wird [71]. Grundlegendes zum Rotteprozess und wichtige Einflussparameter auf den Rotteprozess können im Anhang A.7.1 nachgelesen werden.

²¹⁸ Eine allgemein gültige Aussage zur Siebmaschenweite für die Trennung der Fein- von der Grobfraktion kann nicht gemacht werden. In Abhängigkeit vom Kompostierungsprozess und den Inputmaterialien sowie deren Eigenschaften kann es notwendig sein, eine andere Siebmaschenweite zu verwenden. Dadurch kann z.B. ein höherer Holzanteil in der Feinfraktion erhalten werden, um einen möglichst optimalen Kompostierungsprozess zu gewährleisten. Es kommen unterschiedliche Siebmaschenweiten zum Einsatz (z.B.: [64, 97]). Die Angaben zur Fein- bzw. Grobfraktion von 70 bzw. 30 Gew.-% sind nicht als allgemein gültige Werte zu verstehen.

Bei den zitierten Literaturquellen ist nicht immer angegeben, wie die Fein- bzw. Grobfraktion definiert ist und welche Siebmaschenweite für die Trennung der Fraktionen benutzt wurde (Bsp.: [48, 49, 52]). Aufgrund der ähnlichen Darstellung der Stoffstromaufteilung in den verwendeten Quellen wird hier die Siebmaschenweite von 40 mm von Kern et al. [97] zugrunde gelegt. Die Feinfraktion setzt sich vorwiegend aus krautartigem und feinem holzartigem Material zusammen [48].

Aus dem GS kann eine Kompostausbeute von ca. 0,43 - 0,7 Mg/Mg GS erwartet werden [12, 104]. Der erzeugte Kompost kann je nach Rottegrad und dem Gehalt an Pflanzennährstoffen in drei Produktarten unterteilt werden: Frischkompost, Fertigkompost und Substratkompost. Die beiden letztgenannten unterscheiden sich nicht im Rottegrad, sondern unter anderem hinsichtlich des Anteils an Pflanzennährstoffen [71]. Die Kompostprodukte können als Humus- und Nährstofflieferant (Düngemittel), als Bodenverbesserungsmittel oder als Bestandteil von Pflanzsubstraten und Kulturerden (=Torfersatz) in den verschiedenen Anwendungsbereichen (z.B. in der Landwirtschaft) eingesetzt werden.²¹⁹ Neben der Düngewirkung bzw. dem Substitutionspotenzial für Torf bieten die Kompostprodukte weitere ökologisch positive Wirkungen. Dazu gehören die Verbesserung des Wasser- und Nährstoffspeichervermögens des Bodens sowie die Schaffung einer stabilen Bodenstruktur durch die Humusreproduktion.[48]

Im Folgenden werden die stoffstromspezifischen Anforderungen an das Inputmaterial für die Kompostierung betrachtet. Inputmaterialien für eine Kompostierung sind in erster Linie feste organische Stoffe, die durch Mikroorganismen ab- bzw. umgebaut werden können. Zudem müssen die Inputstoffe weitgehend frei von Stör- und Schadstoffen sein, damit der biologische Abbauprozess nicht gehemmt wird oder gar zum Erliegen kommt.[71] Die BGK hat - unter Berücksichtigung abfallrechtlicher und düngemittelrechtlicher Vorgaben - eine Liste²²⁰ mit zulässigen Ausgangsstoffen zur Erzeugung von gütegesichertem Kompost erstellt. Darunter sind die in dieser Arbeit betrachteten GS-Stoffströme gemäß der Bezeichnungen der BioAbfV unter Garten- und Parkabfällen A2 und Friedhofsabfällen A3 aufgeführt.²²¹

In Bezug auf die in der vorliegenden Arbeit betrachteten GS-Stoffströme ist eine Mischung aus kraut- und holzartigem GS für eine optimale Kompostierung geeignet und sogar erforderlich [28, 48, 63]. Der Anteil des holzartigen GS bei der Kompostierung sollte - je nach Randbedingungen - einen Volumenanteil zwischen 30% und 60% - ausmachen [12, 63].

Beide GS-Fractionen weisen unterschiedliche Merkmale auf, die für den Kompostierungsprozess von enormer Bedeutung sind. Die krautartige Fraktion sorgt für den

²¹⁹Substratkompost ist Fertigkompost mit einem niedrigeren Gehalt an Pflanzennährstoffen [71].

Kompost enthält in relevanten Mengen die Pflanzennährstoffe Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium [71].

²²⁰Die Liste kann unter folgendem Link aufgerufen werden: http://www.kompost.de/fileadmin/docs/guetesicherung/ListeZuAusgangsstoffeKo_GP.pdf

²²¹In der Liste sind nicht explizit die GS-Mengen aus dem Herkunftsbereich der Pflege von Sport- und Spielplätze etc. genannt. Aufgrund der ähnlichen Art des GS wird davon ausgegangen, dass diese ebenfalls zulässige Ausgangsstoffe für eine Kompostierung darstellen.

notwendigen Wassergehalt (zwischen 55% bis 65% [63, 327]) und den „Stickstoff“ als Nährstoffquelle für die Mikroorganismen [63]. Zudem liefert die krautartige Fraktion den Mikroorganismen die leicht abbaubaren Substanzen (z.B. Kohlenhydrate), die für die Intensivrotte wichtig sind und den Rotteprozess in Gang setzen. Dagegen trägt der holzartige GS auf eine andere Weise entscheidend zu einem optimalen Kompostierungsprozess bei. Die holzartige Fraktion ist - unter anderem aufgrund des hohen C/N-Verhältnisses und des geringeren Wassergehalts (Kap. 2.1.3) - schlechter bzw. langsamer im Rotteprozess abbaubar. Sie dient aber als Strukturmaterial im Rotteprozess. Dieses Material ist erforderlich, um im Rottekörper ein ausreichendes Porenvolumen für Luft und Wasser zu schaffen und um vor allem die aerobe Prozessführung zu begünstigen und Fäulnisprozesse unter anaeroben Bedingungen zu verhindern. Zudem halten die holzartigen GS-Anteile als Stützmaterial die Stabilität des Rottekörpers aufrecht. Damit der holzartige GS diese Aufgaben erfüllen kann, ist eine Zerkleinerung notwendig.[63]

Häufig wird der GS zusammen mit dem Bioabfall (aus der Biotonne) kompostiert. Bedingt durch den Bioabfall entstehen beim Abbau von Kohlenhydraten und Eiweißen geruchsintensive Stoffe (Fettsäuren oder Aldehyde) [328]. Um die Geruchsbelästigungen gering zu halten, muss auf einen ausreichenden Abstand der Kompostierungsanlage zu Wohngebieten geachtet werden.

Zudem sollte bei der Standortwahl die Nachfragesituation nach Komposten berücksichtigt werden, damit der Kompost nicht über weite Strecken zur Vermarktung transportiert werden muss. Dies kann die Kompostierung unwirtschaftlich gestalten [153]. Sind die Absatzmöglichkeiten für die stofflichen Produkte (Frisch-, Fertig- oder Substratkompost) nicht ausreichend gegeben (z.B. durch eine zu geringe Nachfrage nach Kompostprodukten) und/oder stellt sich der Substitutionseffekt für Torf durch Substratkompost nicht ein, ist dieser Verwertungsweg nicht nur unwirtschaftlich, sondern im Hinblick auf den Klima- und Ressourcenschutz wenig effektiv und ineffizient. Ein Nachteil der Erzeugung von Substratkompost als Torfersatz liegt darin, dass im Vergleich zu Frischkompost längere Rottezeiten gewährleistet werden müssen. Dadurch ergibt sich ein geringerer Anlagendurchsatz und die Gesamtwirtschaftlichkeit der Kompostierungsanlage wird negativ tangiert.²²²

²²² Ein wesentlicher Nachteil von Substratkompost als Ersatz für Torf besteht in der Variationsbreite der Nährstoffgehalte. Torf hat im Vergleich dazu immer konstante Nährstoffwerte und ist daher, z.B. für den Zierpflanzenanbau, besser geeignet [329]. Substratkompost hat gegenüber Torf auch Vorteile, wie eine verbesserte Pufferwirkung bzw. eine zusätzliche Düngung mit Mineralien (Phosphor, Kalium und Spurenelementen) [224].

Um die Absatzchancen der Komposterzeugnisse zu erhöhen, ist eine RAL-Gütesicherung sinnvoll, die eine hohe Qualität der Kompostprodukte gewährleistet.

Untersuchungen zu klimarelevanten Emissionen, die bei der Kompostierung entstehen bzw. durch die Kompostprodukte eingespart werden, stehen am Anfang und beruhen auf einer kleinen Datengrundlage [48]. Eine allgemein gültige Aussage zum Klimaschutzeffekt des Kompostierungsverfahrens kann nicht getroffen werden. Je nach Verfahrensausführung (z.B. offene oder geschlossene Bauweise der Kompostierungsanlage) und nach Betriebsführung - beispielsweise C/N-Verhältnis, Einsatz von Strukturmaterial, Wassergehalt - kann die Bewertung des Kompostierungsverfahrens hinsichtlich des Klimaschutzes unterschiedlich ausfallen.

Beim Kompostierungsprozess entstehen in Folge des mikrobiellen Abbaus des GS klimarelevante Gase. Eine besondere Rolle nehmen hierbei vor allem Stickstoffemissionen in Form von NH_3 und N_2O und kohlenstoffhaltige Verbindungen - z.B. CH_4 und CO_2 - ein [48].²²³ Die CO_2 -Emissionen werden nicht als klimarelevant angesehen (Anhang A.1) [48, 178].

Diesen klimarelevanten Emissionen, die beim Kompostierungsprozess freigesetzt werden, stehen je nach Endprodukt unterschiedliche Einsparungen an klimarelevanten Emissionen (Gutschriften) gegenüber. Durch die Verwendung von Kompost kann der Einsatz von mineralischen Düngemitteln (z.B. Stickstoffdünger) substituiert werden. Dadurch können klimarelevante Emissionen, die sonst bei der Herstellung des Düngemittels angefallen wären, vermieden werden. Als weitere Option der Gutschrift für die Klimabilanz kann die C-Senke durch den im Kompost enthaltenen Kohlenstoff in Form von Humus in Betracht gezogen werden. Dies ist noch nicht in langfristigen Untersuchungen ausreichend belegt [290].²²⁴

Von besonderer Relevanz für eine positive Klimabilanz ist die Erzeugung von Substratkompost, der als Torfersatz verwendet werden kann [54]. Da beim Abbau von Torf erhebliche Mengen an CO_2 freigesetzt werden können, ist die Substitution von Torf im Hinblick auf den Klimaschutz von primärer Bedeutung. Je nachdem welche

²²³Nur ca. 5-10% des vorhandenen Kohlenstoffs werden langfristig im Kompost in Form von Humus gespeichert. Ein Großteil des Kohlenstoffs geht in Form von CO_2 oder CH_4 verloren.[330]

²²⁴In dem Abstract einer Studie [331] zur Untersuchung der C-Bindung in Böden durch die Aufbringung von Kompost bestanden Anhaltspunkte, dass eine temporäre bis längerfristige C-Bindung mit der Verwendung von Kompost unter bestimmten Voraussetzungen gegeben sein kann. Diese C-Senke müsste dann bei der Aufstellung von Klimabilanzen als CO_2 -Gutschrift Berücksichtigung finden. Die vagen Aussagen „es bestehen Anhaltspunkte“ bzw. „unter bestimmten Voraussetzungen“ erschweren eine gesicherte Aussage zur langfristigen C-Sequestrierung und eine generelle Anrechnung ist durch bestimmte Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, nicht möglich. Zudem sind für eine generelle Anrechnung der langfristigen C-Bindung allgemeingültige und akzeptierte Kriterien erforderlich, um diese Klima-Gutschriften über einen längeren Zeitraum bewerten zu können. Laut Jensen [332] existieren solche Kriterien derzeit nicht.

Torfart (Weiß- oder Mischtorf) durch den Substratkompost ersetzt wird, ergeben sich unterschiedliche CO₂-Einsparungen [29]. Zur Substitution der endlichen Ressource Torf können hauptsächlich strukturierte Komposte aus Garten- und Parkabfällen eingesetzt werden [318]. Demnach sollte vorrangig der holzartige GS zur Herstellung von Substratkompost verwendet werden, um erstens die Ressource „Torf“ zu schonen und zweitens einen möglichst hohen Klimaschutzeffekt zu erlangen.²²⁵

Verschiedene Literaturquellen [28, 48, 105, 292, 334] zur Klimagasbilanz der Kompostierung von GS bzw. von Bioabfällen kommen zu dem Ergebnis, dass sich im Durchschnitt die Freisetzung von klimarelevanten Emissionen durch Sammlung, Anlagenbetrieb und Kompostausbringung mit der Gutschrift über die Anwendung von Kompost (Ersatz von Torf und Düngemitteln) die Waage halten.²²⁶ Abb. A.7 stellt diese Klimabilanz dar und zeigt auf, dass der Anlagenbetrieb (Betriebsführung) einen entscheidenden Einfluss auf die Klimabilanz der Kompostierung nimmt.²²⁷ Im günstigsten Fall ist daher von einer klimaneutralen Bilanz der Kompostierung (inklusive Klimawirkung der Endprodukte) auszugehen [[335, 336] zitiert nach [334]].²²⁸

Im Hinblick auf die Ressourcenschonung durch die Schließung von Stoffkreisläufen und dem Klimaschutzeffekt ist die Kompostierung unter bestimmten Voraussetzungen als nachhaltiges Verfahren anzusehen [337]. Wesentliche Voraussetzung sind eine

²²⁵ Der Torfabbau zerstört Moore, die als CO₂-Senke dienen [28, 54, 105]. Da Torf zu den fossilen Rohstoffen gehört [105] - vielfach aber nicht als fossil gesehen wird [29] - ist der Abbau dieses Rohstoffs mit einer erheblichen Freisetzung von CO₂-Emissionen verbunden. Neben dem Klimaschutzeffekt durch die Torfsubstitution bestehen weitere ökologische und naturschutzrechtliche Gründe - wie beispielsweise die Zerstörung eines wertvollen Lebensraums für seltene Tiere und Pflanzen durch den Torfabbau -, weshalb die Priorität beim Substratkompost auf dem Torfersatz liegen sollte. Zukünftig werden volks- und betriebswirtschaftliche Gründe beim Torfeinsatz eine zunehmende Rolle spielen infolge der steigenden Importabhängigkeit beim Torf.[54] Weitere Informationen zum Thema Kompost und dem Schutz von Mooren können u.a. in der folgenden Literatur nachgelesen werden: [333]

Dieser Verwertungsweg mit dem Fokus auf der Herstellung von Substratkompost, setzt eine Anerkennung des Substratkomposts als wertvoller Torfersatz voraus und hierfür muss ein regionaler Markt bestehen.

²²⁶ Die meisten Quellen greifen auf die Studie von [105] zurück und beziehen sich auf die Kompostierung von Bioabfall. Unter Bioabfall werden in der Studie vor allem Küchen- und Speiseabfälle sowie krautartiger GS verstanden. Die Übertragung der Ergebnisse auf die reine GS-Kompostierung wird in der Arbeit als grobe Einschätzung für die Klimarelevanz für zulässig erachtet.

²²⁷ Bei der Klimabilanz wurden verschiedene Randbedingungen getroffen, wie beispielsweise die Erzeugung von 34% Frischkompost und 66% Fertigkompost zur Substitution von Torf und Düngemitteln. Zudem wurden folgende Absatzzahlen für den Kompost in der Studie angesetzt: 49% Landwirtschaft, 28% Garten-, Landschafts- und Hobbygartenbau, 10% Erwerbsgartenbau und 13% Rekultivierung [103].

²²⁸ Eine andere Studie [173], die durchschnittliche Verwertungsszenarien der Kompostierungsanlagen in Deutschland betrachtet hat, kommt zu einer anderen Erkenntnis. Hier fallen die CO₂-Bilanzen der betrachteten Kompostierungsanlagen positiv aus. Diese beiden unterschiedlichen Ergebnisse belegen die Tatsache, dass die Datengrundlage noch recht klein ist und die Bewertung der Kompostierung hinsichtlich ihrer Klimabilanz am Anfang steht. Die unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich der Klimabilanz bei der Kompostierung können zum Teil auf den Unsicherheiten bei der anzurechnenden CO₂-Gutschrift durch eine mögliche längerfristige C-Bindung im Boden beruhen.

gute Betriebsführung nach dem Stand der Technik²²⁹ und ein geeignetes Anlagenumfeld. Erstgenanntes liegt in der Praxis allerdings selten vor.

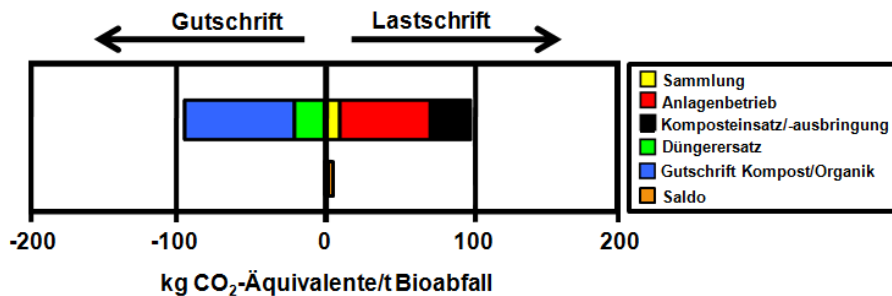


Abbildung A.7: Beispiel für eine Klimabilanz der Kompostierung [105] [nachbearbeitet]

Terra Preta:

Im Hinblick auf den Klimaschutz und die Nutzung von Biomasse steht die Herstellung von „Terra Preta“ zunehmend in der Diskussion. Bislang befinden sich die Verfahren zur Herstellung von Terra Preta in der Entwicklungsphase und sind nicht im Großmaßstab etabliert.

Terra Preta ist als Schwarzerde bekannt und wird bereits seit Jahrtausenden von den Ureinwohnern Amazoniens erzeugt [332]. Da sich diese Schwarzerde durch vielfältige meliorative Eigenschaften für die Bodenfruchtbarkeit auszeichnet - z.B. durch eine hohe Wasserspeicherfähigkeit im Vergleich zu Kompost - ist man seit mehreren Jahren bemüht Terra Preta in unseren Breiten im Großmaßstab zu erzeugen. Der Vorteil von Terra Preta ist, dass ihre Wirkung hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit in Jahrhunderten kaum geringer wird und sie in hohem Maße Kohlenstoff bindet.[332]

Terra Preta wird aus Holzkohle, die durch die Pyrolyse z.B. von holzartiger Biomasse (Pyrolysekoks) erzeugt wird (Anhang A.6.2) und einer Mischung von festen Gärresten und kompostierter Biomasse, hergestellt.²³⁰ Fester Gärrest und kompostierte Biomasse können z.B. aus dem krautartigen GS erzeugt werden. Die Holzkohle setzt sich vor allem aus gebundenem Kohlenstoff und Asche zusammen [90] und bietet durch ihre große innere Oberfläche [19] eine Adsorptionsfläche für Nährstoffe. Die Holzkohle wird mit dem Rottegut (kompostierte Biomasse und Gärreste) in einem Verhältnis von ca. 1:9 vermischt und anschließend gemeinsam in eine anaerobe Fermentation (Vergärung) gegeben.[332]

²²⁹Wovon ein emissionsarmer Betrieb der Kompostierung abhängig ist und vor allem wie dieser erreicht werden kann, ist u.a. in den folgenden Literaturquellen sehr ausführlich beschrieben: [12, 48, 63].

²³⁰Das hier beschriebene Verfahren zur Herstellung von Terra Preta ist nur ein Beispiel für eine mögliche Verfahrensausführung. Die Prozesskette der Terra Preta ist in Abb. A.11 und Abb. 2.6 enthalten.

Die Substrateigenschaften der Terra Preta lassen sich durch die Wahl der Inputmaterialien und über die Prozesssteuerung bestimmen. So kann je nach Bedarf ein hochwertiges Kultursubstrat, ein Bodenhilfsstoff (z.B. Aufbau von Dauerhumus) oder ein organischer Dünger erzeugt werden.[338, 339]

Bisher werden zur Erzeugung von Terra Preta nicht oder ineffizient genutzte regional anfallende organische Rest- und Abfallstoffe verwendet. Dazu zählen insbesondere Reststoffe aus der Biogasproduktion (Gärreste) und GS aus der Landschaftspflege oder den privaten Haushalten.[340] Wichtig ist, dass diese Stoffe ökologisch und toxikologisch unbedenklich sind [340] und z.B. keine Schwermetalle über die Verwendung von Terra Preta in den Boden eingetragen werden. Die Kombination von holzartigem GS (ligninreichem Material) und krautartigem GS (nährstoffreiches Material) ist laut Krieger [341] zur Herstellung von Terra Preta besonders geeignet.²³¹ Eine abschließende Studie zur Eignung von GS zur Herstellung von Terra Preta ist laut Trabelsi [342] bisher nicht vorhanden.²³²

Wichtige regionalspezifische Voraussetzungen/Anforderungen für die Erzeugung von Terra Preta sind:

- Verfügbarkeit von geeigneten Inputstoffen z.B. Erntereste, GS, Gülle, Festmist, Gärreste in ausreichender Menge [343], die bisher nur unzureichend genutzt werden.
- Regional vorhandene landwirtschaftliche Betriebe, die die Terra Preta anschließend für eine nachhaltige Bewirtschaftung ihrer Böden einsetzen.
- Umdenken im konventionellen Landbau: Der erfolgreiche Einsatz von Terra Preta erfordert eine nachhaltige Bewirtschaftungsweise, bei der die Eigenschaften der Terra Preta ausgenutzt werden. Darunter wird eine kreislaforientierte und bodenschonende Wirtschaftsweise verstanden.[340]
- Regionaler Absatzmarkt für die Terra Preta: Der Absatz wird dadurch erschwert, dass die Terra Preta in der Herstellung teurer als Kompost ist [332]

²³¹ Die Herstellung von Holzkohle über einen besonderen Pyrolysereaktor namens PYREG zur anschließenden Nutzung der Holzkohle für die Erzeugung von Terra Preta befindet sich derzeit an vier - im Rahmen der Arbeit gefundenen - Standorten:

- Kläranlage Ingelheim im LK Mainz-Bingen (seit 2008)
- Hengstbacherhof (Donnersbergkreis) (seit 2010)
- In der Nähe von Lausanne in der Schweiz (seit 2010)
- Morbacher Energielandschaft im LK Bernkastel-Wittlich (seit 2011)

als Pilot- bzw. Modellanlagen in Betrieb bzw. in Planung.

²³² Diese Aussage ist etwas verwunderlich, denn einige Literaturquellen nennen GS als Inputmaterial für die Herstellung von Terra Preta. Es ist denkbar, dass sich diese Aussage darauf bezieht, dass bisher nicht über einen längeren Zeitraum getestet wurde, inwiefern die aus GS hergestellte Terra Preta meliorative Eigenschaften auf die Bodenfruchtbarkeit etc. ausübt.

und sich zudem der Kompost im Vergleich zur Terra Preta über viele Jahre hinweg etabliert und bewährt hat. Hierfür ist eine regionale Vermarktung der Terra Preta - vor allem das Hervorheben von deren Vorteilen (Näheres hierzu in: [332]) gegenüber dem Kompost - erforderlich.

Bisherige Untersuchungen zur Klimabilanz von Terra Preta sind im Rahmen der Arbeit nicht auffindbar gewesen. Es ist zu vermuten, dass keine belastbaren und umfangreichen Klimabilanzen vorliegen, weshalb im Folgenden nur ein paar Ansätze aufgezeigt werden.

Die Herstellung von Terra Preta über die verschiedenen Verfahrenstechniken (Kompostierung, Vergärung usw.) ist mit THG-Emissionen verbunden und muss als Lastschrift in einer Klimabilanz beachtet werden. Dementgegen stehen folgende Überlegungen, die sich als mögliche Gutschriften in einer Klimabilanz ergeben können: Durch die stabile Fixierung von fast 2/3 des Kohlenstoffs, der in der Holzkohle enthalten ist, wird der Kohlenstoff durch die Herstellung von Terra Preta langfristig sequestriert [332, 339]. Dadurch wird der Kohlenstoff und die beim Abbau entstehenden CO₂-Emissionen nur sehr langsam aus dem Boden freigesetzt, was sich positiv auf den Klimaschutz auswirkt.²³³ Zudem soll mit dem Einsatz von Terra Preta eine erhebliche Reduzierung der bislang erforderlichen Düngung möglich sein [332]. Dadurch können aufwendig hergestellte Düngemittel eingespart werden, die sonst unter hohem Energieaufwand, hergestellt werden. Der Terra Preta werden in naher Zukunft gute Chancen für den Klimaschutz sowie für die Schließung von Stoffkreisläufen (Ressourcenschutz) beigemessen.[339, 344, 345]

A.6.2 Energetische Verwertungsverfahren

Die energetische Nutzung von Biomasse nimmt in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung zu [52]. Grundsätzlich kann jede Art von Biomasse zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Ob die energetische Nutzung umgesetzt wird, hängt davon ab, ob es für die Biomasseart eine technisch etablierte Methode gibt. Diese sollte wirtschaftlich betrieben werden können und zu ökologischen Vorteilen, z.B. Einsparung von klimaschädlichen CO₂-Emissionen, führen.[346]

Zudem ist ein hohes Maß an Akzeptanz in der Bevölkerung erforderlich, um die energetische Nutzung einer Biomasseart in die Praxis umzusetzen.

²³³Für diese langfristige C-Fixierung bestehen bisher keine allgemein anerkannten und gültigen Kriterien, um diese klimarelevante Gutschrift über einen längeren Zeitraum exakt bewerten zu können [332].

Bei der energetischen Verwertung liegt das Hauptaugenmerk auf der effizienten Ausnutzung des Energiepotenzials im GS.

Die verschiedenen Verwertungstechnologien zur Energieerzeugung aus GS stellen unterschiedliche Anforderungen an das GS-Material [258, 347]. Die Anforderungen der jeweiligen Technologie zielen auf einen möglichst störungsfreien Anlagenbetrieb, eine möglichst hohe Energieausbeute sowie geringe Emissionen (z.B. NO_x u.a.) und damit ein hohes Maß an Umweltverträglichkeit ab [347]. Die Abstimmung zwischen den Anforderungen der jeweiligen Technologie mit der GS-Aufbereitung stellt eine unabdingbare Notwendigkeit für eine nachhaltige Energieerzeugung dar.

Wesentliche Parameter bzw. Faktoren, die für eine ökonomisch und ökologisch effiziente Nutzung des GS²³⁴ eine entscheidende Rolle spielen, sind im Folgenden aufgeführt. Es handelt es sich sowohl um energetische Eigenschaften, die den GS betreffen, als auch um Faktoren, die durch äußere Einflüsse (z.B. menschliche Eingriffe in Form einer Aufbereitung) bedingt sind:

- Der H_u , der vor allem durch den Kohlenstoff- und Wassergehalt bedingt ist, bestimmt wesentlich die nutzbare Energiemenge.²³⁵
- Der Anteil an mineralischen Bestandteilen (z.B. Magnesium, Kalium, Calcium u.a.) und an Schwermetallen bestimmt den Gehalt und damit die Verwertbarkeit der Asche. Die Asche fällt als Nebenprodukt der energetischen Verwertung an und bestimmt in besonderem Maße die Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit des Verfahrens. Näheres zur Verwertung bzw. dem Verwertungspotenzial der anfallenden Asche folgt im Anhang A.9.
- Die Art und Qualität der Aufbereitung kann die energetischen Eigenschaften – z.B. H_u oder Korngröße/Stückigkeit²³⁶ – des GS positiv beeinflussen. Allerdings kann die Aufbereitung die Wirtschaftlichkeit sowie die Klima- und Energiebilanz des gesamten Prozesses schmälern.
- Der Wirkungsgrad der Anlage ist für die Ausnutzung des energetischen Potenzials entscheidend.

²³⁴Der GS unterscheidet sich hinsichtlich seiner energetischen Eigenschaften wesentlich von den fossilen Energieträgern. So liegt z.B. der (organische) Kohlenstoffgehalt im GS in teiloxidiert Form mit einem entsprechend hohen Sauerstoffanteil vor, weshalb der Kohlenstoffgehalt insgesamt niedriger ausfällt als bei den fossilen Energieträgern. Diese Tatsache begründet unter anderem den gegenüber fossilen Energieträgern geringeren H_u des GS.[90]

²³⁵Dieser wird wiederum von einem hohen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt und niedrigen Wassergehalt positiv tangiert und beeinflusst. In besonderem Maße wird die Energieausbeute, die aus dem Brennstoff gewonnen werden kann, durch den Wassergehalt im Brennstoff bestimmt. Je höher der Wassergehalt desto mehr Wärme wird zur Verdampfung benötigt und desto geringer ist die Energieausbeute (Abb. A.5 Anhang A.5).

²³⁶Die Stückigkeit beschreibt die Abmessung und Geometrie des Brennstoffs und sollte für einen reibungslosen Ablauf der energetischen Verwertungsverfahren auf jeden Fall beachtet werden.[102]

Im Fokus der Praxis liegt gegenwärtig nicht die energetische Nutzung des gesamten GS-Materials. Dagegen steht vielmehr die Nutzung besonders geeigneter GS-Fraktionen an Standorten mit passenden Verwertungswegen im Mittelpunkt.[13]

Es gibt vier energetische Verwertungsverfahren, die für den holzartigen GS prinzipiell in Frage kommen:

- Verbrennung
- Vergasung
- Pyrolyse
- Hydrothermale bzw. vapothermale Carbonisierung (HTC/VTC)

Verbrennung:

Die Verbrennung des GS wird bisher - im Vergleich zur Kompostierung - noch sehr selten eingesetzt ($< 10\%$ in Rheinland-Pfalz [[35] zitiert nach [52]]). Die Verbrennung stellt von den energetischen Nutzungsmöglichkeiten die älteste und am weitesten verbreitete Möglichkeit dar [60, 348, 349]. Neben der Verbrennung von GS in kommunalen Anlagen zur Wärmezeugung [202] – wie z.B. im RHK - wird gegenwärtig häufig der GS in einem Mix mit anderen Hölzern in dafür ausgelegten, meistens größeren Heiz(kraft)werken mit 50 bis 70% Anteil am Brennstoff zur Wärme- und/oder Stromerzeugung genutzt [98, 153].

Bei der Verbrennung handelt es sich um eine physikalisch-chemische Reaktion, bei der kohlen- und wasserstoffhaltige Verbindungen in der Anwesenheit von Sauerstoff O_2 zu CO_2 und H_2O oxidiert werden. Das Entscheidende hierbei für eine anschließende Wärme- und/oder Stromerzeugung ist, dass die Verbrennung ein exothermer Prozess ist, der durch die Freisetzung von Energie in Form von Wärme gekennzeichnet ist.[87, 90]

Grundlagen zum Verbrennungsablauf und -prozess sind im Anhang A.7.2 dargelegt.

Die bei der Verbrennung entstehende Wärme, die mit dem Abgasstrom transportiert wird, kann anschließend für verschiedene Zwecke genutzt werden. Es bestehen im Wesentlichen folgende Möglichkeiten (Abb. A.8). Die in Abb. A.8 rot eingerahmten Nutzungsmöglichkeiten werden im Folgenden näher betrachtet. Die anderen Nutzungsmöglichkeiten werden im Rahmen der Arbeit nicht weiter beachtet, da diese aus ökologischen und/oder technischen Gründen (derzeit) nicht geeignet sind und vorab ausgeschlossen werden. Grundlegendes zu den beiden rot eingerahmten Nutzungsmöglichkeiten ist im Anhang A.7.2 dargelegt.²³⁷

²³⁷Näheres zu den Alternativen und hier nicht weiter betrachteten Nutzungsmöglichkeiten kann ebenfalls im Anhang A.7.2 nachgelesen werden. Dort ist auch eine Begründung für deren Ausschluss gegeben.

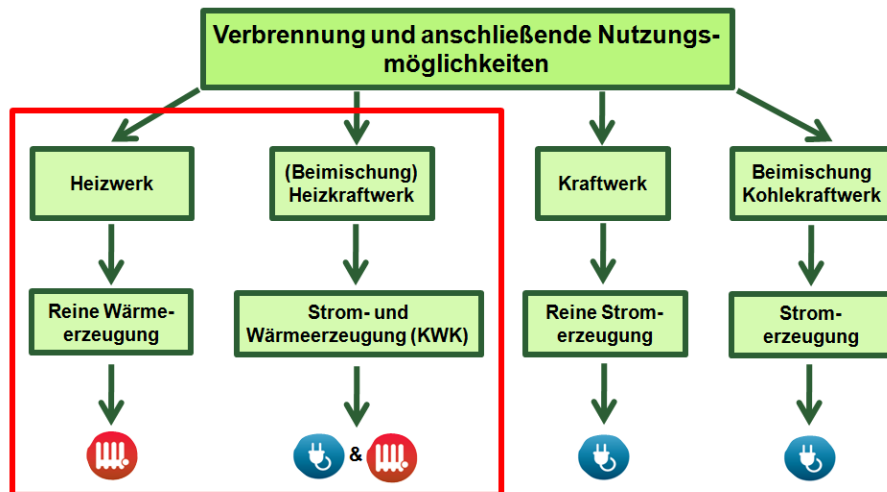


Abbildung A.8: Möglichkeiten zur Verbrennung von GS und anschließende Nutzungsmöglichkeiten [eigene Darstellung]

Die für eine Verbrennung geeigneten Brennstoffe zeichnen sich unter anderem durch folgende Merkmale aus: Trockene Materialien mit einem hohen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt, geringer Anteil an mineralischen Bestandteilen.

Aufgrund dieser Merkmale eignet sich die heizwertreichere und trockenere GS-Fraktion - der holzartige GS - für eine Verbrennung [28, 67, 104, 210, 334]. Der holzartige GS ist unter anderem durch einen vergleichsweise „höheren“ TS-Gehalt in Verbindung mit einem „niedrigeren“ Wassergehalt gekennzeichnet (Kap. 2.1.3). Daraus ergibt sich ein deutlich höherer H_u des holzartigen GS von ca. 10 MJ/kg gegenüber dem krautartigen GS (ca. 2 MJ/kg) bzw. gegenüber dem gesamten GS (ca. 7 MJ/kg). Der heizwertreiche holzartige GS fällt vor allem im Spätwinter und Frühjahr an (Kap. 2.1.3), weshalb vorwiegend das Winter- und Frühjahrsmaterial für eine Verbrennung in Frage kommt (ca. 30 Gew.-% holzartiger GS im Jahresdurchschnitt; Kap. 2.1.3).²³⁸ Verschiedene Untersuchungen und Versuche belegen, dass die Verbrennung des holzartigen GS nach einer vorherigen Aufbereitung ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist [48, 98, 350].²³⁹

Um den holzartigen GS für die Verbrennung nutzbar zu machen und technische Schwierigkeiten zu vermeiden, ist eine entsprechende Aufbereitung erforderlich [49, 85]. Wesentliche Aufbereitungsschritte für den GS sind die Zerkleinerung (ent-

²³⁸Laut Pitschke et al. [12] ist die Menge des holzartigen GS, die für die Verbrennung eingesetzt werden kann, durch den Bedarf der Kompostierung an Strukturmaterial (holzartiger GS) begrenzt. Laut Kern/Raussen [8] kann ca. 30 Gew.-% des holzartigen GS zur energetischen Verwertung (z.B. Verbrennung) ausgeschleust werden. Der Rest des GS-Materials enthält genügend Strukturmaterial für eine Kompostierung.

²³⁹Die Verbrennung von nicht aufbereitetem GS (holz- und krautartiger GS) ist aufgrund der jahreszeitlich schwankenden Anteile an krautartigem (feuchterem und heizwertärmeren) GS schwierig. Dadurch ergeben sich technische Schwierigkeiten und eine geringe Energieausbeute. Dies wird nicht für ökologisch und ökonomisch sinnvoll erachtet. [48, 49, 85]

scheidend für die Stückigkeit), die Siebung (zur Separierung vom krautartigen GS) sowie die Trocknung²⁴⁰. Für die Verbrennung von holzartigem GS ist kein aufgefaserter Material - wie bei der Kompostierung - erforderlich. Dieses kann in einer Verbrennungsanlage leicht zu gravierenden Problemen z.B. Verklumpungen führen. Stattdessen ist ein grobes Ausgangsmaterial mit möglichst glatten Kanten und einer guten Rieselfähigkeit für einen störungsfreien Betrieb notwendig.[354]

In Abhängigkeit der Anlagengröße und -ausführung ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Aufbereitung des holzartigen GS. Hinsichtlich der Anlagengröße gilt generell folgende Regel: „Je größer die Wärmeleistung ist, desto geringer sind aus technischer Sicht die Anforderungen an den Brennstoff“ [202]. Zum Beispiel gibt das Fördersystem die Anforderungen an die Stückigkeit des Brennstoffs und damit die Zerkleinerung des GS vor [92].

Vielfältige praktische Untersuchungen - unter anderem im RHK - zur Aufbereitung des holzartigen GS für eine Verbrennung haben ergeben, dass es nicht möglich ist, mit vertretbarem Aufwand Standardholz hackschnitzel aus GS zu erzeugen [48, 85]. Dennoch kann durch eine sorgfältige und entsprechende Aufbereitung ein qualitativ hochwertiger Brennstoff hergestellt werden, der durch folgende Eigenschaften charakterisiert ist [85]:

- Stückigkeit je nach Aufbereitung in der Regel Korngrößen zwischen 100 bis 150 mm mit auffälligen Überlängen bis 300 mm
- Wassergehalt des holzartigen GS bis 50%, nach 3-4 Monaten trockener Lagerung 20% bis 30%
- hoher Anteil unverbrennbarer Bestandteile (Rindenanteile, Steine u.a.)

Durch eine trockene Lagerung (z.B. unter dem Dach) des aufbereiteten GS kann der Wassergehalt deutlich reduziert (auf ca. 20-30%) und der H_u des konfektionierten GS auf über 12 MJ/kg erhöht werden [49, 54, 290].

Für die Verbrennung des holzartigen GS sollten geeignete Anlagen, die an die zuvor genannten Eigenschaften des GS-Brennstoffs angepasst sind, verwendet werden [48].

²⁴⁰Im Jahr 2006 wurde im Baden-Airpark am Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden ein mit GS (Strauch- und Baumschnitt u.a. von privaten Haushalten) betriebenes Heizkraftwerk (BioTherm-Anlage) in Betrieb genommen. Dabei wird Strom und Fernwärme durch die Verbrennung des GS erzeugt. Das Besondere hierbei ist, dass die Verbrennungstechnik speziell für einen feuchten Brennstoff, wie GS, mit bis zu 65% Wassergehalt entwickelt wurde. Der GS muss vor der Verbrennung nicht getrocknet werden und kann – nach einer Zerkleinerung - direkt in das Heizkraftwerk eingebracht werden. Die Verbrennungstechnologie beruht auf einem patentierten, rotierenden Rost, der sogenannten BioGrate-Verbrennungstechnik und wurde von einem finnischen Maschinenbaukonzern namens Wärtsilä entwickelt.[351–353] Näheres zum aktuellen Stand des Heizkraftwerks kann im Anhang A.7.2 nachgelesen werden.

In Abb. A.9 ist die vereinfachte Prozesskette mit den wesentlichen Prozessschritten für die Verbrennung als energetisches Verwertungsverfahren dargestellt.

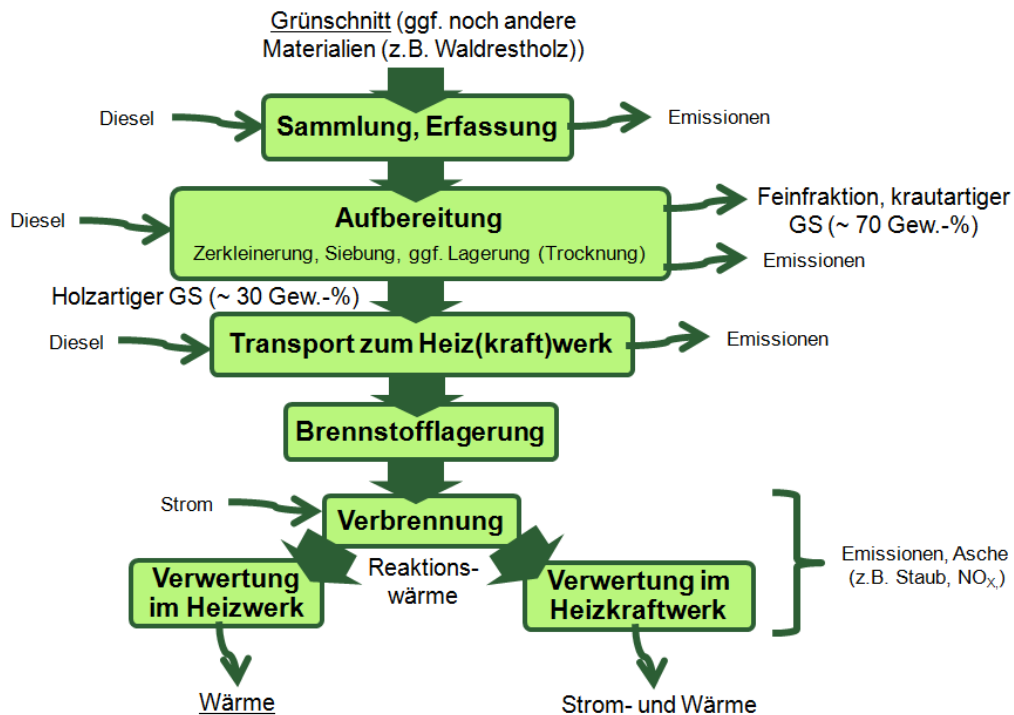


Abbildung A.9: Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Verbrennung von GS [eigene Darstellung]

In Verbindung mit den zuvor beschriebenen stoffstromspezifischen Anforderungen an die Aufbereitung des GS und die Ausführung der Verbrennungsanlage ergeben sich regionalspezifische Randbedingungen, die für eine energetische Nutzung des holzartigen GS ausschlaggebend sind.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Wärmeerzeugung oder die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung aus GS-Hackschnitzeln ist, dass sich ein regionaler Brennstoffnutzer findet, der diesen nicht standardisierten Brennstoff in seinen Verbrennungsanlagen einsetzt. Dies erfordert in der Region eine gewisse Akzeptanz dieses Brennstoffs oder diese muss zunächst geschaffen werden. Die Vermarktung des GS als Brennstoff erfolgt meistens umso leichter, je besser der Brennstoff aufbereitet wurde und dadurch in konventionellen Holz-Feuerungsanlagen eingesetzt werden kann [153].

Für die Nutzung in einem Heizwerk (HW) zur reinen Wärmeerzeugung ist ein geeigneter Standort gefragt, an dem möglichst viel und gleichmäßig Wärme benötigt wird und genügend Platz für das HW inklusive seiner vor- und nachgelagerten Anlagenteile (Brennstofflager, Wärmeverteilungsnetz usw.) vorhanden ist. Gleiches gilt für die Verbrennung in einem Heizkraftwerk. Alternativ kann der GS in bereits

bestehenden HW oder Heizkraftwerken mit verbrannt werden, wenn diese eine entsprechend robuste Förder- und Feuerungstechnik aufweisen.

Zudem ist ein geeigneter Aufbereitungsplatz für die Herstellung des Brennstoffs aus dem holzartigen GS erforderlich [5].

Da der spezifische Energieinhalt des holzartigen GS – charakterisiert durch den H_u – im Vergleich zu herkömmlichen fossilen Energieträgern sehr gering ist²⁴¹, ist es wichtig, dass der GS möglichst in räumlicher Nähe zu seinem Anfallort, vorzugsweise in dezentralen Anlagen kleiner und mittlerer Leistung, genutzt wird.[92] Dadurch werden hohe Transportkosten und -emissionen vermieden. Dies ist für die Gesamtwirtschaftlichkeit und eine positive Energiebilanz des gesamten Prozesses bedeutend. Eine entsprechende Wärmeabnahme ist umso schwieriger, je größer die Anlagenleistung und damit die Wärmemenge ist. Deshalb sind dezentrale kleinere Anlagen zu bevorzugen [346]. Kleinere Anlagen haben allerdings den Nachteil, dass sie höhere Anforderungen an die Brennstoffqualität stellen [355].

Eine pauschale Aussage hinsichtlich des Klimaschutzeffektes der Verbrennung des holzartigen GS-Teilstroms ist – wie auch bei der Kompostierung – nicht möglich. Je nach dem, ob durch die Verbrennung des holzartigen GS zur Wärme- und/oder Stromerzeugung fossile Energieträger ersetzt werden oder die Energie zusätzlich erzeugt wird und welche Art – beispielsweise Braunkohle oder Erdgas - bzw. welche Menge an fossilen Energieträgern substituiert wird, ergeben sich unterschiedliche Klimaschutzeffekte bzw. THG-Einsparungen. Die bei der Verbrennung von GS eingesparten CO_2 -Mengen übertreffen die CO_2 -Mengen, die durch den Transport – sofern dieser auf kurze Transportstrecken begrenzt wird - und die Aufbereitung entstehen, um ein Vielfaches [[34, 336] zitiert nach [334]].

Die Nutzung des GS in einem Heizkraftwerk zur Erzeugung von Strom und Wärme besitzt die höchsten CO_2 -Einsparungspotenziale [87, 356], vorausgesetzt, die hierbei anfallende Wärme wird vollständig genutzt und ersetzt dadurch fossile Energieträger. Ist eine vollständige Wärmenutzung bei der KWK nicht sichergestellt und nur ein Teil der anfallenden Wärme kann genutzt werden, sinkt dieser Vorteil und die alleinige Wärmeerzeugung schneidet bezüglich ihres Klimaschutzeffektes besser ab [356].

²⁴¹ Im Vergleich zu fossilen Brennstoffen ist der massenbezogene H_u bei GS um den Faktor 2-3 geringer. Der volumenbezogene H_u des GS, der die Transport- und Lagerkapazitäten prägt, unterscheidet sich zum volumenbezogenen H_u von fossilen Energieträgern sogar um nahezu eine Zehnerpotenz. Dies schränkt die ökonomisch und ökologisch sinnvollen Anwendungsbereiche für GS entscheidend ein.[92]

Ausschlaggebend für eine möglichst hohe CO₂-Einsparung bei der Verbrennung des GS-Teilstroms (holzartiger GS) ist ein hoher H_u. Der Einsatz von GS-Material mit einem H_u unter 11 MJ/kg wird für die Verbrennung unter dem Aspekt einer effizienten CO₂-Einsparung nicht empfohlen. Von daher sollte ein H_u von mindestens 11 MJ/kg angestrebt werden [356].

Um den gesamten Prozess der Verbrennung ganzheitlich ökologisch positiv bewerten zu können, sind weitere nicht klimarelevante Emissionen (z.B. Feinstaub) auf ein Minimum zu beschränken.

Vergasung:

Eine weitere energetische Verwertungsoption für GS ist die Vergasung. Sie hat derzeit in der Praxis keine große Bedeutung [92]. Zurzeit laufen vielfältige Projekte mit Bemühungen bzw. dem Ziel die Vergasungstechnologie, als etablierte Technik für fossile Energieträger, an die Biomassenutzung (GS-Nutzung) anzupassen [191].

Die Vergasung ist ein thermo-chemisches Verfahren. Hierbei werden die im festen Brennstoff enthaltenen kohlen- und wasserstoffhaltigen Verbindungen unter unterstöchiometrischen Bedingungen ($1 > \lambda > 0$), die durch die Zugabe eines Vergasungsmittels (z.B. Luft, Sauerstoff) geschaffen werden, teilverbrannt.²⁴² Das Ziel der Vergasung liegt darin, ein brennbares Gas (Produkt-/Brenngas) zu erzielen, dass – nach einer entsprechenden Gasreinigung – für die Erzeugung von verschiedenen Endenergien (Strom, Wärme oder Kraftstoff) genutzt werden kann. Aus dem im festen Ausgangsmaterial enthaltenen langkettigen Kohlenstoffverbindungen (C_nH_m) wird ein brennbares Gas (Produktgas) erzeugt. Dieses besteht aus den Hauptkomponenten CO, H₂, CO₂ und CH₄ sowie ggf. N₂, sofern Luft als Vergasungsmittel zum Einsatz kommt.[90, 357, 358]

Das Produktgas, das über die Vergasung erzeugt wird, kann anschließend zur Erzeugung von Endenergie im Wesentlichen wie folgt weiter genutzt werden [90, 92, 359]:

- Strom- und Wärmeerzeugung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW), z.B. über einen Gasmotor
- Umwandlung in einen flüssigen Sekundärenergieträger (z.B. Methanol, Fischer-Tropsch-Kraftstoff) zur Verwendung als Kraftstoff im Verkehrssektor²⁴³

²⁴²Weitere Grundlagen zur Vergasungstechnologie können im Anhang A.7.3 nachgelesen werden.

²⁴³Näheres zur Methanolsynthese bzw. zum Fischer-Tropsch-Verfahren kann in Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] nachgelesen werden.

In Abb. A.10 ist die vereinfachte Prozesskette der Vergasungstechnologie schematisch dargestellt²⁴⁴:

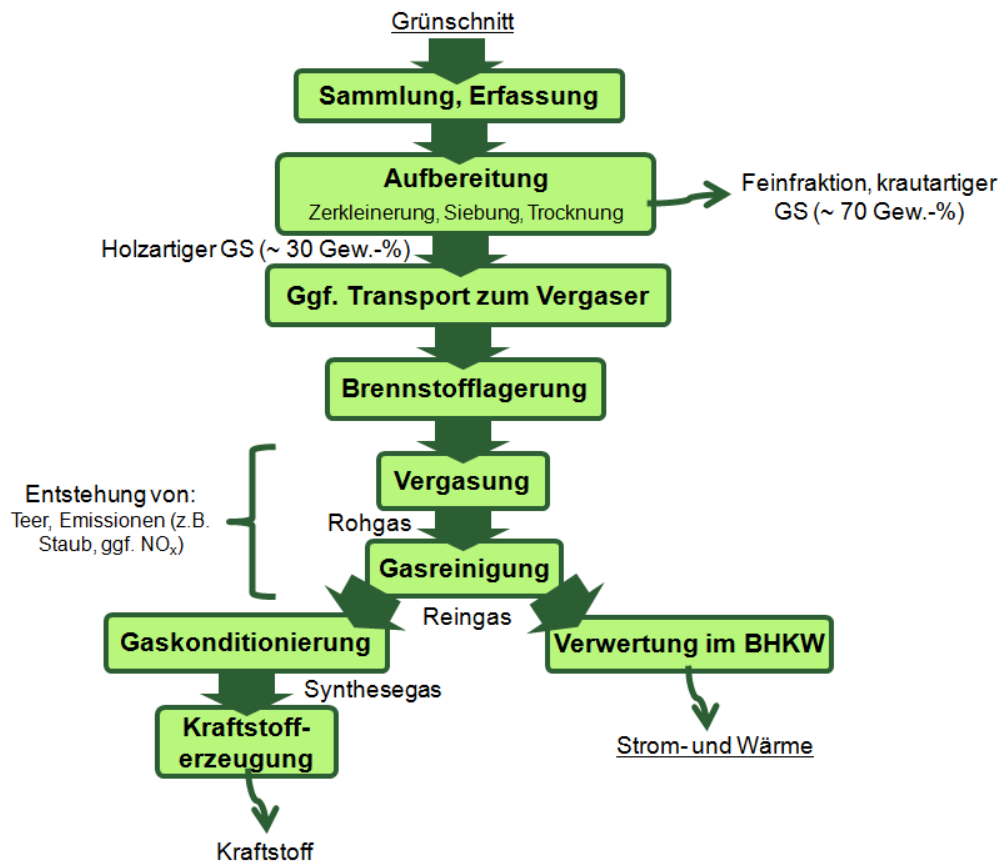


Abbildung A.10: Allgemeine Darstellung der Prozesskette für die Vergasung von GS [eigene Darstellung; Datengrundlage: [90, 360]]

Es konnte keine Vergasungsanlage ausfindig gemacht werden, die bereits in der Praxis mit GS als Brennstoff betrieben wird.²⁴⁵ Allgemein – und nicht speziell für GS – gibt es bislang keinen idealen Vergaser für die verschiedenen Biomassearten mit ihren stark schwankenden Eigenschaften. In Bezug auf die Gasqualität und auf die eingesetzte Biomasse zeigen die in der Vergangenheit entwickelten Vergasertypen bestimmte Vor- und Nachteile.[90]

²⁴⁴ Eine Sonderform der Vergasungstechnologie, die nicht in der Prozesskette (Abb. A.10) Berücksichtigung findet, stellt die hydrothermale Vergasung dar. Erläuterungen zur dieser Sonderform sind im Anhang A.7.3 zu finden.

²⁴⁵ Es konnte lediglich eine in Vorserie befindliche Anlage (Feststoffvergaser in Kombination mit BHKW) von der Firma Bioenergy systems gefunden werden [361]. Diese soll laut Bioenergy systems [361] für schwankende Reststoffe (u.a. kommunalen GS) geeignet sein. Der Wassergehalt des GS muss hierfür allerdings bei 15% liegen [362]. Laut Herrn Oelkers von der Firma agnion Sales GmbH gibt es zur Zeit keine kommerzielle Anlage, die mit GS als Brennstoff betrieben wird [363].

Prinzipiell können alle kohlenstoffhaltigen Materialien, die sich in ein brennbares Gas (z.B. CO, H₂ u.a.) umwandeln lassen für eine Vergasung eingesetzt werden [364]. Ob der Einsatz aller kohlenstoffhaltigen Materialien ökologisch, technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist, ist eine andere Frage.²⁴⁶

Für die Vergasung sind grundsätzlich dieselben Eigenschaften (Wassergehalt, Stückigkeit, Rindenanteil) wie bei der Verbrennung ausschlaggebend. Der Brennstoff muss in Abhängigkeit von der Anlage aufbereitet werden. Allgemeine und wenig spezifische Anforderungen an den Brennstoff sind laut Thrän et al. [191]:

- Gleichmäßiger Wassergehalt
- Korngrößenverteilung
- Ggf. Einsatz ascheärmerer Einsatzstoffe (geringer Rindenanteil)
- Minimierung des Störstoffanteils (z.B. Überlängen)

Für eine effiziente Vergasung werden Ausgangsstoffe mit einem TS-Gehalt von annähernd 90% benötigt [191, 320, 365]. Daraus lässt sich ein Ausgangsmaterial mit einem Wassergehalt von ca. 10% ableiten. Die Mehrzahl der bisher umgesetzten Anlagen zur Biomassevergasung im kleinen Leistungsbereich (bis 500 kW elektrisch) setzen Hackschnitzel mit einem Wassergehalt zwischen < 10 bis max. 25% (Referenzliste von C.A.R.M.E.N e.V. [366]) ein. Demnach ist ein Wassergehalt von höchstens 25% des Ausgangsmaterials anzustreben, um erstens den Energieaufwand für die Trocknung des Brennstoffs und zweitens die Bildung von unerwünschten Stoffen (z.B. Teerkondensaten) gering zu halten und Probleme in den nachgeschalteten Anlagenteilen zu vermeiden.²⁴⁷

Für die Verwendung des holzartigen GS müsste der Wassergehalt von ca. 45% (Tab. 2.3) auf ca. 10% bis 20% reduziert werden. Dies stellt die Wirtschaftlichkeit und den positiven Effekt für den Klimaschutz des Verfahrens in Frage.

Laut Unterberg [32] und Letalik [169] stellt die Vergasungstechnik im Vergleich zu anderen energetischen Verfahren (z.B. der Verbrennung) die höchsten Ansprüche an den Brennstoff hinsichtlich des Asche- und Wassergehalts sowie der Stückigkeit. Diese Eigenschaften sollten nur minimalen Schwankungen unterworfen sein. Verwendet man den holzartigen GS als Ausgangsmaterial können diese Ansprüche nicht

²⁴⁶Die Anforderungen, die an die eingesetzte Biomasseart und deren Eigenschaften gestellt werden, um einen wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen zu generieren, zielen insbesondere auf die Vermeidung von unerwünschten Nebenprodukten (z.B. Staub, Teer) im Produktgas und damit die Gasqualität ab. Diese Verunreinigungen beeinflussen den Grad bzw. den Aufwand für die Gasreinigung erheblich und erschweren die Nutzung des Gases in nachgeschalteten Gasmotoren, die gegen solche Stoffe sehr anfällig sind.

²⁴⁷Laut Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] ist speziell für einen Gleichstromvergaser ein Wassergehalt von < 20% erforderlich, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb des Festbetts zu erlangen und eine gute Gasqualität zu erzielen.

garantiert werden. Demnach ist GS für eine Vergasung derzeit nicht geeignet [32] und wird in diesem Kapitel nicht weiter betrachtet.

Pyrolyse:

Bei den energetischen Verwertungsverfahren für Biomasse steht auch die Pyrolyse zur Diskussion [367]. Dennoch ist die Pyrolysetechnologie laut Letalik [169] und Edelmann [368] kaum verbreitet.

Die Pyrolyse ist ein thermo-chemischer Prozess. Hierbei wird die Biomasse unter Sauerstoffausschluss ($\lambda=0$)²⁴⁸ und unter Wärmezufuhr von außen (Temperaturen zwischen 400-900°C) durch pyrolytische Zersetzung (=Zerlegung von größeren in kleinere Moleküle) direkt in überwiegend flüssige Pyrolyseöle oder festen Pyrolysekoks umgewandelt [90]. Bei der Pyrolyse entstehen in Abhängigkeit von der Verfahrensausführung bzw. von den gewählten Prozessbedingungen in unterschiedlichen Anteilen sowohl feste, flüssige als auch gasförmige Stoffe [90]. Je nach dem, welches Ziel bei der Pyrolyse verfolgt wird, kann der Schwerpunkt auf die verschiedenen Stoffe unterschiedlich gelegt werden.²⁴⁹

Im Folgenden werden die Ausführungen auf die energetische Nutzung des Pyrolysegases zur Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) beschränkt.²⁵⁰

Abb. A.11 zeigt eine mögliche Prozesskette für die Pyrolysetechnologie auf.

Energetische Nutzung des Pyrolysegases zur Strom- und Wärmeerzeugung (KWK)

Ähnlich hoch wie die Anforderungen des Inputmaterials für die Vergasung sind die Anforderungen für die Pyrolyse zur Erzeugung eines Pyrolysegases. Das Pyrolysegas setzt sich in Abhängigkeit vom Inputmaterial und der Verfahrensausführung aus H_2 , CO und CH_4 und je nach Verfahren aus Anteilen von CO_2 und Wasserdampf zusammen.[369]

Die Nutzung schwankender und feuchter Biomassearten erschwert eine energetische Nutzung des erzeugten Pyrolysegases und führt z.B. durch aufschmelzende Asche zu

²⁴⁸ Da Biomasse natürlicherweise einen nicht unerheblichen Anteil an Sauerstoff enthält, kann es bei der Pyrolyse trotzdem zu oxidativen Prozessen kommen [198].

²⁴⁹ Laut Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] wird die Pyrolyse mit dem primären Ziel der Bereitstellung von flüssigen oder festen Sekundärenergieträger unterschieden.

²⁵⁰ Diese Ausführung wurde im Hinblick auf die GS-Verwertung für relevant erachtet. Diese Priorisierung ergibt sich vor allem daraus, dass unter anderem GS als Einsatzstoff für die Erzeugung eines Pyrolysegases in der Literatur [339] genannt wird. Daneben kann der bei der Pyrolyse erzeugte flüssige, viskose Anteil (Pyrolyseöl) z.B. zur Verwendung als Biokraftstoff eingesetzt werden. Näheres zu den Nutzungsmöglichkeiten des Pyrolyseöls kann in folgender Literatur nachgelesen werden: [90]. Der über die Pyrolyse erzeugte Pyrolysekoks kann z.B. zur Herstellung von Terra Preta verwendet werden, die bereits im Anhang A.6.1 erläutert wurde.

technischen Problemen.²⁵¹ An die Inputmaterialien für die Pyrolyse werden folgende Anforderungen gestellt [90, 350]: TS-Gehalt von nahezu 90% (Wassergehalt ca. 10%), wenig mineralische Bestandteile sowie eine homogene Stückigkeit des Brennstoffs.

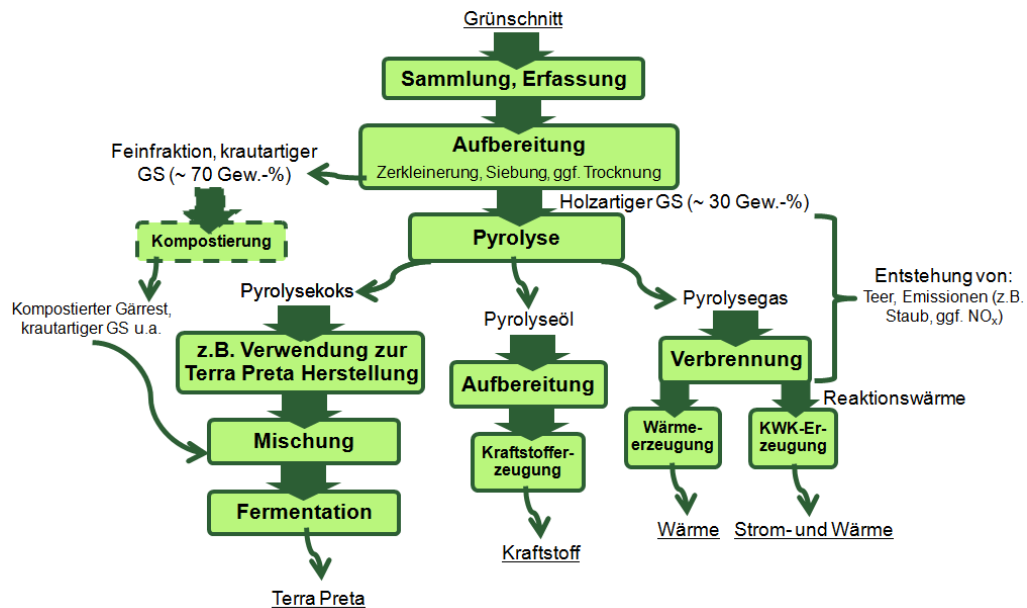


Abbildung A.11: Prozesskette für die Pyrolysetechnologie [eigene Darstellung]

Bei vielen Stoffen ist bisher unbekannt, ob sie sich für eine Pyrolyse eignen [339]. Eine spezifische Aussage zur Eignung des GS - insbesondere des holzartigen GS - konnte deshalb nicht gefunden werden.²⁵² Daher ist davon auszugehen, dass die Pyrolysetechnik noch nicht für die schwankenden Eigenschaften des holzartigen GS geeignet ist und zudem mit zu vielen technischen Probleme verbunden ist.²⁵³ Demnach wird die Pyrolyse hier nicht näher betrachtet.²⁵⁴

Hydrothermale bzw. vapothermale Carbonisierung:

Als weitere Option zur energetischen Nutzung von GS wird in letzter Zeit verstärkt die „Hydrothermale Carbonisierung“ (kurz: HTC) im Zusammenhang mit

²⁵¹ Bei der Pyrolyse entstehen in unterschiedlicher Menge unerwünschte Nebenprodukte (z.B. Holzteere). Diese können bei einer anschließenden energetischen Nutzung des Pyrolysegases in einem Gasmotor oder -turbine zu Schäden führen, weshalb diese Stoffe vor einer energetischen Nutzung aufwendig entfernt werden müssen. Da diese Entfernung bzw. Aufbereitung des Pyrolysegases meist sehr teuer ist, werden pyrolytische Verfahren meistens nur großtechnisch eingesetzt.[69]

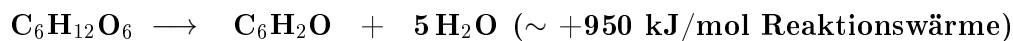
²⁵² In einem derzeit laufenden Forschungsprojekt der Institution Kiss/Holweg [370] wird im Zeitraum von Mai 2011 bis April 2013 die Eignung von GS, der bei der Landschaftspflege sowie beim Reb- und Obstschnitt anfällt, für die Pyrolyse untersucht.

²⁵³ Im Anhang A.7.4 ist ein in Zukunft möglicherweise vielversprechendes Pyrolyseverfahren (PYREG-Pyrolysereaktor) zur Nutzung schwankender Inputmaterialien - z.B. von holzartigem GS - näher erläutert.

²⁵⁴ Ein Beispiel für eine CO₂-Bilanzierung der Pyrolyse von GS kann in der Literatur [339] eingesehen werden. Insgesamt werden der Pyrolyse und der damit verbundenen Strom- und/oder Wärmeerzeugung aus dem Pyrolysegas sowie der Nutzung des Pyrolyseöls, z.B. im Kraftstoffbereich, zukünftig gute Chancen für einen Beitrag zum Klimaschutz eingeräumt [339]. Ausführungen zu wesentlichen Punkten, die bei der Klimabilanz für die energetische Nutzung des Pyrolysegases beachtet werden müssen, sind im Anhang A.7.4 nachlesbar.

CO₂-Einsparungen diskutiert [79, 371]. Bislang sind nur Versuchsanlagen zur Carbonisierung von Biomasse in Betrieb. Die Verfahren zur Carbonisierung befinden sich in der Entwicklungsphase und sind noch nicht im Großmaßstab etabliert [17].

Bei der HTC - als chemisch-physikalisches Verfahren - wird unter anaeroben Bedingungen in einem wässrigen Milieu (Wasserbad) Biomasse bei Temperaturen zwischen 180 und 220°C und einem Druck von 12-35 bar verkohlt. Weiteres hierzu im Anhang A.7.5.²⁵⁵ Vereinfacht kann der Prozess der HTC über folgende Reaktionsgleichung dargestellt werden [348, 374]:



Je nach Prozessführung (z.B. der Reaktionsdauer (z.B. 4h oder 12h)) entstehen bei der HTC unterschiedliche Endprodukte [330, 373]. Diese Produkte fallen als Gemisch aus einem festen, flüssigen und gasförmigen Anteil an. Der größte Anteil ca. 55-80 Gew.-% der Ausgangs-TS geht in die feste Phase über [374–377].²⁵⁶ Der flüssige Anteil macht ca. 5-20 Gew.-% und der gasförmige ca. 2-5 Gew.-% der Ausgangs-TS aus [17, 375, 379].

Das Hauptziel der HTC besteht darin, möglichst den gesamten Kohlenstoff aus der Ausgangsbiomasse in der festen Phase anzureichern und die feste Phase anschließend als HTC-Kohle zu verwenden [377].

Bislang wird die HTC-Kohle vorwiegend als Kohlesubstitut eingesetzt [339, 380]. Aufgrund dieser Tatsache beschränken sich die weiteren Ausführungen auf die HTC-Kohle als braun- bzw. steinkohleähnliches Produkt (feste Phase).²⁵⁷

Die HTC-Kohle zeichnet sich im Vergleich zur Ausgangsbiomasse durch vielfältige Vorteile aus [381].²⁵⁸

- Höherer H_u als die Ausgangsbiomasse
- Bessere Transport- und Lagermöglichkeiten der HTC-Kohle (geringerer Platzbedarf, längere Lagerungsfähigkeit)
- Günstigere Verbrennungseigenschaften (z.B. hinsichtlich der Stückigkeit, Wassergehalt)

²⁵⁵ Laut Richarts [372] kann die HTC-Anlage in den meisten Fällen ohne Wärmezufuhr energieautark betrieben werden, jedoch ist hierfür ein geeignetes Wärme-Management und eine meist mehrstufige Abwärmennutzung bzw. Wärmerückgewinnung erforderlich. Laut Robert/Glasner [373] ist hingegen kein energieautarker Prozess möglich und trotz der exotherm ablaufenden Reaktion, muss dem HTC-Prozess zusätzlich von außen Energie zugeführt werden.

²⁵⁶ Speziell für GS - als Ausgangsbiomasse - wurde in einem HTC-Laborversuch ca. 73-79% des Kohlenstoffs in der festen Phase wieder gefunden [378].

²⁵⁷ Näheres zur gasförmigen und flüssigen Phase kann z.B. in folgender Literatur nachgelesen werden: [375].

Weitere Nutzungsmöglichkeiten für die HTC-Kohle befinden sich im Anhang A.7.5.

²⁵⁸ Typische Brennstoffeigenschaften der HTC-Kohle aus GS sind z.B. in der Quelle [382] aufgeführt.

Als Inputmaterialien bzw. Ausgangsstoffe für die HTC kommt ohne Einschränkung jegliche Biomasseart in Frage [383, 384]. Biomasse kann ohne eine Vorbehandlung (z.B. einer Trocknung) direkt eingesetzt werden. Da die HTC im wässrigen Milieu abläuft, werden laut SunCoal Industries GmbH [385] feuchte Biomassen präferiert. So kann über die HTC Biomasse verwertet werden, die mit konventionellen Technologien (z.B. der Verbrennung) nicht (effizient) nutzbar ist [381]. Laut SunCoal Industries GmbH [386] werden feuchte Biomassen mit einem Wassergehalt zwischen 20% und 75% und einem niedrigen H_u für die HTC verwendet.

Für die HTC werden in der Literatur u.a. folgende Inputmaterialien genannt [379, 384]: Baumrinde, kommunale Grünabfälle aus Grasschnitt, Hecken- und Baumschnitt, Gartenabfälle, Gärreste und Klärschlämme. Biogene Reststoffe und Bioabfälle (z.B. GS) werden als bevorzugte Inputmaterialien für die HTC erwähnt [17, 383]. Bezogen auf den GS kann sowohl der holz- als auch der krautartige GS zur Herstellung von HTC-Kohle eingesetzt und anschließend energetisch genutzt werden. Da vorzugsweise Materialien mit einem niedrigen H_u verwendet werden, ist der krautartige GS für die HTC zu bevorzugen.

In Abb. A.12 ist eine mögliche Prozesskette für die HTC²⁵⁹ dargestellt.

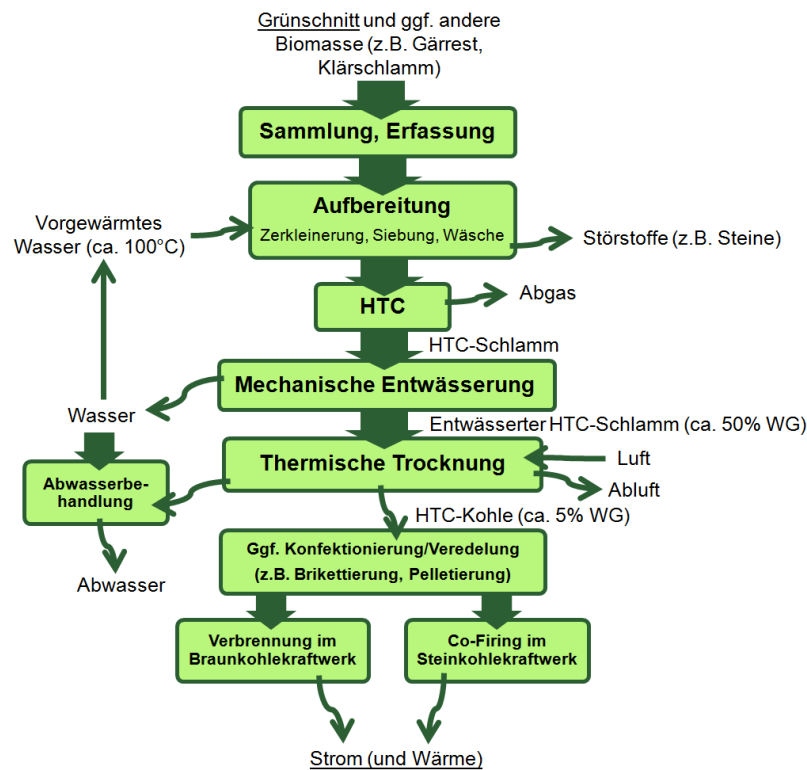


Abbildung A.12: Prozesskette der HTC mit energetischer Nutzung der HTC-Kohle [eigene Darstellung; Datengrundlage: [375, 386]]

²⁵⁹Eine mögliche Prozesskette bzw. der Verfahrensablauf des CarboREN-Verfahrens als HTC-Verfahren der Firma Suncoal Industries GmbH kann in der Quelle [386] als Animation eingesehen werden.

Zunächst wird der GS über ein Sammelsystem erfasst, zur HTC-Anlage bzw. zum Aufbereitungsplatz transportiert und aufbereitet. Eine Zerkleinerung und anschließende Siebung des GS ist erforderlich, um Störungen im Druckreaktor - in dem die HTC abläuft - zu vermeiden. Laut SunCoal Industries GmbH [386] wird der GS auf maximal 60 mm Korngröße zerkleinert.²⁶⁰ Anschließend wird der GS über eine Wäsche von Störstoffen (z.B. Steinen) befreit und dadurch gleichzeitig für die HTC vorgewärmt (ca. 100°C). Danach erfolgt die HTC unter den oben genannten Bedingungen. Der bei der HTC entstehende HTC-Schlamm wird nach einer bestimmten Reaktionszeit - bei der Herstellung eines braunkohleähnlichen Produkts ca. 8h, bei einem steinkohleähnlichen Produkt ca. 12h [373] - aus dem Druckreaktor entnommen und auf Umgebungsdruck entspannt und abgekühlt. Danach wird der HTC-Schlamm über eine mechanische Entwässerung (z.B. durch eine Presse) auf einen Wassergehalt von ca. 50% reduziert. Ein Großteil des abgetrennten Wassers kann im HTC-Prozess rezyklieren. Der restliche Anteil muss über eine Abwasserbehandlung aufbereitet werden, bevor es als Abwasser den Prozess verlassen kann. Danach erfolgt die thermische Trocknung des entwässerten HTC-Schlammes, um das restliche Wasser (ca. 50% WG) auf rund 5% zu minimieren. Die erzeugte HTC-Kohle kann in einem Braunkohle- oder Steinkohlekraftwerk (Mitverfeuerung) als Substitut für Braun- und Steinkohle zur Erzeugung von Strom (und Wärme) eingesetzt werden.[375, 386]

Die HTC-Anlage sollte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kontinuierlich mit Biomasse beschickt werden [330]. Hierfür ist ein entsprechend „hohes“ Aufkommen an Biomasse für die Auslastung der Anlage in der Region erforderlich.

Damit die HTC-Kohle als Substitut für Braun- oder Steinkohle in zentralen Braun- oder Steinkohlekraftwerken eingesetzt werden kann, sollte ein Kohlekraftwerk möglichst in der nahen Umgebung bestehen. Da die HTC-Kohle vergleichsweise gut transportiert werden kann, ist auch eine längere Transportstrecke möglich. Zudem muss die HTC-Kohle von den Kraftwerksbetreibern abgenommen werden.²⁶¹

²⁶⁰ Ob diese Korngröße eine Standardgröße ist, konnte - im Rahmen der Arbeit - nicht ermittelt werden. Je nach Auslegung und Größe des Druckreaktors variiert vermutlich die maximale Korngröße und eine Abstimmung zwischen der Anlagenauslegung und der Aufbereitung ist erforderlich.

²⁶¹ Während eine Tonne HTC-Kohle vermutlich teurer sein wird als eine Tonne Braunkohle/Steinkohle, bringt die HTC-Kohle einen entscheidenden Vorteil. Durch die Nutzung von HTC-Kohle anstelle von Stein- bzw. Braunkohle müssen keine CO₂-Zertifikate erworben bzw. gekauft werden, da die HTC-Kohle aus Biomasse hergestellt wurde und als CO₂-neutral gilt. Der Vorteil ergibt sich nur dann, sofern das Kohlekraftwerk - in dem die HTC-Kohle als Kohlesubstitut eingesetzt wird - aufgrund seiner Feuerungswärmeleistung von > 20 MW dem Treibhausgasemissionshandelsgesetz (THEG) (Näheres hierzu: [387]) unterliegt. Ob dennoch die HTC-Kohle langfristig insgesamt wirtschaftlich attraktiver ist als die Braun- bzw. Steinkohle, kann - im Rahmen der Arbeit - nicht beurteilt werden.

Für das HTC-Verfahren kann keine allgemein gültige Aussage zur Klimaschutzwirkung getroffen werden.

Auf der Lastschriftenseite ist der Energieaufwand für die Herstellung der HTC-Kohle zu berücksichtigen. Die hohen Temperaturen und Drücke und der Aufwand für die Abwasserbehandlung erfordern einen hohen Energieaufwand. Zudem entstehen - wie bei den anderen Verwertungsverfahren - weitere klimarelevante Emissionen bei den Prozessschritten Sammlung/Erfassung sowie der Aufbereitung.

Auf der Gutschriftenseite stehen an primärer Stelle, die eingesparten CO₂-Emissionen, die durch den Ersatz des klimaschädlichsten fossilen Energieträgers „Kohle“ (Braun- oder Steinkohle) durch die Verwendung der HTC-Kohle zur Strom- und Wärmezeugung erzielt werden. Aufgrund der „CO₂-Neutralität“ der Verbrennung von GS (Anhang A.1) können hohe CO₂-Emissionsbelastungen eingespart werden. Beim HTC-Verfahren ist positiv zu erwähnen, dass fast der gesamte Kohlenstoff aus dem GS in die HTC-Kohle übergeht [330]. Daher erfolgt nur ein geringer Kohlenstoffverlust und es entstehen nur marginale CO₂-Emissionen bei der Herstellung der HTC-Kohle.

Eine vollständige Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis), die eine Bewertung der HTC hinsichtlich ihrer Klimawirkung erlauben würde, liegt für die HTC-Kohle nicht vor [388]. Ebenfalls konnte keine ganzheitliche Klimabilanz des HTC-Verfahrens gefunden werden.²⁶²

Unter ökologischen Aspekten - nicht nur im Hinblick auf den Klimaschutz - steht bisher eine abschließende Bilanzierung der Vor- und Nachteile der HTC aus. Diese soll in einem Verbundvorhaben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) vorgenommen werden. Hierbei soll beurteilt werden, ob der hohe Aufwand für die Herstellung der Kohle unter ökologischen Aspekten gerechtfertigt ist.²⁶³[79]

Vapothermale Carbonisierung:

Eine Weiterentwicklung bzw. Abwandlung des HTC-Verfahrens stellt die vapothermale Carbonisierung (kurz: VTC) dar [389]. Der entscheidende Unterschied zwischen der HTC und VTC besteht darin, dass die VTC statt in einem wässrigen Milieu

²⁶²Lediglich eine Literaturquelle [109] zeigt auf, dass das HTC-Verfahren inklusive dem Einsatz der HTC-Kohle als Kohlesubstitut, z.B. im Vergleich zur Verbrennung oder Vergärung, höhere Klimaschutzgutschriften zur Folge hat. Wie sich diese zusammensetzt, ist nicht dargestellt. Der Hauptanteil der Klimaschutzgutschrift entsteht nach eigenen Einschätzungen vermutlich durch die Substitution der klimaschädlichen Stein- oder Braunkohle.

²⁶³Ob hier lediglich die HTC betrachtet wird oder auch die VTC Beachtung findet, konnte nicht ermittelt werden. Hinsichtlich des Energieaufwands scheint die VTC einen geringeren Aufwand zu erfordern, weshalb eine ökologische Betrachtung insgesamt besser für die VTC ausfallen dürfte.

(Wasserbad) in einer Dampfatosphäre abläuft.²⁶⁴ Wesentliche Vorteile der VTC gegenüber der HTC sind in der Literatur [389–391] nachlesbar.

Aufgrund der Tatsache, dass die VTC der HTC sehr ähnlich ist und die HTC bereits ausführlich beschrieben wurde, wird nicht näher auf die VTC eingegangen.

A.6.3 Stofflich-energetische Verwertungsverfahren

Bei den stofflich-energetischen Verwertungsverfahren liegt der Schwerpunkt nicht auf der Nutzung des stofflichen oder energetischen Potenzials des GS, sondern auf der möglichst effizienten Ausschöpfung beider Potenziale. Demnach werden hier sowohl die energetischen Potenziale, z.B. durch die Erzeugung von Strom- und/oder Wärme, als auch die stofflichen Potenziale, beispielsweise durch die Nutzung als Kompost, ausgenutzt. Durch die Substitution fossiler Energieträger, Düngemittel und ggf. Torf werden CO₂-Emissionen eingespart.

Für die GS-Verwertung werden zwei stofflich-energetische Verwertungsverfahren nachfolgend betrachtet:

- Vergärung in Kombination mit anschließender Kompostierung (kurz: Vergärung/Kompostierung)
- Kaskadennutzung

Vergärung/Kompostierung:

Der Einsatz der Vergärung von GS beträgt bundesweit weniger als 10% [105]. Vorwiegend werden Trockenvergärungsverfahren mit einem TS-Gehalt > 20% des eingesetzten Inputmaterials verwendet [392].

Die Vergärung (anaerobe Fermentation) ist ein biochemischer Prozess, bei dem unter anaeroben und wässrigen Bedingungen, der Abbau bzw. die Umwandlung von Biomasse durch die Aktivität von verschiedenartigen Bakterien in Biogasanlagen erfolgt.²⁶⁵ Das Hauptziel liegt auf der Umwandlung der festen Biomasse in ein brennbares, heizwertreiches Gas (Biogas) zur anschließenden energetischen Nutzung. Das Biogas setzt sich zu rund 2/3 aus CH₄ und zu 1/3 aus CO₂ sowie verschiedenen Spurengasen (z.B. H₂O, H₂S) zusammen [90]. Der Methananteil im Biogas bestimmt den Energiegehalt [98]. Neben dem Biogas entsteht als weiteres Endprodukt der Gärrest,

²⁶⁴Nach anfänglicher Skepsis, ob mit einer Dampfatosphäre ebenfalls hydrothermale Bedingungen geschaffen werden können, kann diese Skepsis mittlerweile vorbehaltlos verworfen werden [389].

²⁶⁵Weitere Grundlagen zum Vergärungsprozess sind im Anhang A.7.6 dargelegt.

bestehend aus einer flüssigen und einer festen Phase. Ein weiteres Ziel der Vergärung/Kompostierung ist es, den Gärrest über eine nachgeschaltete Kompostierung stofflich zu verwerten [56, 349].²⁶⁶

Der Vergärungsprozess spielt sich in einem Fermenter ab. Dieser stellt das Herzstück einer Biogasanlage dar. Die Biogasanlagen und deren Verfahrensausführungen werden differenziert nach den eingesetzten Substrateigenschaften (TS-Gehalt), der Technik (z.B. kontinuierliche oder diskontinuierliche Beschickung) und der Vergärungstemperatur (z.B. mesophil) [74, 98].²⁶⁷ Dennoch ähneln sich alle Biogasanlagen hinsichtlich ihrer Prozesskette, die in Abb. A.13 aufgezeigt ist.

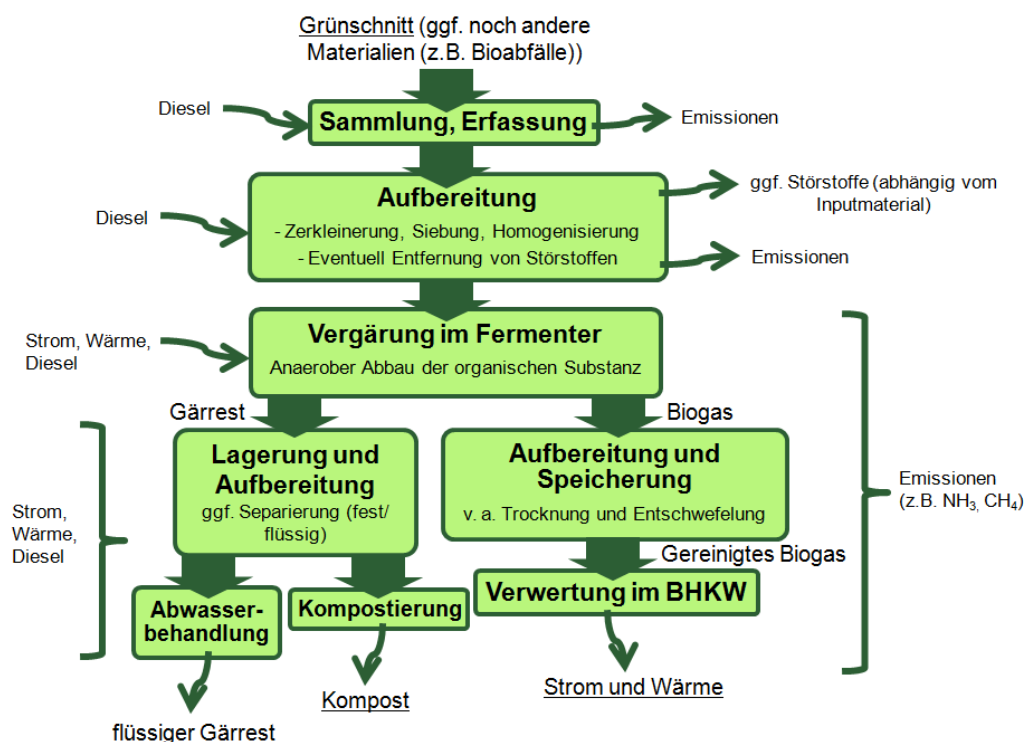


Abbildung A.13: Darstellung der Prozesskette für eine kombinierte Vergärung/Kompostierung [eigene Darstellung; Datengrundlage: [56, 393]]

Zuerst wird der GS gesammelt und erfasst. Anschließend erfolgt die Prozessstufe „Aufbereitung“ des GS. Die Aufbereitung richtet sich nach den Anforderungen des Vergärungsverfahrens. Meistens ist eine Zerkleinerung, Siebung und Homogenisierung des GS-Materials erforderlich.

²⁶⁶ Der Gärrest kann alternativ energetisch genutzt werden. Nach der Trocknung des Gärrestes kann dieser als Ersatzbrennstoff verwendet werden [101]. In der Regel erfolgt jedoch eine Kompostierung der Gärreste [98]. Deshalb bleibt in der Arbeit die Betrachtung der Verwertung der Gärreste auf die Kompostierung beschränkt. Zudem ist aus ökologischer Sicht die energetische Verwertung der Gärreste nicht sinnvoll, sofern eine Nachfrage nach dem kompostierten Gärrest besteht [12].

²⁶⁷ Anhand welcher Merkmale Vergärungsverfahren unterschieden und eingeteilt werden, ist in der Literaturquelle [90] nachlesbar.

Als dritte Stufe erfolgt die Erzeugung des Biogases und Gärrestes durch den Vergärungsprozess im Fermenter. Danach splittet sich die Prozesskette in zwei Prozesse auf²⁶⁸:

1. Verwertung des erzeugten Biogases in einem BHKW²⁶⁹
2. Verwertung des anfallenden Gärrestes über eine Kompostierung

Vergärungsverfahren werden in zwei verschiedene Verfahren, die Nass- und die Trockenvergärung, untergliedert.²⁷⁰ Während bei der Trockenvergärung ausschließlich festes Inputmaterial mit hohen TS-Gehalten (üblicherweise > 20%) vergärt wird, werden bei der Nassvergärung Flüssigkeiten und feste Inputmaterialien mit geringerem TS-Gehalt (ca. 10-15% [48]) eingesetzt.[90]

Neben diesen speziellen Anforderungen der Nass- und Trockenvergärung an das Inputmaterial hinsichtlich des TS-Gehaltes, gibt es weitere allgemeine stoffstromspezifische Anforderungen für die Vergärung. Diese Anforderungen sind erforderlich, um eine möglichst hohe Biogasausbeute und -qualität zu erreichen und die stoffliche Verwertung des anfallenden Gärrestes zu begünstigen. Für die Vergärung sind alle Stoffe geeignet, die anaerob weitgehend abbaubar sind und wenig Hemm- und Schadstoffe (z.B. Schwermetalle) enthalten [302]. Um den Abbau zu beschleunigen ist eine möglichst große Oberfläche als Angriffsfläche für die Mikroorganismen zu schaffen [33]. Dies kann z.B. durch eine entsprechende Zerkleinerung gewährleistet werden. Substrate mit einem hohen Anteil an leicht abbaubaren organischen Substanzen und einem mäßig bis hohen Wassergehalt kommen bevorzugt für eine Vergärung in Frage [48, 58, 302]. Dagegen werden holzartige Substrate durch anaerobe Mikroorganismen kaum bis gar nicht abgebaut und sind für eine Vergärung ungeeignet [67, 98, 302, 394].

Hieraus ergeben sich für den GS folgende Erkenntnisse: Der krautartige GS eignet sich meistens hervorragend für eine Vergärung [48, 105], wohingegen der holzartige GS laut Mairitsch [62] und Kehres et al. [63] für eine Vergärung nicht geeignet ist. In Bezug auf die Unterscheidung zwischen der Nass- und Trockenvergärung ergeben sich differenziertere Erkenntnisse. Während der krautartige GS - und hiervon insbesondere der Rasenschnitt - in einer Nassvergärung eingesetzt wer-

²⁶⁸Weiterführende Erläuterungen zu den beiden Prozessen sind im Anhang A.7.6 dargelegt.

²⁶⁹Aufgrund der Vielzahl der Nutzungsmöglichkeiten von Biogas, bleibt die Betrachtung im Rahmen der Arbeit auf die Nutzung über ein BHKW - als häufigste Nutzungsart [105] - beschränkt. Alternative Verwertungsverfahren sind unter anderem: Aufbereitung des Biogases zu Erdgasqualität und Einspeisung als Biomethan (Erdgas-Substitut) in ein Erdgasnetz, Nutzung in gasbetriebenen Fahrzeugen als Kraftstoff, Stromerzeugung aus Biogas in einer Brennstoffzelle, Einspeisung des Biogases in ein Mikrogasnetz [90, 105].

²⁷⁰Die Abgrenzung der Trocken- und Nassvergärungsverfahren ist aufgrund unklarer Definitionen schwierig [197]. In der Arbeit wurde dennoch eine grobe Abgrenzung anhand Kaltschnitt/Hartmann/Hofbauer [90] vorgenommen.

den kann [35], kommt der gesamte unfractionierte GS für eine Trockenvergärung in Betracht [35, 211, 395, 396].²⁷¹ Gegenüber der Nassvergärung ist die Trockenvergärung deutlich im Vorteil, weil die im GS enthaltenen mineralischen Anteile weniger zu technischen Problemen führen.[211] Der holzartige GS wird zwar in einer Trockenvergärung kaum bis wenig abgebaut und trägt nicht bzw. unwesentlich zur Biogasmenge bei, wird aber laut Meier [396] und Kusch/Oechsner [397] aufgrund seines hohen Strukturanteils in bestimmten Trockenvergärungsverfahren (z.B. dem Perkulationsverfahren [398]) als Beimischung benötigt.²⁷²

Für die Kombination einer Vergärung mit anschließender Kompostierung der Gärreste ergeben sich folgende Erkenntnisse für die Eignung von GS: Das gesamte GS-Spektrum (kraut- und holzartig) kann zum Einsatz kommen. Der krautartige GS wird primär für die Vergärungsstufe eingesetzt. Dagegen ist der holzartige GS i.d.R. für die nachgeschaltete Kompostierung der Gärreste als Strukturmaterial notwendig [48, 399]. Dieser sorgt für die Auflockerung des Gärrestes, in dem er durch seine Struktur Luftporen und damit aerobe Bedingungen schafft.

Eine grundlegende regionalspezifische Voraussetzung für die Verwendung einer Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierungsstufe ist die gesicherte Bereitstellung von ausreichenden Substratmengen für den Prozess. Besteht z.B. in einer Region bereits eine Kompostierungsanlage, die mit jährlich steigenden Inputmengen überlastet ist, kann die Integration einer Vergärungsstufe eine geeignete Lösung bieten. Zudem kann die Integration einer Vergärungsstufe - an Standorten an denen Kompostierungsanlagen wegen mangelnder Akzeptanz aufgrund ihrer Geruchsbelästigungen eine schwere Position haben - infolge der deutlich geringeren Geruchsemissionen zur besseren Akzeptanz beitragen.[98]

Eine weitere regionale Voraussetzung, die für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Vergärung mit anschließender Kompostierung gegeben sein muss, ist ein geeigneter Standort mit entsprechender Infrastruktur. Sofern das Biogas in einem BHKW genutzt wird, entsteht je nach Motortechnik Wärme und Strom in einem Verhältnis von ca. 2,5:1 [302]. Geeignete Wärmeabnehmer sind ein bedeutender Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Vergärungsanlage. Dies ist bei der Standortwahl bzw. Planung der Anlage unbedingt zu beachten.[302, 400]

²⁷¹ Eine Vergärung des holzartigen Anteils in einer Nassvergärung gestaltet sich als besonders schwierig und wirkt - nicht zuletzt wegen der schlechten Abbaubarkeit - eher hemmend auf den Abbauprozess. Zudem kann der holzartige GS bei einer Nassvergärung leicht zu technischen Problemen führen.[35, 397]

²⁷² Dadurch wird die Auflockerung des Vergärungsmaterials sichergestellt und die Durchnässung des Materials, die für einen Abbau durch die Mikroorganismen erforderlich ist, mit Perkolatwasser begünstigt [396]. Unter Perkolatwasser versteht man Prozesswasser, das mit am anaeroben Abbau beteiligten Bakterienarten angereichert ist [398].

Neben der Absatzsicherung für das Biogas bzw. die erzeugte Wärme und Strom ist der regionale Absatzmarkt für den aus Gärrest erzeugten Kompost wichtig. Hier kann eine RAL-Gütesicherung - analog zum Kompost - zur Absatzsteigerung verhelpfen.

Wie die Untersuchungen zur Klimabilanz der Kompostierung stehen auch die Untersuchungen zur kombinierten Vergärung und Kompostierung am Anfang. Hierzu gibt es ebenfalls eine zu kleine Datenmenge [48], um eine allgemein gültige Aussage zum Klimaschutzeffekt zu wagen.

Die Klimabilanz hängt unter anderem entscheidend von den folgenden Faktoren und regionalen Gegebenheiten ab [48, 67, 106]:

- Zugrunde gelegte und betrachtete Emissionen
- Wirkungsgrad der Anlage
- Wärmenutzungsgrad
- Anlagentechnik und Betriebsführung
- Behandlungsweise der Gärreste

In Abb. A.14 sind die Klima-Gutschriften den Klima-Lastschriften für eine optimierte Vergärung mit anschließender Kompostierung gegenübergestellt.²⁷³

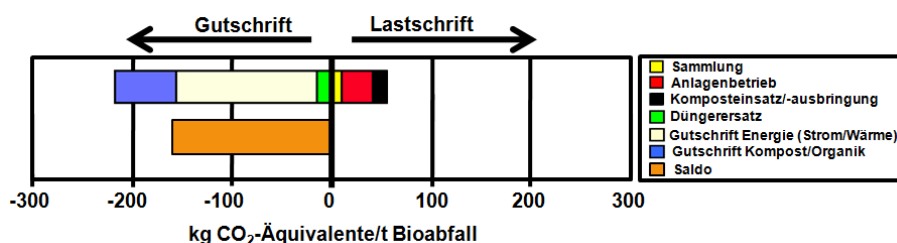


Abbildung A.14: Klimabilanz für eine optimierte Vergärung in Kombination mit der Kompostierung [105] (nachbearbeitet)

²⁷³Für den optimierten Fall der Vergärung in Kombination mit der Kompostierung wurden verschiedene Annahmen getroffen. Beispielsweise wurde eine 80%ige Wärmenutzung, die oftmals in der Praxis nicht umgesetzt werden kann, die Nachkompostierung der gesamten Gärreste in geschlossenen Kompostierungsanlagen und eine 100%ige Erzeugung von Fertigkompost unterstellt sowie von diffusen Methanemissionen aus der Biogasanlage von 0,5% ausgegangen. Zudem wurde ein elektrischer Wirkungsgrad von 37,5% und ein thermischer Wirkungsgrad von 43% angenommen [103]. Diese Wirkungsgrade sind für BHKW mit einer elektrischen Leistung von ca. 500 kW typisch [105]. Als Absatzbereiche für den kompostierten Gärrest wurden folgende Anteile verwendet: 49% Landwirtschaft, 28% Garten-, Landschafts- und Hobbygartenbau, 10% Erwerbsgartenbau und 13% zur Rekultivierung [103]. Die Randbedingungen für den optimierten Fall können in der Literatur [105] nachgelesen werden. Für die Substitution der fossilen Energieträger wurden folgende Werte für die Bilanzierung verwendet: Strom: 70% Steinkohle, 30% Erdgas; Wärme: 57% Erdgas, 43% Heizöl. Die dargestellte Klimabilanz bezieht sich auf das Inputmaterial „Bioabfall“. Hierunter werden in der Quelle [105] vor allem Küchen- und Speiseabfälle und krautartiger GS verstanden. Eine Übertragung der Ergebnisse dieser Klimabilanz wird als grobe Einschätzung für die alleinige Vergärung/Kompostierung von GS für zulässig erachtet. In einer anderen Klimabilanz zur optimierten Vergärung/Kompostierung [103] entsteht sogar ein höherer Saldo und damit eine höhere Klimaschutzgutschrift durch den Gesamtprozess.

Beim Vergärungsprozess im geschlossenen Fermenter entsteht der größte Teil der THG-Emissionen [106]. Diese klimarelevanten Emissionen, wie z.B. CH_4 , N_2O und NH_3 , die um ein Vielfaches klimaschädlicher als CO_2 sind (Tab. 2.7), können vor allem beim Austrag bzw. Umgang mit den anfallenden Gärresten entscheidend die Klimabilanz des gesamten Prozesses beeinflussen [106].²⁷⁴ Laut Cuhls/Mähl [[335] zitiert nach [337]] bestehen deshalb vor allem Emissionsminderungspotenziale beim Umgang mit den flüssigen und festen Gärresten. Biogas stellt - aufgrund seines hohen Methangehalts - ein klimawirksames Gas dar. Die technische Ausführung der Anlage (z.B. ohne Leckagen) bzw. die möglichst vollständige Vergärung und anschließende Verwertung des entstehenden Biogases nimmt einen entscheidenden Einfluss auf die Lastschriftenseite der Klimabilanz [394]. Ebenfalls auf der Lastschriftenseite fallen die bei der Sammlung und Erfassung des GS-Materials entstehenden THG-Emissionen an, die jedoch eine untergeordnete Bedeutung aufweisen (Abb. A.14) [106].²⁷⁵

Bei der Vergärung/Kompostierung stehen auf der Gutschriftenseite einer Klimabilanz die durch das Biogas erzeugten Mengen an Strom und Wärme. Dadurch ergeben sich erhebliche Mengen an CO_2 -Emissionseinsparungen, sofern fossile Energieträger substituiert werden. Diese CO_2 -Einsparungen nehmen auf der Gutschriftenseite der Vergärung/Kompostierung den dominierenden Anteil ein (Abb. A.14).²⁷⁶ Der größte Klimaschutzeffekt wird erzielt, wenn durch eine KWK die anfallende Wärme vollständig genutzt wird und Abnehmer findet [401].²⁷⁷ Zum anderen kommen auf der Gutschriftenseite, die durch den kompostierten Gärrest substituierten Düngemittel oder Torfprodukte zum Tragen.²⁷⁸

Eine optimierte „Vergärung/Kompostierung“ weist grundsätzlich eine deutlich positive Klimabilanz auf [[105] zitiert nach [48]]. Diese Klimabilanz ergibt sich vor allem durch die Substitution von fossilen Energieträgern zur Energieerzeugung (Strom und Wärme) (Abb. A.14). Die Vergärung in Kombination mit der Kompostierung des Gärrestes kann einen wichtigen Beitrag sowohl zum Klima- als auch zum Ressour-

²⁷⁴ In dem Gärrest sind große Mengen an Methan aufgrund des verbleibenden Restgaspotenzials enthalten [106], die durch den Austrag aus dem Fermenter ohne entsprechende Behandlung des Gärrestes an die Atmosphäre entweichen. Dies ist kontraproduktiv für den Klimaschutz.

²⁷⁵ Detaillierte Ausführungen zu den relevanten Emissionsquellen bei der Vergärung sowie Optimierungsmaßnahmen zur Minimierung klimarelevanter Emissionen beim Vergärungsprozess können in folgender Literaturquelle nachgelesen werden: [48].

²⁷⁶ Bei der Vergärung werden ca. 50% des im GS enthaltenen Kohlenstoffs über Biogas verwertet [330].

²⁷⁷ Ist eine vollständige Wärmeabnahme nicht gegeben, stellt die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan zur Einspeisung ins Erdgasnetz eine Alternative dar. Da die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan mit hohen Energieverlusten verbunden ist, fällt der Klimaschutzeffekt deutlich geringer als bei der vollständigen Wärmenutzung über eine KWK aus.[401]

²⁷⁸ Beide Gutschriften setzen voraus, dass die Endprodukte (Strom, Wärme und kompostierter Gärrest) eine möglichst vollständige Abnahme finden.

censchutz leisten [98]. Entscheidend ist, dass die gebildeten klimaschädlichen Gase nicht die positive Klimabilanz zu Nichte machen und die Entweichung dieser Gase in die Atmosphäre möglichst gering gehalten wird.

Kaskadennutzung:

Der Begriff der „Kaskadennutzung“ wird häufig in diversen Kontexten mit verschiedenen Bedeutungen verwendet [402].²⁷⁹

In der Arbeit wird unter der Kaskadennutzung folgende Definition zugrunde gelegt [1, 287]: Bei der Kaskadennutzung wird die Biomasse zunächst einer bzw. mehreren stofflichen Verwertungs- bzw. Nutzungsstufen zugeführt. Es erfolgt erst die stoffliche Verwertung in höherwertigen Produkten und anschließend - mit steigender Anzahl der stofflichen Nutzungsstufen - in zunehmend niederwertigen Produkten. Am Ende der Kaskadennutzung steht die energetische Verwertung des vorher (mehrfach) stofflich genutzten „Produkts“. Der Ausgangsstoff durchläuft eine sequentielle Nutzung bestehend aus einer bzw. mehreren stofflichen Verwertungsstufen bis hin zur energetischen Verwertung (Abb. A.15).

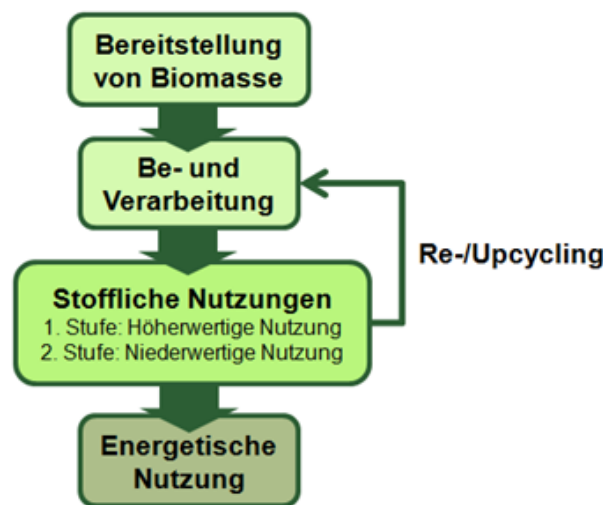


Abbildung A.15: Vereinfachtes Prinzip der Kaskadennutzung [in Anlehnung an: [1, 102]]

Das wesentliche Ziel der Kaskadennutzung liegt darin, die Ausgangsstoffe bzw. die daraus gewonnenen Produkte möglichst lange - durch eine mehrfach stoffliche Nutzung - im Wirtschaftssystem zu halten. Dadurch soll eine effiziente Ausnutzung der Rohstoffe/Ressourcen erzielt werden. Durch die Kaskadennutzung wird eine verbesserte Klimaschutzwirkung erreicht, in dem der Kohlenstoff eine längere Zeit im Kohlenstoffkreislauf gebunden bleibt. Erst bei der energetischen Nutzung - als Endphase der Kaskadennutzung - wird der Kohlenstoff wieder freigesetzt [1].

²⁷⁹Zum Beispiel wird manchmal die kombinierte Vergärung und anschließende Kompostierung als „Kaskadennutzung“ bezeichnet (z.B. [28]).

Hinsichtlich der Eignung des holzartigen GS für eine Kaskadennutzung konnten in der Literatur keine speziellen Aussagen gefunden werden.²⁸⁰ Laut IfaS [403] und Stockmann [404] ist der GS aufgrund seiner heterogenen Zusammensetzung und schwankenden Qualität für eine Kaskadennutzung ausgeschlossen. Die limitierenden Faktoren für die Verwendung von GS zur Herstellung von beispielsweise Spanplatten - als niederwertige stoffliche Nutzung - sind laut Sauerwein [405] der Durchmesser und der Rindenanteil des GS. Ein Durchmesser von etwa 7 cm, der laut Sauerwein [405] für die Herstellung von Spanplatten erforderlich ist, kann bei dem heterogen anfallenden GS nicht gewährleistet werden.

Der Rindenanteil des holzartigen GS ist meistens relativ hoch, weshalb dieser vor einer stofflichen Nutzung aufwendig entfernt werden müsste. Zudem kann der GS einen nicht unerheblichen Anteil an mineralischen Bestandteilen (Steine, Erde) enthalten, wodurch die Aufbereitung für eine Kaskadennutzung erschwert wird. Da die Qualitätsanforderungen zur Aufbereitung relativ hoch sind und eine Homogenisierung des GS schwer zu erreichen ist, kommt der holzartige GS für diese Verwertungsart nicht in Frage [403, 404].

Infolge dieser Erkenntnisse wird nicht weiter auf dieses Verwertungsverfahren eingegangen.

Als Anwendung der Kaskadennutzung für eine möglichst vollständige Ausschöpfung der stofflichen und energetischen Potenziale der Biomasse sind Bioraffinerien anzusehen [406]. Diese Bioraffinerien können zukünftig eine interessante Verwendung für Biomasse darstellen. In Abhängigkeit von der Biomasse, werden verschiedene Bioraffinerien-Typen unterschieden. In lignocellulose Raffinerien kann holzartige Biomasse über verschiedene Technologien (z.B. Hydrolyse, Vergasung, Vergärung) in ihre Grundsubstanzen (z.B. Lignin und/oder Cellulose) zerlegt werden. Diese Substanzen können anschließend in den verschiedensten Bereichen zu Endprodukten (z.B. Papier) weiterverarbeitet werden. Daneben kann Biogas erzeugt werden, das zur Strom- und Wärmeerzeugung Verwendung findet. Das Ziel der Bioraffinerien besteht darin, eine möglichst vollständige Ausschöpfung der Potenziale der Biomasse zu erzielen, in dem eine mehrfache Nutzung aller Komponenten der Biomasse einschließlich anfallender Nebenprodukte angestrebt wird [407]. So kann ein breites Spektrum an Produkten, die sowohl stofflich als auch energetisch weitergenutzt werden können, hergestellt werden.²⁸¹

²⁸⁰Die folgenden Aussagen beziehen sich lediglich auf den holzartigen GS, weil nur der holzartige GS zur Herstellung von Holzprodukten in Frage kommt.

²⁸¹Näheres zum Thema Bioraffinerien kann z.B. in folgender Literaturstelle nachgelesen werden: [408].

A.6.4 Kurze Zusammenfassung der Verwertungsverfahren

Tab. A.3 zeigt die stoffstrom- und regionalspezifischen Voraussetzungen und Anforderungen sowie die Einschätzung hinsichtlich der Klimarelevanz der Verwertungsverfahren auf.

Tabelle A.3: Zusammenfassung der Verwertungsverfahren hinsichtlich deren stoffstrom- und regionalspezifischen Anforderungen/Voraussetzungen und deren Klimarelevanz

Verwertungsverfahren	Anforderungen an den Stoffstrom	Regionalspezifische Anforderungen	Klimaschutzrelevanz ²⁸²
<u>Stoffliche Verfahren:</u>			
Häcksel-/ Mulchmaterial	- Strukturmaterial - zerkleinertes Material FAZIT: holartiger GS geeignet	- Landwirte als Abnehmer	keine Daten vorhanden; eigene Einschätzung: Klimabelastung
Kompostierung	- weitgehend stör- und schadstofffrei - leicht&schwer abbaubare org. Substanzen - Wassergehalt: 55-65% - ausreichendes C:N:P-Verhältnis - zerkleinertes, aufgefaserter Material - Strukturmaterial FAZIT: kraut- und holartiger GS einsetzbar	- geeigneter Standort (Geruchsbelästigung möglich) - Abnehmer für die Komposte (Nachfrage-situation) - Anerkennung von Substratkompost als Torfersatz	Klimabelastung (im günstigsten Fall: klimaneutral)
Terra Preta	- Holzkohle notwendig - ausreichend Rottegut und Gärreste - ökologisch und toxikologisch unbedenkliche Inputmaterialien FAZIT: kraut- und holartiger GS geeignet	- Verfügbarkeit von geeigneten Inputmaterialien in ausreichender Menge - regionale Abnehmer für die im Vergleich zum Kompost teurere Terra Preta	Klimaentlastung: sofern Terra Preta als C-Senke dient und anerkannt wird

²⁸² Aufgrund der geringen Datenmenge zum Klimaschutz vieler Verwertungsverfahren und der Tatsache, dass Klimabilanzen noch am Anfang stehen, kann die angegebene Klimarelevanz nur unter Vorbehalt als „gültig“ angesehen werden. Genauere und eindeutige Untersuchungen sind abzuwarten.

<u>Energetische Verfahren:</u>			
Verbrennung	- Hoher C-Gehalt - H_u mind. 11 MJ/kg - Wassergehalt < 30% - homogene Stückigkeit - grobes Material mit glatten Kanten - geringer Rindenanteil FAZIT: holzartiger GS geeignet (Trocknung und Zerkleinerung erforderlich)	- Abnehmer für den nicht standardisierten Brennstoff - geeigneter Standort mit konstanter und ganzjähriger Wärmeabnahme	Klimaentlastung: Substitution fossiler Energieträgern zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung (größte Klimaentlastung: bei KWK mit vollständiger Wärmeabnahme); alternativ: reine Wärmeerzeugung
Vergasung	- TS-Gehalt ~ 90% - Wassergehalt ~ 10% - homogene Stückigkeit - geringer Rindenanteil FAZIT: höchste Anforderungen an den Brennstoff; holzartiger GS noch nicht einsetzbar	- Im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet - Bei Strom- und Wärmeerzeugung: analog zur Verbrennung	- Im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet - Analog zur Verbrennung ist eine Klimaentlastung zu erwarten (zusätzliche Substitution von Kraftstoff)
Pyrolyse	Generell: - TS-Gehalt ~ 90% - Wassergehalt ~ 10% - wenig mineralische Bestandteile - homogene Stückigkeit FAZIT: höchste Anforderungen an den Brennstoff; holzartiger GS noch nicht einsetzbar	Analog zur Verbrennung	Klimaentlastung: - Bei KWK des Pyrolysegases: analog zur Verbrennung - zusätzlich Klimaentlastung durch Kraftstoffsubstitution durch Pyrolyseöle möglich
HTC/VTC	- feuchte Biomasse - zerkleinertes, gesiebtes Material (Entfernung von Störstoffen (z.B. Steinen)) FAZIT: holz- und krautartiger GS geeignet; bevorzugt krautartiger GS	- hohes Aufkommen an Biomasse zur kontinuierlichen Beschickung der Anlage - Abnehmer der HTC-Kohle zum Einsatz in zentralen Kohlekraftwerken - Akzeptanz der Kohle	Klimaentlastung: Substitution von Kohle (=klimaschädlichster Energieträger)

<u>Stofflich-energetische Verfahren:</u>			
Vergärung/ Kompostierung	Vergärung: - leicht abbaubare org. Substanzen - Wassergehalt: mäßig bis hoch - wenig Hemm- und Schadstoffe Kompostierung: analog zu Kompostierung FAZIT: kraut- und holzartiger GS nach einer Aufbereitung einsetzbar	- geeigneter Standort: als Vorschaltstufe einer Kompostierungsanlage, die mit jährlich steigenden Durchsatzmengen überlastet ist - konstante und ganzjährige Wärmeabnehmer in Anlagennähe - Abnehmer für den kompostierten Gärrest	Klimaentlastung (am größten bei vollständiger Wärmeabnahme) Entscheidend für die Klimabilanz: Standort der Technik und Gärrestbehandlung
Kaskadennutzung	- homogene Zusammensetzung - geringer Rindenanteil - bestimmter Durchmesser des Holzes - möglichst frei von mineral. Bestandteilen (z.B. Steinen) FAZIT: holzartiger GS nicht geeignet	Im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet	Klimaentlastung besonders hoch (nach derzeitiger Einschätzung: bester Klimaschutzeffekt [1])

A.7 Grundlagen und Ergänzungen zu den Verwertungsverfahren

A.7.1 Kompostierung

Rotteprozess und dessen Einflussparameter:

In dieser beginnenden Phase des Rotteprozesses werden zunächst die für die Mikroorganismen leicht abbaubaren organischen Substanzen (z.B. Kohlenhydrate, Fette) weitgehend zu CO₂ und Wasser zersetzt. Mit zunehmender Rottedauer nimmt der Anteil der leicht abbaubaren Substanzen ab. Dann liegen überwiegend schwer abbaubare Substanzen (z.B. Cellulose und Lignin) vor. Diese Substanzen werden zum Teil in der Nachrotte durch spezielle Mikroorganismen vor allem zu hochmolekularen,

weitgehend abbaustabilen Humusverbindungen (Fertig-/Substratkompost) umgewandelt.

Der Rotteprozess und demnach die mikrobielle Aktivität wird von einer Reihe von verschiedenen Parametern und Randbedingungen beeinflusst. Ausschlaggebend sind das C/N-Verhältnis und ein ausreichender Sauerstoff-, Wasserstoffgehalt sowie die Temperatur und der pH-Wert während des Rotteprozesses [56, 63, 178]. Der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt im GS spielen eine wesentliche Rolle [409]. Der Kohlenstoff ist die Basis-Energiequelle für die meisten Mikroorganismen. Ein Teil des Kohlenstoffs wird daher in die Zellsubstanz der Mikroorganismen eingebaut und der andere Teil in Form von CO_2 als Emissionen freigesetzt. Stickstoff ist als Bestandteil vieler Aminosäuren für die Proteinsynthese maßgeblich [63]. Beide Nährstoffe sollten möglichst in einem C/N-Verhältnis von 20:1 bis 35:1 [12] vorliegen, um einen optimalen Abbauprozess zu gewährleisten. Höhere C/N-Verhältnisse lassen einen hohen Anteil von schwer abbaubaren Stoffen, wie z.B. Lignin, erwarten und verzögern den Abbauprozess [327]. Deshalb lässt ein hoher Anteil an holzartigem GS mit einem sehr hohen C/N-Verhältnis einen sehr langsamen bzw. verzögerten Abbau erwarten. Bei geringeren C/N-Werten liegt ein Überschuss an Stickstoff vor, der in Form von Stickoxiden, elementarem Stickstoff oder Ammoniak freigesetzt wird [63].

A.7.2 Verbrennung

Grundlagen zum Verbrennungsprozess

Bei der Verbrennung laufen komplexe chemische und physikalische Prozesse entweder gleichzeitig, nebeneinander oder hintereinander ab. Der Verbrennungsablauf kann nach 3 Phasen differenziert werden. Abb. A.16 veranschaulicht die Verbrennung von Holz unter Betrachtung der Hauptbrennstoffbestandteile C, H, O und z.T. N ²⁸³:

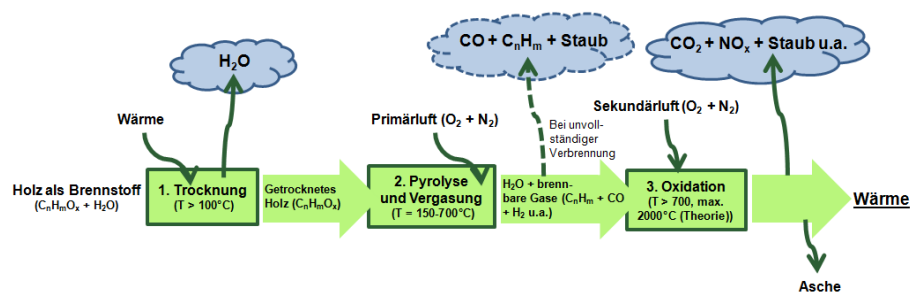


Abbildung A.16: Vereinfachte Darstellung des Ablauf der Verbrennung in drei Phasen [eigene Darstellung; Datengrundlage: [[410] zitiert nach [92]]]

²⁸³Bei der dargestellten Abb. A.16 handelt es sich um den ideal ablaufenden Verbrennungsvorgang, der in der Praxis meist so nicht vorliegt.

Die vollständige und möglichst emissionsarme Verbrennung ist u.a. von der Zuführung einer ausreichenden Sauerstoffmenge (überstöchiometrisch, d.h. $\lambda > 1$) und einer ausreichenden Verweilzeit abhängig.²⁸⁴ Das Ziel der Verbrennung ist eine vollständige Verbrennung. Dadurch kann die höchste Wärmemenge aus dem Brennstoff freigesetzt und zudem schädliche Emissionen, wie CO und C_nH_m , vermieden werden.

Grundlagen zu den Nutzungsmöglichkeiten

Heizwerk zur reinen Wärmeerzeugung:

Das Kernstück eines Heizwerkes ist der Heiz- oder Dampfkessel. In diesem Kessel erfolgt die Wärmeübertragung von der bei der Verbrennung entstehenden Wärme an ein Wärmeträgermedium (meistens Wasser). Das dadurch erzeugte Heißwasser bzw. der erzeugte Dampf kann z.B. für Heizzwecke oder industrielle Zwecke verwendet werden.

Heizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung:

In einem Heizkraftwerk wird die Stromerzeugung mit der Nutzung der anfallenden Abwärme gekoppelt und demnach sowohl Strom als auch Wärme erzeugt bzw. zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Am häufigsten werden hierfür Dampfkraftprozesse eingesetzt. Für die Stromerzeugung kommen je nach Leistungsbereich z.B. Dampfturbinen oder -motoren in Verbindung mit einem Generator zum Einsatz.[92, 192] Der Gesamtwirkungsgrad moderner holzbefuerter Biomasseheizkraftwerke liegt bei ca. 80%, wobei technisch bedingt ca. 1/3-1/4 als elektrische Energie und 2/3 bis 3/4 als Wärme erzeugt werden.[7]

Eine KWK-Anlage hat gegenüber einer reinen Wärmeerzeugung einen höheren apparativen Aufwand. Dadurch entstehen höhere Investitions- und meistens auch Betriebskosten. Demnach ist vor einer Entscheidung für bzw. gegen eine KWK-Anlage die Durchführung einer sorgfältigen Wirtschaftlichkeitsanalyse erforderlich.[92]

Alternative Nutzungsmöglichkeiten

Verbrennung von GS mit anschließender reiner Stromerzeugung:

Prinzipiell gibt es die Möglichkeit der reinen Stromerzeugung, wobei diese weder wirtschaftlich noch aus Gründen der Energieeffizienz bzw. des ökologischen Nutzens sinnvoll ist und demnach hier nicht weiter berücksichtigt wird. Bei der Stromerzeugung fällt als „Nebenprodukt“ Wärme in Form von Abgaswärme an, die ohne deren Nutzung zur Wärmeerzeugung einfach an die Umgebung abgegeben wird. Da diese

²⁸⁴ λ gibt das Verhältnis von der tatsächlich benötigten Luftmenge zum stöchiometrischen Luftbedarf an. Bei einem Luftüberschuss – $\lambda > 1$ – spricht man von einem überstöchiometrischen Luftverhältnis. Dagegen steht $\lambda < 1$ für einen Luftmangel, weshalb unterstöchiometrische Bedingungen vorliegen.[411]

Wärmemenge ohne weitere Nutzung „verloren“ gehen würde, wäre dies eine nicht effiziente Energieausnutzung. Die Wärmenutzung steigert den Gesamtwirkungsgrad und erhöht damit den ökologischen Nutzen – z.B. Klimaschutzeffekt - einer Stromerzeugungsanlage. Von daher sollte das primäre Ziel einer energetischen Verwertung eine hohe Wärmenutzung sein [192].

Beimischung des holzartigen GS als Hackschnitzel zur Verbrennung in bestehenden Kohlekraftwerken:

Alternativ kann der GS in einem bestehenden Kohlekraftwerk eingesetzt werden und ersetzt damit einen Teil der Kohle als Brennstoff [365]. In einer kürzlich erschienenen Studie der DENA (Deutsche Energie-Agentur) [412] wird ein Beimischungsanteil von bis zu 10% Biomasse in Form von Hackschnitzeln in Bezug auf den Energiegehalt in den meisten Kohlefeuerungsanlagen als technisch unbedenklich erachtet [90]. Da 10% Beimischung in einem Kohlekraftwerk langfristig nicht wesentlich zum Klimaschutz beiträgt und zukünftig die Kohle vollständig ersetzt werden sollte, ist diese Verbrennungsmöglichkeit in Kohlekraftwerken aus ökologischen - in Bezug auf den Klimaschutz - aber auch aus technischen Gründen derzeit keine Option und wird deshalb hier nicht weiter beachtet.

Aktueller Stand zum BioTherm-Heizkraftwerk Baden-Airpark: GS mit bis zu 65% Wassergehalt einsetzbar

Literaturrecherchen zum aktuellen Stand des Heizkraftwerks und vor allem den praktischen Erfahrungen mit dem Heizkraftwerk erwiesen sich als schwierig. Die angegebenen Links von dem Kraftwerksschema funktionierten nicht mehr oder an angegebene Kontaktpersonen adressierte Emails kamen wieder zurück. Von Seiten der Stadtwerke Baden-Baden, die anfangs die Betreiber des Heizkraftwerks waren, konnten über Herrn Rainer Pahl (Geschäftsführung der Stadtwerke Baden-Baden) folgende Erkenntnisse gesammelt werden [413]: Die Stadtwerke haben ihr Engagement gegenüber dem Heizkraftwerk bereits seit mehreren Jahren eingestellt. Auf Nachfrage nach Gründen für die Einstellung des Engagements, kam zur Sprache, dass die Brennstoffqualität aus dem Strauch- und Baumschnitt nicht den erforderlichen Anforderungen der Anlage entsprach, wodurch nicht die notwendige Produktionszeit erreicht wurde. Der hohe Anteil an mineralischen Bestandteilen (Erde, Steine etc.) verursachte einen hohen Verschleiß der Anlage. Zudem traten insbesondere bei der Förderung des GS über eine Förderschnecke häufig Betriebsstörungen auf [414]. Daraus lässt sich schließen, dass vermutlich keine genaue Abstimmung zwischen der Auslegung

der Anlage und der Aufbereitung des Strauch- und Baumschnitts erfolgte. Hinsichtlich des hohen Wassergehalts von GS war die Anlage speziell konzipiert, aber andere - für die Verbrennungstechnik entscheidende - Eigenschaften (z.B. der hohe mineralische Anteil des GS) wurden anscheinend zu wenig berücksichtigt. Das Beispiel zeigt, wie hoch die Anforderungen an eine ganzheitliche Abstimmung zwischen der Anlagenauslegung und dem GS als Ausgangsmaterial für eine Verbrennung sind. Zudem belegt dieses Beispiel, dass es bisher noch nicht die perfekte Verbrennungstechnologie für GS gibt und hier ein hoher Forschungsbedarf besteht.

A.7.3 Vergasung

Weiterführende Grundlagen zur Vergasungstechnologie

Der Vergasungsprozess ist in mehrere Phasen unterteilt. Die einzelnen Phasen der Vergasung sind sehr komplex und laufen teilweise parallel und teilweise unabhängig voneinander ab. Näheres zu den einzelnen Phasen kann im Detail in Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer [90] nachgelesen werden. Für die Vergasung wird Wärme benötigt, die entweder durch die teilweise Verbrennung des festen Brennstoffs zur Verfügung gestellt wird (=autotherm) oder durch eine äußere Wärmezufuhr (=allotherm) bereitgestellt wird.

Ein wesentlicher Unterschied zur Verbrennung besteht darin, dass bei der Vergasung nicht die direkte Energieumwandlung vom festen Ausgangsstoff (Brennstoff) in die gewünschte Endenergie (Wärme/Strom) erfolgt. Stattdessen wird aus dem festen Ausgangsstoff zunächst ein brennbares Gas erzeugt (gasförmiger Energieträger), das vielfältiger und effizienter nutzbar ist. Aus dem Produktgas können – nach einer entsprechenden Gasreinigung - alle drei Endenergieformen (Strom, Wärme und Kraftstoff) bereitgestellt werden.[90]

Es gibt eine ganze Reihe von verschiedenen Vergasungsverfahren, die sich hinsichtlich der Prozessbedingungen (Druck, Temperatur, Vergasungsmittel) und in der technischen Ausführung (z.B. Festbett- oder Wirbelschichtvergaser) unterscheiden, wobei die Prozessbedingungen in besonderem Maße die Anteile der einzelnen Bestandteile (z.B. CO) im Produktgas bestimmen.[358]

Neben dem gewünschten Gas entstehen bei der Vergasung unerwünschte Nebenprodukte, z.B. Teere, Kondensate, Asche und Staub, die je nach Vergasungsverfahren und Ausgangsmaterial in unterschiedlichen Mengen anfallen [90, 198]. Diese Nebenprodukte sind zum Teil im erzeugten Produktgas enthalten und müssen vor der

energetischen Verwertung zur Erzeugung von Strom, Wärme oder Kraftstoff über Gasreinigungssysteme entfernt werden. Zum Teil verbleiben diese Produkte im Vergaser und können dort zu technischen Problemen führen.

Sonderform der Vergasung: Hydrothermale Vergasung

Das Ziel dieser Vergasungsart ist die Umwandlung von nasser Biomasse in gasförmige Energieträger wie Wasserstoff (H_2) und/oder Methan (CH_4) in überkritischem Wasser bei ca. 400 bis 700°C und einem Druck von ca. 200 bis 300 bar. Langfristig gesehen könnte die Vergasung von GS in überkritischem Wasser ein vielversprechendes Verwertungsverfahren darstellen. Hierbei würde zumindest eine aufwändige und energieintensive Trocknung des GS entfallen, weil hierfür Wassergehalte von 35-65% akzeptabel sind [415]. Näheres hierzu siehe folgende Literaturquellen: [415, 416]. Während Methan z.B. als Erdgassubstitut verwendet werden kann, kann der Wasserstoff über eine Brennstoffzelle zur Stromerzeugung genutzt werden.[90]

A.7.4 Pyrolyse

PYREG-Verfahren zur energetischen Nutzung des Pyrolysegases

Der Vorteil des PYREG-Reaktors liegt darin, dass dieser mit feuchten Hackschnitzeln, z.B. aus holzartigem GS, betrieben werden kann [19]. Dies ist für einen Pyrolysereaktor untypisch. Normalerweise werden für die Pyrolyse Inputmaterialien mit einem TS-Gehalt von nahezu 90% und damit einem Wassergehalt von ca. 10% gefordert [90, 350]. Der Reaktor zur energetischen Nutzung des Pyrolysegases wird hierbei mit einer FLOX-Feuerung (FLOX= flammlose Oxidation) kombiniert, wodurch die bekannten Probleme wie die Teerbildung oder die Staub- und NO_x -Emissionen unterbunden werden können [18].²⁸⁵ Zudem ist bei diesem Pyrolysereaktor der Einsatz von feuchter Biomasse mit einem TS-Gehalt von bis zu 50% möglich [339, 417].²⁸⁶ Das im PYREG-Reaktor erzeugte Pyrolysegas wird anschließend in einer FLOX-Feuerung verbrannt und die dabei entstehende Wärme kann beispielsweise über einen Dampfmotor zur Stromerzeugung genutzt werden [339]. Bislang befindet sich das PYREG-Verfahren noch im Entwicklungsstadium [18, 19].

²⁸⁵ Im Vergleich zur Verbrennung zeichnet sich die Pyrolyse - unter anderem aufgrund der Abwesenheit von Sauerstoff und der geringeren Temperaturen - durch deutlich geringere Emissionen (z.B. NO_x) aus [18].

²⁸⁶ Näheres zu diesem Verfahren, das speziell für Rest- und Abfallbiomassen entwickelt worden ist, kann unter anderem in folgenden Literaturquellen nachgelesen werden: [18, 339].

Klimabilanz: Energetische Nutzung des Pyrolysegases zur Strom- und/oder Wärmezeugung

Das Pyrolysegas kann zur Erzeugung von Strom und/oder Wärme über eine Verbrennung energetisch genutzt werden. Sofern eine KWK mit einer möglichst vollständigen Wärmeabnahme erfolgt und dadurch fossile Energieträger substituiert werden, können die größten Klimaschutzgutschriften erzielt werden. Die Gutschrift ist entscheidend von der erzeugten Wärme- und Strommenge aber auch von den substituierten fossilen Energieträgern abhängig.

Demgegenüber entstehen bei der Pyrolyse folgende Lastschriften, die berücksichtigt werden müssen:

Bei der Pyrolyse und der anschließenden Verwendung der erzeugten Endprodukte, z.B. des Pyrolysegases, entstehen klimarelevante Emissionen. Das bei der Pyrolyse mit anschließender Verbrennung des Pyrolysegases entstehende CO₂ wird als klimaneutral angesehen (Anhang A.1). Das o.g. PYREG-Pyrolyseverfahren (Kombination eines Pyrolysereaktors mit einer FLOX-Verbrennung) wird - in Bezug auf die prozessbedingten Emissionen als sehr schonend und damit umweltfreundlich angesehen [339].²⁸⁷ Letztendlich fallen bei der gesamten Prozesskette klimarelevante Emissionen an, die den Gutschriften gegenüber stehen. Wichtig ist demnach, dass die erzeugte Wärme regionale Abnehmer findet, um einen möglichst hohen Beitrag zum Klimaschutz zu erzielen.

A.7.5 HTC-Verfahren

Grundlegendes zum HTC-Prozess

Die HTC beruht auf dem Prinzip der in der Natur ablaufenden Inkohlung von Pflanzenresten oder sonstigen organischen Materialien. Die Inkohlung führt zur Anreicherung von Kohlenstoff. Sie ist ein natürlicher Prozess, der über Jahrmillionen andauert, und findet unter geologischen Einflüssen statt. Diesen Prozess hat man sich bei der HTC zu Nutze gemacht und technisch nachgeahmt. Innerhalb von ca. 4-16 Stunden [418] (u.a. abhängig vom gewünschten Endprodukt und der Ausgangsbiomasse) kann aus der Biomasse ein mit Kohlenstoff angereichertes Endprodukt entstehen, dass anschließend - vor allem energetisch - genutzt werden kann.[374, 379, 389]

Der HTC-Prozess ist noch nicht in allen Einzelheiten geklärt [330]. Laut Brandt [330] findet zunächst die Dehydrierung der Biomasse statt und anschließend erfolgt die Mo-

²⁸⁷ Inwiefern in dieser Aussage klimaschädliche Emissionen mit inbegriffen sind, ist nicht erkennbar.

difikation des Kohlenstoffs. In einer anderen Literaturquelle [377] wird der Prozess wie folgt beschrieben: Die Moleküle werden „aufgebrochen“ und der Kohlenstoff angereichert. Der Sauerstoff und der Wasserstoff wird in Form von Wasser aus dem kohlenstoffreichen Substrat herausgelöst.

Nutzungsmöglichkeiten der HTC-Kohle

Einige energetische Nutzungsmöglichkeiten²⁸⁸ für die HTC-Kohle, die zum Teil in der Forschung und Entwicklung stecken, sind in Abb. A.17 aufgezeigt.

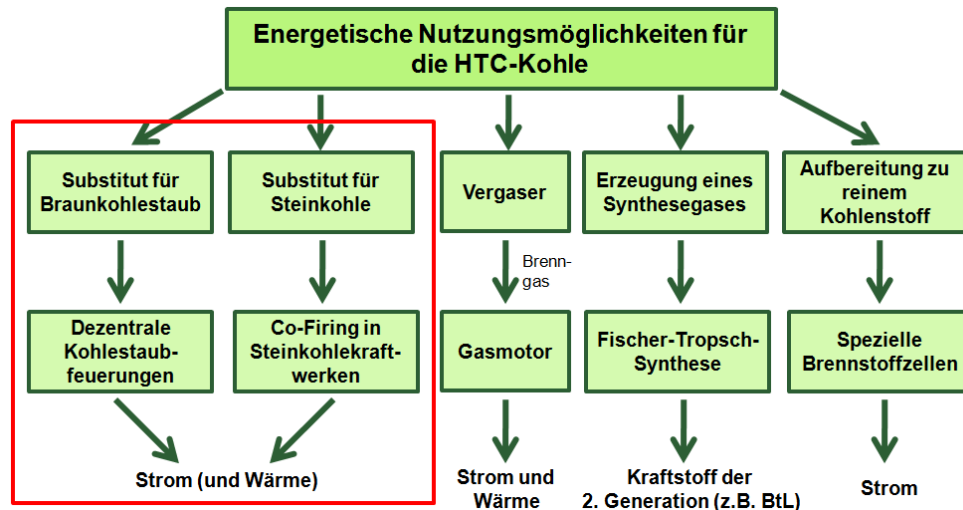


Abbildung A.17: Energetische Nutzungsmöglichkeiten für die HTC-Kohle (Die Gewährleistung einer vollständigen Darstellung der möglichen Nutzungsoptionen kann nicht gegeben werden. Zudem sind ggf. notwendige Aufbereitungsschritte für die HTC-Kohle für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten nicht mit dargestellt.) [eigene Darstellung; Datengrundlage: [330, 379, 419, 420]]

A.7.6 Vergärung/Kompostierung

Grundlagen zum Vergärungsprozess

Beim Vergärungsprozess laufen komplexe Vorgänge ab, die sich vereinfacht durch vier voneinander abhängige Stufen charakterisieren lassen. In der jeweiligen Stufe dominieren unterschiedliche Bakterien den Vergärungsprozess. In Abb. A.18 sind die vier Stufen des Vergärungsprozesses mit den in der jeweiligen Stufe vorherrschenden Bakterien dargestellt.[56, 393]

²⁸⁸Neben den energetischen Nutzungsmöglichkeiten der HTC-Kohle gibt es in letzter Zeit vielfältige Versuche, die HTC-Kohle als Bodenverbesserer in den Boden einzubringen und im Hinblick auf den Klimaschutz vorrangig als langfristige C-Senke zu dienen. Bislang vorliegende Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Zielsetzung - langfristige C-Senke durch die Verwendung der HTC-Kohle in Böden - nicht oder nur teilweise erzielt werden kann. Zudem sind in Bezug auf die Pflanzenverträglichkeit der HTC-Kohle einige Fragen zu klären, weshalb die stoffliche Nutzung der HTC-Kohle in der vorliegenden Arbeit nicht näher beachtet werden soll [380]. Es ist unklar, ob die nanostrukturierte HTC-Kohle vor ihrer Ausbringung unter natürlichen Bedingungen abbaubar ist und keine nachteiligen Effekte entstehen [330]. Des Weiteren deuten erste Erfahrungen zur pflanzenbaulichen Anwendung der HTC-Kohle darauf hin, dass die Kohle einer Vorbehandlung unterzogen werden muss, damit Pflanzen-Hemmstoffe als Gase abgebaut oder ausgetrieben werden [17].

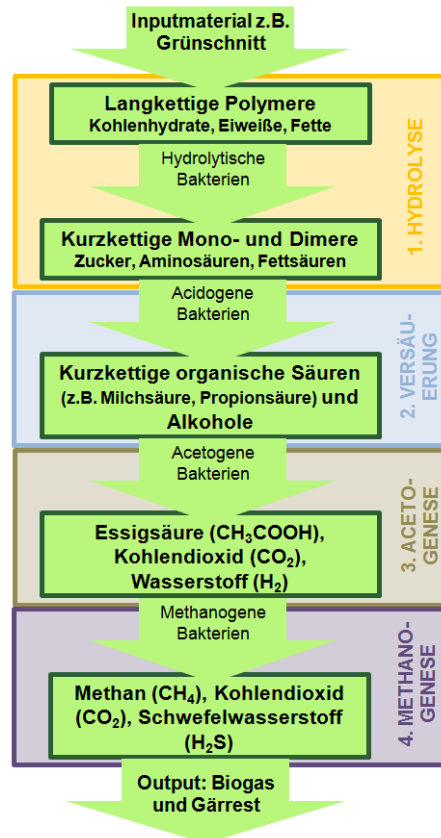


Abbildung A.18: Vereinfachte Darstellung des Vergärungsprozesses in 4 Stufen [eigene Darstellung; Datengrundlage: [56, 393]]

Der Ablauf der einzelnen biologischen Stufen wird durch verschiedene Parameter²⁸⁹ beeinflusst (u.a. Nährstoffangebot). Diese sollten für einen optimalen Betrieb nur geringen Schwankungen unterliegen. Die Biogasqualität und -menge sind sehr stark vom Inputmaterial (=Substrat) sowie von der Anlagentechnik und -ausführung abhängig [74, 98].

Erläuterungen zur Verwertung des Biogases in einem BHKW und zur Verwertung des festen Gärrestes über eine Kompostierung

Verwertung des Biogases in einem BHKW

Die Verwertung des Biogases erfolgt meistens in einem BHKW [90, 105]. Um Schäden an den Anlagenteilen zur Energieerzeugung (z.B. Gasmotoren) zu vermeiden, muss das Biogas zunächst einer Aufbereitung unterzogen werden. Die wichtigsten Aufbereitungsschritte stellen die Trocknung und die Entschwefelung des Gases dar. Die Speicherung des Biogases (z.B. über einen Foliengasspeicher ([90])) ist erforderlich, um erstens einen Ausgleich kurzzeitiger Unterschiede zwischen Produktionsmenge und Verbrauchsmenge zu schaffen (Pufferkapazität) und zweitens ein mög-

²⁸⁹Welche Parameter entscheidend sind und in welchem Bereich diese für einen optimalen Betrieb liegen sollten, kann unter anderem in den folgenden Literaturquellen nachgelesen werden: [90, 302]

lichst homogenes Gasgemisch mit konstanter Qualität zu erhalten. Anschließend erfolgt in einem Gasmotor gekoppelt an einen Generator die Stromerzeugung. Die am Gasmotor anfallende Abwärme kann zum Teil zur Beheizung des Fermenters verwendet werden oder ggf. zur Trocknung des Gärrestes. Der Rest der Wärme sollte nicht verloren gehen, sondern möglichst vollständig eingespeist werden (z.B. in ein Nahwärmenetz).[74, 98, 105, 279, 302, 394]

Verwertung des festen Gärrestes über eine Kompostierung

Der nach der Vergärung anfallende Gärrest weist einen Rottegrad zwischen II und III auf und kann entweder weiter kompostiert oder direkt landwirtschaftlich genutzt werden [395]. Aus Klimaschutzgesichtspunkten ist eine Nachbehandlung des Gärrestes über eine Kompostierung anzustreben [90].²⁹⁰ Der kompostierte Gärrest besitzt nach einer dem Stand der Technik entsprechenden Kompostierung ähnlich gute Eigenschaften (z.B. hinsichtlich seines Nährstoffgehalts, bzw. seiner Humusreproduktion) wie der Kompost [90, 98, 105, 395].

A.8 Kostenstrukturen für die Verwertungsverfahren

Eine optimierte GS-Verwertungsstrategie wird nur zur praktischen Anwendung kommen, wenn sie einen ökonomischen Nutzen erbringt. Zu einer Betrachtung der verschiedenen technischen Verwertungsverfahren gehört demnach eine Betrachtung der Kostenstruktur.

Die Komplexität einer Kostenstruktur erschwert in der vorliegenden Arbeit die differenzierte und detaillierte Betrachtung der verschiedenen Verwertungsverfahren. Die dargestellten Kostenstrukturen sind daher bestenfalls als Abschätzung anzusehen. Festzuhalten ist, dass diese Abschätzungen in keinem Fall eine standort- und projektspezifische Einzelfallbetrachtung mit einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsberechnung ersetzen oder dieser annähernd nahe kommen.²⁹¹

In den vorliegenden Kostenstrukturen werden die Kosten den Erlösen, die bei dem jeweiligen Verwertungsverfahren anfallen bzw. erzielt werden, gegenübergestellt.²⁹²

²⁹⁰Der aus der Vergärung anfallende Gärrest beinhaltet eine große anaerobe Bakterienmasse und der mineralische Stickstoff liegt als Ammonium (NH_4^+) und Ammoniak (NH_3) vor. Bringt man den Gärrest ohne Kompostierung direkt auf landwirtschaftliche Flächen aus, kommt es - aufgrund der weiterhin ablaufenden Vergärung - zu entsprechenden und nicht unerheblichen Methanemissionen.[90]

²⁹¹Als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann z.B. die VDI 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ herangezogen werden [202].

²⁹²Oftmals werden in der Literatur die Anteile der jeweiligen Kosten zusammengefasst und nicht aufgeschlüsselt. Es ist zweifelhaft, ob die gesamten Kosten abgebildet werden können.

Hieraus kann der gesamtwirtschaftliche Nutzen eines Verfahrens ermittelt werden.

Auf der Kostenseite fallen an:

- Erfassungskosten
- Sammel-/Transportkosten
- Aufbereitungskosten
- Behandlungs-/Verwertungskosten
- Verwaltungskosten

Demgegenüber stehen Erlöse, die je nach Verwertungsverfahren relevant sind:

- Verkaufserlös durch die erzeugten Kompostprodukte
- Stromerlös nach EEG 2012 durch die Einspeisung ins Stromnetz
- Wärmeerlös durch den Wärmeverkauf

Für vier Verfahren (Nutzung als Häcksel-/Mulchmaterial, Kompostierung, Vergärung/Kompostierung, Verbrennung) werden mögliche Kostenstrukturen aufgezeigt. Diese Verfahren stellen bereits lang etablierte Verwertungsverfahren dar, weshalb hierzu z.T. Werte in der Literatur gefunden wurden bzw. mit Hilfe von Literaturwerten berechnet werden konnten.²⁹³

Für die restlichen Verwertungsverfahren konnten keine Angaben für die Erstellung einer Kostenstruktur ermittelt werden. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass viele Verfahren (z.B. HTC/VTC) noch nicht im Großmaßstab etabliert sind.

Nutzung als Häcksel-/Mulchmaterial

Im Folgenden wird die Kostenstruktur für den holzartigen GS zur Nutzung als Häcksel-/Mulchmaterial abgeschätzt. Für die Erfassung mit anschließendem Transport, sowie Aufbereitung (Zerkleinerung) und Lagerung erhält man Literaturwerte von ca. 20-22 Euro/Mg GS [214, 422].²⁹⁴ Zu diesen Kosten kommen zusätzlich die Kosten für die Ausbringung des Häckselmaterials auf landwirtschaftliche Flächen in Höhe von ca. 13-18 Euro/Mg GS hinzu [12, 214, 422].

²⁹³Die angegebenen Werte für die Kosten und Erlöse sind nicht allgemein repräsentativ. Für jedes Verfahren existiert eine Vielzahl von Variationen hinsichtlich der Verfahrensausführung und Ausgestaltung/Organisation der gesamten Prozesskette. Um die Wissenschaftlichkeit einiger Literaturstellen darzustellen sei hier erwähnt, dass bei einer Studie für den Vergleich von verschiedenen Verwertungsverfahren laut IGA Kompostforum Schweiz [421] von fragwürdigen Annahmen ausgegangen wurde. Zudem wurden bei den verwendeten Datengrundlagen und Berechnungen teilweise ungleiche Ausgangssituationen zugrunde gelegt. In der Arbeit wird angenommen, dass die zitierten Literaturstellen wissenschaftlich fundiert sind und lückenlose Erkenntnisse darstellen.

²⁹⁴Zu den angegebenen Werten sind folgende kritische Anmerkungen zu konstatieren:

1. Die Werte werden z.T. nicht genau aufgeschlüsselt bzw. es wird z.B. nicht dargestellt, welche durchschnittlichen Transportkilometer für die Transportkosten zugrunde gelegt wurden, ob die Personalkosten in den einzelnen Kosten mit enthalten sind und ähnliches.
2. Eine allgemeine Gültigkeit der dargestellten Werte für die Kostenstruktur ist fraglich, denn es handelt sich hierbei lediglich um zwei Literaturstellen, die im Rahmen der Arbeit aufgefunden werden konnten.

Unter der Annahme, dass das Häckselmaterial ohne Erlös an regionale Landwirte abgegeben wird, ergeben sich spezifische Gesamtkosten von ca. 35 Euro/Mg GS. Zukünftig entstehen höhere Kosten für die Nutzung als Häckselmaterial, da ab 1. Mai 2012 laut novellierter BioAbfV eine Hygienisierung für GS erforderlich ist (Anhang A.6.1).

Kompostierung

Die Kosten für die Kompostierung schwanken stark in Abhängigkeit vom eingesetzten Inputmaterial, der Kapazitätsauslegung sowie der Anlagentechnik [48, 105].²⁹⁵

In der Literatur sind für die Erfassung, Sammlung und Zerkleinerung Werte von ca. 20 bis 60 Euro/Mg GS zu finden [144, 150].²⁹⁶ In der Arbeit wurden 30 Euro/Mg GS für die Erfassung, Sammlung und Zerkleinerung zugrunde gelegt. Als spezifische Behandlungskosten für die Kompostierung des GS sind in der Literatur Werte von 15 bis 30 Euro/Mg GS auffindbar [12, 48, 424].²⁹⁷ Zudem können Verwaltungskosten in Höhe von 10-20 Euro/Mg GS anfallen [425].

Die Verkaufserlöse für die erzeugten Kompostprodukte wirken sich kostenreduzierend aus. Die Erlössituation ist entscheidend von der regionalen Nachfrage abhängig.

In die Landwirtschaft erfolgt in der Regel eine kostenneutrale Abgabe von Kompost, teilweise sogar frei Acker. In den anderen Absatzbereichen werden meistens Erlöse zwischen 3-4 Euro je ca. 40-50 l Sack Kompost erzielt. Beim Absatz von Substratkompost in Erdenwerke können sogar mittlere Erlöse von 6-7 Euro/Sack bei einem Kompostanteil von ca. 70% erreicht werden. Für den Absatz in Erdenwerke ist ein hochwertiger Kompost mit einer langen Rottezeit erforderlich.[48]

²⁹⁵ Laut Herrn Schneider [423] und Herrn Strauß [329] wurde eine allgemeine Kostenstruktur für die Kompostierung von GS noch nicht aufgestellt. Es ist nicht einfach eine allgemeine Kostendarstellung zu erstellen, denn diese hängt von regionalen Gegebenheiten ab. Diese Tatsache verdeutlicht, dass allein schon für die lang etablierte Kompostierung als Verwertungsverfahren keine allgemein gültigen Werte vorliegen. Die Darstellung der Kostenstruktur für andere Verwertungsverfahren, die nicht lange etabliert sind, ist noch schwieriger.

²⁹⁶ In Baur/Speck [144] konnte eine Aufschlüsselung der Kosten für die einzelnen Bereiche gefunden werden. Hierbei wurden Werte von ca. 11 Euro/Mg GS für die Aufbereitung (Zerkleinerung, Siebung) sowie ca. 7 Euro/Mg für den Transport des geschredderten GS ermittelt. Die ermittelten Werte wurden speziell für die Situation im Saarpfalz-Kreis analysiert und können nur unter Vorbehalt verwendet werden.

Für die Sammlung bzw. den Transport sind die durchschnittlich angenommenen und verwendeten Transportkilometer entscheidend und ausschlaggebend für die Kosten. Zudem hat die Tatsache, ob ungeschreddeter oder geschreddeter GS transportiert wird, einen entscheidenden Einfluss auf die Transportkosten. Während der Transport von geschreddertem GS bei ca. 7 Euro/Mg GS liegt, fallen beim Transport von ungeschreddertem GS ungefähr die dreifachen Transportkosten an [144]. Eine Vor-Ort-Zerkleinerung zur Reduzierung des Transportvolumens und der -kosten ist empfehlenswert [144]. Laut Dehoust et al. [104] sind ca. 15 bis 20 Euro/Mg GS für die Aufbereitung (Zerkleinerung und Siebung) zu kalkulieren.

²⁹⁷ In den zitierten Literaturquellen sind die Behandlungskosten nicht aufgeschlüsselt. Deshalb ist unklar, aus welchen Einzelkosten sich die Behandlungskosten zusammensetzen.

Um einen Erlös pro Mg GS für den Verkauf des erzeugten Komposts zu berechnen, wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass ca. 50% des Komposts kostenneutral an die Landwirtschaft abgegeben wird und keine Erlöse erzielt werden.²⁹⁸ Für den Rest – ca. 50% des erzeugten Komposts - wurde ein durchschnittlicher Erlös von ca. 4 Euro je 45 l Sack Kompost für den Absatz in die anderen Bereiche (z.B. Erdenwerk, Rekultivierung, Hobbygartenbau) angenommen.²⁹⁹ Mit einer angenommenen Schüttdichte des Komposts von ca. 0,6 Mg/m³ [428, 429] erhält man einen Erlös - unter Berücksichtigung der verschiedenen Absatzbereiche - von ca. 74 Euro/Mg Kompost. Laut Pitschke et al. [12] kann aus 1 Mg GS ca. 0,43 Mg Kompost erzeugt werden.³⁰⁰ Es ergibt sich ein Erlöswert von ca. 32 Euro/Mg GS.

Bedingt durch die zur Verfügung stehenden Literaturwerte ergeben sich spezifische Gesamtkosten von ca. 38 Euro/Mg GS für die Kompostierung (Abb. A.19) Hierbei sind die spezifischen Investitionskosten für die Kompostierungsanlage nicht mit berücksichtigt.³⁰¹

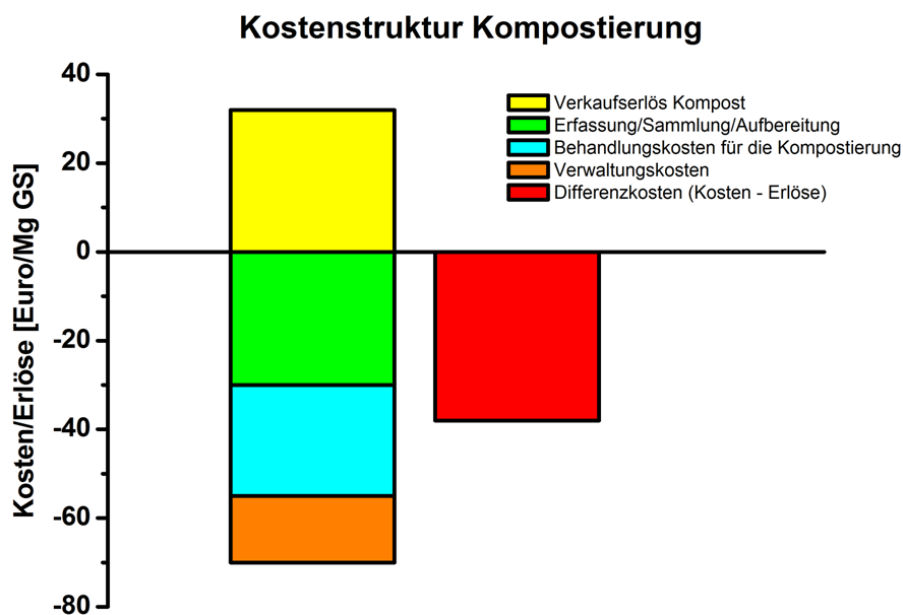


Abbildung A.19: Kostenstruktur für die Kompostierung von GS (ohne spezifische Investitionskosten) [eigene Darstellung]

²⁹⁸In weiteren Quellen ist der durchschnittliche Absatzbereich in die Landwirtschaft ebenfalls mit ca. 50% beziffert [329, 426, 427].

²⁹⁹Im LK Mainz-Bingen wird der erzeugte Kompost z.B. für ca. 4 Euro/40 l Sack Kompost am Humuswerk in Essenheim verkauft.

³⁰⁰Hinweise dazu, ob es sich bei den Angaben um die TS oder FS handelt, sind nicht angegeben.

³⁰¹Zu den Investitionskosten einer Kompostierungsanlage konnten keine Werte gefunden werden. Sofern keine Kompostierungsanlage besteht, können zusätzliche jährliche Investitionskosten für die Errichtung einer Kompostierungsanlage sowie die dazugehörige Infrastruktur entstehen. In den verwendeten Literaturstellen ist nicht ersichtlich gewesen, ob diese Investitionskosten bereits in den Behandlungskosten mit enthalten sind oder nicht. Die meisten Kompostierungsanlagen bestehen schon recht lange (mehr als 10 Jahre) und dürften schon zum größten Teil abgeschrieben sein.

Vergärung/Kompostierung

Für die Darstellung der Kostenstruktur einer Vergärung wird hier eine kontinuierliche Trockenvergärung mit anschließender Nachrotte der Gärreste betrachtet. Die Aufstellung der Kostenstruktur erfolgt in Anlehnung an Kern et al. [48]. Für die Kostendarstellung werden jährliche Inputmengen von ca. 18.000 Mg Bioabfall und GS zugrunde gelegt [48].³⁰² Anhand dieser Inputmengen errechnen sich jährliche Kapitalkosten und Betriebskosten in Höhe von ca. 67 Euro/Mg GS.³⁰³ Dazu kommen die Behandlungskosten für die Vergärung von ca. 29 Euro/Mg GS sowie die Behandlungskosten für die Nachrotte der festen Gärreste von ca. 15 Euro/Mg GS.

Nicht berücksichtigt werden in Kern et al. [48] die Kosten für die Erfassung und Sammlung. Hierfür fallen Kosten in Höhe von ca. 7 Euro/Mg GS nach Baur/Speck [144] für den zerkleinerten GS an.

Den Kosten stehen Erlöse durch die Strom- und Wärmeerzeugung aus dem erzeugten Biogas in einem BHKW gegenüber. In der Regel reichen diese Erlöse nicht für einen wirtschaftlichen, kostenneutralen Betrieb der Vergärung aus [430]. Zudem unterliegen die Erlöse, bedingt durch die rechtlichen Veränderungen der EEG-Vergütungssätze, großen Schwankungen. Deshalb gelten die dargestellten Erlöse nur für den aktuellen Zustand des Gesetzes.³⁰⁴ Mit den in der Fußnote dargelegten und verwendeten Annahmen errechnet sich eine Nettostrommenge von ca. 145 kWh/Mg GS. Dafür kann ein Erlös für die Einspeisung ins Stromnetz von ca. 20-23 Euro/Mg GS erzielt werden. Unter Verwendung der Annahmen in der Fußnote ergibt sich eine Nettowärmemenge (50% der Überschusswärme) von ca. 73,7 kWh/Mg GS. Daraus erhält man einen Wärmeerlös von ca. 2,2 Euro/Mg GS. Dieser stimmt mit den Werten, die in der Literatur [49] zu finden sind, annähernd überein. Für die Darstellung der Kostenstruktur wird aufgrund der Literaturangaben und dem berechneten Wert ein Wärmeerlös von 2,2 Euro/Mg GS verwendet.

³⁰²Eine Übertragung auf die Vergärung/Kompostierung von GS wird für eine grobe Kostenabschätzung für zulässig erachtet.

³⁰³Die Kosten werden mit $\pm 20\%$ angegeben [48]. Die Betriebskosten nehmen ca. 42% an den Kapital- und Betriebskosten ein. Bei den jährlichen Kapitalkosten wird ein Abschreibungszeitraum von 12 Jahren und ein Zinssatz von 5% verwendet. In den Kapital- und Betriebskosten sind bereits die Verwaltungskosten sowie die Kosten für die Aufbereitung des GS enthalten.

³⁰⁴Für die Berechnungen der Erlöse wurden folgende Annahmen anhand verschiedener Literaturstellen verwendet:

Annahmen für die Berechnung des Stromerlös nach dem EEG 2012: $\eta_{\text{elektrisch}}$: 37,5% [160, 290]; Methanertrag für GS: 43 m³/t FS [43] (Anmerkung: In der BiomasseV [43] ist nicht angegeben, inwiefern sich dieser Methanertrag auf eine Zusammensetzung aus holz- und krautartigem GS bezieht bzw. welcher Wassergehalt des GS hier zugrunde gelegt wurde.); H_u Methan: 9,968 kWh/m³ [184, 185]; Eigenbedarf an Strom: 10% des produzierten Stroms [48]; EEG-Vergütungssätze für die Vergärung von Bioabfall gemäß § 27 a EEG: je nach Bemessungsleistung 14 bis 16 ct/kWh (Anhang A.9)

Annahmen für die Berechnung des Wärmeerlöses: $\eta_{\text{thermisch}}$: 43% [160, 290]; Eigenbedarf an Wärme: 20% der produzierten Wärme [48]; Nutzung der Überschusswärme (=produzierte Wärme - Eigenbedarf des Fermenters an Wärme (hier: 20%)) zu 50%; Wärmeerlös: 2-4 ct/kWh [48, 430, 431].

Zusätzlich können durch den erzeugten Kompost aus den festen Gärresten Erlöse erzielt werden. Unter der Annahme, dass aus 1 Mg GS ca. 0,6 Mg Kompost [48, 183] erzeugt werden kann und gleiche Bedingungen für den Absatz und die Erlöse wie bei der Kompostierung vorliegen, errechnet sich ein Erlös von ca. 44 Euro/Mg GS.

Bedingt durch die gegebenen Werte und Abschätzungen ergeben sich spezifische Gesamtkosten von ca. 50 Euro/Mg GS für die Vergärung/Kompostierung (Abb. A.20). Im Vergleich zur Kompostierung ergeben sich durchschnittliche Mehrkosten von ca. 12 Euro/Mg GS [430]. Diese Mehrkosten stimmen mit Werten, die in der Literatur [430] angegeben werden, annähernd überein.

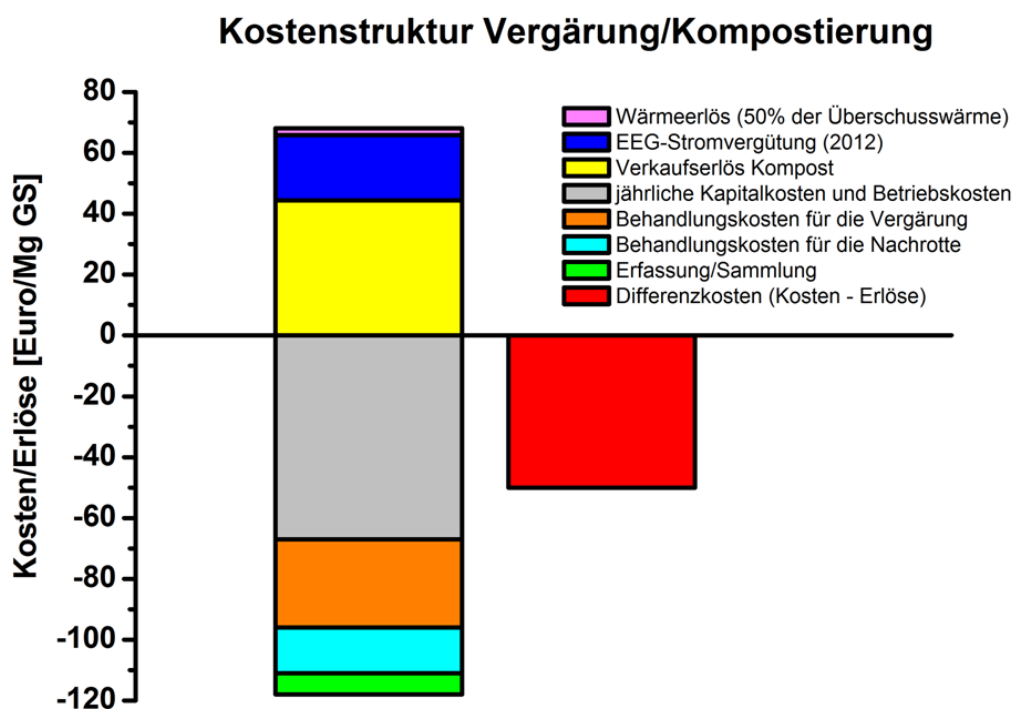


Abbildung A.20: Kostenstruktur für eine kombinierte Vergärung/Kompostierung von GS [eigene Darstellung]

Verbrennung

Für die Kostenstruktur einer GS-Verbrennung liegt kein vollständiger Datensatz mit *Absolutwerten* (inklusive Erlöse) vor. Daher wird auf eine *prozentuale* Kostenstruktur zurückgegriffen [202]. In dieser wird die reine Wärmeerzeugung aus GS³⁰⁵ mit dem erzielbaren Gewinn (Gewinn = Erlöse - Kosten) betrachtet. In Abb. A.21 sind die betriebs-, verbrauchs- und investitionsgebundenen Kosten im Vergleich zum Gewinn dargestellt.³⁰⁶

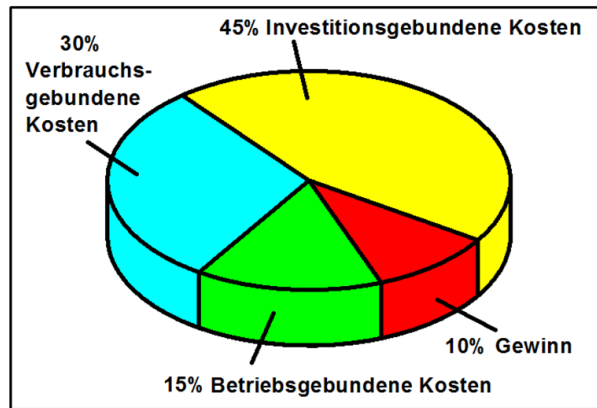


Abbildung A.21: Prozentuale Kostenstruktur für die Verbrennung von GS als Hackschnitzel in einem Heizwerk [in Anlehnung an: [202]]

Bei der Errichtung eines Heizwerks zur GS-Verbrennung nehmen die spezifischen investitionsgebundenen Kosten den dominierenden Beitrag an den Gesamtkosten ein (Abb. A.21).³⁰⁷

Zusätzlich zur aufgezeigten *prozentualen* Kostenstruktur konnten in Hackländer et al. [85] *Absolutwerte* einer Kostenstruktur (ohne erzielbare Erlöse) für die GS-Verbrennung gefunden werden.

Die Aufwendungen für die Erfassung und Aufbereitung des Brennstoffs liegen bei ca. 120 Euro/Mg GS (mit einem Wassergehalt von 22% und einem von H_u 3,9 kWh/kg ergeben sich Kosten von ca. 3,2 Cent/kWh) [433].³⁰⁸

³⁰⁵In [202] werden die Begriffe „Grünabfall“ (GS) und „Landschaftspflegeholz“ synonym verwendet, auch wenn diese nach dem EEG 2012 mittlerweile voneinander abzugrenzen sind.

³⁰⁶Unter die betriebsgebundenen Kosten fallen unter anderem die Kosten, die für die Wartung und Instandhaltung des Heizwerks entstehen. Verbrauchsgebundene Kosten ergeben sich vor allem durch die Bereitstellung und Erzeugung des Hackschnitzels aus dem GS als Brennstoffersatz. Zudem werden Heizwerke, die mit GS als Hackschnitzel betrieben werden, häufig mit einem Erdgas-Spitzenlastkessel ausgestattet, um die Spitzenlast abzudecken. Dadurch ergeben sich weitere Kosten, die in Abhängigkeit vom Erdgasverbrauch entstehen. Investitionsgebundene Kosten entstehen z.B. durch den Bau eines Heizwerks (inklusive Heizkessel, Brennstoffzuführung u.a.) und werden entscheidend von dem gewählten Abschreibungszeitraum und dem Zinssatz bestimmt.[202, 432]

³⁰⁷In Bakowies [202] ist nicht dargelegt, welche thermische Leistung für die Darstellung der Kostenstruktur zugrunde gelegt wurde.

³⁰⁸Diese Werte stimmen annähernd überein mit den ermittelten Werten in Arlt [61], in der die verschiedenen Prozessschritte für die Herstellung eines Ersatzbrennstoffs aus GS (z.B. Erfassung, Transport, Zerkleinerung, Nachzerkleinerung, Trocknung u.a.) dargestellt und berücksichtigt werden.

Ein erheblicher Kostenfaktor bei der Aufbereitung des GS zur Herstellung eines Ersatzbrennstoffs stellt ein sachgerechter Aufbereitungs- und Lagerungsplatz dar [433]. Ist dieser bereits vor Ort gegeben oder kann dieser auf einer bestehenden Kompostierungsanlage integriert werden, fällt die Kostenstruktur deutlich günstiger aus [433].

Laut Hackländer et al. [85] ergeben sich für ein Heizwerk, das mit GS-Hackschnitzeln als Brennstoff betrieben wird, spezifische Gesamtkosten (Gestehungskosten) von ca. 10 ct/kWh.³⁰⁹

Die spezifischen Gesamtkosten (Gestehungskosten) setzen sich folgendermaßen zusammen [85]:

- verbrauchsgebundene Kosten ca. 4,3 ct/kWh
- betriebsgebundene Kosten ca. 2 ct/kWh
- investitionsgebundene Kosten ca. 3,8 ct/kWh (inklusive Nahwärmenetz)

Bei der Verwendung von GS zur Wärmeerzeugung entsteht ein vergleichbarer Wärmepreis wie bei der Verwendung von fossilen Brennstoffen (inklusive Betriebs- und Investitionskosten) [85]. Der Vorteil der Wärmeerzeugung auf der Basis von GS-Hackschnitzeln besteht darin, dass die in Zukunft zu erwartenden Preissteigerungen im Vergleich zu den fossilen Brennstoffen geringer ausfallen werden [85].

Unter der Annahme eines Umrechnungsfaktors von 3,33 kWh/kg für die Umrechnung von ct/kWh in Euro/Mg GS erhält man folgende Größenordnungen bezogen auf 1 Mg GS³¹⁰:

- verbrauchsgebundene Kosten ca. 143 Euro/Mg GS
- betriebsgebundene Kosten ca. 67 Euro/Mg GS
- investitionsgebundene Kosten ca. 127 Euro/Mg GS

Daraus ergeben sich spezifische Gesamtkosten bezogen auf 1 Mg GS von ca. 337 Euro.

Die *Absolutwerte* der verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten von Hackländer et al. [85] sind annähernd in Übereinstimmung mit den *prozentualen* Angaben in Bakowies [202]. Bei den investitionsgebundenen Kosten ergeben sich Unterschiede in den beiden Literaturquellen. Dies ist wahrscheinlich auf die Verwendung unterschiedlicher Abschreibungszeiträume und/oder Zinssätze zurückzuführen.

³⁰⁹Ein ähnlicher Wert - in der gleichen Größenordnung - konnte für die Verbrennung von Waldrestholz-Hackschnitzeln in einem Heizwerk mit einer thermischen Leistung mit ca. 500 kW von ca. 10-11 ct/kWh gefunden werden [434]. Hierbei wurde ein TS-Gehalt der Hackschnitzel von 50% (Wassergehalt 50%) verwendet. Im Vergleich zu Hackschnitzeln aus Waldrestholz ist bei GS-Hackschnitzeln mit den oben verwendeten Werten (TS-Gehalt von 50%) mit etwas höheren spezifischen Gesamtkosten zu rechnen, da z.B. für die Brennstoffzuführung oder die Kesselreinigung mit einem höheren Aufwand zu rechnen ist.

³¹⁰Als Umrechnungsfaktor wurde ein H_u von ca. 3,33 kWh/kg zugrunde gelegt.

Das hier dargelegte Beispiel stellt keine allgemein gültige Kostenstruktur dar. Zur Wirtschaftlichkeit der Nutzung von GS zur Verbrennung sind laut Bakowies [202] und Hackländer/Raussen/Bakowies [85] keine pauschalisierten Aussagen möglich. Nur durch eine genaue Kostenermittlung und -darstellung für ein konkretes Projekt kann eine Wirtschaftlichkeitsberechnung sinnvoll durchgeführt werden [85, 202].

A.9 Rechtliche Regelungen hinsichtlich der GS-Verwertung

Es gibt eine Vielzahl von rechtlichen Regelwerken, die auf die stoffliche und energetische Verwertung von GS Einfluss nehmen und diese steuern und begünstigen können. Tab. A.6 stellt einige rechtliche Regelungen mit deren vorrangigem Regelungsbereich für die stoffliche und/oder energetische Verwertung dar. Im Rahmen der Arbeit ist es nicht möglich auf alle Regelungen einzugehen. Zudem besteht nicht die Möglichkeit jedes einzelne Verwertungsverfahren und dessen rechtliche Regelung detailliert zu beschreiben. Im Folgenden werden die wichtigsten Regelwerke betrachtet und relevante Eckpunkte erläutert.³¹¹ Daher wird nur auf die in Tab. A.6 mit * gekennzeichneten Regelwerke genauer eingegangen.

In den letzten Jahren sind vor allem Regelungen implementiert worden, die verstärkt auf die energetische Verwertung von Biomasse (GS) Einfluss nehmen und für diese Verwertungsart finanzielle Anreize setzen. Dahinter steckt das politische Ziel, den Anteil der EE an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen [102] und das Klimaschutzziel von 40% Reduktionsminderung der THG-Emissionen bis 2020 zu erreichen.

Das zentrale Instrument zur Förderung der energetischen Verwertung von GS ist das EEG. Das Gesetz regelt die Vergütung von erzeugtem Strom aus holzartigem GS und anderen erneuerbaren Energieträgern. Durch die Vergütung des EEG werden finanzielle Anreize gesetzt. Hieraus können sich ökonomische Vorteile für die energetische Verwertung von GS ergeben.

³¹¹ Rechtliche Regelwerke unterliegen meistens einem sehr schnellen Wandel und besitzen häufig eine „kurze Lebenszeit“. Die im Folgenden vorgestellten Regelwerke können bereits innerhalb von wenigen Jahren nicht mehr geltend sein. Diese Tatsache begründet die Notwendigkeit, dass man sich vor einer aktuellen Anlagenplanung mit den aktuell gültigen Regelwerken beschäftigen muss.

Tabelle A.6: Überblick über einige rechtliche Regelwerke, die die stoffliche und/oder energetische GS-Verwertung tangieren

Regelwerk	Regelungsbereich	Anwendungsbereich
EEG* [44]	energetische Verwertung	Stromerzeugung
BiomasseV [43]	energetische Verwertung	Stromerzeugung
EEWärme-Gesetz* [435]	energetische Verwertung	Wärme- und Kälteerzeugung
Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung EE im Wärmemarkt (MAP) [436]	energetische Verwertung	Wärmeerzeugung
1. BImSchV bis 1 MW Feuerungswärmeleistung [437]	energetische Verwertung	Emissionsgrenzwerte
KWK-Gesetz [438]	energetische Verwertung	KWK-Erzeugung
Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) [439]	energetische Verwertung	Stromerzeugung aus flüssiger Biomasse
Biokraftstoff-Quotengesetz (BioKraftQuG) [440]	energetische Verwertung	Inverkehrbringen/Beimischung von Biokraftstoffen
KrW-/AbfG; zukünftig: KrWG [40, 78]	stoffliche und energetische Verwertung	GS als Bioabfall zur Verwertung
Düngemittelverordnung (DüMV)* [441]	stoffliche Verwertung	Inverkehrbringen von Düngemitteln
BioAbfV* [42]	stoffliche Verwertung	GS z.B. als Kompost zur stofflichen Verwertung auf Flächen

EEG 2012:

Das novellierte EEG [44], das seit 2012 gültig ist, unterscheidet sich von seinem Vorgänger dem EEG 2009 im Hinblick auf die energetische Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung erheblich. Während bis 2012 verschiedene Boni existierten (z.B. der „LaPflM-Bonus“), bestehen diese Boni mit dem neuen EEG 2012 nicht mehr.³¹² Die seit 2012 gültigen Vergütungssätze - für die in der Arbeit relevanten GS-Stoffströme - sind in Tab. A.7 zusammengestellt.

³¹²Die Clearingstelle EEG hat in einer 2008 veröffentlichten Empfehlung [442] die Definition für LaPflM näher geregelt. In der Stellungnahme schließt die Clearingstelle den GS aus der Garten- und Parkpflege, der als Abfall anfällt, ebenfalls zum LaPflM-Begriff mit ein [443]. Demnach wurde GS, der zur Stromerzeugung genutzt wurde, bis 2012 mit einem zusätzlichen Bonus nach dem EEG vergütet. Der Wegfall dieses Bonus seit 2012 verschlechtert die wirtschaftliche Situation für die energetische Verwertung von holzartigem GS zur Stromerzeugung [416].

Tabelle A.7: Vergütungssätze gemäß EEG 2012 für die Stromerzeugung aus GS als Biomasse und als Bioabfall

Bemessungsleistung [kW _{el}]	Vergütungssätze EEG 2012 [ct/kWh]	
	GS als Biomasse* ¹	GS als Bioabfall* ²
≤ 150	14,3	16
≤ 500	12,3	
≤ 5.000	11	14
≤ 20.000	6	

*¹ GS als Biomasse wird gemäß der Anlage 1 der BiomasseV [43] unter der Nr. 18 als GS aus der privaten und öffentlichen Garten- und Parkpflege geführt. In Verbindung mit dem EEG [44] erhalten die in der Anlage 1 aufgeführten Biomassearten lediglich eine Grundvergütung für die Stromerzeugung gemäß § 27 Abs. 1 EEG.

*² Die Vergütungssätze für GS als Bioabfall gelten für die Vergärung von Bioabfall gemäß § 27a EEG Abs. 1. Das Biogas muss zur anschließenden Stromerzeugung, aus durchschnittlich mindestens 90 Massen-% pro Kalenderjahr aus den getrennt erfassten Bioabfällen mit der Abfallschlüsselnummer 20 02 01, 20 03 01 und 20 03 02 der Nr. 1 des Anhangs der BioAbfV gewonnen worden sein. Nur dann besteht ein Anspruch auf die Vergütungssätze (Tab. A.7).

Der Vergütungsanspruch nach § 27 Abs. 1 EEG - für GS als Biomasse im Sinne der BiomasseV - besteht laut § 27 Abs. 4 Nr. 1 a) und b) in der genannten Höhe nur dann, wenn und solange mindestens 60% des erzeugten Stroms pro Kalenderjahr in einer Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird.³¹³ Hierbei wird die Wärme, die zur Beheizung des Fermenters eingesetzt wird, in Höhe von 25% des erzeugten Stroms angerechnet. Alternativ zur KWK besteht gemäß § 27 Abs. 4 Nr. 2 der Vergütungsanspruch nach § 27 Abs. 1 EEG auch dann, wenn durchschnittlich pro Kalenderjahr ein Anteil von mindestens 60 Massen-% Gülle zur Biogaserzeugung eingesetzt wird.

Zudem besteht gemäß § 27 Abs. 5 EEG der Vergütungsanspruch in der in § 27 Abs. 1 EEG genannten Höhe nur, wenn der Anlagenbetreiber eine Kopie eines Einsatzstoff-Tagebuches mit verschiedenen Angaben und Belegen führt. Näheres hierzu kann im § 27 Abs. 5 EEG [44] nachgelesen werden.

Für den GS der als Bioabfall zur Vergärung gemäß § 27a EEG zur Stromerzeugung verwertet wird, ist zu beachten, dass der Vergütungsanspruch laut § 27a Abs. 3 EEG nur besteht, wenn die Vergärungsanlage unmittelbar mit einer Einrichtung zur Nachrotte der festen Gärreste kombiniert ist und die nachgerotteten Gärreste stofflich - z.B. als Kompost - verwertet werden. Diese rechtliche Regelung fördert die Kombination der energetischen mit der stofflichen Verwertung. Zukünftig wird es

³¹³ Eine Ausnahmeregelung besteht nur bis zum Ende des ersten auf die erstmalige Stromerzeugung in der Anlage folgenden Kalenderjahrs mit 25% KWK-Anteil.

wahrscheinlich vorrangig Vergärungsanlagen gekoppelt mit einer Kompostierungsanlage geben. Nur dann ist der Anspruch auf die Vergütung nach dem § 27a Abs. 1 EEG für die Stromerzeugung gewährleistet.

Gemäß § 27a Abs. 4 EEG kann die Vergütung nach § 27a Abs. 1 nicht mit einer Vergütung nach § 27 EEG kombiniert werden.³¹⁴ Zudem gilt die Vergütung gemäß § 27a Abs. 1 EEG für Anlagen, die ab 01. Januar 2014 in Betrieb genommen werden, nur wenn die installierte Leistung der Anlage < 750 kW beträgt (§ 27a Abs. 2 EEG). Vergärungsanlagen mit einer installierten Leistung > 750 kW werden ab 2014 nicht mehr mit einer EEG-Vergütung gefördert.

EEWärme-Gesetz 2011:

Das EEWärmeG [435] ist am 01.01.2009 in Kraft getreten und wurde am 01.05.2011 novelliert. Es verfolgt gemäß § 1 Abs. 2 EEWärmeG als vorrangiges Ziel den Anteil der EE am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14% zu erhöhen. Der Anteil der EE am Wärmebedarf lag 2011 bei ca. 10,4% (Anhang A.1).

In dem Gesetz werden laut § 3 EEWärmeG Gebäudeeigentümer zu einer anteiligen Nutzungspflicht von EE zur Deckung ihres Wärme- und Kälteenergiebedarfs beim Neubau von Gebäuden, die unter den Geltungsbereich des § 4 des EEWärmeG fallen, verpflichtet. Generell gilt diese Nutzungspflicht nur für den Neubau von Wohn- und Nichtwohngebäuden, wobei öffentlichen Gebäuden eine Sonderstellung zukommt. Mit der Novellierung des EEWärmeG im Mai 2011 wurde für öffentliche Gebäude eine Sonderregelung eingeführt. Gemäß § 3 Abs. 2 und 3 müssen bereits bestehende öffentliche Gebäude, die grundlegend renoviert werden und im Besitz bzw. Eigentum der öffentlichen Hand sind, eine anteilige Deckung ihres Wärme- und Kälteenergiebedarfs aus EE sicherstellen. Diese Sonderregelung der öffentlichen Gebäude hat zum Ziel, die Rolle der Kommune als Vorreiter und Vorbild in der nationalen Klimaschutz- und Energiepolitik hervorzuheben [444].³¹⁵

Aus der anteiligen Nutzungspflicht für EE ergibt sich eine Möglichkeit die energetische Verwertung von GS zur Wärmeerzeugung einzubinden.

³¹⁴Die Führung eines Einsatzstoff-Tagebuchs mit verschiedenen Angaben und Belegen - zur Berechtigung eines Vergütungsanspruchs - gilt analog zum GS als Biomasse auch für den GS als Bioabfall. Die Vergütungssätze gemäß § 27 Abs. 1 und § 27a EEG verringern sich laut § 20 Abs. 2 Nr. 5 EEG ab dem 1. Januar 2013 jährlich um 2%.

³¹⁵Nähere Ausführungen zur Rolle und Bedeutung der Kommunen in der Klimaschutz- und Energiepolitik sind in Anhang A.2 zu finden.

Tab. A.8 zeigt die Deckungsraten von Biomasse (gasförmig, flüssig oder fest) am Wärme- und Kälteenergiebedarf (auch für GS gültig).³¹⁶ Diese Deckungsraten gelten für den Neubau von Gebäuden - Geltungsbereich des § 4 EEWärmeG beachten - und für die grundlegende Renovierung bereits bestehender öffentlicher Gebäude.

Tabelle A.8: Deckungsraten für die Nutzung von Biomasse (gasförmig, flüssig, fest) zur Erfüllung der Nutzungspflicht gemäß § 3 EEWärmeG für Neubauten und für die grundlegende Renovierung von öffentlichen Gebäuden [eigene Darstellung]

Nutzung von	Deckungsrate des Wärme- und Kälteenergiebedarfs		Anforderungen
	Neubau von Gebäuden nach § 5 EEWärmeG	Grundlegende Renovierung von öffentlichen Gebäuden nach § 5a EEWärmeG	
gasförmiger Biomasse:	$\geq 30\%$	$\geq 25\%$	*1
flüssiger Biomasse:	$\geq 50\%$	$\geq 15\%$	*2
fester Biomasse:	$\geq 50\%$	$\geq 15\%$	*3

*1 Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen oder Heizkessel nach bester verfügbarer Technik (BVT)

*2 Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien; Heizkessel nach BVT

*3 Einhaltung von Effizienzanforderungen

Ein interessanter Aspekt, der für die spätere Konkretisierung der optimierten GS-Verwertung für den LK Mainz-Bingen relevant sein könnte, ist die Tatsache, dass gemäß § 16 EEWärmeG Gemeinden und Gemeindeverbände von dem Anschluss- und Benutzungszwang an ein Netz der öffentlichen Fernwärme- oder Fernkälteversorgung aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes Gebrauch machen können. Der Anschluss an ein solches Fernwärme- bzw. Fernkältenetz gilt - sofern es überwiegend aus EE gespeist wird oder die Anforderungen gemäß Nr. VIII der Anlage zum EEWärmeG erfüllt - als Ersatzmaßnahme gemäß § 7 EEWärmeG für die anteilige Nutzungspflicht von EE. Laut AGFW [445] ist bei der Fernwärme bzw. -kälte die Nahwärme und -kälte immer mit eingeschlossen. Demnach gilt der Anschluss- und Benutzungszwang analog. Hieraus ergeben sich für eine Gemeinde, die sich das Ziel „Null-Emissions-Gemeinde“ gesetzt hat, gute Chancen und Möglichkeiten die privaten Haushalte auf eine (teilweise) regenerative Wärmebereitstellung umzu-

³¹⁶ Unter der Deckungsrate wird der Anteil der Biomasse zum Wärme- und Kälteenergiebedarf verstanden, der mindestens erforderlich ist, um die Nutzungspflicht des EEWärmeG zu erfüllen. Die Nichteinhaltung bzw. -Erfüllung der Deckungsrate wird laut § 17 EEWärmeG mit einer Geldbuße geahndet.

stellen. Diese Möglichkeit besteht nur für die Neubauten, denn die Altbauten sind bisher vom EEWärmeG ausgeschlossen (Ausnahme: öffentliche Gebäude, Erläuterung siehe oben).³¹⁷ [447, 448] Von Bedeutung für die Akzeptanz des o.g. Anschluss- und Benutzungszwang dürfte die Vorbildfunktion der Gemeinde selbst sein. Um die Glaubwürdigkeit der Gemeinde hinsichtlich ihres Engagements zum Klima- und Ressourcenschutzes zu bewahren, sollte die Gemeinde vorbildlich ihre eigenen Gebäude sowohl im Wärme- als auch im Strombereich zum größten Teil über EE versorgen.

Für die Forderung des EEWärmeG zur Nutzungspflicht eines Anteils an EE zum Wärme- und Kälteenergiebedarf besteht gemäß § 13 EEWärmeG eine Förderung. Die Art und Weise der Förderung ist in der Richtlinie zum Marktanreizprogramm (MAP) festgelegt [449]. Fördermittel werden durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gewährleistet.

Neben dem EEG und dem EEWärmeG gibt es eine Reihe weiterer Regelungen zur energetischen Verwertung von GS (Tab. A.6). Während rechtliche Regelwerke bestehen, die die energetische Verwertung von GS begünstigen, gibt es dahingegen keine rechtlich geregelte Förderung für die stoffliche Verwertung (z.B. Kompostierung von GS) [29, 54]. Im Folgenden wird kurz auf die BioAbfV und die DüMV eingegangen, die allerdings keine finanziellen Anreize zur stofflichen Verwertung bieten.

BioAbfV 2012:

Die BioAbfV [42] legt einen gesetzlich geregelten Rahmen fest, der eine schadlose Verwertung von Bioabfällen als Düngemittel, z.B. als Kompost, gewährleistet [51]. Die BioAbfV lenkt primär die stoffliche Verwertung von GS und muss beachtet werden.

Neben den Anforderungen an die Behandlung von GS gemäß § 3 der BioAbfV legt die BioAbfV in § 4 Grenzwerte für Schwermetalle fest (Anhang A.5), die - in Abhängigkeit von der Aufbringung und dem Zeitraum - von den Düngemitteln eingehalten werden müssen. Der bei der Vergärung von GS entstehende Gärrest, der anschließend einer Kompostierung zugeführt wird, unterliegt ebenfalls den Anforderungen der BioAbfV. Gleiches gilt für die Verwendung von Terra Preta z.B. als Düngemittel.

³¹⁷ Der Ausschluss von der Nutzungspflicht von EE zur anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarf in Altbauten kann langfristig nicht bestehen bleiben. Diese Erkenntnis ergibt sich daraus, dass auf den bestehenden Gebäudebereich nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)-Angaben rund 40% des deutschen Endenergieverbrauchs und rund ein Drittel der CO₂-Emissionen entfallen [446]. Die Altbauten müssen für die Erreichung der Klimaschutzziele langfristig gesehen verstärkt in die Pflicht genommen werden.

Eine spezielle Regelung, die die Kompostierung von GS betrifft, verlangt gemäß Anhang 1 Spalte 3 unter der Abfallschlüsselnummer 20 02 01 für GS, dass holzige Materialien so zu zerkleinern oder der Kompost so abzusieben ist, dass im Kompost keine stückigen Materialien über 40 mm (Siebmaschenweite) enthalten sind. Diese Regelung besagt, dass der holzartige GS im Kompostprodukt nur mit einer Korngröße < 40 mm vorliegen darf. Der holzartige GS mit einer Korngröße > 40 mm ist entweder vor dem Kompostierungsprozess abzutrennen oder nach dem Kompostierungsprozess abzusieben und anderweitig zu verwerten (z.B. energetisch zur Verbrennung).

DüMV 2009:

Die DüMV (vom 16. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2524), zuletzt geändert am 14. Dezember 2009 (BGBl. I S. 3905)) [441] spannt den gesetzlichen Rahmen für das Inverkehrbringen von Düngemitteln sowie Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Aufgrund dieser Tatsache tangiert die Verordnung daher vorrangig die stoffliche Verwertung von GS bzw. dessen Neben-/Endprodukte.

In der vorliegenden Arbeit ist die DüMV insbesondere für die Verwertung der anfallenden Aschen aus der Verbrennung von GS von Bedeutung. Für eine stoffliche Verwertung als Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel gemäß der Tab. 12 Nr. 14 der DüMV [450] kommen nur die Feuerraumaschen - Grob- oder Rostasche - aus der Monoverbrennung von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen (GS) in Frage, die mit ca. 60-90% der TS [90] den Hauptanteil der Aschefractionen ausmacht. Diese Asche darf im Endprodukt einen Anteil von maximal 50% einnehmen. Die Aschefraction aus der letzten filternden Einheit, z.B. dem Zyklonfilter (Zyklonflugasche bzw. Feinasche) oder dem Elektro-/Gewebefilter (Feinstflugasche) darf aufgrund ihres hohen Schadstoffgehaltes - vor allem hinsichtlich der Schwermetalle - nicht als Düngemittel verwendet werden und muss fachgerecht entsorgt werden [34].³¹⁸ Des Weiteren müssen die Aschen laut SMUL [451] und Schrägle [452] einem Düngemitteltyp nach Anlage 1 entsprechen. Die Einordnung zu einem bestimmten Düngemitteltyp ergibt sich durch die Erreichung von vorgegebenen Mindestgehalten an Düngemittel- und/oder Düngemittelkomponenten. Zudem muss die Asche die Einhaltung gewisser Grenzwerte (z.B. für Schwermetalle) gemäß Anlage 2 DüMV vorweisen.

³¹⁸Bei der Verbrennung von Biomasse sind in der Grob- und Zyklonflugasche durchschnittlich rund 80% bis 95% der gesamten durch den Brennstoff zugeführten Menge der Pflanzenhauptnährstoffe - außer N - enthalten. Dabei handelt es sich mit abnehmendem Mengenanteil um Ca, Mg, K und P.[90] Die Schwermetallkonzentrationen nehmen für fast alle umweltrelevanten Elemente (Zn, Pb, Cd, Hg) von der Grobasche bis hin zur Feinstflugasche deutlich zu. Cd und Zn stellen die beiden Problemschwermetalle in Aschen aus Biomassefeuerungen dar, die sich überwiegend in der Feinstflugasche anreichern.[90]

Es besteht die Option die Asche aus dem Feuerraum, die bei der Verbrennung von GS anfällt, sofern sie die Anforderungen der DüMV erfüllt, stofflich zu verwerten und die Nährstoffe zur Kreislaufschließung zurückzuführen.

Laut Heck [453] besteht jedoch derzeit kein Markt für die Abnahme der Holzaschen als Düngemittelbeimischung. Zur Entstehung eines Absatzmarktes könnte eine Gütesicherung, die zurzeit bearbeitet wird, ähnlich wie für Kompost beitragen [169].

A.10 Weitere Informationen zur klimaschutz-/energiepolitischen

Ausgangslage des LK Mainz-Bingen

Aktuelle Lage zum Energieverbrauch und zur Energieversorgung

Im Rahmen des „Null-Emissions-Projekts bzw. der Klimaschutz-Konzepterstellung“ von IfaS ergibt sich - aus den Ermittlungen zur IST-Situation - ein aktueller Gesamtenergieverbrauch von ca. 5,1 Mio. MWh/a im LK Mainz-Bingen [454]. Wie sich der von IfaS ermittelte Gesamtenergieverbrauch auf die einzelnen Bereiche wie Wärme, Strom und Verkehr aufteilt, ist in Abb. A.22 dargestellt.

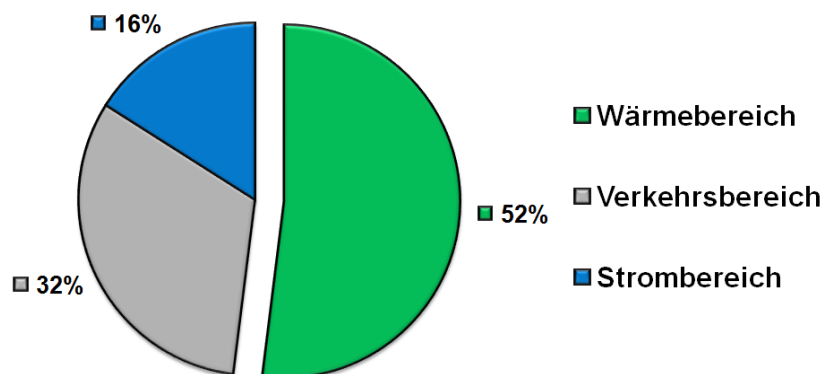


Abbildung A.22: *Prozentualer Anteil der einzelnen Bereiche - Wärme, Strom und Verkehr - am Gesamtenergieverbrauch im LK Mainz-Bingen; aktueller IST-Zustand [eigene Darstellung; Datengrundlage: [454]]*

Der Energieverbrauch im Strombereich liegt bei ca. 16%.³¹⁹ Die EE tragen zur Energiebereitstellung im Strombereich ca. 17% bei [454]. Die Biomasse, worauf der Schwerpunkt in der Arbeit liegt, hat hierbei einen Anteil von ca. 30%. Der Ver-

³¹⁹Der Energieverbrauch im Stromsektor wurde für den LK Mainz-Bingen von IfaS mit ca. 797.000 MWh/a ermittelt [454]. Unter energymap.info konnte ein deutlich höherer Wert von ca. 1,48 Mio. MWh/a für den aktuellen Stromverbrauch (22.02.2012) im LK Mainz-Bingen abgelesen werden. Diese große Differenz ergibt sich u.a. daraus, dass die unter energymap.info angegebenen Stromverbrauchswerte nach eigenen Angaben auf Schätzungen des durchschnittlichen Stromverbrauchs in Deutschland beruhen [130]. Die von IfaS ermittelten Werte zum Stromverbrauch sind laut IfaS [130] landkreisspezifischer und daher als genauer anzusehen.

Die Daten zum Gesamtenergieverbrauch stammen laut IfaS [130] aus dem Jahr 2010. Diese Daten werden als annähernd aktuell angesehen, da davon ausgegangen werden kann, dass sich der Energieverbrauch über 1-2 Jahre nicht wesentlich verändert.

kehrsbereich nimmt hingegen ca. 32% des Energieverbrauchs ein. Im Wärmebereich ist mit ca. 52% der höchste Energieverbrauch gegeben. Welchen Anteil die EE zur Energiebereitstellung in den beiden letztgenannten Bereichen einnehmen, ist derzeit nicht bekannt, wird aber soweit möglich im Rahmen der Konzepterstellung von IfaS ermittelt.

Eine Aufschlüsselung nach den verschiedenen Sektoren - private Haushalte, Verkehr, Industrie & Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie den kreiseigenen Liegenschaften - zeigt, dass vor allem im Bereich der privaten Haushalte ein hoher Energieverbrauch besteht. Dieser wird derzeit durch den dominierenden Anteil der Energieträger Erdgas und Heizöl gedeckt [454]. Da Erdgas und Heizöl zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, bietet vor allem der Wärmesektor bei den privaten Haushalten ein hohes Potenzial zur Einsparung des Gesamtenergieverbrauchs bzw. zur Substitution fossiler Energieträger durch EE im LK Mainz-Bingen.

Im Bereich der dezentralen Energieversorgung gibt es im LK Mainz-Bingen eine energiewirtschaftlich ausgerichtete Dienstleistungsgesellschaft, die EnergieDienstleistungsGesellschaft Rheinhessen-Nahe mbH (EDG mbH), die im Jahr 1998 gegründet wurde. Gesellschafter der EDG ist zu ca. 50% der LK Mainz-Bingen [455]. Die Wirtschaftsweise der EDG zeichnet sich durch „Contracting“ aus.³²⁰ Die EDG hat bereits mehrere Nahwärmenetze im LK Mainz-Bingen erfolgreich auf den Weg gebracht. Von den insgesamt 7 Nahwärmenetzen im LK werden 2 mit Holzhackschnitzeln (HHS) betrieben (Stand: 31.08.2011). Als HHS kommen zum größten Teil Waldrestholz und zu ca. 30% Landschaftspflegeholz zum Einsatz [457]. Des Weiteren hat die EDG zahlreiche BHKW, die größtenteils Erdgas als Brennstoff nutzen, für kommunale Liegenschaften vor allem für Schulgebäude zur Strom- und Wärmeerzeugung umgesetzt. Langfristig ist hierbei die Vision den Brennstoff Erdgas auf Biogas umzustellen, in dem Biogas auf der Grundlage von nachwachsenden Rohstoffen erzeugt wird [455]. Laut EDG mbH [457] besteht im Bereich der kommunalen Liegenschaften kein großes Potenzial zur Einbindung einer energetischen GS-Verwertung, z.B. analog zum RHK zur Wärmeversorgung von Schulgebäuden. Das Potenzial ist in diesem Bereich größtenteils ausgeschöpft. Große Potenziale sind im Bereich der privaten Haushalte gegeben [457]. Hier könnte z.B. ein Projekt zur Schaffung einer energieautarken Gemeinde initiiert werden, die ihren Strom- und Wärmeverbrauch bilanziell durch dezentrale GS-Anlagen deckt [457].

³²⁰Unter „Contracting“ versteht man in der Energiewirtschaft die Refinanzierung von kapitalintensiven Energieversorgungsanlagen mit höchsten Wirkungsgraden durch eingesparte Energiekosten nach dem Ersatz von Altanlagen [456].

Die Entwicklung der THG-Emissionen von 2010 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 ist in Abb. A.23 dargestellt.

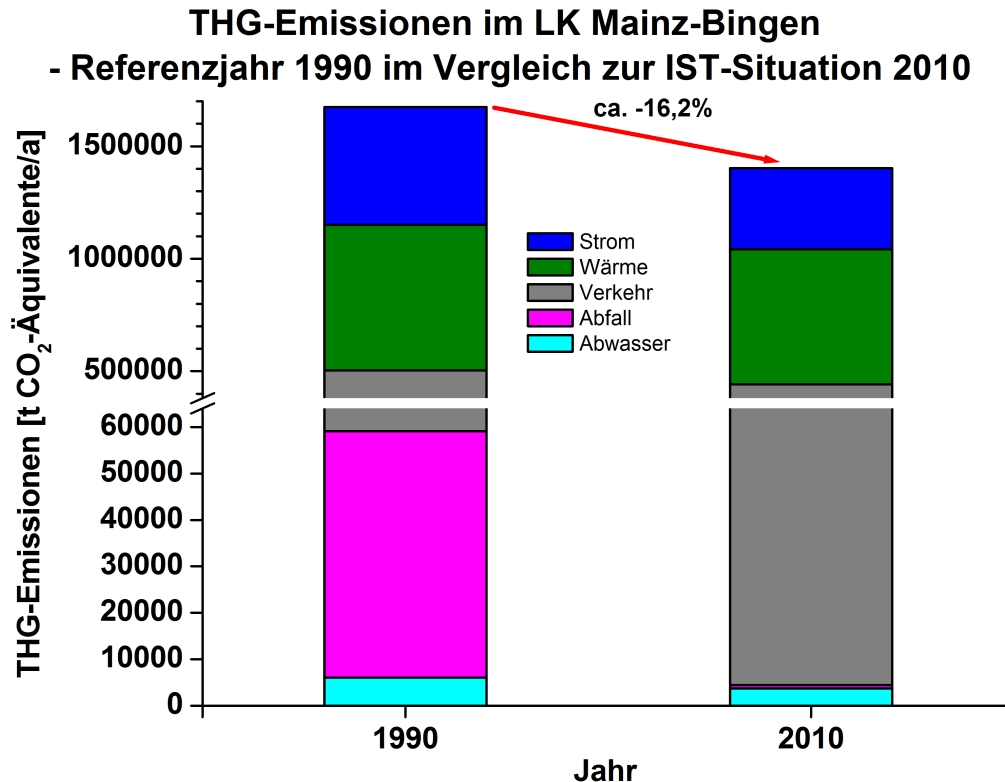


Abbildung A.23: Entwicklung der THG-Emissionen von 1990 im Vergleich zu 2010 (IST-Situation) im LK Mainz-Bingen [in Anlehnung an: [454]; Datengrundlage: [454]]

Die THG-Emissionen zeigen von 1990 bis 2010 insgesamt einen Rückgang von ca. 16,2% (1990: ca. 1,67 Mio. t CO₂-Äquivalente; 2010: ca. 1,4 Mio. t CO₂-Äquivalente) auf. In allen 5 Bereichen (Strom, Wärme, Verkehr, Abfall und Abwasser) ist ein mehr oder weniger starker Rückgang der THG-Emissionen zu verzeichnen. Im Strombereich ist dieser Rückgang auf den um ca. 34% gesunkenen THG-Emissionsfaktor zurückzuführen (THG-Faktor für Strom ca. 453 g/kWh im Jahr 2010 für den LK Mainz-Bingen [403]) [454].³²¹ Ein deutlicher Rückgang von ca. 50.000 t CO₂-Äquivalente im Jahr 1990 auf ca. 700 t CO₂-Äquivalente im Jahr 2010 konnte im Abfallbereich erzielt werden. Nach eigenen Einschätzungen ist diese massive Einsparung an Emissionen

³²¹Entgegen der Entwicklung des THG-Emissionsfaktors laut UBA [458], der von 1990 bis 2010 lediglich um 24% (von ca. 744 g/kWh auf 563 g/kWh) abgenommen hat, kommt IfaS zu einer Minderung des THG-Emissionsfaktors um 34%. Diese Differenz liegt laut IfaS [459] darin begründet, dass das Klimaschutzkonzept von IfaS und damit die Energieverbräuche bzw. die THG-Emissionen nach dem Territorialprinzip bilanziert werden. Nach diesem Prinzip werden Vorketten, die außerhalb des LK Mainz-Bingen ablaufen, nicht mit einbezogen [459]. Dagegen werden die vom UBA angegebenen Faktoren inklusive aller Vorketten über GEMIS berechnet, wodurch die Differenz der THG-Faktoren erklärt werden kann.

von knapp 99% vor allem auf das Deponierungsverbot von Restmüll ab Juni 2005 zurückzuführen. Dadurch konnten vermutlich auch im LK Mainz-Bingen erhebliche Mengen an Methan, das um ca. 21-fach klimawirksamer ist als CO₂ [105], reduziert werden.³²²

Abb. A.24 zeigt die jeweiligen Anteile der einzelnen Bereiche an den THG-Emissionen im Jahr 2010 auf.

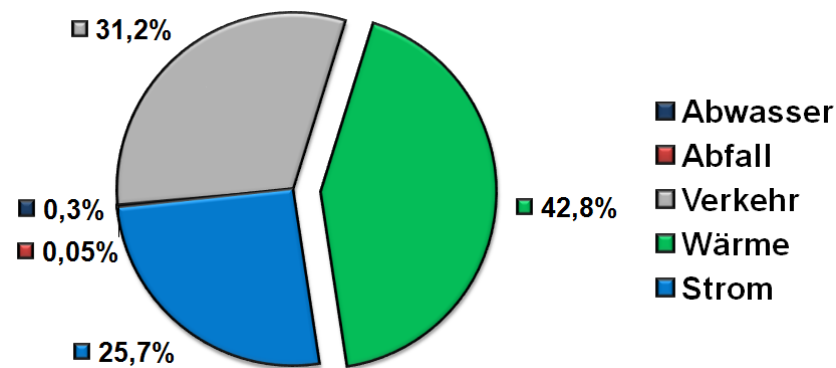


Abbildung A.24: Emissionsanteile der einzelnen Sektoren (differenziert nach Abwasser, Abfall, Verkehr, Wärme und Strom) [eigene Darstellung; Datengrundlage: [454]]

Aus Abb. A.24 ist erkennbar, dass im Wärmebereich das größte Potenzial zur THG-Minderung gegeben ist. Die energetische GS-Verwertung sollte deshalb primär im Bereich der Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

³²²Im LK Mainz-Bingen wurde der Restmüll nur bis 2003 auf der Kreismülldeponie in Sprendlingen im eigenen LK abgelagert. Seit 2004 wird der Restmüll des LK im Müllheizkraftwerk in Mainz energetisch zur Strom- und Fernwärmeerzeugung genutzt.[460]

A.11 GS-Fragebogen für die kreisangehörigen Kommunen



Fragebogen Grünschnittpotenziale in Gemeinden zum Projekt „Grünschnittverwertung im Landkreis Mainz-Bingen“

Den ausgefüllten Fragebogen senden Sie bitte entweder per Fax oder mit der Post an:

FAX: (06132) 787- 2174

POST-Anschrift: Kreisverwaltung Mainz-Bingen, UEBZ, z. Hd. Melanie Bohland, Georg-Rückert-Str. 11, 55218 Ingelheim am Rhein, Postfach 1355, 55206 Ingelheim am Rhein

Bei Rückfragen zum Fragebogen können Sie sich gerne unter der Telefonnummer **06132/787-2171** oder unter der E-Mail Adresse: **bohland.melanie@mainz-bingen.de** an uns wenden.

Hinweis: Sollte der vorgegebene Platz nicht ausreichen, nutzen Sie bitte die Rückseite oder ein weiteres Blatt.

Stadt/ VG/ Gemeinde	
Ansprechpartner	
Anschrift	
Telefon	
Fax	
E-Mail	

Begriffserläuterung

Grünschnitt

Grünschnitt fällt im kommunalen Bereich, z.B. bei der Pflege von öffentlichen Anlagen (z.B. Friedhöfen oder Parkanlagen) an und besteht aus holzartigen (Äste, Zweige, Stämme) und krautartigen (Wiesen- und Rasenschnittgut, Laub- und Nadelblätter) Bestandteilen.

1. Wird der in Ihrer Gemeinde anfallende Grünschnitt, der nicht über den AWB (Abfallwirtschaftsbetrieb im Landkreis Mainz-Bingen) entsorgt wird, gesammelt?

- ☐ Ja (bitte weiter mit Frage 2)
- ☐ Nein

Wenn Sie keinen Grünschnitt in Ihrer Gemeinde sammeln, erläutern Sie bitte kurz, warum Sie keinen Grünschnitt sammeln bzw. ob Sie Möglichkeit sehen, diesen zu sammeln und z.B. für eine energetische Nutzung abzugeben (fahren Sie bitte anschließend mit der Frage 9 fort).

Bitte beachten Sie, dass alle nachstehenden Fragen sich auf die Grünschnittmengen beziehen, die nicht über den AWB (Abfallwirtschaftsbetrieb im Landkreis Mainz-Bingen) entsorgt werden.

2. Welche Mengen an Grünschnitt fallen derzeit in Ihrer Gemeinde im Jahr an?	
	Menge (m³/a oder t/a)
Grünschnitt (Holz- und krautartige Anteile)	geschätzter Anteil der holzartigen Fraktion: _____ %

3. Wo wird der in Ihrer Gemeinde anfallende Grünschnitt gesammelt?
☐ eigener Sammelplatz in der Gemeinde ☐ sonstiges: _____

4. Wie gestalten Sie die Grünschnittsammlung in Ihrer Gemeinde?
☐ Holsystem (Beispielsweise Einsammlung von Weihnachtsbäumen usw.) ☐ Bringsystem ☐ Sonstiges: _____

5. Wie (z.B. Zerkleinerung, Siebung und Kompostherstellung) und durch wen (z. B. Gemein- demitarbeiter, Landwirte, externe Firmen...) erfolgen die nachstehenden Aufgaben?		
Grünschnittsammlung	Grünschnittaufbereitung	Grünschnittverwertung

6. Wie hoch sind die Kosten für die Grünschnittsammlung/-aufbereitung in Ihrer Gemeinde?
_____ Euro/m³ bzw. _____ Euro pro Jahr insgesamt
Bitte stellen Sie kurz dar, wie sich diese Kosten zusammensetzen (z.B. Verwaltungskosten oder Kosten für beauftragtes Unternehmen):

7. Von wem wird der Sammelplatz genutzt?		
☐ ausschließlich von der eigenen Kommune	☐ Gewerbe/Landwirtschaft	
☐ Bürger	☐ Nachbargemeinden	☐ sonstiges (bitte benennen)

8. Besteht in Ihrer Gemeinde die Bereitschaft den anfallenden Grünschnitt zukünftig für eine andere Nutzung (z.B. für eine energetische Verwertung durch Dritte) zur Verfügung zu stellen?
☐ Ja
☐ Nein

9. Sehen Sie Möglichkeiten, die Gesamtmenge des jährlichen Grünschnittanfalls in Ihrer Gemeinde zu steigern, bzw. wenn Sie noch keinen Grünschnitt sammeln, diesen zukünftig einzusammeln? (beispielsweise durch ein verändertes Sammelsystem und/oder durch Aufklärung der Bürger)
☐ Ja
☐ Nein
Erläutern Sie bitte kurz Ihre Vorstellungen:

10. Nennen Sie uns bitte in Schulnoten (1-5) für wie wichtig und sinnvoll Sie die Grünschnittverwertung halten und wie die Grünschnittverwertung aus Ihrer Sicht umgesetzt werden sollte?
☐ 1 (sehr wichtig) ☐ 2 (wichtig) ☐ 3 (egal/weiß nicht) ☐ 4 (unwichtig) ☐ 5 (sehr unwichtig)
Umsetzung der Grünschnittverwertung:

Vielen Dank für Ihre Zeit und Mitarbeit!

Ich erkläre mich hiermit einverstanden, dass die Daten ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden. Die Daten werden nach dem Datenschutzgesetz behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Die Daten werden nur anonymisiert dargestellt.	
_____	_____
Ort, Datum	Unterschrift

A.12 Optimierung der Sammel- und Transportlogistik

Da die heutige Abfallwirtschaft deutlich zentralere Strukturen als in den 1970er Jahre aufweist, ergeben sich **erheblich größere Transportentfernungen**, die zu einem **erhöhten Schadstoff- bzw. CO₂-Ausstoß** führen [461]. Häufig werden Abfälle nicht in nahe gelegenen Verwertungsanlagen verwertet, sondern über weite Strecken transportiert und dann verwertet. Durch eine **verstärkte regionale Verwertung des GS** – innerhalb des LK - können die **Transportwege reduziert werden** und dadurch ein Beitrag zum Klimaschutz sowie zur regionalen Wertschöpfung geleistet werden. Zudem sollte bei der Einsammlung der GS-Mengen von den Sammelstellen eine möglichst optimal aufeinander abgestimmte Fahrtstrecke, die sich an dem kürzesten Weg orientiert, an erster Stelle stehen. Im LK Mainz-Bingen wird die kürzeste und damit wirtschaftlichste Fahrtroute zur Einsammlung der GS-Mengen umgesetzt (Kap. 3.2.2). In diesem Zusammenhang ist die möglichst vollständige Auslastung der Transportmittel sowie die optimale Koordination der Einsammlung der GS-Mengen ein wesentlicher Aspekt für eine nachhaltige Transportlogistik [166].

Eine Schwierigkeit bei der Umsetzung der kürzesten Fahrtstrecke zur Einsammlung besteht darin, dass die GS-Mengen, die an den einzelnen Sammelstellen angeliefert werden, großen Schwankungen unterliegen und mit dem außerplanmäßigen Anfahren einer Sammelstelle gerechnet werden muss. Um die Flexibilität hinsichtlich aktueller Tourenänderungen **optimal planen und organisieren** zu können und hierbei möglichst die kürzeste Fahrtstrecke einzuhalten, können EDV-gestützte Tourenplanung und Fahrzeugauf/-einteilung zur Hilfe herangezogen werden.³²³

Der **Einsatz von veralteten Transport-/Sammelfahrzeugen** in der Abfallwirtschaft, die möglicherweise schon abgeschrieben sind, führt häufig zu einem günstigeren Angebot des Bieters bei einer Ausschreibung [151]. Im Hinblick auf eine nachhaltige Sammel- und Transportlogistik ist der Einsatz von veralteten Fahrzeugen negativ zu bewerten, da diese Fahrzeuge erhöhte Schadstoffemissionen aufweisen und den ökologischen Bereich der Nachhaltigkeit negativ tangieren.³²⁴ Demnach

³²³Eine Logistik-Software existiert von Optitool [462]. Mit Optitool kann die Transport-/Sammellogistik optimiert werden. Selbst bei aktuellen Tourenänderungen ist eine optimale Tourenplanung und Transportlogistik möglich. Damit kann die kostengünstigste und/oder kürzeste bzw. klimafreundlichste Fahrtroute für aktuelle Änderungen neu berechnet werden. Zudem können in der Software verschiedene Restriktionen, z.B. der Auslastungsgrad der Fahrer, mit eingebunden werden. Dadurch kann eine nachhaltige GS-Verwertungsstrategie erzielt werden.

³²⁴Dennoch sollten Fahrzeuge, die bisher nicht ausreichend genutzt wurden und nicht abgeschrieben sind, nicht einfach durch neue Fahrzeuge ersetzt werden. Dadurch wird die Kurzlebigkeit von Materialien – hier Fahrzeugen – verschärft, was negativ zur Steigerung der Wertschöpfungskette beiträgt. Zudem sind neue Fahrzeuge, durch die Herstellung bereits mit einem CO₂-Fußabdruck belegt und bereits negativ mit Klimabelastungen versehen.

sollten möglichst **nach dem Stand der Technik** Fahrzeuge zum Einsatz kommen, die sich durch einen vergleichsweise geringen Schadstoffausstoß auszeichnen. Bei der Anschaffung von Sammel- und Transportmitteln ist aus Gründen des Klimaschutzes besonders auf einen möglichst geringen CO₂-Ausstoß zu achten, der z.B. durch technische Vorteile, wie eine Start-Stopp-Automatik, eine verbesserte Aerodynamik der Fahrzeuge begünstigt wird. Zudem ist eine regelmäßige Kontrolle und Wartung der Einsatzfahrzeuge, z.B. hinsichtlich des Reifendrucks, für eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und damit des Schadstoffausstoßes entscheidend.

Der Kraftstoffverbrauch und damit die Umweltbelastungen, die durch die Sammlung und den Transport entstehen, werden wesentlich durch die **Fahrweise der Fahrer** beeinflusst [463]. Laut Sackmann [463] kann die **Schulung der Fahrer** hinsichtlich einer energiesparenden Fahrweise im Vergleich zu ungeschulten Fahrern eine Kraftstoffeinsparung zwischen 5% und 10% einbringen. Zudem kann eine solche Schulung die Motivation der Fahrer positiv fördern. Des Weiteren geht gut ausgebildetes Personal in der Regel schonender mit den Fahrzeugen um, was zusätzliche Kosteneinsparungen (Instandhaltungs-, Unfallkosten) zur Folge hat [463]. Unter sozialen Gesichtspunkten kann eine Schulung der Fahrer zur harmonischeren Fahrweise führen. Dies kann zu weniger Beschwerden von Seiten der Bürger beitragen.

Bezieht man unter dem Aspekt der Sammel- und Transportlogistik die Transportwege der GS-Mengen von den privaten Haushalten zur Sammelstelle mit ein, fallen auch über diese Transportkette Emissionen ins Gewicht. Zur Minimierung der Transportstrecken von den privaten Haushalte trägt die dezentrale Einrichtung und Ausweitung der Sammelstellen bei.³²⁵

³²⁵Die Ausweitung der Sammelstellen kann eine Steigerung der insgesamt anfallenden Transportkilometer der privaten Haushalten bewirken. Durch das ausgeweitete Angebot, ist es möglich, dass mehr GS in Bezug auf die GS-Mengen an den Sammelstellen abgegeben wird. Zudem kann auch die Anzahl der Bürger, die ihren GS abliefern, zunehmen.

Literatur

- [1] BAUR, FRANK (IZES GGMmbH) 2010: *Effiziente Nutzung von Biomasse – Reststoffe, Nutzungskonkurrenzen und Kaskadennutzung*. in: FVEE, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2010-2/th2010_12_01.pdf (20.02.2012).
- [2] BUND (HG.) 2010: *Energetische Nutzung von Biomasse*. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20101223_energie_position_biomasse.pdf (20.02.2012).
- [3] ELTROP, LUDGER 2011: *EEWärmeG 2013 – Impulse für die Nutzung von Bioenergie?* http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/images/veranstaltungen/biowaerme2011/eltrop_ier.pdf (10.02.2012).
- [4] CASSEL, SUSANNE 2011: *Der Weg in die Energie der Zukunft*. Zeitschrift „Unser Wald“, Zeitschrift der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald, 5. Ausgabe.
- [5] RHE - RHEIN-HUNSRÜCK ENTSORGUNG (HG.) 2010: *Praxistag stofflich-energetische Grünabfallnutzung im Rhein-Hunsrück-Kreis*. Fachtagung am 05.10.2010, 1. Auflage.
- [6] WBGU 2008: *Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*. http://www.bmbf.de/pubRD/wbgu_jg2008_kurz.pdf (10.02.2012).
- [7] BMU (HG.) 2010: *Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung*. http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/BiomasseaktionsplanNational-Anhang.pdf?__blob=publicationFile (16.02.2012).
- [8] KERN/RAUSSEN 2009: *Optimierte stoffliche und energetische Bioabfallverwertung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung IV. Stofflich – energetisch. Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel: K. Wiemer, M. Kern, http://www.abfallforum.de/downloads/ks21_kern_raussen.pdf (10.01.2012):349–369.
- [9] KERN, MICHAEL ET AL. 2009: *Biomassepotenzial von Bio- und Grünabfällen sowie Landschaftspflegematerialien*. in: Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse, Kern/Raussen und Apel (Hg.), Witzenhausen-Institut, 1. Auflage, Seiten 171–190.
- [10] SCHÜTTE, ANDREAS (FNR E.V.) 2010: *Energie für morgen – Chance für ländliche Räume*. Tagung „Wege zum Bioenergiedorf“ am 19. März 2010, Waren (Müritz), http://www.nachhaltigkeitsforum.de/pdf/2010_03_19-20_Wege_Bioenergiedorf_SCHUETTE.pdf (12.04.2012).
- [11] BAUR, FRANK ET AL. (IZES GGMmbH) 2011: *„Biomasse-Potenzialanalyse für das Saarland“ – Der Teilplan Biomasse zum Master-Plan Neue Energie*. Endbericht; Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr des Saarlandes; Auftragnehmer: IZES gGmbH – Institut für ZukunftsEnergieSysteme, http://www.izes.de/cms/upload/pdf/Biomassestudie_SL.pdf (14.04.2012):86.
- [12] PITSCHKE, THORSTEN ET AL. 2010: *Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen und Grüngut in Bayern*. Hg.: bifa Umweltinstitut GmbH; Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, bifa-Text Nr. 47, 3. Auflage.
- [13] KERN, MICHAEL ET AL. 2004: *Energiepotential für Bio- und Grünabfall*. http://abfallforum.de/downloads/Energiepotenzial_Bio_und_Gruenabfall_3_2004.pdf (20.02.2012):355–374.
- [14] IFAS 2012: *Treffen mit IFAS im Rahmen der Konzepterstellungphase am 02.11.2012*.

- [15] LEUPHANA UNIVERSITÄT LÜNEBURG 2011: *Forschung - Schwerpunkt Kreislaufwirtschaftsrecht*. <http://www.leuphana.de/professuren/energie-und-umweltrecht/forschung.html> (11.01.2012).
- [16] BMU JUNI 2012: *KrW-/AbfG - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz*. <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/doc/1954.php> (04.07.2012).
- [17] KEHRES, BERTRAM (BGK E.V.) 2011: „*Biokohle*“-Perspektiven werden überschätzt. in: Humuswirtschaft & Kompost 11/2011, www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Humuswirtschaft/Biokohle_HuK_11_11.pdf (08.03.2012).
- [18] SEHN, WINFRIED 2007: *Pyrolyse mit flammloser Oxidation kombinieren - Thermische Verwertung fester Bioenergieträger*. in: eBWK Bd. 59 (2007) Nr.10, www.springer-vdi-verlag.de/library/common/bwk/eBWK_10_2007_sehn.pdf (21.02.2012).
- [19] HUBER, THOMAS 2010: *Biokohle: Klimaschutz aus der Pyrolyse - Altbekanntes Pyrolyse-Verfahren mit neuer Technik und neuen Zielen*. in: LWF aktuell 77/2010, www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-aktuell/77-wald-forst-holz/Biokohle-Klimaschutz-aus-der-Pyrolyse.pdf (11.02.2012):24–25.
- [20] PIEPLOW, HAIKO (BMU, REFERAT ZG III 2) 2009: *Schließung von Stoffkreisläufen-Kohlenstoffkreislauf –Das Terra Preta Phänomen*. Dessau, 19./20. November 2009, http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/veranstaltungen/kohlenstoffkreislauf/08_pieplow_terrapreta.pdf (29.05.2012).
- [21] THRÄN/PONITKA (DBFZ) 2009: *Wie verändert die Energieversorgung die Zukunft der Landnutzung?* Fachvortrag, 4. Dresdener Landschaftskolloquium, www.ioer.de/fileadmin/internet/Oeffentlichkeitsarbeit/Veranstaltungen_2009_pdf/Thraen.pdf (11.04.2012).
- [22] BBE, 2011: *Den Wandel einleiten: Die neue Rolle der Bioenergie in der Stromversorgung - Vorschläge der BBE zur Novellierung des EEG 2012*.
- [23] MICHANICKL, ANDREAS 2007: *Entwicklungen beim Holzeinsatz in der Holzwerkstoffindustrie*. Fachvortrag auf der Tagung zum Thema „Rohholzmanagement in Deutschland“ Kongresszentrum Hannover 22./23.März 2007, www.kompetenznetz-holz.de/aktuelles/rohholzmanagement/vortraege/10_Referat_Michanickl.pdf (11.04.2012).
- [24] PONITKA/LENZ/THRÄN 2011: *Energetische Holznutzung - Aktuelle Entwicklungen vor dem Hintergrund von Klima- und Ressourcenschutz*. Forschungsreport 1/2011, www.bmelv-forschung.de/fileadmin/dam-uploads/ForschungsReport/FoRep2011-1/FoRe_1-11_6_EnergetischeHolznutzung.pdf:20–22.
- [25] MANTAU, UDO 2010: *Rohstoffknappheit und Holzmarkt*. in: Waldeigentum - Dimensionen und Perspektiven, Hg.: Depenheuer/Möhring, Springer-Verlag Heidelberg, Seiten 139–148.
- [26] WELLER, THYGE 2001: *Integration Erneuerbarer Energien in Gesellschaft, Markt und Politik*. in: Integration Erneuerbarer Energien in Versorgungsstrukturen, Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS), <http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2001/th2001.pdf#page=129> (11.08.2012):128–134.
- [27] BAUMANN/KUMMER OHNE JAHR: *Energetische Verwertung von Landschaftspflegeabfällen*. http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/das_hlug/jahresbericht/2009/jb2009_083-086_I1_Kummer.pdf (22.02.2012):83–86.

- [28] LUBW (HG.) 2010: *Bio- und Grünabfälle - Optimierung der Erfassung und Verwertung von Bio- und Grünabfällen in Baden-Württemberg*. http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/66390/bio_und_gruenabfaelle.pdf?command=downloadContent&filename=bio_und_gruenabfaelle.pdf (20.01.2012).
- [29] KRANERT, MARTIN ET AL. 2008: *Grünabfälle - besser kompostieren oder energetisch verwerten? - Vergleich unter den Aspekten der CO₂-Bilanz und der Torfsubstitution*. Im Auftrag der Entsorgungsgemeinschaft der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (EdDE), Köln, Nr. 11.
- [30] BAUERSCHLAG, NILS ET AL. 2009: *Anforderungen an die Aufbereitung von Grünabfällen und holzigen Abfällen für die energetische Verwertung*. in: *Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse*, Hg.: Kern und Raussen, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, 1.Auflage, Seiten 119–128.
- [31] LOTTNER/KRUIS 2002: *Grüngut zwischen Abfallvermeidung und -verwertung*. im: Tagungsband - Abfallvermeidung und -verwertung bei der Landschafts- und Gartenpflege 01./02.Okttober 2002, Augsburg, [http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/389C394E1FF48457C1256EC8002A9921/\\$file/gruengut.pdf](http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/389C394E1FF48457C1256EC8002A9921/$file/gruengut.pdf) (15.02.2012):2–13.
- [32] UNTERBERG, LEONHARD 2010: *Bewirtschaftung von Grünabfallplätzen im Spannungsfeld von stofflicher und energetischer Nutzung*. in: *Praxis der Verwertung von Biomasse aus Abfällen*, Witzenhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis, Hg.: Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T., 1. Auflage.
- [33] SCHÜTT, BRODER 2011: *Grünabfall- und Schnittholzverwertung in Schleswig-Holstein unter Klimaschutzaspekten*. im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/Abfall/05_Siedlungsabfaelle/09_Gruenabfaelle/PDF/Gruenabfall_Studie__blob=publicationFile.pdf (05.01.2012)).
- [34] BMU (HG.) 2003: *Nutzung von Biomasse in Kommunen - Ein Leitfaden*.
- [35] HECK, PETER ET AL. 2007: *Studie zur Untersuchung alternativer Verwertungsmöglichkeiten von Grünschnitt in Rheinland-Pfalz*. unveröffentlicht, Birkenfeld.
- [36] IZES GGMBH OHNE JAHR: *Kapitel 2: Energiekonzept 2020 für St. Ingbert*. Endbericht, http://www.sw-igb.de/pk/service/pdf/energiestudie_kapitel2_igb2020.pdf (25.01.2012).
- [37] HECK, PETER ET AL. 2004: *Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse in Rheinland-Pfalz*. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Abschlussbericht, http://www.mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/abfall/Siedlungsabfallwirtschaft/Abfallentsorgung/Biomasse/Biomassestudie_Abschlussbericht.pdf (11.01.2012).
- [38] WOLFF, FOLKE 2005: *Biomasse in Baden-Württemberg - ein Beitrag zur wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Holz als Energieträger*. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universitätsverlag Karlsruhe.
- [39] BUNDESREGIERUNG 2006: *Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)*. 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1619) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/avv/gesamt.pdf> (13.02.2012).
- [40] BUNDESREGIERUNG 2011: *Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts*. Gesetzentwurf der Bundesregierung, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/kwrg_bf.pdf (02.01.2012).

- [41] BUNDESREGIERUNG 2010: *Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV)*. Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1504) geändert, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bioabfv/gesamt.pdf> (05.01.2012).
- [42] BMU 2012: *Textfassung Novellierung BioAbfV; hier: Änderungsverordnung - Entwurf - Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung, der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung und der Düngemittelverordnung*. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bioabfv_aendvo.pdf (20.02.2012).
- [43] BUNDESREGIERUNG 2011: *Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV)*. Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 10 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biomassev/gesamt.pdf> (15.02.2012).
- [44] BUNDESREGIERUNG 2011: *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)*. Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), durch Artikel 2 Absatz 69 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert, http://www.clearingstelle-eeg.de/files/EEG2012_juris_111111_0.pdf (25.02.2012).
- [45] KIRSCH, ANDREAS (BGK E.V.) 2011: *Garten- und Parkabfälle sind kein Landschaftspflegematerial*. in: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 07/2011, http://www.kompost.de/uploads/media/Garten_und_Parkabfaelle_sind_kein_Landschaftspflegematerial_07_11.pdf (10.04.2012):6.
- [46] FIEDLER/EPP/PIGAHT 2005: *Neue Energien für Achantal und Leukental - Potentialabschätzung und Leitvision für eine Musterregion für die Nutzung lokaler Energiequellen im ländlichen Raum*. Im Rahmen des EU Projektes RES - Integration; Gefördert durch die Europäische Kommission im 6. Forschungsrahmenprogramm.
- [47] MEYER, DANIEL 2009: *Optimale Nutzung heizwertreicher Fraktionen in der Kompostierung - Eine Betrachtung nach energetischen und ökologischen Gesichtspunkten* -. Masterarbeit, BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Abfallwirtschaft, <http://www.lupus78.de/projekte/uni/HeizwertreicheFraktionen.pdf> (11.02.2012).
- [48] KERN, MICHAEL ET AL. 2010: *Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz*. UBA-FB 001295; Im Auftrag des UBA (Hg.), Dessau-Roßlau, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4010.pdf> (07.01.2012).
- [49] BMU/UBA (HG.) 2009: *Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen - Anregungen für kommunale Entscheidungsträger*. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3888.pdf> (08.01.2012).
- [50] HECK, PETER ET AL. 2008: *Biomasse-Masterplan für den Landkreis Mayen-Koblenz - Wirtschaftsförderung durch eine Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse*. Abschlussbericht, <http://www.wfg-myk.de/images/Dokumente/Biomasse-Masterplan.pdf> (03.01.2012).
- [51] WITZENHAUSEN-INSTITUT 2008: *Optimierung der biologischen Abfallbehandlung in Hessen*. Auftraggeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/abfall/Abfallbehandlung_Hessen.pdf (08.02.2012).
- [52] WITZENHAUSEN-INSTITUT 2008: *Stoffstrommanagement-Strategie Rheinland-Pfalz, Teilstrategie B: Abfall- und Ressourcenwirtschaft*.

- [53] HAMS/BECKER/MROTZEK 2009: „Ressourcen- und Klimaschutz in der Siedlungsabfallwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen“. in: Müll und Abfall – Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcenwirtschaft, Seiten 237–245.
- [54] GOTTSCHALL ET AL. 2008: *Ökologischer und ökonomischer Vergleich der stofflichen und energetischen Nutzung von Grünabfällen*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III; Wiemer K. und Kern M. (Hg.), Seite 459–470.
- [55] PONTILLI, KERSTIN 2002: *Kompost und dessen Qualitätssicherung in der Steiermark*. Bericht, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft, [http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10213592_4334719/c15971e5/Kompost\(07.01.2012\)](http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10213592_4334719/c15971e5/Kompost(07.01.2012).).
- [56] CORD-LANDWEHR/KRANERT (HG.) 2010: *Einführung in die Abfallwirtschaft*. 4. vollständig aktualisierte und erweiterte Auflage, Teubner B.G. GmbH Wiesbaden u.a.
- [57] BALMER, HANS 2007: *Stickstoff-Kohlenstoff in Holzhäckseln (Düngung)*. in: Kompost-Forum Schweiz, http://www.kompost.ch/fragen_antworten/board_entry.php?id=435&page=0&order=time&category=all (17.02.2012).
- [58] BAUR/HAAS 2002: *Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland, Teil 1: Herleitung von Biomasse – Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen*. Abschlussbericht, <http://www.izes.de/cms/upload/pdf/biomasse1.pdf> (20.01.2012).
- [59] FNR (HG.) 2006: *Handreichung - Biogasgewinnung und -nutzung*. 3., überarbeitete Auflage, Gülzow, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Biogasgewinnung_und_-nutzung.pdf (11.01.2012).
- [60] HECK/HOFFMANN (HG.) OHNE JAHR: *Anleitung zur energetischen Nutzung von Biomasse*. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, http://www.mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/abfall/Siedlungsabfallwirtschaft/Abfallentsorgung/Biomasse/Biomassestudie_Handbuch.pdf (07.01.2012).
- [61] ARLT, ANDREAS 2003: *Systemanalytischer Vergleich zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus biogenen Abfällen am Beispiel von kommunalem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall*. Dissertation, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, <http://www.its.fzk.de/deu/lit/2003/arlt03a.pdf> (03.02.2012).
- [62] MAIRITSCH, KARIN 2011: *Über die Erschließung des Potenzials biogener Haushaltsabfälle und Grünschnitt zum Zwecke der Verwertung in einer Biogasanlage zur optimierten energetischen und stofflichen Verwertung*. Studie.
- [63] KEHRES, BERTRAM ET AL. 2010: *Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase*. 1. Auflage, http://www.kompost.de/uploads/media/6.4_1_Kompostierungsanlagen_geringe_Emission_internet.pdf (12.01.2012).
- [64] WITZENHAUSEN-INSTITUT 2010: *Erschließung von energetischen Grünschnittpotenzialen im Landkreis Cochem-Zell*. Abschlussbericht, Auftraggeber: Kreisverwaltung Cochem-Zell, [http://www.cochem-zell.de/kv_cochem_zell/Leben\(11.01.2012\)](http://www.cochem-zell.de/kv_cochem_zell/Leben(11.01.2012)).
- [65] KEHRES, BERTRAM 2011: *Optimierung der Verwertung von Grünabfällen - Fehlsteuerungen korrigieren* -. Konferenz zur energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial am 1. und 2. März 2011 in Berlin, http://www.energetischebiomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Tagungen/1.1_Kehres.pdf (15.02.2012).
- [66] ÖWAV 2002: *Fachliche Grundlagen zur wasserrechtlichen Stickstoffbewertung der Kompostdüngung*. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/landwirtschaft/Duengereinsatz/AB_Kompost-N_14_06_02.pdf (12.04.2012).

- [67] KERN, MICHAEL ET AL. 2009: *Nutzung von Biomasse in Berlin*. Endbericht-Kurzfassung, Auftraggeber: Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Witzenhhausen, Berlin, [http://www.berliner-energetage.de/fileadmin/Redaktion/Berliner\(03.01.2012\)](http://www.berliner-energetage.de/fileadmin/Redaktion/Berliner(03.01.2012)).
- [68] SCHMIDT/KEHRES 2009: *Positive Energiebilanz durch differenzierte Verwertung*. in: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 09/2009, http://www.kompost.de/uploads/media/Positive_Energiebilanz_durch__differenzierte_Verwertung_HUK_9_09.pdf (09.01.2012):5–6.
- [69] PROJECTS ENERGY GMBH 2009: *Studie zum Biomassepotential in der Freien und Hansestadt Hamburg*. Auftraggeber: Landwirtschaftskammer Hamburg, <http://klima.hamburg.de/contentblob/2007580/data/biomassestudie.pdf> (09.01.2012).
- [70] WIEGMANN, KIRSTEN ET AL. 2007: *Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich?* Endbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, http://www.oeko.de/service/naturschutz/Dateien/oeko_zb_bio_naturschutz_gek.pdf (06.01.2012).
- [71] BGK E.V. OHNE JAHR: *C/N-Verhältnis, Im Kompostwerk - Intensivrotte, Kompostprodukte, Ausgangsstoffe*. <http://www.kompost.de> (17.03.2012).
- [72] GENESYS BIOGAS AG OHNE JAHR: *Genesys-Merkblatt M101*. <http://www.axpo-genesys.ch/files/artikel/135/m101.pdf> (13.02.2012).
- [73] SWISS ENGINEERING STZ 2009: *Gras effizient trocknen*. Umwelttechnik_Effizienzsteigerung, <http://www.swissengineering-stz.ch/pdf/stz0620093393.pdf> (22.02.2012):30–31.
- [74] FNR (HG.) 2007: *Bioenergie*. http://mediathek.fnr.de/downloadable/download/sample/sample_id/232/ (19.02.2012).
- [75] KRANERT/CLAUSS (ISWA) 2010: *Biologische Abfallverwertung - ein Beitrag zum Klimaschutz?* 17. Kolloquium Altlasten und Abfall aktuell, TU Dresden, 9.Dezember 2010.
- [76] PETERSEN, FRANK 2010: *Die Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes – Eckpunkte*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, K. Wiemer und M. Kern (Hg.), 1.Auflage.
- [77] REISINGER/KRAMMER 2007: *WEISSBUCH Abfallvermeidung und -verwertung in Österreich*. Report, Bd. REP-0083, Umweltbundesamt, Wien., <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0083.pdf> (10.03.2012).
- [78] BUNDESREGIERUNG 2011: *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG)*. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 5 G v. 6.10.2011 I 1986, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krw-_abfg/gesamt.pdf (12.03.2012).
- [79] BERGS, CLAUS-GERHARD 2010: *Konsequenzen aus der Novellierung von Kreislaufwirtschaftsgesetz und Bioabfallverordnung für die Praxis der Erfassung und Verwertung von Bioabfällen*. in: Praxis der Verwertung von Biomasse aus Abfällen, Witzenhhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis, Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T. (Hg.), 1. Auflage.
- [80] KEHRES, BERTRAM (BGK E.V.) 2010: *Novelle des KrW-/AbfG wird konkret*. Humuswirtschaft & Kompost aktuell 03/10, http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Recht/Novelle_03_10_9.pdf (14.03.2012).

- [81] KEHRES, BERTRAM 2009: *Empfehlungsverfahren 2008/48 der Clearingstelle EEG - Konkretisierung der Stoffgruppe „Pflanzen und Pflanzenbestandteile die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen“*. Position der BGK, http://www.kompost.de/uploads/media/Position_BGK_Empfehlung_Clearingstelle_Landschaftspflegeabfaelle.pdf (08.03.2012).
- [82] SCHNEIDER, THEO (RESSOURCE ABFALL GMBH) 2011: *Kurzstatement im Namen des VKU - Spannungsfeld Kommunale Reststoffe - Landschaftspflegematerial und Bioabfall*. Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“ am 1. und 2. März 2011, Berlin, http://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Tagungen/1.5._Schneider_Kurzstatement_2011-03-01_LPM-vs-Bioabfall-final.pdf (09.05.2012).
- [83] BUNDESREGIERUNG 2008: *Für ein nachhaltiges Deutschland*. Zusammenfassung, Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, <http://www.nachhaltigkeit.info/media/1244547643phptC11XH.pdf> (01.06.2012).
- [84] PIEFLOW, HAIKO (BMU, REFERAT ZG III 2) 2010: *Biokohle zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft - Das Terra Preta Phänomen*. Tagung der AG Biofestbrennstoffe Biokohle aus hydrothormaler Karbonisierung, http://eti-brandenburg.de/fileadmin/eti_upload/downloads2010/Biokohle_12.04.2010/Pieplow_ETI_12.04.10.pdf (27.05.2012).
- [85] HACKLÄNDER/RAUSSEN/BAKOWIES 2010: *Bau und Inbetriebnahme eines kommunalen Heizwerkes für Brennstoffe aus Grünabfällen*. http://www.abfallforum.de/downloads/Biomasseforum_2010_Hacklaender.pdf (07.11.2011):241–250.
- [86] SCHÄFER, VOLKMAR 2010: *Biomassetechniken für Kommunen - ein Überblick über feste Biomassennutzung* -. 2. Kongress „100% Erneuerbare Energien“ – Forum F2 „Neue Biomasse-Technologien für Kommunen“, http://www.100-ee-kongress.de/fileadmin/content/downloads/F2_Biomasse/100929_eta_Biomassetechniken_fuer_Kommunen.pdf (10.05.2012).
- [87] SRU 2007: *Klimaschutz durch Biomasse*. Sondergutachten, Erich Schmidt Verlag (ESV), http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/467474/publicationFile/34339/2007_SG_Biomasse_Buch.pdf (15.02.2012).
- [88] MERK, MARTIN 2011: *Bioenergie: Traditioneller Energieträger im Wandel - Trends und Herausforderungen im Bereich der biogenen Festbrennstoffe*. VDMA Zukunftsforum Maschinenbau 3.3.2011 Leipzig – Forum C, http://www.zukunft-maschinenbau.de/set/1119/Vortrag_Merk_Martin.pdf (11.05.2012).
- [89] THRÄN, DANIELA ET AL. 2009: *Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse*. FKZ: 03MAP138, Zwischenbericht „Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse 2008“.
- [90] KALTSCHMITT/HARTMANN/HOFBAUER (HG.) 2009: *Energie aus Biomasse- Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [91] SOLARPRAXIS AG (HG.) 2012: *Multitalent Biogas 2012 - Neue Chancen für Landwirtschaft, Industrie und Umwelt*. dritte, vollständig überarbeitete Auflage.
- [92] FNR (HG.) 2007: *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*. 3. Auflage, http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/leitfaden/leitfaden_bioenergie.pdf (22.12.2011).
- [93] WITT, JANET ET AL. 2011: *Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse*. FZK: 03MAP138, Zwischenbericht.

- [94] KERN/RAUSSEN 2010: *Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung*. http://www.abfallforum.de/downloads/Biomasseforum_2010_Kern.pdf (10.01.2012):43–53.
- [95] ROTH, JÜRGEN 2010: *Veränderung der Energiebilanz und Kompostqualität durch Vorschaltung einer Vergärungsanlage*. http://rhein.kicms.de/awb/easyCMS/FileManager/Dateien/Entsorgungsanlagen/Kompostierung/Vortraege_Roth/2010_Kassel_Veraenderung_der_Energiebilanz (12.06.2012).
- [96] BIDLINGMAIER, W. ET AL. 2012: *Energieeffizienz und CO₂-eq-Bilanz von biologischen Verfahren zur Verwertung von Bioabfällen*. EdDE-Dokumentation 14, <http://www.entsorgungsgemeinschaft.de/fileadmin/docs/Dokumentationen/EdDE-Doku-14.pdf> (20.06.2012).
- [97] KERN, MICHAEL ET AL. 2008: *Vergleichende Bewertung der stofflichen und energetischen Verwertung von Bio- und Grünabfall*. in: Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung II; Hg.: Kern/Rausсен/Wagner, http://www.abfallforum.de/downloads/biomasse_2008_kern.pdf (10.02.2012):35–52.
- [98] KERN, MICHAEL 2008: *Integriertes Stoffstrommanagement für Bio- und Grünabfälle in Hessen*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III, K. Wiemer, M. Kern, 1. Auflage, Witzenhausen-Institut, Seiten 431–446.
- [99] SIEBERT, STEFANIE (BGK E.V.) 2010: *Integration der Vergärung in bestehende Kompostierungsanlagen*. in: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 05, http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Abfallwirtschaft/Integration_der_Vergaerung_in_bestehende_Kompostierungsanlagen_HUK5_10.pdf (07.06.2012):4–6.
- [100] RAUSSEN/KERN/OLDHAFFER 2009: *Vorschaltanlagen für die Bioabfallverwertung*. Resource 3, http://www.abfallforum.de/downloads/raussen_vorschaltanlagen_resource_2_2009.pdf (16.05.2012):20–27.
- [101] LOOTSMA/RAUSSEN 2008: *Aktuelle Verfahren zur Aufbereitung und Verwertung von Gärresten*. 20. Kasseler Abfallforum, http://www.witzenhauseninstitut.de/downloads/ks_20_lootsma.pdf (07.03.2012).
- [102] ARNOLD, KARIN ET AL. 2009: *Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasse – Potentiale, Entwicklungen und Chancen einer integrierten Strategie zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse*. Wuppertal Report Nr.5, http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/wr5.pdf (11.02.2012).
- [103] VOGT, REGINE 2009: *Bewertung von energetischer und stofflicher Nutzung von Biomasse sowie Kombinationen*. in: Biomasse aus Abfällen - Gibt es ein optimales Stoffstrommanagement? Tagungsband LANUV-Fachbericht 18, Hg. LANUV NRW, <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe18/fabe18.pdf> (10.02.2012):19–24.
- [104] DEHOUST, GÜNTER ET AL. 2008: *Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes*. www.hamburg.de/contentblob/843870/data/gutachten-klima.pdf (11.02.2012).
- [105] VOGT, REGINE ET AL. 2008: *Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogasproduktion und -nutzung in Deutschland*. Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Projektträger: Forschungszentrum Jülich, F&E-Vorhaben, FKZ: 0327544, Endbericht mit Materialband, Heidelberg, Leipzig, Berlin, Darmstadt, <http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt>(10.02.2012).

- [106] CUHLS/MÄHL/CLEMENS 2011: *Treibhausgas-Emissionen aus Biogasanlagen*. in: UmweltMagazin Januar, Rubrik: Technik & Management - Luft, http://www.gewitra.de/index-Dateien/gewitra_emissionen_umweltmag2011.pdf (11.02.2012):44–45.
- [107] GALLENKEMPER, BERNHARD ET AL. 2008: *Ressourcen- und Klimaschutz in der Siedlungsabfallwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen - Zukünftige Potenziale und Entwicklungen*. Hg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/munlv_klimaschutz_endbericht.pdf (10.01.2012).
- [108] KEHRES/REINHOLD 2012: *Klima- contra Ressourcenschutz?* in: Humuswirtschaft & Kompost 03, <http://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/HuK-3-2012.pdf> (10.05.2012):1–3.
- [109] ICU 2011: *Studie: Hochwertige und klimaschonende Verwertung von Mähgut und Laub im Land Berlin*. Endbericht, im Auftrag von: Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz - Referat Abfallwirtschaft.
- [110] KEHRES, BERTRAM (BGK E.V.) 2012: *Energieeffizienz und CO₂-Bilanz von Kompostierungsanlagen*. Humuswirtschaft & Kompost aktuell 06, http://www.kompost.de/uploads/media/EDDE_Dokumentation_HUK_06_2012.pdf (16.06.2012):1–3.
- [111] KEHRES, BERTRAM (BGK E.V.) 2009: *NRW-Studie zum Ressourcen- und Klimaschutz der Siedlungsabfallwirtschaft*. in: Humuswirtschaft & Kompost 01/2009, http://www.kompost.de/uploads/media/NRWStudiezum_Ressourcen_und_Klimaschutz_HUK_1_09_S.51.pdf (28.06.2012).
- [112] OHNE AUTOR/IN 2007: *Gründe zur Beibehaltung der Kompostierung*. in: Humuswirtschaft & Kompost 02, http://www.kompost.de/uploads/media/2_2007_123.pdf (13.05.2012).
- [113] MÜSKEN + PARTNER (BERATENDE INGENIEURE FÜR ABFALLWIRTSCHAFT) 2010: *Klimarelevanz und Energieeinsparung bei der Kompostierung*. <http://www.muesken-partner.de/image/Energieeffizienz%20Kompostierung.pdf> (07.01.2012).
- [114] ZEIFANG, MARKUS 2007: *Allgemeine Aspekte der Integration einer Vergärung in eine Kompostierung*. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.; Humustag 2007, http://www.kompost.de/uploads/media/Vortrag-Zeifang_01.pdf (08.07.2012).
- [115] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Lage des Landkreises Mainz-Bingen in Rheinland-Pfalz*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Rhineland-Palatinate_MZ_%28rural%29.svg/300px-Rhineland-Palatinate_MZ_%28rural%29.svg.png (10.04.2012).
- [116] STATISTISCHES LANDESAMT RLP (HG.) 2011: *Bevölkerungsvorgänge 2010*. Statistische Berichte 2011, ISSN: 1430-5054, Seite 17.
- [117] KOMMWIS (STAND: 04.01.2012): *Bestandsstatistik*. Stichtag: 31.12.2011, <http://www.kommwis.de/kommwis/Dokumente/Statistiken/Bestandsstatistik/> (19.04.2012).
- [118] BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) 2011: *Raumabgrenzungen und Raumtypen des BBSR*. Analysen Bau.Stadt.Raum Band 6, Seite 50ff.
- [119] MILBERT, ANTONIA (BBSR) 2012: *Emailkontakt am 15.03.2012 mit Frau Antonia Milbert vom BBSR*.

- [120] BERRES, JÖRG OHNE JAHR: *Die demographische Entwicklung im LK Mainz-Bingen - Herausforderungen und Perspektiven.* Vortrag, Präsident des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, http://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/demografie/vortraege/archiv/2005/Vortrag_LK_Mainz-Bingen_2005-07-20.pdf (06.05.2012).
- [121] DICK/WOLTER 2010: *Gestaltungsorientierte Sozialberichterstattung im Landkreis Mainz-Bingen.* Armuts- und Sozialbericht 2010, Hg.: Kreisverwaltung Mainz-Bingen, <http://www.mainz-bingen.de/deutsch/downloads/soziales/armuts-und-sozialbericht.pdf> (02.05.2012).
- [122] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2006: *Rheinland-Pfalz regional - Die Landkreise Bad-Kreuznach, Birkenfeld und Mainz-Bingen.* http://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/nach_themen/stat_analysen/Milder_Westen/bk-bir-mz.pdf (28.04.2012).
- [123] AWB MAINZ-BINGEN 2011: *Einwohnerentwicklung von 1995-2010; AWB Bilanzwertung Grünschnitt.* Excel-Dateien, per Mail am 20.12.2011 von Herrn Thomas Helmus vom AWB Mainz-Bingen bekommen.
- [124] SCHICK, CLAUS (LANDRAT DES LANDKREISES MAINZ-BINGEN) 2009: *„Gestalten statt verwalten“ - Demographischer Wandel als Chance für kommunale Sozialplanung.* http://www.mittendrin-mainz-bingen.de/downloads/ZIRP_Text.pdf (03.05.2012):1.
- [125] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Deutschland.* Regionalatlas der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, <http://ims.destatis.de/indikatoren/Default.aspx?https=1> (04.05.2012).
- [126] IFAS OHNE JAHR: *Angaben und Daten zur Region.* Strukturdaten aus der Antragstellung zur Konzepterstellung, am 01.02.2012 von Herrn Tobias Gruben (wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS) per Mail bekommen.
- [127] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ DEZEMBER 2011: *Mein Kreis - Landkreis Mainz-Bingen.* <http://www.infothek.statistik.rlp.de//neu/MeineHeimat/meinKreis.aspx> (07.05.2012).
- [128] UBA 2011: *Struktur der Flächennutzung.* <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2276> (09.05.2012).
- [129] LK MAINZ-BINGEN OHNE JAHR: *Wirtschaftsförderung im Landkreis Mainz-Bingen.* <http://www.mainz-bingen.de/deutsch/wirtschaft/index.php> (14.04.2012).
- [130] IFAS 2012: *Telefonat am 04.05.2012, 07.05.2012 mit Herrn Michael Müller (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS-Institut, Birkenfeld).*
- [131] MÜLLER, MICHAEL 2011: *Telefonat am 07.09.2011 mit Herrn Michael Müller (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS-Institut, Birkenfeld).*
- [132] MÜLLER, MICHAEL 2011: *Emailkontakt am 17.09.2011 mit Herrn Michael Müller (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS-Institut, Birkenfeld).*
- [133] KEHRES, BERTRAM (BGK E.V.) 2012: *Ausschreibung der Grüngutverwertung nach der BioAbfV 2012.* in: Humuswirtschaft&Kompost aktuell 05/2012, <http://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/HuK-5-2012.pdf> (17.05.2012):1-3.
- [134] WIEMER, KLAUS ET AL. 2006: *Analyse und Bewertung des unterschiedlichen Abfall- und Wertstoffaufkommens in den Landkreisen und kreisfreien Städten in Rheinland-Pfalz.* Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz; Auftragnehmer: Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Seite 54ff.

- [135] STADT SCHLEIDEN OHNE JAHR: *Eigenkompostierung*.
[http://www.schleiden.de/index.php?id=138&tx_ttnews\[tt_news\]=53&cHash=8ccadda3f88697e8ce41686ed6104706](http://www.schleiden.de/index.php?id=138&tx_ttnews[tt_news]=53&cHash=8ccadda3f88697e8ce41686ed6104706) (09.05.2012).
- [136] AWB MAINZ-BINGEN 2012: *Emailkontakt am 06.02.2012, 02./08.05.2012, 23.05.2012 und persönliches Gespräch am 25.04.2012, 03.05.2012, 05.06.2012 mit Herrn Thomas Helmus (Leiter des AWB Mainz-Bingen)*.
- [137] STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN 2008-2011: *Erhebung über Haushaltsabfälle von 2004 bis 2010*.
- [138] MWKEL BZW. MUFV RLP: *Landesabfallbilanzen RLP von 1995 bis 2010*.
- [139] MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RLP (HG.) OHNE JAHR: *20 Jahre Abfallbilanz RLP*. Bearbeitung: Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH.
- [140] GRILL, BERND 2012: *Emailkontakt am 10.01.2012, 11.01.2012 und 06.02.2012 mit Herrn Bernd Grill (Mitarbeiter vom AWB Mainz-Bingen)*.
- [141] STRACK, THOMAS 2012: *Telefongespräch am 07.02.2012 mit Herrn Thomas Strack (Entsorgungsbetrieb Mainz)*.
- [142] AWB MAINZ-BINGEN (HG.) 2012: *Abfallkalender 2012 Mainz-Bingen*. Seite 4ff.
- [143] AWB MAINZ-BINGEN 2011: *Emailkontakt am 16.12.2012 mit Herrn Thomas Helmus (Leiter des AWB Mainz-Bingen)*.
- [144] BAUR, FRANK/SPECK, MIKE (IZES GGMBH) 2007: *Machbarkeitsstudie zur Realisierung einer Vergärungsanlage für Grünschnitt, Energiepflanzen und Landschaftspflegematerialien im Saarpfalz-Kreis - Kosten der Grünschnitterfassung und -logistik*.
- [145] MUFV (HG.) 2010: *Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2009*.
http://www.mufv.rlp.de/fileadmin/mufv/publikationen/Landesabfallbilanz_RLP_2009.pdf (10.04.2012):99.
- [146] AWB MAINZ-BINGEN MÄRZ 2012: *Strom und Wärme aus Biomüll*. in: Dreckblättche Mainz-Bingen, http://www.awb-mainz-bingen.de/CustomerData/1/Files/Documents/Dreckblaettche_Maerz_2012.pdf (20.04.2012):1-4.
- [147] GEISSLER, THOMAS (DRITTUNTERNEHMEN): *Emailkontakt am 06.06.2012 mit Herrn Thomas Geißler*.
- [148] ENQUÊTE-KOMMISSION DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES 1994: *„Schutz des Menschen und der Umwelt“*.
- [149] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (HG.) 2/2002: *Das wirtschaftlichste Angebot - Hinweise zur richtigen Wertung im Vergabeverfahren*. http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/wirtschaft/Wirtschaftliches_Angebot.pdf (08.06.2012).
- [150] HENSSEN, DIRK 2012: *Ausschreibung der Grüngutverwertung unter Berücksichtigung der Bioabfallverordnung 2012 mit Muster-Textbausteinen - Grundlagen der guten fachlichen Praxis*. BGK e.V. (Hg.), http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Abfallwirtschaft/11.1_Ausschreibung_der_Gruengutverwertung_final_07_05_12_titel.pdf (20.05.2012).
- [151] OHNE AUTOR/IN 2008: *Orientierungshilfen für öffentliche Ausschreibungen in der Entsorgungsbranche*. http://www.kompost.de/uploads/media/Orientierungshilfen_Entsorgungsbranche_2009.pdf (15.05.2012).

- [152] KERSTING, ANDREAS 2010: *Gestaltungsspielräume bei der Ausschreibung von Bio- und Grünabfallbehandlung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, 1. Auflage 2010, Hg.: Wiemer/Kern, Seiten 95–102.
- [153] MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT, BADEN-WÜRTTEMBERG (HG.) 2012: *Optimierung des Systems der Bio- und Grünabfallverwertung - Ein Leitfaden*. www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91261&Anlage_Leitfaden_Bioabfall.pdf?command=downloadContent&filename=Anlage_Leitfaden_Bioabfall.pdf (17.03.2012).
- [154] BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ (HG.) 2009: *Bekanntmachung der Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen - Teil A (VOL/A)*. Jahrgang 61; Nr. 196a; ISSN 0720-6100, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Gesetz/verdingungsordnung-fuer-leistungen-vol-a-2009,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (10.06.2012).
- [155] LORENZ, THOMAS 2010: *Praxisbeispiel der Rekommunalisierung im Rhein-Hunsrück-Kreis*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, 1. Auflage 2010, Hg.: Wiemer/Kern, Seiten 129–134.
- [156] WIEBE, ANDREAS/SCHÜRER, CORNELIUS 2007: *Rekommunalisierung in der Abfallwirtschaft - Es geht auch anders*. Sonderdruck aus AKP 1/2007, www.geconweb.info/fileadmin/downloads/0701_sonderdruck_AKP_Rekommunalisierung.pdf (09.06.2012):50–52.
- [157] GEBHARD, RALF (IFAS) 2007: *Bedeutung von Akteursnetzwerken in der Region*. 2. Regionalkonferenz St. Wendel, 25. September 2007, http://www.izes.de/cms/upload/pdf/Ralf_Gebhard_WND.pdf (10.06.2012).
- [158] BAUR, FRANK (IZES GGBH) 2008: *Nachhaltige Abfallverwertung im Rahmen regionaler Stoffstrommanagementstrategien*. Abfall-Forum am 11. November 2008, http://www.entsorgungsverband.de/fileadmin/evs_web/images/Infomaterial/tagungsunterlagen_vortraege/Abfallforum_2008/Vortrag-Baur.pdf (07.06.2012).
- [159] KNAPPE/TURK 2012: *Optimierung der Bio- und Grünabfallsammlung und -verwertung*. Leitfaden für die Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs, LUBW - Kolloquium 2012, www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/214217/7optimierung_bioabfall_gruengutsammlung_verwertung2010.pdf?command=downloadContent&filename=7optimierung_bioabfall_gruengutsammlung_verwertung2012.pdf (14.05.2012).
- [160] VOGT/FRISCH/PEHNT 2010: *Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale im Bereich Abfall und Abwasserwirtschaft*. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“, FKZ 03KSW016A, http://www.ifeu.de/energie/pdf/Abfall_und_Abwasser.pdf (06.02.2012).
- [161] OHNE AUTOR/IN 1974: *Landesverordnung über die Verbrennung pflanzlicher Abfälle außerhalb von Abfallbeseitigungsanlagen - vom 4. Juli 1974*. http://www.mufv.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/allgemein/Umweltrecht/Recht_Abteilung_107/107_2129-2.pdf (17.06.2012).
- [162] SCHMIDT, S. 2007: *Ökobilanz der Bioabfallentsorgung - Ökologische Bewertung von Entsorgungsoptionen für Bioabfälle unter Berücksichtigung räumlicher und ökonomischer Aspekte*. Dissertation am Institut für Umweltsystemforschung im Fachbereich Mathematik/Informatik der Universität Osnabrück. ISBN-10: 3-89821-745-0; ISBN-13: 978-3-89821-745-3, Ibidem-Verlag, Stuttgart.
- [163] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU) (HG.) 2011: *UmweltWissen - Den eigenen Kompost aufsetzen*. www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_31_kompostierung_umsetzung.pdf (11.06.2012).

- [164] MUFV 2009: *Abfallwirtschaftsprofil - LK Bad-Dürkheim*. <http://www.mwkel.rlp.de/Kreislaufwirtschaft/Abfallwirtschaft/Abfallwirtschaftsplanung/Siedlungsabfallwirtschaft/binarywriterservlet?imgUid=bb260f54-4018-2131-886f-62465e1df7d1&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111> (16.06.2012).
- [165] NATUR- UND UMWELTSCHUTZ-AKADEMIE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (NUA) (HG.) OHNE JAHR: *Wertvoller Lebensraum für Tiere: Totholz im Garten*. Naturgarten praktisch Nr. 4.06, http://www.gartenfreunde-rheinland.de/downloads/infoblatt_4_06_lebensraum_holzhaufen.pdf (15.06.2012).
- [166] INITIATIVE „2° – DEUTSCHE UNTERNEHMER FÜR KLIMASCHUTZ“ (HG.) 2011: *Klimaschutz liefern - Logistikprozesse klimafreundlich gestalten*. Kurzstudie 05.2011, http://www.deutschebahn.com/file/2240774/data/logistikstudie__2grad__initiative.pdf (16.06.2012).
- [167] DEHOUST ET AL. 2005: *Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale*. Forschungsbericht 205 33 314, UBA FB III. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- [168] KERN, MICHAEL/RAUSSEN, THOMAS: *Potenzieller Beitrag der Bioabfallverwertung zur Energieversorgung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V. Stofflich - Energetisch. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. Kassel: K. Wiemer, M. Kern. S. (Hg.), http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/ks_22_kern_raussen.pdf (10.02.2012):461–475.
- [169] LETALIK, CHRISTIAN 2011: *Emailkontakt am 12.10.2011 mit Herrn Christian Letalik (Projektmanager von C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing)*.
- [170] BAUR, FRANK (IZES GMBH) 2012: *Persönliche Informationen am 02.07.2012*.
- [171] IFAS 2011: *Anhang zum integrierten Klimaschutzkonzept für den Rhein-Hunsrück-Kreis*. Kreisverwaltung Rhein-Hunsrück-Kreis (Hg.), http://www.kreis-sim.de/media/custom/448_3565_1.PDF (05.07.2012).
- [172] IFAS 2012: *Anhang zum Klimaschutzkonzept für die Gemeinde Rehlingen-Siersburg*. Gemeinde Rehlingen-Siersburg (Hg.), <http://www.rehlingensiersburg.de/manager/upload/download/10.pdf> (10.07.2012).
- [173] SIEBERT, STEFANIE 2010: *Energiebilanzen und Treibhausgasemissionen der Kompostierung*. in: Humuswirtschaft & Kompost aktuell 11/2010, Seiten 1–2.
- [174] BGK E.V. OHNE JAHR: *Qualitätskriterien und Güterrichtlinien*. http://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Guetesicherung_Kompost/Guetekriterien_Kompost_2007.pdf (17.07.2012).
- [175] BGK E.V. (HG.) 2006: *Organische Düngung, Grundlagen der guten fachlichen Praxis aus der Reihe „Kompost für die Landwirtschaft“*. 3. Auflage, http://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Anwendungsempfehlungen/Organische_Duengung_Auflage3.pdf (08.03.2012).
- [176] EPEA INTERNATIONALE UMWELTFORSCHUNG GMBH 2004: *Boden-, Ressourcen- und Klimaschutz durch Kompostierung in Deutschland*. http://epea-hamburg.org/fileadmin/downloads/2005_und_fruher/2004%20EPEA%20Fact%20sheet%20Kompost.pdf (10.04.2012).
- [177] BGK E.V. OHNE JAHR: *Pflanzendüngung*. <http://www.kompost.de/index.php?id=627> (14.07.2012).
- [178] LECHNER, PETER ET AL. 2005: *Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung (KliKo)*. Endbericht, Im Auftrag der MA 48, Universität für Bodenkultur Wien Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Institut für Abfallwirtschaft, www.boku.ac.at/TCG/rol/KliKo_Endbericht.pdf (15.02.2012).

- [179] KOMPOSTGÜTEVERBAND ÖSTERREICH 2009: *Stellungnahme des Kompostgüteverbands Österreich zum Grünbuch über die Bewirtschaftung von Bioabfall in der EU [KOM(2008)811endg]*.
- [180] SMITH A. ET AL. 2001: *Waste management options and climate change*. Final report to the European Commission, DG Environment, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/climate_change.pdf (16.07.2012).
- [181] EGGERSMANN ANLAGENBAU OHNE JAHR: *Das KOMPOFERM® plus-Verfahren*. <http://www.f-e.de/db/docs/einl-kompoferm-dt.pdf> (21.07.2012).
- [182] DANIEL, JAQUELINE ET AL. 2008: *Materialband D: Biogasnutzung*. Im Rahmen des BMU-Forschungsvorhabens „Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“, FKZ: 0327544.
- [183] BEYER, GUNNAR 2012: *Emailkontakt mit Herrn Gunnar Beyer (Firma Eggersmann Anlagenbau GmbH) am 16.07.2012*.
- [184] BORN, JENS/CASARETTO RAINER 2012: *Die theoretischen 100 Prozent geernteter Energie*. BIOGAS Journal | 2_2012, http://biogas-akademie.de/images/stories/Veroeffentlichungen/BGJ_88-91.pdf (10.06.2012).
- [185] FREY, W. 2012: *Stand und Trends bei der Faulgasverwertung auf Kläranlagen*. Wiener Mitteilungen (2012); Institut für Wassergüte / TU-Wien, http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2012/03/TU_Sem_2012_Text.pdf (11.04.2012).
- [186] BMWFI OHNE JAHR: *Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen - 2012*. <https://www.bmwfi.gv.at/Unternehmen/gewerbetechnik/Documents/TG%20Biogasanlage.pdf#page=14> (12.07.2012).
- [187] SPRINGER, CHRISTIAN 2010: *Energie und CO₂-Bilanz der Kompostierung unter Einbezug des Substitutionspotenzials des Komposts*. in: Müll und Abfall, Ausgabe: August 2010. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin.
- [188] HAUKE, PETER 2009: *Herstellung hochwertiger Erden unter Verwendung von Kompost*. in: VKS-Tagungsband 2009 - Abfall als Ressource.
- [189] JANDER, DIETMAR (JANDER-ENERGIETECHNIK AG) 2012: *Erfolgreich umgesetzte Holzenergieprojekte in Mitteldeutschland*. http://www.biobeth.de/fileadmin/download/Vortraege/18.Bioenergietag/7_Jander_Jander_Energietechnik_Umgesetzte_Holzenergieprojekte_280212.pdf (18.07.2012).
- [190] BIOENERGIESYSTEME GMBH OHNE JAHR: *Beschreibung der ORC-Technologie für Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie anderer Möglichkeiten der Prozessintegration*. <http://www.bios-bioenergy.at/de/strom-aus-biomasse/orc-prozess.html> (11.07.2012).
- [191] THRÄN, DANIELA ET AL. 2010: *Bioenergie heute und morgen - 11 Bereitstellungskonzepte*. Sonderheft zum DBFZ Report, DBFZ (Hg.), http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Userupload_Neu/bereitstellungskonzepte_dlweb.pdf (10.03.2012).
- [192] KRAPF, GILBERT 2004: *Betriebserfahrung mit Biomasse-Heizwerken und kleinen Biomasse-Heizkraftwerken*. Regenerative Energien in Deutschland und in Polen, Lodz, <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/kleineheizkraftwerke03.pdf> (08.02.2012).
- [193] OBERNBERGER, INGWALD ET AL. OHNE JAHR: *Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen auf Basis des ORC-Prozesses - EU-THERMIE-Projekt Admont (A)*. http://www.turboden.eu/de/public/downloads/Admont_Anlagenbeschreibung_BIAA0100.pdf (01.07.2012).

- [194] OHNE AUTOR/IN 2006: *Biomasse KWK mit ORC Technik*. http://www.hessenenergie.de/Downloads/Dl-Nach/dln-tfbio/dln-tfbio-pdfs/5_TF-Duvia_Turboden.pdf (12.07.2012).
- [195] VOGT, REGINE/FEHRENBACH, HORST 2010: *Vergleichende ökologische Bewertung der technischen Trocknung von Holzhackschnitzeln*. Durchgeführt für den Arbeitskreis Holzhackschnitzel im Bundesverband Bioenergie e.V., http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/Endbericht_31-10-10.pdf (14.06.2012).
- [196] HILDENBRAND, KLAUS-PETER 2012: *Emailkontakt mit Herrn Klaus-Peter Hildenbrand (rhe) am 13./18./23.07.2012*.
- [197] DANIEL, JAQUELINE ET AL. 2008: *Materialband C Biogasanlagen: Technik und Betrieb*. in: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland; Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Projektträger: Forschungszentrum Jülich; – Endbericht mit Materialband –, F&E-Vorhaben, FKZ: 0327544, Seiten 49–66.
- [198] HARTMANN, HANS ET AL. 2007: *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen*. Hg.: FNR, 2. vollständig überarbeitete Auflage, März 2007; http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/17745/handbuch_komplett.pdf (04.01.2012).
- [199] BLOME, P. 2008: *Wärme aus Biomasse am Beispiel Oerlinghausen*. <http://www.duesse.de/znr/energieleherschau/pdfs/2008/2008-01-25-waerme-07.pdf> (10.07.2012).
- [200] ROY, MICHAEL (BMHKW ALPERSTEDT GMBH) OHNE JAHR: *Strom und Wärme aus Holz und Biogas für einen 20 ha Gewächshauskomplex in Alperstedt*. http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Vortrag_5_Michael_Kennwortschutz.pdf (04.07.2012).
- [201] ZWEILER RICHARD ET AL. 2008: *Energiesysteme der Zukunft, Energetisch und wirtschaftlich optimierte Biomasse-Kraft-Wärmekopplungssysteme auf Basis derzeit verfügbarer Technologien*. Endbericht, Projektnummer: 812771.
- [202] BAKOWIES, THOMAS 2009: *Verbrennung von aufbereitetem Grünabfall, Landschaftspflegematerialien und Siebüberlauf - Technik, Kosten, Wirtschaftlichkeit*. in: Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse, Kern, Raussen und Apel, Witzenhausen-Institut, 1.Auflage, Seiten 223–236.
- [203] BMU 2011: *Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative*. http://www.kommunaler-klimaschutz.de/files/pdf/111130_Kommunalrichtlinie_2012.pdf (23.04.2012).
- [204] BAUR, FRANK 2008: *Biomasse als Pfeiler der regionalen Energieversorgung*. in: Ökologisches Wirtschaften, Nr. 3 Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster, <http://www.oekologisches-wirtschaften.de/index.php/oew/article/view/577/577> (10.04.2012).
- [205] WEHNERT, TIMON (IZT) ET AL. 2007: *Erneuerbare Energien in Kommunen optimal nutzen – Denkanstöße für die Praxis*. Hg.: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) gGmbH, http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/SKEP/SKEP_EE_in_Kommunen.pdf (10.02.2012).
- [206] TISCHER, MARTIN ET AL. 2006: *Auf dem Weg zur 100% Region. Handbuch für eine nachhaltige Energieversorgung von Regionen*. B.A.U.M. Consult GmbH, München.
- [207] BAUR, FRANK (IZES GGMBH) 2007: *Strategien zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse in ausgewählten Modellregionen – „BioRegio“ - Naturpark Saar-Hunsrück* -. 2. Regionalkonferenz „BioRegio“ St. Wendel, 25. September 2007, http://www.izes.de/cms/upload/pdf/FB_WND.pdf (09.06.2012).

- [208] IFAS OHNE JAHR: *Regionalentwicklungskonzept für die Bioenergie-Region Hohenlohe-Odenwald-Tauber „Drei Kreise - ein Energiemanagement“*. <http://www.bioenergie-regionen.de/fileadmin/bioenergie-regionen/dateien/regionen/REK-Hohenlohe-Odenwald-Tauber.pdf> (18.06.2012).
- [209] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GMBH (HG.) OHNE JAHR: *Instrumente zur AkteursAnalyse - 10 Bausteine für die partizipative Gestaltung von Kooperationssystemen*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, http://www2.gtz.de/wbf/4tDx9kw63gma/Akteursanalyse_Instrumente.pdf (23.06.2012).
- [210] HENSSEN, DIRK 2009: *Einführung und Optimierung der getrennten Sammlung zur Nutzbarmachung von Bioabfällen*. Handbuch für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, Abfallbehörden, Entscheidungsträger, Planer und Entsorgungsunternehmen; Hg.: Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V. (VHE) und Bundesgütgemeinschaft Kompost e.V, 1.Auflage.
- [211] BÖKERS/GNIECHWITZ 2010: *Das Stoffstrommanagementkonzept für kommunale Bio- und Grünabfälle im Landkreis Emsland*. in: Praxis der Verwertung von Biomasse aus Abfällen, Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis, Hg.: Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T., 1. Auflage Nov. 2010, Seiten 219–224.
- [212] LETALIK, CHRISTIAN (C.A.R.M.E.N. E.V.) 2011: *Aufbereitung und Energetische Nutzung von holzigem Landschaftspflegematerial (LaPf)*. im: Konferenzreader 01./02.März 2011 in Berlin zum Thema: „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“, BMU-Förderprogramm - Energetische Biomassenutzung.
- [213] HILDENBRAND, KLAUS-PETER 2009: *Grünabfallnutzungskonzept im Rhein-Hunsrück-Kreis*. in: Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse, Kern, Raussen und Apel (Hg.), Witzenhausen-Institut, 1.Auflage, Seiten 191–202.
- [214] WITZENHAUSEN-INSTITUT 2009: *Organisches Stoffstrommanagement im Landkreis Cochem-Zell*. Auftraggeber: Kreisverwaltung Cochem-Zell.
- [215] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Novellierung der 1.BImSchV – Aktueller Diskussionsstand*. <http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/abstracts07/Behnke.pdf> (24.07.2012).
- [216] BIRNBAUM, T. 2010: *Verbrennungsverhalten fester Bioenergieträger*. http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergieberatung/sachsen/dateien/Vortraege/2010_11_18_Birnbaum_Bioenergietraeger.pdf (24.07.2012).
- [217] BRÖKELAND, RUTH 2000: *Moderne Heizwerke und Feuerungssysteme - Technische Grundlagen, Emissionen, Wirtschaftlichkeit* -. Tagung „Wärmeversorgung von Siedlungen und großen Komplexen durch moderne Biomasseheizwerke“, Lingen, 22. September 2000, <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/lingen.pdf> (25.07.2012).
- [218] OHNE AUTOR/IN 2010: *Natürliche Wärme für Gamlitz/Ehrenhausen*. Aktiv Zeitung 2. Juni 2010, http://www.nahwaermegleinstaetten.at/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Aktiv_Baureportage_Heizhaus_Gamlitz.pdf (30.07.2012).
- [219] SCHWEIZER-RIES, PETRA OHNE JAHR: *„Akzeptanz Erneuerbarer Energien und sozialwissenschaftliche Fragen“*. Projektabschlussbericht; Förderkennzeichen: 0327505.
- [220] C.A.R.M.E.N. E.V. OHNE JAHR: *Wärme aus Biomasse - Wirtschaftlich und umweltfreundlich heizen*. http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/publikationen/waerme_aus_biomasse.pdf (22.07.2012).

- [221] LEUCHTWEIS, CHRISTIAN 2010: *Biomasseheizwerke erfolgreich planen und umsetzen – Beispiele aus Bayern*. Tagung: Wärme aus Biomasse; Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, 28. Januar 2010, <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2010/2010-01-28-waerme-02.pdf> (28.07.2012).
- [222] WAGNER, ROBERT 2009: *Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen und Bio-Abfällen*. Energiewende Vaterstetten, <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/Vaterstetten.pdf> (18.07.2012).
- [223] KÄCHELE/BAUR ET AL. 2007: *Bioenergie - Beispiele und Strategien für eine kommunale und regionale Bioenergienutzung - Eine Chance für Kommunen und Regionen*. Deutsche Umwelthilfe e.V., IZES gGmbH (Hg.), Radolfzell und Saarbrücken, http://www.izes.de/cms/upload/pdf/Bioenergie_Broschuere.pdf (05.01.2012).
- [224] OHNE AUTOR/IN 2007: *Gute Absatzchancen für Substratkompost*. Humuswirtschaft & Kompost aktuell 10/2007, www.kompost.de/uploads/media/HUKaktuell_10_07_seite4.pdf (02.03.2012).
- [225] HERTRICH, ARMIN 2001: *Entwicklung von Marketingkonzepten für organische Materialien*. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2025.pdf> (17.07.2012).
- [226] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Erdenwerk Mannheim*. <http://www.weiland-mannheim.de/erdenwerk/produkte/erden-pflanzensubstrate-und-kompost/> (29.07.2012).
- [227] SCHLEISS, KONRAD 2002: *Kompostvermarktung in der Schweiz*. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- [228] JENSSEN, TILL 2010: *Einsatz der Bioenergie in Abhängigkeit von der Raum- und Siedlungsstruktur - Wärmetechnologien zwischen technischer Machbarkeit, ökonomischer Tragfähigkeit, ökologischer Wirksamkeit und sozialer Akzeptanz*. 1. Auflage, Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Seiten 202, 224 ff.
- [229] HELLWIG-BÜSCHER, KURT (QS-ENERGY) 2012: *Chancen für erfolgreiche Bioenergie-Partnerschaften - Bioenergiedörfer und (Wärme-)Contracting Vollversorgung für den ländlichen Raum*. Vortrag, Stromberg, 19.04.2012, http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/rheinland-pfalz-saarland/dateien/vortr%C3%A4ge/6-Stromberg_Hellwig-19042012.pdf (09.06.2012).
- [230] GEISEN, BERND (BBE E.V.) 2010: *BioKommunal – Aufbau eines bundesweiten kommunalen Bioenergie-Netzwerks und Mobilisierungsmaßnahmen für einen verstärkten Einsatz von Bioenergie in Kommunen*. FKZ-Nr.: 03KB040A; Auswertung: Fragebogenaktion zur Ermittlung der Zielgruppenstruktur, der Identifizierung deren konkreter Informations- und Kommunikationsbedürfnisse sowie bestehender Hemmnisse und Barrieren.
- [231] DEFFNER, IRINA 2010: *Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung von Bioenergie-Nahwärmenetzen*. Bachelorarbeit im Studiengang Geographie (B. Sc.), Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie, Abteilung Stadt- und Regionalentwicklung, <http://www.region-bayreuth.de/Bioenergieregion/Infos-Downloads-Links.aspx> (10.05.2012).
- [232] SCHENK, ANITA OHNE JAHR: *Akzeptanz im Natur- und Landschaftsschutz*. Auszug aus der Dissertation Relevante Faktoren der Akzeptanz von Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen - Ergebnisse qualitativer Fallstudien; Autorin: Anita Schenk, <http://www.wsl.ch/land/alpscares/schwep5/akzeptanz.pdf> (02.02.2012).
- [233] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN OHNE JAHR: *Akzeptanz Erneuerbarer Energien*. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/panorama/akzeptanz-erneuerbarer-energien.html> (15.06.2012).

- [234] RWE EFFIZIENZ GMBH 2012: *Energiewende: Fünf-Punkte-Plan für mehr Akzeptanz beim Verbraucher*. <http://www.energiwelt.de/web/cms/de/1127672/1514678/energieberatung/energieberater/aktuelles-energieberatungen/energiwende-fuenf-punkte-plan-fuer-mehr-akzeptanz-beim-verbraucher/> (19.05.2012).
- [235] SCHWEIZER-RIES, PETRA OHNE JAHR: „Aktivität und Teilhabe – Akzeptanz Erneuerbarer Energien durch Beteiligung steigern“. Projektabschlussbericht; FKZ: 0325052, http://www.tu-berlin.de/fileadmin/f27/PDFs/Forschung/Abschlussbericht_Aktivitaet_Teilhabe_format.pdf (13.04.2012).
- [236] QUIRING, OLIVER 2006: *Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien*. Münchener Beiträge zur Kommunikationswissenschaft Nr. 6, http://epub.ub.uni-muenchen.de/1348/1/mbk_6.pdf (11.05.2012).
- [237] STIEHLER/MENRAD/DECKER 2011: *Empirische Untersuchungen zur Akzeptanz von Biomasseprojekten*. Wissenschaftszentrum Straubing, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fachgebiet für Marketing und Management Nachwachsender Rohstoffe, http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/sonstiges/akzeptanz_2011/stiehler_akzeptanz_2011.pdf (17.05.2012).
- [238] SCHWEIZER-RIES, PETRA 2011: *Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energienachhaltigkeit*. FVEE, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2011-2/th2011_07_01.pdf (09.05.2012).
- [239] DIENEL, HANS-LIUDGER ET AL. 2008: *Energiregion Lausitz - Neue Impulse für die Akzeptanz und Nutzung erneuerbarer Energien*. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben; Förderkennzeichen: 0327539, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schlussbericht_energieregion_lausitz.pdf (07.04.2012).
- [240] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN OHNE JAHR: *Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Umgebung des eigenen Wohnorts*. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/panorama/akzeptanz-erneuerbarer-energien.html> (07.06.2012).
- [241] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN OHNE JAHR: *Gesellschaftliche Akzeptanz Erneuerbarer Energien in RLP 2011*. http://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/RLP/kategorie/akzeptanz/auswahl/349-gesellschaftliche_ak/ (15.06.2012).
- [242] STATISTA 2012: *Inwieweit sind Sie für oder gegen den Gebrauch von Biomasse in Deutschland?* <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/196169/umfrage/meinung-zum-gebrauch-von-biomasse-in-deutschland/> (14.04.2012).
- [243] RAU/ZOELLNER/WALTER 2011: *Wahrnehmung von Bürgerprotesten im Bereich erneuerbarer Energien: Von NIMBY-Opposition zu kommunaler Emanzipation*. Textart: Essay.
- [244] ZOELLNER, JAN 2011: *Analyzing the Image of Biogas Plants – A Multi-Stakeholder-Approach*. 19th EU BC&E – Berlin 2011.
- [245] SCHÄFER (RHE) 2011: *Besichtigung der HW in Simmern/Kirchberg am 15.09.2011*.
- [246] SCHWEIZER-RIES, PETRA/ZOELLNER, JAN OHNE JAHR: *Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Akzeptanz Erneuerbarer Energien und sozialwissenschaftliche Fragen“*. Fachtagung - Akzeptanz Erneuerbarer Energietechnologien, http://www.e.uni-magdeburg.de/upsy/akzeptanz/docs/fachtagung/Fachtagung_Folien_1_web_1_upsy.pdf (02.06.2012).

- [247] ZOELLNER, JAN 2011: *Akzeptanz von Biogasanlagen*. C.A.R.M.E.N -Symposium: Unendlich statt Unwägbar -Erneuerbare Energien für die Zukunft, Straubing, http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/symp_11/vortraege_symp_11/zollner_symp_11.pdf (18.06.2012).
- [248] GRANOLD, UTE 2009: *Geruchsbelästigung durch Humuswerk Essenheim - Granold und Schäfer mahnen zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung an*. Pressemitteilung, http://granold.de/uploads/media/PM_Granold_Humuswerk_110909.pdf (18.06.2012).
- [249] BUSCH, WERNER 2006: *Humuswerk Essenheim*. Pressemitteilung, <http://www.mainz-lerchenberg.de/download/Humuswerk-2006-10-06.pdf> (04.08.2012).
- [250] STADT MAINZ 2009: *Humuswerk Essenheim: „noch immer Geruchsbelästigungen“*. Pressemitteilung vom 25.5.2009, <http://www.mainz.de/WGAPublisher/online/html/default/ekog-7sdmvy.de.html> (03.08.2012).
- [251] OBERHOLLENZER, DIETER 2012: *Humuswerk Essenheim wird in eine Biomasseanlage umgebaut*. <http://www.allgemeine-zeitung.de/region/mainz/vg-niederm/essenheim/11629370.htm> (03.08.2012).
- [252] WIDMANN, BERNHARD 2012: *Klimaschutz und nachhaltige Energieversorgung mit Bioenergie*. in: Klimareport, 29. Februar 2012, Die Zeitung zum Klima-Symposium „Chancen ergreifen - Risiken minimieren: Die Landwirtschaft im Klimawandel“, Ausgabe 7, Seite 3.
- [253] GERMANWATCH 2012: *Energiewende und Bürgerbeteiligung: Öffentliche Akzeptanz von Infrastrukturprojekten am Beispiel der „Thüringer Strombrücke“*. Zusammenfassung der Studie, <http://germanwatch.org/en/download/4149.pdf> (09.07.2012).
- [254] HILPERT, JÖRG (HG.) 2011: *Nutzen und Risiken öffentlicher Großprojekte: Bürgerbeteiligung als Voraussetzung für eine größere gesellschaftliche Akzeptanz*. Stuttgarter Beiträge zur Risiko- und Nachhaltigkeitsforschung Nr.19, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2011/6349/pdf/AB019_Hilpert_et_al.pdf (07.05.2012):32ff.
- [255] RÖSLER, CORNELIA ET AL. 2011: *Klimaschutz in Kommunen - Praxisleitfaden*. A5 Öffentlichkeitsarbeit und Beratung; Hg.: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (DIFU), <http://www.leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/leitfaden.html> (16.05.2012):151ff.
- [256] INFORMATIONSKAMPAGNE FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (HG.) 2008: *Erneuerbare-Energien-Projekte in Kommunen - Erfolgreiche Planung und Umsetzung*. <http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content-kommunal/downloads/kommunal-erneuerbar.pdf> (04.05.2012).
- [257] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN 2012: *KOMM:MAG*. Das Jahresmagazin zu Erneuerbaren Energien in Kommunen, ISSN 2193-7710, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/AEE_KOM-MAG_Jan12.pdf (08.04.2012).
- [258] HOFFMANN, DUNJA 2007: *Regionale Wertschöpfung durch optimierte Nutzung endogener Bioenergiepotenziale als strategischer Beitrag zur nachhaltigen Regionalentwicklung*. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie der Philosophischen Fakultäten der Universität des Saarlandes, <http://scidok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2007/1156/pdf/DissDunjaHoffmann.pdf> (10.12.2012), Saarbrücken.
- [259] RAU, IRINA/ZOELLNER, JAN 2010: *Partizipationsprozesse und Akzeptanz Erneuerbarer Energien auf kommunaler Ebene*. 100% EE Regionen Kongress, 30.09.2010.

- [260] RAU/ZOELLNER/SCHWEIZER-RIES 2010: *Partizipationsprozesse und Akzeptanz Erneuerbarer Energien auf kommunaler Ebene*. Abschlussveranstaltung des Projekts „Aktivität und Teilhabe – Akzeptanz Erneuerbarer Energien durch Beteiligung steigern“, 8. Juni 2010, Berlin, http://fg-umwelt.de/assets/files/Akzeptanz%20und%20Beteiligung/Abschlussveranstaltung/Vortrag_FG-UPSY_Rau.pdf (18.06.2012).
- [261] STIEHLER, W. OHNE JAHR: *Akzeptanz von Biomasseheiz(kraft)werken in Bayern*. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (University of Applied Sciences), Wissenschaftszentrum Straubing (Straubing Centre of Science), <http://www.jjv-kulmbach.de/pdfs/Aktuelles/Akzeptanz%20von%20Biomasseheiz%28kraft%29werken%20in%20Bayern.pdf> (28.07.2012).
- [262] NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (NABU) E.V. 2008: *Kommunikationsratgeber zum Ausbau Erneuerbarer Energien*. http://www.tgks.de/de/documents/NABU_Ratgeber.pdf (07.07.2012).
- [263] FACHVERBAND BIOGAS E. V. (HG.) 2011: *Wie sag ich´s meinem Nachbarn - Positive Öffentlichkeitsarbeit für Biogasanlagen*.
- [264] BIOKOMMUNAL OHNE JAHR: *Lehr- und Demonstrationsfahrten „Bioenergie für Kommunen“*. <http://www.energetische-biomassenutzung.de/de/biokommunal/lehr-und-demonstrationsfahrten.html> (01.08.2012).
- [265] DEUTSCHE UMWELTHILFE E.V. (DUH E.V.) OHNE JAHR: *Bioenergie – klimafreundlich*. http://www.duh.de/uploads/media/Ausstellung_Bioenergie_01.pdf (14.04.2012).
- [266] ACHTERBERG/OTTO/SCHULZ 2008: *Bürgergutachten Aachen - Eine neue Verteilungsregelung für die Abfallwirtschaftssatzung der Stadt Aachen*. Wuppertal, http://www.oegut.at/downloads/pdf/p_buergergutachten-aachen.pdf (31.07.2012).
- [267] LACKNER, STEFANIE/RAPPL, JÖRG 1999: *Neue Verfahren der Bürgerteilhabe*. Eine Schriftenreihe der Hessischen Landeszentrale für politische Bildung; Hg.: Hessische Landeszentrale für politische Bildung; ISBN 3-927127-25-6, <http://www.hlz.tu-darmstadt.de/fileadmin/pdf/polis/polis28web.pdf> (01.08.2012).
- [268] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Veranstaltungsverfahren: Planungszelle*. <http://procedere.org/wp-content/uploads/2011/12/Planungszelle.pdf> (31.07.2012).
- [269] ACHTERBERG, SUSANNE/LIETZMANN, HANS J. 2009: *Bürgergutachten/Planungszelle Aachen zur neuen Abfallwirtschaftssatzung*. http://www.partizipation.at/fileadmin/media_data/Downloads/Praxisbeispiele/Praxisbeispiel_PlanungszelleAachen_end_01.pdf (30.07.2012).
- [270] RUPP, JOHANNES 2011: *Finanzielle Beteiligung ein Erfolgsfaktor für Erneuerbare Energieprojekte - Ansätze, Akteure, Aufgaben*. FNR Tagung „Geschäftsmodelle für Bioenergieprojekte“, http://www.bioenergie-regionen.de/fileadmin/bioenergie-regionen/dateien/Veranstaltungen/geschaeftsmodelle/IZT_Impulsvortrag_FNR_Fulda.pdf (31.07.2012).
- [271] ENERGIEAGENTUR NRW 2011: *Klimaschutz mit Bürgerenergieanlagen*. https://services.nordrheinwestfalendirekt.de/broschuerenservice/download/70965/bro._buergerenergieanlagen_final.pdf (13.07.2012).
- [272] KÜNNE, ROBERT 2012: *Chancen für erfolgreiche Bioenergie-Partnerschaften - „Gesellschaftsformen und Geschäftsmodelle für gemeinschaftliche Bioenergievorhaben“*. Stromberg, 19.04.2012, http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergieberatung/rheinland-pfalz-saarland/dateien/votr%C3%A4ge/4-Stromberg_EOR-K%C3%BCnne-12042012.pdf (01.08.2012).

- [273] GEHLES, KATRIN (ENERGIEAGENTUR NRW) 2012: *Bürgerenergieanlagen – Modelle zur Einbindung von Bürgern in Regenerativprojekte*. 6. Bundestreffen Regionalbewegung, Jülich, 16.6.2012, http://www.regionalbewegung.de/fileadmin/user_upload/pdf/Bundestreffen_Dokumente/Vortraege_Praesentationen/2012_06_16_Gehles_EEBeteiligungsmodelle_BundestreffenBarmen.pdf (19.07.2012).
- [274] BMU 2009: *Klimaschutzpolitik in Deutschland*. http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/5698.php (16.02.2012).
- [275] KALTSCHMITT/LENZ/THRÄN 2008: *Zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland - Potenziale, Stand und Perspektiven*. http://leibniz-institut.de/archiv/kaltschmitt_25_04_08.pdf (15.02.2012).
- [276] BMU MÄRZ 2012: *Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011 unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)*. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf (12.04.2012).
- [277] BMU 2011: *Anteil Erneuerbarer Energien am Energieverbrauch in Deutschland*. http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/EE-Anteil-Energieverbrauch_98-HJ11.pdf (12.04.2012).
- [278] IFEU 2011: *Nachhaltige Biomasse*. http://www.ifeu.de/index.php?bereich=nac&seite=nachhaltige_biomasse (12.04.2012).
- [279] RAMESOHL, STEPHAN ET AL. 2006: *Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse*. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen (Wuppertal Institut), Endbericht, http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/1110-report.pdf (10.02.2012).
- [280] MESSMANN/SCHÄFER 2006: *Anlagen zur energetischen Nutzung von Biomasse*. http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/26483/anlagen_zur_energetischen_nutzung_biomasse.pdf?command=downloadContent&filename=anlagen_zur_energetischen_nutzung_biomasse.pdf (13.02.2012).
- [281] BRINGEZU, STEFAN ET AL. 2008: *Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse Auswirkungen der verstärkten Nutzung von Biomasse im Energiebereich auf die stoffliche Nutzung in der Biomasse verarbeitenden Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit durch staatlich induzierte Förderprogramme*. Ein Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI) und des Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen) für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Endbericht.
- [282] MÜHLENHOFF, JÖRG 2011: *Anbau von Energiepflanzen - Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potenziale*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hg.), ISSN 2190-3581, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/34_Renews_Spezial_Energiepflanzen_jul11_online.pdf (12.04.2012).
- [283] EKARDT/HEITMANN 2009: *Probleme des EEWärmeG bei Neubauten*. in: ZNER, S. 346ff., http://www.sustainability-justice-climate.eu/files/texts/Waerme_im_Nebau.pdf (19.04.2012).
- [284] BIOÖKONOMIERATS 2012: *Nachhaltige Nutzung von Bioenergie - Empfehlungen des BioÖkonomieRats*. Hg.: Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR), <http://www.biooekonomierat.de/files/downloads/120120/BioOEkonmieRat-Empfehlungen-Bioenergie.pdf> (28.04.2012).

- [285] KALTSCHMITT, MARTIN ET AL. 2003: *Energiegewinnung aus Biomasse*. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten, http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu_jg2003_ex04.pdf (17.02.2012).
- [286] BUND 2011: *Land- und Forstwirtschaftliche Biomasse und Naturschutz in Baden-Württemberg*. Positionspapier des BUND Landesverband Baden-Württemberg e.V., http://www.bund-bawue.de/fileadmin/bawue/pdf_datenbank/Service/publikationen/Energie/BUND%20BaW%C3%BC%20Biomasse%20und%20Naturschutz%20Positionspapier.pdf (12.04.2012).
- [287] MEYER/RÖSCH/SAUTER 2010: *Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen*. Endbericht zum TA-Projekt; Arbeitsbericht Nr. 136, <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab136.pdf> (06.04.2012).
- [288] FRITSCH, UWE R. 2010: *Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel*. im Auftrag des UBA (Hg.); UBA-FB 001398, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3960.pdf> (12.04.2012).
- [289] BILITEWSKI, BERND ET AL. 2008: *CO₂ und Abfall*. in: Abfalltage 2008 Baden Württemberg, Ressourcenschutz durch Abfallwirtschaft, Kranert, M./Sihler, A. (Hg.), Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 93, 9/2008, Oldenbourg Industrieverlag GmbH Essen.
- [290] DEHOUST, GÜNTER ET AL. 2010: *Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft - Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz*. FKZ 3708 31 302, Auftraggeber: UBA, BMU, BDE, Darmstadt/Heidelberg/Berlin, <http://www.bde-berlin.org/wp-content/pdf/2010/klimaschutzpotenziale.pdf> (02.01.2012).
- [291] VOGT, REGINE 2012: *Emailkontakt am 16.04.2012 mit Frau Regine Vogt (Wissenschaftliche Mitarbeiterin am IFEU-Institut GmbH, Heidelberg)*.
- [292] STRUWE, JUTTA 2010: *Gesamtökologischer Vergleich von stofflicher und energetischer Verwertung*. Vortragsmanuskript, Abfalltag Baden-Württemberg 2010, http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/20101104_Abfalltag_BW_Manuskript_Prognos_Struwe.pdf (12.02.2012).
- [293] MWKEL RLP OHNE JAHR: *Kommunen und Klimaschutz*. <http://www.mwkel.rlp.de/Klimaschutz,-Energie/Kommunen-und-Klimaschutz/> (22.02.2012).
- [294] MUFV RLP (HG.) 2010: *Mit Kommunen stark im Klimaschutz*. <http://www.mwkel.rlp.de/icc/internet/med/ef9/ef93035e-bcb8-2131-886f-62465e1df7d1,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf> (10.01.2012).
- [295] OHNE AUTOR/IN 2009: *Positionspapier der Landkreise Mainz-Bingen, Alzey-Worms und Bad-Kreuznach zur gemeinsamen Erstellung eines Klimaschutzteilkonzeptes im Rahmen der Klimaschutzinitiative des BMU mit dem Ziel zur Entwicklung einer „Null-Emissions-Region Rheinhessen-Nahe“*.
- [296] LANUV NRW 2011: *Abfallverzeichnis-Verordnung*. <http://www.lanuv.nrw.de/abfall/EWC.html> (26.02.2012).
- [297] FRANZ, MARKUS OHNE JAHR: *Holzbrennstoffe*. <http://www.axpo-holz.ch/files/artikel/188/Holzbrennstoffe.pdf> (21.04.2012).
- [298] ENZYKLO OHNE JAHR: *Trockensubstanz*. Online Enzyklopädie, <http://www.enzyklo.de/Begriff/Trockensubstanz> (20.02.2012).

- [299] FISCHER/JAUCH 1999: *Leitfaden für die Kompostierung im Garten*. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan, angegliedert an die Fachhochschule Weihenstephan, www.gartenakademie.info/pdf/Leitfaden_Kompostierung_FGW.pdf.
- [300] BLOCK, JOACHIM (FAWF RLP) 2011: *Nachhaltigkeit in der Holznutzung: Nährstoffentzüge bei unterschiedlicher Holz- und Biomassenutzung*. Vortrag auf der Biomasse-Tagung Umwelt-Campus Birkenfeld am 11.11.2011.
- [301] KURZ, FRANZ 2003: *Schätzung von Vegetationsparametern aus multispektralen Fernerkundungsdaten*. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission beim Verlag C. H. Beck, <http://dkg.badw.de/fileadmin/docs/c-569.pdf> (16.02.2012).
- [302] RODE, MICHAEL ET AL. 2005: *Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung*. BfN-Skripten 136, Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 80283040 des Bundesamtes für Naturschutz, <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript136.pdf> (10.02.2012).
- [303] TUERK-SCHROETER, ULRIKE 2012: *Emailkontakt am 18.01.2012 mit Frau Tuerk-Schroeter (Mitarbeiterin vom Statistischen Bundesamt, Wiesbaden)*.
- [304] KERN, MICHAEL (GESCHÄFTSFÜHRER) 2012: *Emailkontakt am 05.03.2012 mit Herrn Michael Kern (Geschäftsführer vom Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen)*.
- [305] STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN 2010: *Umwelt - Erläuterungen zur Abfallbilanz ab 2006*. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Content75/BerechnungAbfallaufkommens2006,property=file.pdf> (03.03.2012).
- [306] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Bevölkerungsentwicklung Deutschlands 1950 bis 2010 - Einwohnerzahlen West- und Ostdeutschlands -*. <http://www.pdwb.de/nd06> (01.05.2012).
- [307] GEWECKE, MAX 2010: *Herstellung von Brennstoffen aus kommunalem Grünschnitt - Aktuelle Problemstellungen der Bioabfallverwertung*. http://www.lbk-bayern.de/fileadmin/user_upload/Herstellung_von_Brennstoffen_aus_kommunalem_Gruenschnitt_-_Praesentation_Max_Gewecke.pdf (22.02.2012).
- [308] KRANERT, MARTIN ET AL. 2008: *Ökologischer und ökonomischer Vergleich der stofflichen und energetischen Verwertung von Grüngut*. Veröffentlicht im Tagungsband zum 20. Kassler Abfall- und Bioenergieforum April 2008.
- [309] VERBAND REGION RHEIN-NECKAR (HG.) 2010: *Biomasse-Stoffstrommanagement für die Region Rhein-Neckar*. Schriftenreihe des Verbandes Region Rhein-Neckar, Heft 8, <http://blog.metropolsolar.de/wp-content/uploads/2010/09/biomasse-stoffstrommanagement-endfassung.pdf> (12.02.2012).
- [310] WAGNER, JÖRG ET AL. 2012: *Potenzial biogener Abfälle im Freistaat Sachsen*. Schriftenreihe des LfULG, Heft 10, Seite 80.
- [311] KRACK-ROBERG/GROBECKER 2011: *Bevölkerungsentwicklung 2009*. Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hg.), Mai 2011, http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/WirtschaftStatistik/Bevoelkerung/Bevoelkentwicklung2009__52011,property=file.pdf (02.03.2012):419-434.
- [312] STATISTISCHES BUNDESAMT, WIESBADEN 2010: *Umwelt - Zeitreihe zum Abfallaufkommen 1996-2008*. http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Content75/ZeitreiheAbfallaufkommen1996__2008,property=file.pdf (02.03.2012).

- [313] HARTMANN/BÖHM/MAIER 2000: *Naturbelassene biogene Festbrennstoffe - umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten*. Hg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), Abschlussbericht, Reihe „Materialien“, Nr. 154, http://www.lfu.bayern.de/energie/biogene_festbrennstoffe/doc/festbrennstoffe.pdf (21.04.2012).
- [314] KRAMP, STEFAN 2008: *Untersuchungen zum gegenwärtigen Stand der Konversion von Biobrennstoffen*. Projektarbeit, im Fachbereich Umweltwissenschaften der Hochschule Wismar, GRIN-Verlag.
- [315] LWF 2011: *Der Energieinhalt von Holz*. Merkblatt 12, <http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-merkblaetter/mb-12-energiegehalt-holz.pdf> (21.04.2012).
- [316] LEIBLE, LUDWIG ET AL. 2003: *Energie aus biogenen Reststoffen und Abfällen*. "Technikfolgenabschätzung", Nr. 1, 12. Jahrgang - März 2003, <http://www.itas.fzk.de/tatup/031/leib03a.htm> (13.01.2012):76–86.
- [317] KTBL 1998: *Kofermentation*. KTBL Arbeitspapier 249, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- [318] MÜLLER-LANGER, FRANZISKA ET AL. 2007: *Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung*. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FKZ 204 41 133), im Auftrag des BMU und UBA, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3657.pdf> (11.03.2012).
- [319] BIDLINGMAIER, W. 1995: *Anlageninput und erzeugte Kompostqualität*. in: Wiemer, K., Kern, M. (Hg.), *Biologische Abfallbehandlung II*, Seiten 109–119.
- [320] RAUSSEN/HACK 2004: *Rahmenbedingungen und Konzepte für die energetische Verwertung von Grünabfallfraktionen*. http://www.waste-expo.com/downloads/Rahmenbedingungen_Bio_und_Gruenabfall_4_2004.pdf (09.01.2012).
- [321] SCHRAUBE, C. 2010: *Verbrennungstechnik in Biomasse-Feuerungen bis 50 kW*. http://www.bioenergie-portal.info/uploads/media/ltz_Schraube_-_Verbrennungstechnik_in_Biomassefeuerung.pdf (21.02.2012).
- [322] OHNE AUTOR/IN 2008: *Warum sind Phosphordünger so teuer?* in: *Humuswirtschaft & Kompost aktuell* 06/08, http://www.kompost.de/uploads/media/Huk_06_08-Phosphordünger_4.pdf (12.03.2012).
- [323] KERN/RAUSSEN 2011: *Bioabfallvergärungsanlagen in Deutschland: Stand und Potenziale*. http://www.biogas-atlas.de/biogasanlagen_in_deutschland.pdf (15.03.2012).
- [324] BGK E.V. 2012: *Grüngutverwertung nach der BioabfV 2012*. *Humuswirtschaft & Kompost aktuell* 05/2012, <http://www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/HuK-5-2012.pdf> (10.05.2012):1–3.
- [325] OHNE AUTOR/IN 2008: *Stand der Novelle der Bioabfallverordnung*. in: *Humuswirtschaft & Kompost* 1/2008, www.kompost.de/uploads/media/Stand_der_Novelle_der_Bioabfallverordnung.pdf (02.03.2012):29–51.
- [326] GREIFF/BARON/FAULSTICH 2009: *Die Biomasse und ihre Chancen für die zukünftige Energieversorgung*. in: *Biomasse aus Abfällen - Gibt es ein optimales Stoffstrommanagement?* Tagungsband, LANUV-Fachbericht 18, Hg. LANUV NRW, <http://www2.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe18/fabe18.pdf> (22.02.2012):7–12.
- [327] HUPE/HEYER/STEGMANN, 1998: *Biologische Bioabfallverwertung: Kompostierung kontra Vergärung*. Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Hamburg, www.ifas-hamburg.de/pdf/bioabfal.pdf.

- [328] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2005: *Gerüche und Geruchsbelästigungen*. www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_23_geruchsbeleustigungen.pdf (08.03.2012).
- [329] STRAUSS, HELMUT 2012: *Emailkontakt am 03.03.2012, 06.03.2012 15.05.2012 mit Herrn Helmut Strauß (Mitarbeiter der RGK Südwest, Saarbrücken)*.
- [330] BRANDT, PETER (BVL) 2009: *Die „Hydrothermale Carbonisierung“: eine bemerkenswerte Möglichkeit, um die Entstehung von CO₂ zu minimieren oder gar zu vermeiden?* Birkhäuser Verlag, Basel, J. Verbr. Lebensm. 4 (2009):151–154.
- [331] KEHRES, BERTRAM 2009: *Kohlenstoffbindung in Böden durch Aufbringung von Kompost*. Humuswirtschaft & Kompost aktuell 4/09, www.kompost.de/uploads/media/Edde_Dokumentation_04_09_9.pdf (12.03.2012).
- [332] JENSEN, DIERK 2010: *Wundererde aus der Pfalz*. Neue Energie 06/2010, www.neueenergie.net/fileadmin/ne/ne_inhalte/dokumente/NE_06_10_Wundererde.pdf (10.03.2012).
- [333] LFU (HG.) 2011: *Kompost nutzen, Moore schützen*. http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_109_kompost_nutzen_moore_schuetzen.pdf (13.04.2012).
- [334] TIEDT, MICHAEL 2009: *Emissionen bei der stofflichen und energetischen Verwertung von biogenen Abfällen*. in: Biomasse aus Abfällen - Gibt es ein optimales Stoffstrommanagement? Tagungsband LANUV-Fachbericht 18, Hg. LANUV NRW, <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe18/fabe18.pdf> (02.03.2012):25–30.
- [335] CUHLS/MÄHL 2008: *Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen aus der Kompostierung und Vergärung - Technische Maßnahmen zur Emissionsminderung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III, Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, Witzenhausen.
- [336] GOTTSCHALL/KRANERT 2009: *Stoffliche und energetische Grünabfallverwertung - Vergleich von Primärressourceneinsatz und CO₂-Bilanz*. in: VKS-News, 131. Ausgabe, Köln.
- [337] KREIBE, SIEGFRIED ET AL. 2010: *Ökoeffizienter Umgang mit Bio- und Grünabfällen*. in: Praxis der Verwertung von Biomasse aus Abfällen, Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis, Hg.: Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T., 1. Auflage, Seiten 31–41.
- [338] PIEFLOW, HAIKO 2010: *Terra Preta - Der Beitrag ländlicher Räume zum Klimaschutz*. Gartow, den 18.12.2010.
- [339] HOLWEG/SCHILL OHNE JAHR: *Machbarkeitsstudie zum Einsatz einer innovativen Technologie zur Bioenergieerzeugung mittels Pyrolyse mit niedrigen Staubemissionen und hohem CO₂-Reduktionspotential*. Abschlussbericht zur Studie Biomasse-Pyrolyse (Mai-Okt 2010), gefördert durch: Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz badenova AG & Co KG, Projektnummer 2010-12.
- [340] DOTTERWEICH/BÖTTCHER 2009: *Terra Preta ist nicht Biochar*. www.das-gold-der-erde.de/fileadmin/Documents/Downloads/TP_Artikel_TP_ist_nicht_Biochar_-_Kurzfassung__01-2010.pdf (11.03.2012).
- [341] KRIEGER, ALFONS OHNE JAHR: *Biokohle und Terra Preta - Betrachtungen aus der Sicht des Naturschutzes*. www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/terrapreta_krieger.pdf (12.03.2012).
- [342] TRABELSI, STEFANIE (HOCHSCHULE LAUSITZ (FH)) 2011: *Ökonomische Bewertung für den Betrieb von Terra Preta-Anlagen*. Vortrag auf der Biomasse-Tagung Umwelt-Campus Birkenfeld am 10.11.2011.

- [343] BÖTTCHER, JOACHIM 2009: *Terra Preta - die Schlüsselinnovation des Jahrhunderts*. www.das-gold-der-erde.de/fileadmin/Documents/Downloads/Terra_Preta_-_Schluesselinnovation_des_Jahrhunderts.pdf (01.03.2012).
- [344] BÖTTCHER, JOACHIM 2010: *Terra Preta: Humussubstrate aus Gärresten und Grünabfällen*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, 1.Auflage 2010, Hg.: Wiemer, Kern, Seiten 135–140.
- [345] MÜLLER-BEBLAVY, CHRISTINE OHNE JAHR: *Die Bedeutung von Böden und Humus im Kohlenstoffkreislauf*. www.das-gold-der-erde.de/fileadmin/Documents/Downloads/TP_Artikel_Kohlenstoffkreislauf_05_01.pdf (07.03.2012).
- [346] WÖLLAUER, PETER 2007: *Energie aus Biomasse*. Books on Demand GmbH, Nordstedt.
- [347] HEINZ-FISCHER/OLLIG 2008: *Energetische Verwertung kommunaler Grünabfälle*. Das Grüne Blatt 4/2008, [http://www.gartenakademie.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ce8d956e67a1ac8fc1256f420022833b/472736403fdef9dfc12576700020da7a/\\$FILE/GrBl2008_04.pdf](http://www.gartenakademie.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ce8d956e67a1ac8fc1256f420022833b/472736403fdef9dfc12576700020da7a/$FILE/GrBl2008_04.pdf) (10.12.2011).
- [348] OHNE AUTOR/IN 2010: *Energetische Nutzung von Biomasse*. Biomasse-Vorlesung SS 2010, KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft, <http://www.ikft.kit.edu/downloads/Kapitel4KIT.pdf> (10.01.2012).
- [349] SCHWISTER, KARL 2010: *Taschenbuch der Umwelttechnik*. Fachbuchverlag Leipzig, 2., aktualisierte Auflage.
- [350] KERN/RAUSSEN 2005: *Energetische Nutzung von Bio- und Grünabfällen*. 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/energetische_Nutzung_Gruenabfall_10_2005.pdf (28.01.2012):372–382.
- [351] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *BioTherm Heizkraftwerk Baden*. <http://www.lpv.de/themen/energie-und-klimaschutz/energie-auslandschaftspflege/best-practice/karte-mit-praxisbeispielen/biotherm-heizkraftwerk-baden.html> (20.02.2012).
- [352] VDEW BADEN-WÜRTTEMBERG (HG.): *Biomasse-Heizkraftwerk versorgt 12.000 Haushalte*. www.textdirekt.de/downloads/synergie406.pdf (10.03.2012).
- [353] VOGEL, FRANZ (UMWELTPARTNER VOGEL AG BADEN-BADEN) 2009: *Stoffstrommanagement für Grünabfälle*. in: Abfall als Ressource, Gemeinsame Veranstaltung des Umweltministeriums Baden-Württemberg und des VKS im VKU - Landesgruppe Baden-Württemberg im Rahmen der 70. Landesgruppen- und Fachtagung, 15. - 16. Juli 2009 in Ludwigsburg, Dokumentation der Referate.
- [354] HEMPEN-HERMEIER, UWE 2010: *Zerkleinerungs- und Siebtechnik für eine optimierte energetische und stoffliche Grünabfallverwertung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, K. Wiemer und M. Kern, 1.Auflage, Seiten 554–560.
- [355] STANG/BEINHOFFER 2007: *Zur Preisentwicklung auf dem Energieholzmarkt*. AFZ-DerWald 03/2007, <http://w3.forst.tu-muenchen.de/waldbau/org1/1011.pdf> (04.07.2012).
- [356] PEHNT/VOGT 2007: *Biomasse und Effizienz - Vorschläge zur Erhöhung der Energieeffizienz von §8 und §7-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Arbeitspapier Nr. 1 im Rahmen des Projektes „Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“ in Zusammenarbeit mit dem Projekt „Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“, http://www.ifeu.de/energie/pdf/Arbeitspapier1_%20Biomasse%20und%20Effizienzvorschlaege.pdf (15.02.2012).

- [357] WATTER, HOLGER 2011: *Regenerative Energiesysteme - Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele aus der Praxis*. Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2., erweiterte Auflage.
- [358] SPECHT, MICHAEL ET AL. 2006: *Thermochemische Biomassevergasung zur Poly-Generation von Strom, Wärme und Kraftstoff*. FVS Themen, http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2006/th2006_03_01.pdf (02.03.2012).
- [359] KIENBERGER/KARL 2010: *Substitute natural gas (SNG) - Stand der Technik, theoretische Grundlagen*. Forschung am Institut für Wärmetechnik, http://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Optmierung_Achental/Dokumente/SNG-Stand_der_Technik.pdf (05.03.2012).
- [360] ZIEBA, MARIUSZ 2011: *Thermochemische Bereitstellung biogener Gase*. Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik, Perspektiven biogener Gase in Baden-Württemberg, Tagung 4. Juli, Stuttgart, <https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1330176/110704>(15.03.2012).
- [361] BIOENERGY SYSTEMS OHNE JAHR: *Kraft und Wärme aus Grünschnitt und Resten – geruchlos*. <http://www.be-sys.com/news/presse/081110.pdf> (20.12.2011).
- [362] BEINLICH, KERSTIN 2012: *Emailkontakt am 09.12.2011 und 17.02.2012 mit Frau Beinlich von der Firma Bioenergy systems*.
- [363] OELKERS, MARTIN 2011: *Emailkontakt am 16./19.12.2011 mit Herrn Martin Oelkers (Projektentwickler - Brennstoffe bei der Firma agnion Sales GmbH, Hettenshausen)*.
- [364] AGNION OHNE JAHR: *Brennstoffe für agnion Holzvergasungsanlagen*. <http://www.agnion.de/technologie/brennstoffe.html> (14.03.2012).
- [365] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Strom aus Bioenergie*. www.unendlich-viel-energie.de/de/Strom/bioenergie.html (09.03.2012).
- [366] C.A.R.M.E.N. E.V. OHNE JAHR: *Referenzliste für Holzvergasungsanlagen mit einer elektrischen Leistung unter 500 kW*. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/holzvergasungsanlagen.html> (10.03.2012).
- [367] REINHOLD/KEHRES 2010: *Nutzen von Biokohle in der Humus- und Erdenwirtschaft*. in: Humuswirtschaft & Kompost 04/2010.
- [368] EDELMANN, WERNER 2006: *Optimale Verwertung biogener Abfälle*. in: GWA 2/2006, www.arbi.ch/Verwertung(05.04.2012):125–130.
- [369] ORTWEIN, ANDREAS (DBFZ) 2011: *Thermo-chemische Konversion von Biomasse - Technologien und Einsatzmöglichkeiten*. 1.Fachgespräch Feste Biomasse in Leipzig am 27.01.2011, www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergieberatung/sachsen/dateien/Vortraege/11_01_27_Technologien_Ortwein.pdf (10.03.2012).
- [370] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Mobile Pyrolyse in Weinberg- und Landschaftspflege für effiziente Biomassenutzung, Klimaschutz und CO₂-Reduktion*. Forschungsprojekt von Mai 2011 bis April 2013, www.badenova.de/web/de/umweltundregion/innovationsfonds_1/projekte_1/innovationsfondsdetail_83914.html (05.03.2012).
- [371] SIEBERT/LEIFERT 2009: *Fachgespräch - CO₂-Senken für mehr Klimaschutz*. in: Humuswirtschaft & Kompost 01/02_2009, www.kompost.de/fileadmin/docs/HuK/HuK_01_09.pdf (13.03.2012).
- [372] RICHARTS, FRITZ 2010: *Massen- und Energiebilanzen bei der Hydrothermalen Carbonisierung von Biomasse*. Workshop Biokohle, Justus-Liebig-Universität Gießen 23./24. Februar 2010.

- [373] ROBERT/GLASNER 2011: *Einführung in das Thema aus Sicht der Verfahrenstechnik und Aktivitäten der Fraunhofer UMSICHT Oberhausen*. www.duesse.de/znr/pdfs/2011/2011-06-30-htc-03.pdf (02.01.2012).
- [374] RAMKE, HANS-GÜNTER ET AL. 2010: *Hydrothermale Carbonisierung organischer Siedlungsabfälle*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, 1.Auflage 2010, Hg.: Wiemer, Kern, Seiten 141–157.
- [375] CLEMENS, ANDREAS (DBFZ GMBH) 2011: - *Hydrothermale Carbonisierung - Konversionsprozess zur Bereitstellung von Festbrennstoffen aus biogenen Reststoffen*. www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergieberatung/sachsen/dateien/Vortraege/2011_10_12_Clemens_HTC.pdf (04.03.2012).
- [376] ZHAW OHNE JAHR: *Hydrothermale Carbonisierung HTC*. [www.vks-asic.ch/LinkClick.aspx?fileticket=XaZHoN44cpI\(11.02.2012\)](http://www.vks-asic.ch/LinkClick.aspx?fileticket=XaZHoN44cpI(11.02.2012)).
- [377] TFC ENGINEERING AG OHNE JAHR: *HydroThermale Carbonisierung*. Auszug aus dem Abschlussbericht: Machbarkeitsstudie zur Energiegewinnung aus organischen Siedlungsabfällen durch Hydrothermale Carbonisierung, Ramke, Hans-Günter et al. 2010.
- [378] RAMKE/REBSAMEN 2011: *Hydrothermale Carbonisierung - Vorbehandlungsschritt für die effiziente energetische Nutzung von Klärschlamm und Grüngutabfällen*. waste to energy + recycling 2011, Internationale Fachmesse und Konferenz für Energie und Rohstoffe aus Abfall und Biomasse, Bremen: 18.-/19 Mai 2011, http://www.hs-owl.de/fb8/fachgebiete/abfallwirtschaft/pdf/Bremen_2011_Praesentation_Internet.pdf (07.03.2012).
- [379] SERFASS, KLAUS 2011: *Technologische Aspekte der Hydrothermalen Carbonisierung*. Treffen der SAG - Nachwachsende Rohstoffe am 16. Juni 2011 in Leipzig.
- [380] BAUR, FRANK (IZES GMBH) 2012: *Emailkontakt am 02.04.2012 mit Herrn Frank Baur (Leiter Arbeitsfeld Stoffströme am IZES-Institut gGmbH, Saarbrücken)*.
- [381] RICHARTS, FRITZ 2011: *Emailkontakt am 30.11.2011 mit Herrn Fritz Richarts (Fachhochschule Gießen-Friedberg)*.
- [382] SUN COAL OHNE JAHR: *SunCoal Biofuel*. <http://www.suncoal.de/index.php?page=biobrennstoff-suncoal> (10.03.2012).
- [383] DBU (HG.) 2009: *Pflanzenkohle wirtschaftlich erzeugen*.
- [384] ADDLOGIC LABS GMBH OHNE JAHR: *Die Prozesstechnik der hydrothermalen Karbonisierung*. http://www.addlogic-labs.com/hydrothermale_karbonisierung.html (15.12.2011).
- [385] SUNCOAL INDUSTRIES GMBH OHNE JAHR: *Hydrothermale Carbonisierung*. <http://www.htc-labs.org/de/hydrothermale-carbonisierung/> (05.02.2012).
- [386] SUNCOAL INDUSTRIES GMBH OHNE JAHR: *Das CarboREN-Verfahren*. <http://www.suncoal.de/index.php?page=carboren-verfahren> (01.03.2012).
- [387] DEUTSCHE EMISSIONSHANDELSSTELLE (DEHST) (HG.) JULI 2009: *Hinweise zum Anwendungsbereich des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes - TEHG für die Zuteilungsperiode 2008-2012*. http://www.dehst.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Anwendungsbereich_TEHG_2008-2012.pdf?__blob=publicationFile (12.04.2012).
- [388] BORMUTH, CLAUS 2009: *Energie und Rohstoffe aus landwirtschaftlichen Rohstoffen - Hydrothermale Carbonisierung ein geeignetes Verfahren? - Bedeutung der HTC für den Klimaschutz*. Kurzfassungen der Vorträge, Fachveranstaltung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) am 05.03.2009 in Berlin, www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/HTC-Bormuth.pdf?__blob=publicationFile (05.03.2012).

- [389] RICHARTS, FRITZ 2010: *Neue Entwicklungen und Perspektiven zur hydrothermalen Carbonisierung (HTC) von Biomasse*. in: Praxis der Verwertung von Biomasse aus Abfällen, Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis, Hg.: Wiemer, K., Kern, M., Raussen, T., 1. Auflage Nov. 2010, Seiten 253–260.
- [390] REVATEC GMBH OHNE JAHR: *Vapothermale Carbonisierung (VTC) - Revatec-Verfahren*. http://revatec.de/vapothermale_carbonisierung.htm (11.03.2012).
- [391] CLIMATE CENTER NORTH (HG.) 2012: *Biokohle*. Ausgabe 06, http://www.climatecenternorth.de/fileadmin/user_upload/ccn_newsletter06.pdf 10.03.2012.
- [392] DIETZ, FRANZ WERNER (SUIS GMBH) 2011: *Erfahrungen mit der Konzeption und dem Betrieb einer Grüngut-Vergärungsanlage im Verbund mit der Kompostierung und der energetischen Nutzung von Holz*. Fachvortrag auf der Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“ in Berlin am 01./02.März 2011.
- [393] INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GMBH (IE) 2004: *Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und aus angebaute Biomasse - Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse* -. Endbericht Kurzfassung, DBU Projekt 15071, Auftraggeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).
- [394] BMWA 2007: *Technische Grundlagen für die Beurteilung von Biogasanlagen*. http://www.lea.at/download/Biogas/TechnischeGrundlageBiogasanlagen_BMWA_2007.pdf (07.04.2012).
- [395] SCHIESSL/LUTZ (BEKON ENERGY TECHNOLOGIES GMBH & Co KG) 2002: *Die Trockenfermentation - Ein neuartiges Verfahren zur Grüngutverwertung*. im: Tagungsband - Abfallvermeidung und -verwertung bei der Landschafts- und Gartenpflege 01./02.Oktober 2002, Augsburg, [http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/389C394E1FF48457C1256EC8002A9921/\\$file/gruengut.pdf](http://www.abfallratgeber-bayern.de/arba/allglfu.nsf/389C394E1FF48457C1256EC8002A9921/$file/gruengut.pdf) (15.02.2012):39–44.
- [396] MEIER, DOROTHEE 2008: *Trockenfermentation braucht Struktur*. IBBK-Fachsymposium; in: energie-pflanzen II/2008, Seiten 36–39.
- [397] KUSCH/OECHSNER 2006: *Neues von der Trockenfermentation*. Tagung vom 13. Februar 2006, Stuttgart, Haus der Wirtschaft; Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Auf dem Weg zum nachhaltigen Ausbau, https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1191185/alr_130206_9_Kusch_oechsner.pdf (05.04.2012).
- [398] OHNE AUTOR/IN 2009: *Leitfaden Biogas*. Universität für Bodenkultur Wien - Department für Agrarbiotechnologie; IFA-Tulln, Institut für Umweltbiotechnologie, Austria, Tulln.
- [399] RAUSSEN/LOOTSMA/KERN 2010: *Verwertung von Gärresten aus Bioabfall: Rahmenbedingungen und Technik der Aufbereitung*. Biomassforum 2010, Witzenhausen-Institut, http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/Biomasseforum_2010_Raussen.pdf (18.03.2012):129–143.
- [400] NITSCH, JOACHIM ET AL. 2004: *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland*. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, FKZ 901 41 803, Langfassung, http://ifeu.de/landwirtschaft/pdf/Oekologisch_optimierter_Ausbau_Langfassung.pdf (02.02.2012).
- [401] BMU (HG.) 2008: *Biogas und Umwelt: Ein Überblick*. <http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt> (08.12.2011).
- [402] ARNOLD, KARIN ET AL. 2009: *Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung*. Hg.: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal Papers Nr.180, ISSN 0949-5266.

- [403] IFAS 2012: *Emailkontakt am 19.03.2012, 08.05.2012 mit Herrn Michael Müller (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS-Institut, Birkenfeld).*
- [404] STOCKMANN, FLORIAN 2012: *Emailkontakt am 26./27.03.2012 mit Herrn Florian Stockmann (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Wald-Zentrum Westfälische Wilhelms-Universität Münster).*
- [405] SAUERWEIN, PETER 2012: *Emailkontakt am 02./03.04.2012 mit Herrn Peter Sauerwein (Geschäftsführer vom Verband der Holzwerkstoffindustrie (VHI) e.V., Gießen).*
- [406] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Bioraffinerie im Energiepark Pirmasens.* <http://pfi-biotechnology.de/entwicklung/bioraffinerie-im-energiepark-pirmasens.html> (27.05.2012).
- [407] KIRCHNER, RON 2011: *Bioraffinerien verbinden stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse und können Erdölprodukte ersetzen.* <http://www.biomassenutzung.de/bioraffinerien-verbinden-stoffliche-und-energetische-nutzung-von-biomasse-und-können-erdolprodukte-ersetzen/> (27.05.2012).
- [408] KAMM/GRUBER/KAMM 2007: *Biorefineries - Industrial Processes and Products.* Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [409] STOTTMEISTER, ULRICH 2003: *Biotechnologie zur Umweltentlastung.* B.G. Teubner Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 1.Auflage.
- [410] NUSSBAUMER, T. 2001: *Direkte Thermische Umwandlung (Verbrennung): Grundlagen.* in: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hg.): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren.* Springer Verlag, Berlin, 288-322.
- [411] GÖRNER/HÜBNER KURT (HG.) 2002: *Gasreinigung und Luftreinhaltung.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [412] VOGEL, CLAUDIA ET AL. 2011: *Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken - Ein Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz?* Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hg.), http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2011/Dokumente/Endbericht_Biomassenutzung_in_Kohlekraftwerken_final_01.pdf (20.03.2012).
- [413] PAHL, RAINER 2012: *Emailkontakt am 19.03. und 27.03.2012 mit Herrn Pahl (Geschäftsführer der Stadtwerke Baden-Baden).*
- [414] FAZ 2007: *Biomassekraftwerk - Feuchter Grünschnitt als Brennstoff.* F.A.Z., 20.02.2007, Nr. 43 / Seite T6, www.faz.net/aktuell/wissen/klima/biomassekraftwerk-feuchter-gruenschnitt-als-brennstoff-1412277.html (15.03.2012).
- [415] BOUKIS, N. ET AL. 2010: *Vergasung von Grünschnitt in überkritischem Wasser.* DGMK-Fachbereichstagung „Konversion von Biomassen“, 10.-12.Mai 2010 in Gelsenkirchen, http://www.dgmk.de/kohle/abstracts_ven9/Boukis.pdf (16.03.2012).
- [416] D´JESÚS MONTILVA, PEDRO MIGUEL 2007: *Die Vergasung von realer Biomasse in überkritischem Wasser – Untersuchung des Einflusses von Prozessvariablen und Edukteigenschaften.* Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik, Universitätsverlag Karlsruhe.
- [417] GERBER, HELMUT 2009: *Dezentrale CO₂-negative energetische Verwertung von landwirtschaftlichen und industriellen Produktreststoffen.* Vortrag Bioenergietagung NAH Wetzlar am 27.08.2009, www.kaskad-e.ch/Pyreg_Gerber-2009.pdf (08.04.2012).
- [418] KLEMM, MARCO ET AL. 2009: *Hydrothermale Carbonisierung im Vergleich zu anderen Verfahren zur Nutzung nasser Biomasse.* in: *Energie und Rohstoffe aus landwirtschaftlichen Reststoffen - Hydrothermale Carbonisierung ein geeignetes Verfahren?*, Fachveranstaltung des vTI, 05.03.2009, Kurzfassungen der Vorträge.

- [419] SUNCOAL INDUSTRIES GMBH OHNE JAHR: *Nutzen - Klima*. <http://www.htc-labs.org/de/nutzen/klima/> (07.04.2012).
- [420] SUNCOAL INDUSTRIES GMBH OHNE JAHR: *Die Einsatzmöglichkeiten für Biokohle in der kommunalen Entsorgung*. <http://www.suncoal.de/index.php?page=einsatzmoeglichkeiten-biokohle> (06.04.2012).
- [421] IGA KOMPOSTFORUM SCHWEIZ 2006: *Grüngut verbrennen statt Kompost nutzen für natürliche Bodenfruchtbarkeit und erneuerbare Energie?* Stellungnahme der IGA Kompostforum Schweiz zur ERZ-Studie: ‚Verwertung der biogenen Abfälle in der Stadt Zürich‘, http://www.kompost.ch/beratung/xmedia/erz_iga.pdf (29.05.2012).
- [422] GINTER, MATHIAS ABFALLWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT DES NECKAR-ODENWALD-KREISES MBH (AWN) 2009: *Anreizsysteme zur Steigerung der Erfassungsquoten von Grünabfällen*. 70. Landesgruppen- und Fachtagung des VKS Abfall als Ressource 16.07.2009.
- [423] SCHNEIDER, MICHAEL 2012: *Telefonat am 22.05.2012 mit Herrn Michael Schneider (Geschäftsführer Verbände der Humus- und Erdenwirtschaft (VHE e.V.))*.
- [424] CUHLS, CARSTEN 2010: *Keine Klimabelastung durch Kompostierung von Biomasse*. Gewitra Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH Bonn und Hannover, tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachricht_ung/wasserwesen/iaa/service/skripte/ws_09_10/TU_Dresden_Cuhls.pdf (10.04.2012).
- [425] WÖBBEKING, KARL H. ET AL. 2005: *Betrieblicher Kennzahlenvergleich für die kommunale Abfallwirtschaft in Hessen - BKAbfall*. Auftraggeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz; Bearbeitung: Forschungsgruppe Kommunal-/Umweltwirtschaft Fachhochschule Mainz.
- [426] UBA OHNE JAHR: *Absatzbereiche für Komposte 2010*. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=22063> (04.01.2012).
- [427] BGK E.V. 2011: *Vermarktung von RAL-gütesichertem Kompost im Jahr 2010*. http://www.kompost.de/fileadmin/images/markt/Vermarktung_von_RAL.pdf (06.01.2012).
- [428] BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE E.V. OHNE JAHR: *Beton für Kompostierungsanlagen*. Zement-Merkblatt Landwirtschaft - Bauberatung Zement, <http://www.tbgpinzl.de/zement/pdf/LB2.pdf> (17.05.2012).
- [429] DLG E.V. 2001: *Großraum-Stalldungstreuer - UNI-TRANS UT 18000 - Breitstreuer*. Prüfbericht 4972, <http://www.dlg-test.de/pbdocs/4972.pdf> (16.05.2012).
- [430] IFEU 2007: *Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland (FKZ 0327544) - Teilbericht: Wirtschaftliche Bewertung von Kompostierungsanlagen hinsichtlich der Integration einer Anaerob-Stufe als Vorschaltanlage*.
- [431] OETJEN-DEHNE & PARTNER UMWELT- UND ENERGIE-CONSULT GMBH 2010: *Bewertung der vorhandenen Bioabfallbehandlungsstandorte in Schleswig-Holstein im Hinblick auf eine Ergänzung um Vergärungsstufen*. <http://www.uec-berlin.de/aktuelles/dateien/Bioabfallstudie.pdf> (13.05.2012).
- [432] KRAFT, MANFRED 2010: *Vergleich der Vollkosten von Heizungssystemen Fernwärme - Erdgas - Heizöl - Pellets*. http://www.fernwaerme-info.com/fileadmin/Redakteure/dokumente/HKV_2010_10_01_Portal.pdf (15.05.2012).

- [433] RAUSSEN/HACKLÄNDER/SIEPENKOTHEN 2010: *Konditionierung von Grünabfällen zur regionalen energetischen Nutzung*. in: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V, K. Wiemer und M. Kern, 1.Auflage 2010, Seiten 561–575.
- [434] LEIBLE, LUDWIG ET AL. 2006: *Kraftstoff, Wärme oder Strom aus Stroh und Waldrestholz – ein systemanalytischer Vergleich*. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 1, 15. Jg., April 2006, <http://www.itas.fzk.de/tatup/061/leua06b.pdf> (10.05.2012):70.
- [435] BUNDESREGIERUNG 2011: *Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)*. EEWärmeG vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf (13.04.2012).
- [436] BMU 2011: *Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt*. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/map_waerme_2011_bf.pdf (19.04.2012).
- [437] BUNDESREGIERUNG 2010: *Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV)*. BGBl. Jahrgang 2010 Teil I Nr. 4.
- [438] BUNDESREGIERUNG 2011: *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Gesetz)*. KWK-Gesetz vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092, zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2002/gesamt.pdf (12.03.2012).
- [439] BUNDESREGIERUNG 2011: *Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung - BioSt-NachV)*. BioSt-NachV vom 23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 70 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044), <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biost-nachv/gesamt.pdf> (14.04.2012).
- [440] BUNDESREGIERUNG 2006: *Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz - BioKraftQuG)*. http://www.bio-energie.de/fileadmin/biz/pdf/gesetzeslage/BioKrQuotengesetz_Text.pdf (15.04.2012).
- [441] BUNDESREGIERUNG 2009: *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV)*. DüMV vom 16. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2524), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. Dezember 2009 (BGBl. I S. 3905), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_mv_2008/gesamt.pdf (13.04.2012).
- [442] CLEARINGSTELLE EEG 2009: *Empfehlung*. Empfehlung der Clearingstelle EEG 2008/48, http://www.clearingstelle-ee.de/files/private/active/0/2008-48_Empfehlung.pdf (10.04.2012).
- [443] OHNE AUTOR/IN 2012: *Kompostierung - Mangel an Strauchschnitt*. in: UmweltBriefe 12.04.2012, Seite 6.
- [444] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)*. <http://www.bio-energie.de/rahmenbedingungen/gesetzeslage/erneuerbare-energien-waerme-gesetz-eewaermeg/> (19.04.2012).

- [445] AGFW (DER ENERGIEEFFIZIENZVERBAND FÜR WÄRME, KÄLTE UND KWK E.V.) 2011: *Rechtliche Mitteilungen - Leitfaden Öffentlich-rechtlicher Anschluss- und Benutzungszwang für Fernwärme*. http://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/linkes_menue/recht/anschluss_u_benutzerzwang/ABZ-Leitfaden.pdf&t=1334937358&hash=72af10eee62ef22d735e20b3e0d9fa998ad7a31f (19.04.2012).
- [446] BDEW 2011: *Wärmemarkt: Modernisierung des Gebäudebestands in den Fokus rücken*. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_20111129-PI-Waermemarkt-Modernisierung-des-Gebaeudebestands-in-den-Fokus-ruecken (19.04.2012).
- [447] HOPPENBROCK, VOLKER 2012: *Der Wärmemarkt und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz*. <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2012/2012-01-26-waerme-01.pdf> (19.04.2012).
- [448] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN OHNE JAHR: *Förderung von Wärme aus Erneuerbaren Energien*. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/strom/detailansicht/article/113/foerderung-von-waerme-aus-erneuerbaren-energien.html> (19.04.2012).
- [449] BMU 2009: *Nachhaltige Wärmekonzepte*. http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/BMU_AEE_Broschuere_Nachhaltige_Waermekonzepte.pdf (18.04.2012).
- [450] OHNE AUTOR/IN OHNE JAHR: *Tabelle 12 Anlage 2 DüMV (neu) Ausgangsstoffe für die Aufbereitung von organischen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel*. http://www.kompost.de/fileadmin/images/Archiv_GS/D-374MV_Tabelle_Ausgangsstoffe.pdf (20.04.2012).
- [451] SMUL (HG.) 2008: *Verbrennungsaschen*. http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/3936_1.pdf (20.04.2012).
- [452] SCHRÄGLE, RAINER 2010: *Nutzung von Holzaschen stark reglementiert*. www.holzaschen.de/pdf/Veroeffentlichung_HZB_100709_A3.pdf (11.02.2012).
- [453] HECK, PETER 2011: *Das Ende der Bioenergie? Akzeptanz durch Bürgerbeteiligung und Teilhabe!* Vortrag auf der Biomasse-Tagung Umwelt-Campus Birkenfeld am 10.11.2011.
- [454] IFAS 2012: *IST-Bilanz des Landkreis Mainz-Bingen*. Am 26.04.2012 per Mail von Herrn Michael Müller vom IfaS erhalten.
- [455] ZEIS, CHRISTOPH 2011: *Unternehmensphilosophie und -entwicklung EnergieDienstleistungsgesellschaft (EDG) Rheinhessen-Nahe mbH*.
- [456] EDG OHNE JAHR: *EDG- Tätigkeitsbereich*. http://edg-mbh.de/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=7 (04.05.2012).
- [457] EDG MBH 2011: *Persönliches Gespräch am 22.09.2011 mit Herrn Christoph Zeis von der EDG mbH (Geschäftsführer)*.
- [458] UBA 04/2012: *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011 im Vergleich zum Stromverbrauch*. <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf> (26.04.2012).
- [459] IFAS 2012: *Emailkontakt am 07.05.2012 mit Herrn Pascal Thome (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfaS-Institut, Birkenfeld)*.
- [460] AZ BINGEN, 04.03.2011: *Einstige Deponie neu bepflanzt*. www.allgemeinezeitung.de/region/bingen/vg-sprendlingen-gensingen/sprendlingen/10286347.htm (08.05.2012).

- [461] WEBER, MARKUS 2010: *Ressourcenschonung durch ortsnahe Entsorgung und Tourenoptimierung*. in: Urban, Arnd I./Halm, Gerhard (Hg.), Praktikable Klimaschutz-Potentiale in der Abfallwirtschaft, Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik, UNIK-AT Band 11, Kassel, <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-910-8.volltext.frei.pdf> (18.06.2012):91–100.
- [462] OPTITOOl GMBH OHNE JAHR: *OPTITOOl WST – Tourenoptimierung für die Entsorgungsindustrie*. www.optitool.de/branchenloesungen/entsorgung-oeffentlich-privat.html (15.06.2012).
- [463] SACKMANN, BERND 2010: *Potentiale der Treibstoffeinsparung durch Fahrertraining*. in: Urban, Arnd I./Halm, Gerhard (Hg.), Praktikable Klimaschutz-Potentiale in der Abfallwirtschaft, Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik, UNIK-AT Band 11, Kassel, Seiten 101–106.



Melanie Bohland wurde 1986 in Mainz geboren und erlangte mit 26 Jahren ihren zweiten Abschluss im Bereich Umweltschutz/-wissenschaften. Derzeit ist sie als Umweltschutzingenieurin bei einem Automobilhersteller beschäftigt. Mit der vorliegenden Masterarbeit hat sie ihren Abschluss als Master of environmental science als beste Absolventin des Jahrgangs erzielt.

Die effiziente Verwertung von »Non-food-Biomasse« (hier: Grünschnitt) als energetische und stoffliche Ressource gewinnt durch den fortschreitenden anthropogenen Klimawandel, der vor allem bedingt ist durch die Gewinnung und Nutzung von fossilen Energieträgern, mineralischen Düngemitteln und Torfprodukten, zunehmend an Bedeutung.

In der Arbeit werden für die bisherige Grünschnittverwertungsstrategie im Landkreis (LK) Mainz-Bingen – auf der Grundlage einer umfassenden Analyse bundesweit vorhandener Daten und der Datengrundlage im LK – Schwachstellen analysiert und Optimierungsmaßnahmen aufgezeigt. Für die Grünschnittverwertung wird anhand einer »vereinfachten« Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 ein Konzept mit einem möglichst hohen Klimaschutzpotenzial erarbeitet. Zur Akzeptanzförderung der Bürger werden Partizipationsmaßnahmen mit konkreter Ausgestaltung dargelegt. Die Arbeit bezieht dabei technisch-ökologische, rechtliche, wirtschaftliche und sozialwissenschaftliche Aspekte mit ein und ist dadurch durch ein hohes Maß an Interdisziplinarität gekennzeichnet.

ISBN 978-3-8396-0744-2



9 783839 607442