

TEXTE

49/2019

Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand

Abschlussbericht

TEXTE 49/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715343140
UBA-FB FB 000018

Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand

Abschlussbericht

von

Florian Knappe, Joachim Reinhardt
ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH

Dr. Michael Kern, Thomas Turk, Thomas Raussen, Sabrina Kruse, Axel Hüttner
Witzenhausen-Institut GmbH, Witzenhausen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstraße 3,
69120 Heidelberg

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH
Werner-Eisenberg-Weg 1
37213 Witzenhausen

Abschlussdatum:

Oktober 2018

Redaktion:

Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer
Tim Hermann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2019

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

Kurzbeschreibung

Eine hochwertige bodenbezogene Verwertung von Bio- und Grüngut zeichnet sich dadurch aus, dass die gesamten Verwertungssysteme auf die zu erreichenden Spezifikationen für die Kompostprodukte oder für deren Weiterverarbeitung zur Herstellung von Erden – und Substraten ausgerichtet werden. Die jeweiligen Anforderungen an das Produkt bestimmen die Verwertungstechnik, die Aufteilung in Teilmassenströme unterschiedlicher wertgebender Eigenschaften bis hin zur darauf abgestellten Konzeption von Sammlung und Erfassung sowie zugehöriger Öffentlichkeitsarbeit.

Hochwertig ist eine Bioabfallverwertung dann, wenn die wertgebenden Eigenschaften des Bioabfalls möglichst umfassend genutzt werden (in der Regel Kombination aus energetischer Nutzung des erzeugten Biogases mit hohen Wirkungsgraden und einer Verwendung der Komposte und kompostierten Gärrückstände mit hohen Substitutionserfolgen) und auf hohe Emissionsstandards geachtet wird.

Im Rahmen der Studie wurden für die Verwertungsprozesse die hierfür zentralen Stellschrauben herausgearbeitet und mit dem in Deutschland erreichten Status Quo verglichen. Auch wenn die Datenlage lückenhaft ist, ergaben sich deutliche Fingerzeige für teilweise dringenden Handlungsbedarf. Um die gewünschte hochwertige Verwertung des Bioabfalls sicherzustellen, bedarf es in vielen Fällen einer Erweiterung und Nachrüstung der Anlagentechnik und Anpassung der Betriebsweisen.

Hierfür ließen sich im Rahmen der Studie konkrete Maßnahmenvorschläge ableiten, die auf eine Minderung der Fremdstoffanteile und damit Steigerung der Kompostqualitäten, kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung über Vergärung zur Biogaserzeugung und anschließende stoffliche Nutzung der Gärresteprodukte (Mehrfachnutzung), Minderung des Emissionsniveaus, hochwertige Verwertung der Komposte und Gärrückstände und Qualitätssicherung und Güteüberwachung von Anlagen und Produkt abzielen.

Abstract

High-quality soil-related recycling of organic and green waste is characterised by the fact that the entire recycling systems are geared to the specifications to be achieved for the compost products or for their further processing for the production of soil and substrates. The respective product requirements determine the recovery technology, the division into partial mass flows according to their valuable properties, the design of collection and recording as well as the associated public relations work.

Bio-waste recovery is of high value if the valuable properties of the bio-waste are used as comprehensively as possible (usually a combination of energetic use of the biogas produced with high efficiencies and use of composts and composted fermentation residues with high substitution successes) and if at the same time attention is paid to high emission standards.

In this study, the most important tools for the recycling processes were worked out and compared with the status quo achieved in Germany. Even if the data situation is incomplete, there were clear indications for an urgent need for action in some cases. In order to ensure the desired high-quality recycling of biowaste, it is necessary in many cases to expand and retrofit the plant technology and adapt the operating methods.

For this purpose, concrete proposals for measures could be derived from this study, which aim at a reduction of the foreign matter content and thus an increase in compost qualities, at a combined energetic and material use via fermentation for biogas production and subsequent material use of the fermentation residues (multiple use), at a reduction of the emission level, at a high-quality recycling of composts and fermentation residues as well as quality assurance and quality monitoring of plants and products.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	12
Zusammenfassung	13
Summary	23
1 Einleitung / Aufgabenstellung	32
2 Entwicklung von Maßstäben zur Bewertung einer hochwertigen Verwertung von Bioabfällen	34
2.1 Festlegung der Kriterien	34
2.2 Identifikation der zentralen Ansatzpunkte im Verwertungssystem	35
2.2.1 Verwertung von Biogut als Mix aus Küchen- und Gartenabfällen	36
2.2.2 Verwertung von Küchenabfällen	43
2.2.3 Verwertung von Gartenabfällen / Grüngut	51
2.3 Identifikation der das Ergebnis bestimmenden Größen	57
2.3.1 Verwertung von Biogut über Mehrfachnutzung	57
2.3.2 Verwertung von Grüngut über Kompostierung	61
2.3.3 Verwertung holziger Abfallmassen als Energieträger	64
2.4 Hochwertige Verwertung der unterschiedlichen Abfallbiomassen - Zusammenfassung	64
3 Analyse und Bewertung des Status quo der Bioabfallbehandlung	68
3.1 Grundlagen	68
3.1.1 Aufgabe und Zielstellung	68
3.1.2 Datengrundlage	68
3.1.3 Anlagenbestand zur biologischen Abfallbehandlung in Deutschland	70
3.2 Hochwertige Verwertung von Biogut	73
3.2.1 Mehrfachnutzung von Biogut	73
3.2.2 Fazit	75
3.3 Verwertung von Biogut in Vergärungsanlagen	75
3.3.1 Bauliche Ausführung von Biogutvergärungsanlagen	76
3.3.2 Fazit zur baulichen Ausführung von Biogutvergärungsanlagen	83
3.4 Verwertung von Biogut in Kompostierungsanlagen	84
3.4.1 Bauliche Ausführung von Biogutkompostierungsanlagen	84
3.4.2 Fazit zur baulichen Ausführung von Biogutkompostierungsanlagen	93
3.5 Verwertung von Grüngut und holzigem Grüngut	94
3.5.1 Hochwertigkeit der stofflichen und energetischen Verwertung	94

3.5.2	Bauliche Ausführung der Grüngutbehandlung	95
3.5.3	Fazit zur Verwertung von Grüngut und holzigem Grüngut.....	97
3.6	Hochwertige Verwertung von Kompost	97
3.6.1	Komposte und Verwertungswege aus der Bio- und Grüngutbehandlungsanlagen	97
3.6.2	Verwertung von Siebüberläufen – Biogutkompostierungsanlagen	102
3.6.3	Komposte und Gärreste von Biogutvergärungsanlagen	104
3.6.4	Fazit hochwertige Verwertung von Komposten	105
4	Typische Maßnahmen in der Prozess- und Aufbereitungskette zur Reduzierung des Stör- und Fremdstoffanteils.....	106
4.1	Hintergrund.....	106
4.2	Anlieferung	107
4.3	Aufbereitung.....	108
4.4	Randbedingungen im Biologischen Prozess	114
4.4.1	Vergärung.....	114
4.4.2	Kompostierung.....	116
4.5	Kompostkonfektionierung	118
5	Best Practice Beispiele	121
5.1	Biogutvergärung im Biogaspark Großenlütter	121
5.2	Biogutvergärungsanlage Quarzbühl	123
5.3	Grüngutverwertung im Landkreis Bergstraße	128
5.4	Kompostverwertung im Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald.....	131
6	Hochwertige Verwertung von Bioabfällen - Empfehlung.....	136
6.1	Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von Biogut.....	137
6.2	Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von Grüngut.....	146
6.3	Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von holzigem Grüngut	148
7	Quellenverzeichnis.....	149

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ergebnisse für Biogut – Treibhauseffekt	38
Abbildung 2:	Ergebnisse für Biogut – Versauerungspotenzial	39
Abbildung 3:	Ergebnisse für Biogut – Schonung der Ressource Phosphor	40
Abbildung 4:	Ergebnisse für Biogut – Energiebilanz (KEA_{foss})	41
Abbildung 5:	Ergebnisse für Biogut – Schadstoffeintrag in Böden (Beispiel Cadmium)	42
Abbildung 6:	Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Treibhauseffekt	45
Abbildung 7:	Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Versauerung	47
Abbildung 8:	Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Schonung der Ressource Phosphat	48
Abbildung 9:	Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Energiebilanz (KEA_{foss})	49
Abbildung 10:	Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Schadstoffeinträge in Böden (Beispiel Cadmium)	50
Abbildung 11:	Ergebnisse für „Grüngut“ – Klimawirkung	53
Abbildung 12:	Ergebnisse für „Grüngut“ – Versauerungspotenzial	54
Abbildung 13:	Ergebnisse für „Grüngut“ – Energiebilanz (KEA_{foss})	55
Abbildung 14:	Ergebnisse für „Grüngut“ – Schonung der Ressource Phosphat	56
Abbildung 15:	Ergebnisse für „Grüngut“ – Schadstoffeintrag in Böden (Beispiel Cadmium)	57
Abbildung 16:	Vergleichende ökologische Bewertung der Vermarktungswege von Komposten (aus Biogut) am Beispiel der Umweltwirkungskategorien Treibhauseffekt, Eutrophierung terrestrisch und Schadstoffeintrag	63
Abbildung 17:	Darstellung der Datengrundlage	69
Abbildung 18:	Anzahl der in Deutschland vorhandenen Anlagen zur biologischen Behandlung von Bio- und Grüngut (Grüngutkompostierungsanlagen < 1.000 Mg/a nicht berücksichtigt) 2016 (Witzenhausen-Institut)	71
Abbildung 19:	Prozentualer Anteil der in Deutschland vorhandenen Biogutkompostierungs-, Grüngutkompostierungs- und Biogutvergärungsanlagen im genehmigten Kapazitätsbereich zwischen ≥ 1.000 Mg/a und ≥ 50.000 Mg/a, Stand 2016	72
Abbildung 20:	Summe der genehmigten Kapazitäten der in Deutschland vorhandenen Biogutkompostierungs-, Grüngutkompostierungs- und Biogutvergärungsanlagen im genehmigten Kapazitätsbereich zwischen ≥ 1.000 Mg/a und ≥ 50.000 Mg/a, Stand 2016	72
Abbildung 21:	Anzahl an Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen in Deutschland, Stand 2016	73
Abbildung 22:	Genehmigte Kapazitäten an Biogut von Biogutkompostierungs- und -vergärungsanlagen 2016	74

Abbildung 23:	Bauliche Ausführung der Anlieferbereiche von Bioabfallvergärungsanlagen, Stand 2009	76
Abbildung 24:	Bauliche Ausführung der Anlieferbereiche von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016.....	77
Abbildung 25:	Bauliche Gestaltung der Fest-/Flüssigtrennung mit Abluftbehandlung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016.....	78
Abbildung 26:	Aerobisierung fester Gärrückstände mit Abluftbehandlung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016.....	79
Abbildung 27:	Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017	80
Abbildung 28:	Saurer Wäscher zur Abluftreinigung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017	81
Abbildung 29:	Bauliche Gestaltung des Gärrückstandslagers von Bioabfallvergärungsanlagen, Stand 2009	82
Abbildung 30:	Bauliche Gestaltung des Gärrückstandslagers von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017	82
Abbildung 31:	Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009.....	85
Abbildung 32:	Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	85
Abbildung 33:	Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017.....	86
Abbildung 34:	Bauliche Gestaltung der Materialaufbereitung von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	87
Abbildung 35:	Bauliche Gestaltung der Materialaufbereitung von Biogutkompostierungsanlagen - regional, Stand 2017	87
Abbildung 36:	Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009.....	88
Abbildung 37:	Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	89
Abbildung 38:	Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017.....	89
Abbildung 39:	Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009.....	90
Abbildung 40:	Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	91
Abbildung 41:	Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017.....	91
Abbildung 42:	Bauliche Gestaltung der Abluftbehandlung von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	92

Abbildung 43:	Bauliche Gestaltung der Abluftbehandlung von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017.....	92
Abbildung 44:	Brennstoffnutzung von Siebüberläufen, Stand 2016	94
Abbildung 45:	Brennstoffverwertung nach Brennstoffabsiebung aus Grüngut, Stand 2016	95
Abbildung 46:	Anteil des abgesiebten Brennstoffs am Grüngutinput, Stand 2016...	95
Abbildung 47:	Bauliche Ausführung der Grüngutkompostierung, Stand 2016	96
Abbildung 48:	Umsetzung der Kompostmieten, Stand 2016.....	96
Abbildung 49:	Produzierte gütegesicherte Komposte differenziert nach Komposttyp, Stand 2016.....	98
Abbildung 50:	Produktion von gütegesicherten Frisch- bzw. Fertigkomposten in den einzelnen Bundesländern im Jahr 2016.....	99
Abbildung 51:	Vermarktungswege gütegesicherter Komposte, Stand 2016.....	100
Abbildung 52:	Vermarktungswege gütegesicherter Komposte für den Zeitraum 2007–2016	100
Abbildung 53:	Verwertungswege gütegesicherter Frisch- und Fertigkomposte, Stand 2016	101
Abbildung 54:	Anteil des ausgeschleusten Siebüberlaufs am Gesamtinput von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017.....	103
Abbildung 55:	Verwertung der Siebüberläufe von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017	103
Abbildung 56:	Produzierte Komposte von Grüngutkompostierungsanlagen ≥ 1.000 Mg/a, Stand 2016	102
Abbildung 57:	Erzeugte Produkte von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016	104
Abbildung 58:	Anlieferung von Biogut in der Praxis	108
Abbildung 59:	Sackaufreißer und langsam laufendes Zerkleinerungsaggregat.....	109
Abbildung 60:	Außen- und Innenansicht Querstromzerspaner	110
Abbildung 61:	stationäre und mobile Siebmaschine mit Windsichter	111
Abbildung 62:	Sortierkabine für händische Sortierung.....	113
Abbildung 63:	sensorbasiertes automatisches Sortiersystem	114
Abbildung 64:	mobiles Umsetzaggregat	117
Abbildung 65:	Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Einfachsiebung.....	119
Abbildung 66:	Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Mehrfachsiebung.....	120
Abbildung 67:	Gasaufbereitung und Einspeisung	122
Abbildung 68:	Biogaspark Großenluder	123
Abbildung 69:	Luftbild Bioabfallbehandlungsanlage Quarzbichl	124

Abbildung 70:	BHKW-Container mit Aktivkohle-Adsorber, im Hintergrund der abgedeckte Lagertank für das flüssige Gärgut	125
Abbildung 71:	Sortierkabine zur händischen Separierung der Fremdstoffe	126
Abbildung 72:	Sortierband zur händischen Separierung der Fremdstoffe	126
Abbildung 73:	Erdenherstellung im betriebseigenen Erdenwerk.....	127
Abbildung 74:	Verkaufsstelle für Erden (Kleinmengen).....	128
Abbildung 75:	Brennstofflager	130
Abbildung 76:	Heizkessel Kreiskrankenhaus Heppenheim	130
Abbildung 77:	Produktauswahl des BBG Donau-Wald	132
Abbildung 78:	Übersicht für die Produktpalette auf Grüngutbasis	133
Abbildung 79:	Öffentlichkeitsarbeit – Glücksrad bei Produktpräsentation.....	134
Abbildung 80:	Pflanzaktion, Schulklassen am Stand Messe Berlin	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emission klimaschädlicher Gase über die Prozessschritte	59
Tabelle 2:	Hochwertige Verwertung von Biogut	65
Tabelle 3:	Hochwertige Verwertung von krautigem Grüngut (Garten- und Parkabfälle)	66
Tabelle 4:	Hochwertige Verwertung von holzigem Grüngut.....	66
Tabelle 5:	Deutschlandweit befragte Biogutvergärungsanlagen	69
Tabelle 6:	Befragte Biogutkompostierungsanlagen der Bundesländer (> 10.000 Mg/a)	70
Tabelle 7:	Wirtschaftlichkeitsschwelle zur Nachrüstung von anaeroben Vorschaltanlagen	75
Tabelle 8:	Vermarktung von gütegesicherten Frisch- und Fertigkomposten in den einzelnen Bundesländern 2016	101

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kGR	Kompostierter Gärrest
KrWG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen
N	Stickstoff
NO_x	Stickoxide
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM₁₀	Feinstaub; Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser weniger als 10 µm beträgt
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe

Zusammenfassung

Bioabfälle stellen eine wertvolle Ressource dar, die es möglichst umfassend und hochwertig im Sinne der §§ 7 und 8 KrWG zu nutzen gilt. Mit der vorliegenden Untersuchung erfolgte eine eingehende Analyse und Bewertung des derzeitigen Umgangs mit Bioabfällen. Gespiegelt an den gesetzlichen Anforderungen konnten so konkrete Maßnahmen erarbeitet werden, um die Bewirtschaftung dieser Abfallmassen als wertvolle Rohstoffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft weiter zu entwickeln und die Abfälle entsprechend ihren wertgebenden Eigenschaften möglichst umfassend zu nutzen.

In einem ersten Bearbeitungsschritt galt es zunächst, die Hochwertigkeit der Bioabfallverwertung zu konkretisieren. Hochwertigkeit lässt sich anhand konkreter Umweltwirkungen beschreiben, die sich aus den gesetzlichen Vorgaben ableiten lassen. Zur Bewertung der Auswirkungen sind die zu erwartenden Emissionen, das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen, die einzusetzende und zu gewinnende Energie und die Anreicherung von Schadstoffen zu beachten. Berücksichtigt man die zentralen Ansatzpunkte in der Bioabfallverwertung, dann ist dasjenige Verfahren am hochwertigsten, das hochwertige und mit einem hohen Substitutionspotenzial verwertbare Produkte erzeugt, dabei zur Energieerzeugung beiträgt und möglichst geringe Emissionen freisetzt.

In einem zweiten Schritt wurde der in Deutschland erreichte Stand in der Bioabfallverwertung anhand dieser Kriterien analysiert und bewertet. Dazu diente die Beschreibung der guten fachlichen Praxis, und zwar für die Ansatzpunkte in den Systemen, die als zentrale Stellschrauben für eine hochwertige Verwertung identifiziert werden konnten, wobei „technisch möglich“ und „wirtschaftlich zumutbar“ berücksichtigt wurden. Entsprechend den unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften und Verwertungsoptionen erfolgte die Analyse getrennt nach Biogut (über die Biotonne gesammelter Bioabfall), Grüngut (getrennt gesammelte Grün- und Gartenabfälle) sowie holzige Biomasse. Der Anlagenbestand und die Kompostverwertung konnte so an der entsprechenden guten fachlichen Praxis gespiegelt werden. Vorrangig wurden vorhandene Datensätze ausgewertet, ergänzend aber auch weitere Abfragen durchgeführt.

In einem letzten Schritt wurden aus den erkannten Defiziten die Ansatzpunkte zur Optimierung des Gesamtsystems abgeleitet. Diese Ansatzpunkte ließen sich in konkrete Maßnahmen fassen.

Entwicklung von Kriterien zur Beurteilung der Hochwertigkeit und Identifikation der zentralen Ansatzpunkte

Abgeleitet aus den Vorgaben des KrWG wurden folgende Kriterien zur Beurteilung der Hochwertigkeit festgelegt: Die Emissionen aus der Bioabfallbehandlung bestimmen den Treibhauseffekt und v.a. über die Stickstoffemissionen das Versauerungs- und das terrestrische Eutrophierungspotenzial. Durch die im Bioabfall und damit auch im Kompost und Gärrest enthaltenen Nährstoffe und die Organik lassen sich Ressourcen wie Phosphaterz und Torf einsparen. Der Einsatz von Energie, aber auch die Nutzung von Biogas schlagen sich nicht nur in der Treibhausbilanz nieder, sondern lassen sich auch im kumulierten Energieaufwand (fossil) beschreiben. Über den möglichen Schadstoffeintrag in Böden (Cadmium und PAK) wurde die „Schadstoffanreicherung“ berücksichtigt.

Für das **Biogut** werden die Optionen Verwertung über offene und geschlossene Kompostierung jeweils bis Frisch- und Fertigkompost und die Vergärung ohne und mit Nachrotte des Gärrestes (Gärrest und kompostierter Gärrest) betrachtet.

Mit Ausnahme der geschlossenen Kompostierung zeigen sich deutliche Unterschiede im Emissionsniveau sowohl hinsichtlich Treibhauseffekt als auch beim Versauerungs- und terrestrischen Eutrophierungspotenzial. Es handelt sich demzufolge um wichtige Stellschrauben zur Optimierung. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Verwertungsoptionen ist bei guter Anlagenführung und emissionsmindernden Maßnahmen gering, wie die minimalen Werte zeigen, bei schlechter Anlagenführung

und fehlenden Maßnahmen hingegen groß. So birgt beispielsweise insbesondere die offene Kompostierung durch die Stickstoffemissionen im Versauerungs- und terrestrischen Eutrophierungspotenzial maximal deutlich größere Lasten als die geschlossene Kompostierung mit Abluftbehandlung. Die Herstellung von Fertigkompost oder kompostiertem Gärrest erfolgt mit höherem Aufwand und über eine längere Behandlungszeit. Die daraus resultierenden zusätzlichen Lasten sind gegenüber dem erweiterten Nutzen und den höheren Substitutionserfolgen in der Regel gering.

Die Erfolge aus der stofflichen Nutzung der Komposte und Gärreste sind umso höher, je mehr davon in den (Hobby-) Gartenbau oder die Produktion von Substraten und Erden verkauft werden kann. Hier werden ausschließlich Fertigkomposte vermarktet. Die somit erfolgte Substitution von Torf bewirkt große Gutschriften im Treibhauseffekt; die Verwendung von Rindenmulch bewirkt große Gutschriften hinsichtlich der Schadstoffeinträge in Böden. Eine Einsparung von Phosphat wird beim ausschließlichen Einsatz im Erwerbsgartenbau nicht erzielt, so dass auf eine ausgewogene Nutzung von Substrat und Nährstoffen bei der Anwendung des Fertigkomposts oder des kompostierten Gärrestes und von Substraten und Erden sowohl im Bereich Landwirtschaft wie im (Hobby-) Garten- und Landschaftsbau geachtet werden muss.

Über die Vergärung lassen sich zusätzliche Erfolge mit der Produktion und Vermarktung von Strom und Wärme erzielen. Bei hoher Gasausbeute und hohen energetischen Wirkungsgraden sind sie unter Klimagesichtspunkten ähnlich bedeutend wie die maximalen Gutschriften aus der stofflichen Nutzung der Komposte und Gärreste. Im Versauerungs- und terrestrischen Eutrophierungspotenzial ist der Beitrag hingegen geringer. Darüber hinaus haben die Gutschriften für Energie eine herausragende Bedeutung im fossilen kumulierten Energieaufwand.

Die Vergärung ist bei guter Anlagenführung hinsichtlich Treibhauseffekt, Energieaufwand und eingeschränkt hinsichtlich des Versauerungspotenzials im Vergleich zur Kompostierung vorteilhaft. Die Nutzung des Biogases ist zwangsläufig mit hohen NO_x-Emissionen verbunden, die sich unter manchen Umweltaspekten bemerkbar machen.

Die Verwertung des Biogutes ist besonders hochwertig, wenn folgende Punkte beachtet werden:

1. Mehrfachnutzung durch Vergärung und aerober Nachbehandlung
2. hohe Emissionsstandards,
3. Herstellung von Fertigkompost und hochwertige Verwertung sowie
4. hohe energetische Wirkungsgrade bei der Biogasnutzung

Bei den **Küchen- und Nahrungsabfällen** handelt es sich um den Biotonneninhalt vor allem aus Innenstadtquartieren, wo der Gartenabfallanteil in der Regel sehr gering ist. Betrachtet werden die Verwertungsoptionen einer geschlossenen und offenen Kompostierung jeweils bis zur Stufe Frisch- und Fertigkompost und einer Vergärung ohne anschließende Fest-/ Flüssigtrennung mit direkter Ausbringung eines flüssigen Gärrestes in der Landwirtschaft.

Mit Ausnahme der geschlossenen Kompostierung zeigen sich deutliche Unterschiede im Emissionsniveau sowohl hinsichtlich des Treibhauseffekts als auch beim Versauerungs- und terrestrischen Eutrophierungspotenzial. Es handelt sich demzufolge um wichtige Stellschrauben zur Optimierung. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Verwertungsoptionen ist bei guter Anlagenführung und emissionsmindernden Maßnahmen gering, wie die minimalen Werte zeigen, bei schlechter Anlagenführung und fehlenden Maßnahmen dagegen groß. Bei schlechten Standards ist die Produktion von Fertigkompost bzw. die Kompostierung in offener Anlagenführung mit deutlich höheren klimawirksamen bzw. versauernden und eutrophierenden Emissionen verbunden. Bei der Nutzung des Biogases aus der Vergärung kommen unabhängig von der Anlagenoptimierung NO_x-Emissionen hinzu, die jedoch hinsichtlich ihres Versauerungs- und Eutrophierungspotenzials weniger bedeutend sind als die Emissionen, die aufgrund von unterschiedlichen Anlagenführung Differenzen aufweisen.

Die Lasten aus der Ausbringung sind im Falle flüssiger Gärreste vergleichsweise hoch, da der Gärrest mit einem Trockensubstanz-Gehalt von nur 7 % in großer Masse vorliegt.

Fertigkompost ist mit einem größeren stofflichen Nutzen verbunden als Frischkompost, wiederum ist der Nutzen aber – aufgrund des größeren Abbaus im Behandlungsprozess und des dadurch bedingten geringeren verbleibenden Substrat- und Nährstoffgehalts – weniger ausgeprägt als beim Biogut. Die Schwankungsbreiten innerhalb der jeweiligen Verwertungsoptionen sind für die stoffliche Nutzung in den Kategorien Treibhauseffekt und Schadstoffeintrag daher auch geringer als für Biogut aufgezeigt. Bezüglich der Substitution von Phosphat gibt es zwischen den Verwertungsoptionen keinen Unterschied – Ausnahme: ausschließliche Nutzung im Bereich Rekultivierung oder Erwerbsgartenbau. Torf oder Rindenmulch können hingegen nur über die Anwendung von Fertigkompost im Bereich Substrate und Erden substituiert werden, was entsprechende Substitutionserfolge mit sich bringt.

Bedeutender sind die Substitutionserfolge aus der energetischen Nutzung des Biogases und damit auch die Frage der Gasausbeute und der energetischen Wirkungsgrade bzw. des Anteils der Wärmenutzung. Mit der Vergärung lassen sich bei guter Anlagenführung am ehesten Netto-Umweltentlastungen erzielen.

Die Verwertung der Küchen- und Nahrungsabfälle ist besonders hochwertig, wenn folgende Punkte beachtet sind:

1. Mehrfachnutzung aus Vergärung und stofflicher Nutzung,
2. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb,
3. Hohe energetische Wirkungsgrade und
4. Herstellung von Fertigkompost und hochwertige Verwertung.

Das **Grüngut**, das hier angenommen zu 50 % aus krautigem und zu 50 % aus eher holzigem Material besteht, wird beispielsweise an Grüngutsammelplätzen getrennt erfasst. Für diesen Abfallstrom werden mehrere Verwertungsoptionen unterschieden: Möglich ist eine offene Kompostierung zur Herstellung von Frisch- oder Fertigkompost. Eine weitere Option stellt die Produktion von Fertigkompost in offener Kompostierung dar, wobei der krautige Anteil vorab abgetrennt und einer Vergärung übergeben wird. Auch hier wird der Gärrest nachgerottet. Ferner kann die Produktion von Fertigkompost mit der Abtrennung des holzigen Anteils gekoppelt sein, der zu Holzhackschnitzeln für eine energetische Nutzung verarbeitet wird. Die letzte Option kombiniert diese Ansätze der energetischen Nutzung, indem Teilmassenströme für eine Vergärung und eine Produktion von Holzhackschnitzeln genutzt werden.

Auch bei der Verwertung von Grüngut fallen die großen Bandbreiten in den Bilanzierungsergebnissen ins Auge. Je nach Anlagenführung weisen die Emissionen aus der Kompostierung und Vergärung bezüglich Treibhauseffekt sowie Versauerungs- und terrestrischem Eutrophierungspotenzial erhebliche Bandbreiten auf, welche hinsichtlich Treibhauseffekt erst bei der Produktion von Fertigkompost oder bei der Vergärung richtig zum Tragen kommen. Bei der energetischen Verwertung des holzigen Anteils sinken sie etwas. Wenn aber auf eine gute Anlagenführung und emissionsmindernde Maßnahmen geachtet wird, sind die Unterschiede wiederum gering. Entsprechend groß ist die Bedeutung von emissionsmindernden Maßnahmen für eine hochwertige Grüngutverwertung.

Bei guter Anlagenführung lohnt sich die Bereitstellung von Fertigkompost bei entsprechender Nutzung durchgängig aufgrund der Substitution von Torf bzw. Rindenhumus – insbesondere in Hinblick auf den Treibhauseffekt und den Cadmиеintrag in den Boden. Die Art der stofflichen Nutzung hat eine deutlich höhere Bedeutung als beim Biogut oder gar beim Küchenabfall. Die Schwankungsbreiten dafür fallen ähnlich groß aus wie diejenigen für die Emissionen aus der Behandlung. Gutschriften für Strom und Wärme werden deutlich mehr durch die energetische Nutzung des holzigen Anteils als durch die Vergärung des vergärbaren Anteils erzielt, wobei der vollständigen Nutzung der Wärme eine

dem Strom fast ebenbürtige Bedeutung zukommt. Die Abtrennung von holzigem Anteil wirkt sich im Treibhauseffekt, Versauerungspotenzial (falls die Wärme genutzt wird) und Energieverbrauch positiv aus, in der Einsparung von Phosphat und im Eintrag von Cadmium in den Boden durch den Entzug des Holzes aus der stofflichen Nutzung hingegen negativ.

Die Verwertung von Grüngut ist dann besonders hochwertig, wenn auf folgende Punkte geachtet wird:

1. Verwertung mit hohen Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb
2. Fertigkompost anstatt Frischkompost und hochwertige Nutzung der Komposte bzw. kompostierten Gärrückstände
3. für holzigen Anteil Aufbereitung zur thermischen Nutzung
4. für vergärbaren, saftenden Anteil eine Kombination aus Vergärung und Nachrotte bei hohen energetischen Wirkungsgraden.

Übertragung der zentralen Ansatzpunkte auf (technische) Maßnahmen

Mit welchen (technischen) Maßnahmen sind die oben ermittelten Stellschrauben nun adressierbar?

Die optimale Verwertung von **Biogut** über **Mehrfachnutzung** kann je nach Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) eine kontinuierliche Trockenvergärung oder eine diskontinuierliche Trockenvergärung (Feststoffvergärung) in Boxen für strukturreiches Material sein oder eine Nassvergärung bei geringen Trockensubstanzgehalten. Der Gasertrag liegt bei bis zu 125 Nm³/Mg Bioabfall und kann über eine Anpassung der hydraulischen Verweilzeit und der Prozessbiologie in Anpassung an den biologischen Prozess der Nachrotte der Gärrückstände weitestgehend ausgeschöpft werden. Als Zielgröße gilt, dass mindestens 80 % des Gasertrages gemäß dem VDI-Gärttest zu erzielen sind. Eine thermophile kontinuierliche trockene Vergärung kann unter den Gesichtspunkten des Netto-Energieoutputs bei entsprechender Betriebsweise (Zerkleinerung des Inputmaterials in Verbindung mit Sackaufreißern, Anmaischen / gutes Animpfen des Inputmaterials, ausreichend lange Verweilzeiten) vorteilhaft sein.

Um die Emissionen aus der Behandlung zu minimieren, muss die Lagerung des flüssigen Gärrestes unter ausreichender Lagerkapazität gasdicht erfolgen, wobei die Gashaube für den flexiblen Betrieb des BHKWs genutzt werden sollte. Die Aerobisierung des festen Gärrückstandes muss hinreichend sein und die dabei anfallende Abluft einer gezielten Behandlung zugeführt werden, wobei methanhaltige Abluft als Zuluft für das BHKW genutzt, über eine Fackel verbrannt oder anderweitig gezielt aufbereitet werden sollte. In der Nachrotte sind niedrige Temperaturen bei guter Durchlüftung und hohen Verweilzeiten mit dem Zielrottegrad IV bis V anzustreben, wobei zumindest eine Überdachung vorliegen sollte. Rottephasen mit höheren Temperaturen und entsprechendem Emissionspotenzial sollten geschlossen ausgeführt sein, um das dabei entstehende Ammoniak über eine Kombination aus saurem Wäscher und Biofilter abzureinigen. Die Abluftreinigung muss ausreichend dimensioniert und kontrolliert werden. Das Emissionspotenzial der Anlagen wird nicht nur durch die Technik, sondern auch sehr deutlich über die Betriebsweise bestimmt. Daraus resultieren die folgenden Vorgaben: Leckstellen auf der Anlage müssen im Zuge regelmäßiger Kontrollen ermittelt und beseitigt werden, der Betrieb muss regelmäßig eigen- und fremdüberwacht werden, das Personal muss regelmäßig geschult und fortgebildet werden. Es gilt, die gute fachliche Praxis der Vergärung und der Kompostierung über die gesamte Behandlung zu beachten.

Eine gute Nutzung der Energie aus dem Biogas lässt sich über BHKWs mit elektrischen bzw. thermischen Wirkungsgraden von 43 bzw. 45 % bei flexibler Stromeinspeisung und Nutzung der Wärme z.B. zur Grundlastabdeckung in einem Wärmenetz erreichen. Falls Letzteres am Standort nicht möglich ist, wäre bevorzugt die Nutzung an einem entsprechendem BHKW anzustreben, das über ein Biogasnetz / Mikrogasnetz erreicht wird. Ist auch dies nicht möglich, ist die Einspeisung in das Erdgasnetz eine Option.

Für eine gute stoffliche Nutzung lassen sich Komposte ab Rottegrad IV sowohl in der Landwirtschaft als auch im Bereich hochwertiger Substratkomposte bzw. als Ausgangsmaterial für hochwertige Erden einsetzen. Diese Einsatzfelder profitieren von einer Abtrennung eines Flüssigdüngers und damit der Nährsalze bzw. des Ammoniums. Eine Gütesicherung mit Fremdüberwachung ermöglicht die Direktvermarktung der Komposte zur Herstellung von Blumenerden bzw. eine eigene derartige Produktion. Der Einsatz in der Landwirtschaft sollte vorrangig auf Flächen mit Humusdefizit in Regionen mit geringerer Viehdichte und damit geringem Aufkommen an Festmist und Gülle beschränkt werden. Die Komposte und der Flüssigdünger sollten gütezertifiziert vermarktet werden, so dass entsprechende Anforderungen nachweislich eingehalten sind. Grundlagen für eine hochwertige Verwertung sind getrennt erfasste und fremdstoffarme Inputströme.

Empfehlungen für **Küchen- und Nahrungsabfälle** sind in den obigen Ausführungen für Biogut enthalten.

Die optimale Verwertung von **nicht holzigem und nicht vergärbarem Grüngut** erfolgt über offene oder geschlossene Kompostierung oder über Kompostierung unter semipermeablen Membranen, wodurch man Fertigungskompost erhält. Daneben kann Grüngut ggf. als Strukturmaterial der Biogutbehandlung zugegeben werden. Die krautige und grobstückige holzige Fraktion sollte möglichst getrennt erfasst und verwertet werden. Eine gute Durchlüftung der Mieten trägt zur Minderung der Emissionen, hauptsächlich von Methan, bei. Dies kann durch Mietengeometrie (größere spezifische Oberfläche) und Umsetzhäufigkeiten erreicht werden, wobei dies nicht mit einer Zerkleinerung einhergehen darf. Ggf. ist eine Steuerung über die Zugabe von Strukturmaterial bei saisonbedingt nicht ausreichend strukturiertem Abfall hilfreich. Letzteres kann der Weitung des C/N-Verhältnisses dienen, welches aus Gründen der Emissionsminderung zwischen 25 und 35 liegen sollte. Der Wassergehalt lässt sich nur bei überdachten Rotteflächen und indirekt über eine Abtrennung vergärbare Anteile steuern. In der späteren Rottephase müssen Temperatureinbrüche in der Miete vermieden werden, indem u.a. die Umsetzhäufigkeit verringert wird, um dann der potenziellen Lachgasbildung entgegenzuwirken. Bei geschlossener Ausführung und hohem Emissionspotenzial muss vor den Biofilter ein saurer Wäscher geschaltet werden, um der Bildung von Lachgas im Biofilter entgegenzuwirken.

Gerade Grüngutkomposte haben ein hohes wertgebendes Potenzial. Da Grüngut ein eher nährstoffarmer Ausgangsstoff ist, sind die daraus gewonnenen Komposte besonders prädestiniert für einen Einsatz im Bereich Erden- und Substratherstellung, weil hierfür begleitende Nährstoffe nicht in Übermaßen vorhanden sein dürfen. Dieses Potenzial gilt es zu nutzen, diese Komposte sollten also überwiegend in diese Märkte abgesetzt werden. Die Komposte können als Blumen- und Pflanzenerde abgemischt und unter Bewerbung lose oder abgesackt an Privathaushalte, den Garten- und Landschaftsbau, kommunale Grünflächenämter sowie Baumschulen gütegesichert vermarktet werden. Neben der eigenen Vermarktung ist die Lieferung von Frischkompost an Erdenwerke möglich, die diesen als Rohkomponente zu ihren Produkten weiterverarbeiten.

Die energetische Nutzung des grobkörnigen, heterogenen **holzigen Grünguts** erfordert eine Zerkleinerung, Trocknung in Mieten und Absiebung unter regelmäßiger Kontrolle der so generierten Brennstoffeigenschaften. Dies kann entweder selbst an den Sammel- oder Verwertungsplätzen erfolgen oder an einen entsprechenden Spezialbetrieb ausgegliedert werden. Der Aufbau einer Gütesicherung wird empfohlen. Der Brennstoff sollte in technisch dafür ausgelegten Anlagen zur Wärmeerzeugung bzw. in Anlagen mit Kraftwärmekopplung eingesetzt werden.

Bewertung des Anlagenbestands im Status Quo

Die so identifizierten Ansatzpunkte zur Entwicklung einer hochwertigen Verwertung wurden zu Steckbriefen zusammengefasst, an denen im Folgeabschnitt der aktuelle Anlagenbestand der Bioabfallbehandlung, also der Status Quo, gespiegelt wurde. In diesen sind die oben aufgeführten Punkte, nämlich die Einhaltung einer guten fachlichen Praxis, die regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung

sowie die Schulung und Fortbildung des Personals enthalten. Allgemein wichtig ist die Bereitstellung von getrennt erfassten und fremdstoffarmen Inputströmen.

Der an den Kriterien der hochwertigen Verwertung gemessene Status Quo des Bestands wird über die Daten aus dem *Handbuch Bioabfallbehandlung* [Rettenberger 2012], ergänzt um den *Biogas-Atlas* [Kern 2014] sowie weitere Daten zur Bio- und Grüngutbehandlung des Witzenhausen-Instituts aus u.a. drei Befragungen eruiert.

Die Kapazitäten für eine Verwertung von **Biogut** in Kompostierungsanlagen sind in etwa doppelt so hoch wie diejenigen für die gewünschte Mehrfachnutzung in Vergärungsanlagen. Es besteht entsprechender Handlungsbedarf. Aktuell wird der Anteil des Bioguts, das in Deutschland in Vergärungsanlagen behandelt wird, mit 33 % bzw. 25 % angegeben, je nachdem, ob die Anlieferung bei einer Vergärungsanlage oder die tatsächliche Behandlung in einer anaeroben Stufe zugrunde gelegt wird. Zum Zeitpunkt der Erhebung gibt es 72 Biogutvergärungsanlagen gegenüber 261 Biogutkompostierungsanlagen; die genehmigten Vergärungskapazitäten belaufen sich auf 2,55 Mio Mg (bzw. 1,98 Mio Mg bezüglich des tatsächlich vergärten Stoffstroms) vs. 4,83 Mio Mg Kompostierungskapazitäten. Da der durchschnittliche Durchsatz der bestehenden Kompostierungsanlagen mit 18.600 Mg/a demzufolge relativ gering ist, ist die Nachrüstung einer anaeroben Stufe nicht immer wirtschaftlich. Von den geschätzten annähernd 3 Mio Mg ausschließlich kompostierten Biogutes auf Kompostierungsanlagen bestünde für 1 bis 1,5 Mio Mg Anlagenkapazität ein Potenzial für eine anaerobe Vorbehandlung. Gegenwärtig werden zusätzlich Vergärungsanlagen mit Kapazitäten für 150.000 bis 250.000 Mg/a geplant. Mit dem EEG waren in der Vergangenheit einige Initiativen in Richtung hochwertiger Verwertung von Biogut verbunden. Mit dem neuen EEG 2017 und seinen Vorgaben ist dies für die Zukunft nicht in gleichem Maße zu erwarten.

Bei den im Folgenden zu den jeweiligen Verwertungstypen genannten Daten und Informationen ist zu beachten, dass die Angaben aus den zugehörigen Befragungen nicht verifizierbar sind und tendenziell womöglich noch negativer ausfallen können, was die Frage der Hochwertigkeit betrifft.

Eine geschlossene Ausführung der Anlieferbereiche von **Vergärungsanlagen** mit Abluftfassung und -behandlung wurde in den vergangenen Jahren mit steigender Tendenz bereits größtenteils verwirklicht. Bei mindestens 2/3 der betroffenen Anlagen mit einer Fest-/Flüssigtrennung ist diese ebenso geschlossen mit Abluftfassung ausgeführt. Die Phase der Aerobisierung der festen Gärrückstände erfolgt bei 70 % der Anlagen geschlossen, wobei unter die verbleibenden 30 % auch Anlagen fallen, die nur flüssigen Gärrest erzeugen und daher nicht aerobisieren. Die in diesen kritischen Phasen gefasste Abluft wird nur bei knapp bei der Hälfte der Anlagen vor den Biofiltern über saure Wäscher gereinigt. Die Nachrotte ist, wo sie durchgeführt wird, zu kleinen Anteilen ganz offen angelegt, zu einem bedeutenden Teil überdacht und nur zu einem etwas geringeren Anteil geschlossen ausgeführt. Nur in ca. 2/3 der Anlagen ist das Gärrestlager gasdicht mit Anschluss an das Biogassystem, wobei in machen Anlagen kein flüssiger Gärrest anfällt. Aus dieser Übersicht wird der große Handlungsbedarf deutlich, insbesondere in Bereichen, die für eine hochwertige umweltfreundliche Verwertung als zentral identifiziert wurden.

Nicht anders sieht es bei Biogutkompostierungsanlagen aus, wo anhand der Status-Quo-Aufnahme ebenfalls deutlicher Handlungsbedarf in entscheidenden Bereichen erkennbar ist. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Befragung der Biogutkompostierungsanlagen nur in vier Bundesländern erfolgte (Hessen, Rheinland-Pfalz, Thüringen und Sachsen). Ein nicht kleiner Anteil insbesondere der **Biogutkompostierungsanlagen** mit geringem Durchsatz haben noch offene Anlieferungs- und Materialaufbereitungsbereiche. Auffällig sind hier regionale Unterschiede im Anlagenbestand Deutschlands. Die Intensivrotte ist oftmals nicht geschlossen, sondern zu jeweils 13 % offen oder nur überdacht ausgeführt (ebenso mit deutlichen regionalen Unterschieden). Die Nachrotte wird zu mehr als der Hälfte offen und nicht überdacht ausgeführt. Die Abluftreinigung erfolgt größtenteils mit Biofiltern,

jedoch nur zu einem kleinen Anteil in Kombination mit zusätzlichem Wäscher und nur zu einem noch geringeren Anteil mit sauren Wäschern.

Mit 584 Anlagen hat die **Grüngutbehandlung** zahlenmäßig einen deutlichen Vorsprung gegenüber Anlagen zur Biogutbehandlung. Allerdings haben Erstere kleinere Durchsätze, so dass die genehmigten Kapazitäten mit 4,62 Mio. Mg geringer sind als diejenigen der Biogutkompostierungsanlagen. Die gewünschte Abtrennung des holzigen Anteils zur energetischen Verwertung klappt zu über 70 % (aber nur bei 17 % erfolgt eine getrennte Erfassung von holzigem und krautigem Material), wobei gut 60 % davon direkt in den gewünschten Heizkraftwerken eingesetzt werden. Der abgetrennte Holzanteil beträgt im Mittel 18 %, so dass im Mittel noch genügend Strukturmaterial für die Kompostierung übrigbleibt, in manchen Fällen bei einem Abtrennungsanteil von >40 % aber auch nicht. Die meisten Grüngutkompostierungsanlagen sind offen ohne Überdachung. Je nach Standort und Niederschlagsbedingungen besteht hier möglicherweise Handlungsbedarf.

Die **Kompostverwertung** hängt unter anderem von der produzierten Kompostart ab. Zu gut 60 % wird aus Bio- und Grüngut der gewünschte hygienisierte, biologisch stabilisierte und ausgereifte Fertigungskompost mit einem Rottegrad von IV oder V und einer Rottedauer zwischen fünf und zwölf Wochen erzeugt, ferner Substratkompost, und bei Betrachtung von Grüngut alleine ist der Anteil noch etwas größer. Der gütegesicherte Fertigungskompost, der prädestiniert ist für den Einsatz im Bereich Erden und Substrat, wird immer noch zum größten Teil in der Landwirtschaft eingesetzt, 27 bzw. 3 % substituieren Torfprodukte über den Einsatz in Erdenwerken bzw. im Erwerbsgartenbau und weitere 24 % ersetzen im Garten- und Landschaftsbau Torfprodukte und Rindenhumus. Sowohl der Anteil der produzierten Kompostart als auch das Einsatzfeld schwanken stark je nach Region. Hier ist noch deutliches Potenzial erkennbar.

Vergärungsanlagen produzieren zu einem Großteil Fertigungskomposte oder eine Mischung aus Frisch- und Fertigungskomposten sowie flüssigen Gärrest. Letzterer wird in einer Menge von 23 % des Fermenterinputs als großteils gütegesichert in die Landwirtschaft abgegeben. Für eine Fremdstoffentfrachtung ist ein TS-Gehalt von mindestens 50 % im verbleibenden festen Gärrest nötig. Teilweise wird unter Verzicht auf eine Fest-/Flüssigtrennung auch nur flüssiger Gärrest erzeugt, der dann ausschließlich in der Landwirtschaft einsetzbar ist. Insgesamt orientieren sich der Anteil an produziertem Fertigungskompost und die Art der Kompostvermarktung eher an den potenziell vorhandenen Märkten und – insbesondere in Zeiten hohen Aufkommens – an den Anlagenkapazitäten als an der Hochwertigkeit. Aufgrund der Bedeutung der landwirtschaftlichen Verwertung haben mehrere Faktoren Einfluss auf den Verwertungsweg: regionale Verwertungsengpässe durch Konkurrenzprodukte wie Wirtschaftsdünger und Gärreste aus NaWaRo-Biogasanlagen, die düngerechtliche Begrenzung der Nährstoffausbringung von organisch-mineralischen Düngern nach dem neuen Düngerecht sowie maximal zulässige Fremdstoffgehalte. Auch der ökologische Landbau wird zukünftig ein wichtiges Marktsegment darstellen.

Reduktion des Stör- und Fremdstoffanteils

Eine zentrale Stellschraube zur Begrenzung des Fremdstoffanteils in den Endprodukten liegt ganz am Anfang der Verwertungskette. Den Fehlwürfen bei der häuslichen Erfassung des Bioguts ist durch Öffentlichkeitsarbeit, Anreize und Kontrolle zu begegnen. Trotzdem verbleibende Fremdstoffe müssen über Aufbereitungstechniken ausgeschleust werden. Die Ausgestaltung von Sammlung und Erfassung ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Das Thema wird aufgrund der neuen Düngemittelverordnung und der künftigen Zertifizierung gütege sicherter Komposte mit großer Dringlichkeit verfolgt. Des Weiteren haben Fremdstoffe Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs der Anlagen selbst.

Es sollte darauf geachtet werden, dass das Material bei der Anlieferung gesichtet und beprobt und dementsprechend verschiedenen Behandlungswegen zugewiesen werden kann. Bei der Aufbereitung muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen einem Aufschluss des Abfalls für die nachfolgende Behandlung und einer unerwünschten Zerkleinerung der enthaltenen Fremdstoffe, welche dann im weiteren Verfahren schwerer ausgeschleust werden können. Insbesondere vor der Vergärung im Pfpfenstromfermenter erfolgt eine Vorzerkleinerung und Siebung, wobei über selektive Zerkleinerungsaggregate die Fremdstoffe möglichst wenig zerkleinert werden sollen, um sie dann als Überkorn beim Sieben abscheiden zu können. Wird das Überkorn in den Verwertungsprozess zurückgeführt, müssen vorab die Fremdstoffe entnommen werden, beispielsweise Kunststofffolien über Windsichtung. Die Abtrennung von Kunststoffen aus dem Überkorn kann über eine biologische Trocknung und / oder mittels sensorgestützter Sortiertechnik optimiert werden. Alternativ kann das Sieb vor die Zerkleinerung geschaltet werden, wobei der Überkornstrom ebenso von Fremdstoffen und auch Metallen entfrachtet und nachzerkleinert wieder zugegeben werden kann. Eine händische Sortierung nach einem Sackaufreißer oder nach der Zerkleinerung und Absiebung des Feinmaterials inklusive Fe-Abscheidung stellt eine weitere Alternative dar, um noch höhere Kompostqualitäten zu erreichen. Dafür ist eine Vergleichsmäßigung des Abfallstroms nötig. Sensorbasierte Systeme erfordern eine Vereinzelung vorab, was u.a. durch den Feuchtegehalt und die Agglomeratbildung erschwert wird.

Bei der Nassvergärung werden die Fremdstoffe im Zuge der Aufbereitung weitestgehend aussortiert. Bei der Gärrestseparation findet in gewissem Maße eine Zerkleinerung der im Feststrom verbleibenden Fremdstoffe statt. Wird die Aerobisierung angewandt, kann durch die intensive Belüftung im geschlossenen Anlagenbereich eine Trocknung stattfinden, so dass sich Fremdstoffe danach durch Siebung, Sichtung oder sensorgestützter Sortiertechnik abtrennen lassen. Auch im Falle der anschließenden Kompostierung muss zur Konfektionierung ein ausreichend hoher Trockensubstanzgehalt am Ende der Behandlung sichergestellt werden. Dies wird insbesondere durch die Nachrotte und den biologischen Prozess angestrebt, welche daher überdacht ausgeführt werden. Durch eine Belüftung der Nachrotte können die Umsetzintervalle und damit die Fremdstoffzerkleinerung in bestimmten Fällen verringert werden.

Fremdstoffe können neben Siebung über Windsichter und Folienabsaugung sowie Hartstoffscheider entfernt werden. Die Überkornfraktion kann nur dann erneut in den Prozess rückgeführt werden.

Best-Practice-Beispiele

Als **Biogutvergärungsanlagen** werden der Biogaspark Großenlöder und die Biogutvergärungsanlage Quarzbichl als beispielgebend vorgestellt. Zu Beginn erfolgt eine geschlossene Anlieferung in einen Flachbunker und die arbeitstägliche Aufbereitung. Die Behandlung der Abluft wird über sauren Wäscher und Biofilter vorgenommen. Die Aufbereitung umfasst das Schreddern des Bioguts und das Absieben der Stör- und Fremdstoffe, alternativ dazu einen Sackaufreißer, eine anschließende Absiebung und Fe-Metallabscheidung sowie händische Fremdstoffentfrachtung und Zerkleinerung des Überlaufs. Gegebenenfalls wird angeliefertes Grüngut ebenso geschreddert und als Strukturmaterial dem festen Gärrest in der Rotte zugegeben.

Der Biogasertrag beträgt zwischen 100 und 120 Nm³/Mg Frischmasse. Die Nutzung des Biogases erfolgt in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung oder es wird alternativ in Form von Biomethan ins Erdgasnetz eingespeist. Die Verweilzeit im Fermenter beträgt 14 Tage. Das Biogas wird auf den Gärrestlagern zwischengepuffert oder die Gärrestlager sind mit dem Biogasspeicher kombiniert.

Der feste Gärrest wird geschlossen aerobisiert und die Abluft über saure Wäscher und Biofilter behandelt. Die Nachrotte findet dann in Form einer überdachten Mietenkompostierung bis zu Fertigkompost statt bzw. alternativ über eine Tunnelkompostierung mit Erwärmung der Rotteluft über Wärmetauscher zur Trocknung des Kompoststroms. Der gütegesicherte Kompost wird in Landwirtschaft, Landschaftsbau, Erdenwerken oder betriebseigenen Erdenwerken und im Hobbygartenbereich genutzt sowie zum Teil abgesackt direkt an Bürger abgegeben. Flüssiger Gärrest wird landwirtschaftlich verwertet.

Zur **Verwertung des Grünguts und des Komposts** werden der Landkreis Bergstraße und der Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald beispielhaft für unterschiedliche Aspekte vorgestellt. Es erfolgt eine Kontrolle bei der Annahme im Zuge der dezentralen Sammlung, und es wird eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit geleistet. Am Beispiel der Anlage in Donau-Wald wird die vergärbare und holzige Fraktion idealerweise abgetrennt. Die Feinfraktion wird dementsprechend der Kompostierung, die Mittelfraktion der Vergärung und das Überkorn einer Nutzung als Brennstoff übergeben. Ferner wird Material für die Grüngutvergärung siliert. Die Aufbereitung erfolgt über Zerkleinerung, Siebung, Fremdstoff- (Steine) und Metallabscheidung, teilweise auch händisch, mit optionalen mobilen Staubbenederschlagnaschinen und einer Oberflächenwasserefassung.

Die Kompostierung erfolgt in überdachten Dreiecksmieten. Die Grüngutgärreste müssen zum Start der biologischen Aktivität mindestens zur Hälfte mit frisch gehäckseltem Grüngut gemischt werden. Die Kompostprodukte haben Rottegrad V und werden flexibel auf die Kunden eingestellt, wobei auch individuelle Korngrößen angeboten werden. Der Verkauf der über die BGK güte zertifizierten Produkte erfolgt lose oder als Sack- und Palettenware, auch bei örtlichen Händlern. Die Konfektionierung und Vermarktung der Komposte erfolgt im Zweckverband Donau-Wald vorbildlich. Es gibt eine intensive Öffentlichkeitsarbeit und Produktberatung. Der Zweckverband umfasst Erdenwerke, Produktionsstätten für Sackware, Vermarktungsbüros sowie Maschinenparks- und Logistikzentren. Es besteht ein sehr dichtes Netz an Kunden und Vermarktern. Für den abgetrennten Brennstoff wird eine eigene Qualitätsüberwachung durchgeführt. Die Mitarbeiter nehmen regelmäßig an fachspezifischen Veranstaltungen der Branche teil.

Hochwertige Verwertung von Bioabfällen – Empfehlung

Die ausführlich aus der Analyse des Status Quo abgeleiteten Empfehlungen setzen an folgenden Punkten an:

Mobilisierung der Abfallbiomassen und Sicherung von fremdstoffarmen Inputströmen durch

- ▶ eine umfassende zielgruppenorientierte Abfallberatung
- ▶ eine Überprüfung des Sammelerfolges und der sortenreinen Bereitstellung des Biogutes in den einzelnen Gebietskörperschaften, gegebenenfalls durch entsprechende Kontrollen
- ▶ Feldversuche zur schrittweisen Erschließung auch problematischer Siedlungsstrukturen für eine Bioabfallsammlung mittels Biotonne
- ▶ Regelungen zum maximalen Fremdstoffanteil im Input von Verwertungsanlagen; Entwicklung der entsprechenden vertraglichen Regelungen und Methoden zur praxisgerechten Bestimmung der Fremdstoffanteile
- ▶ Rückführung des Siebüberlaufes in den Behandlungsprozess nur nach vorheriger Sortierung und Abtrennung von Fremdstoffen

Kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung über Vergärung zur Biogaserzeugung und anschließende stoffliche Nutzung der Gärreste (Mehrfachnutzung) durch

- ▶ Erweiterung von Kompostierungsanlagen um anaerobe Behandlungskapazitäten
- ▶ Aufbau regionaler Kooperationen zwischen Gebietskörperschaften gerade in eher ländlichen Gebieten, um ausreichende Anlagendurchsätze für den kommunalen bzw. privaten Betrieb zu erreichen
- ▶ Nutzung des Biogases mit hohen Substitutionserfolgen

Vergärung unter fachgerechter Ausschöpfung der spezifischen Gasbildungsrate durch

- ▶ Bestandsaufnahme des Anlagenbestandes und Defizitanalyse

Minderung des Emissionsniveaus durch

- ▶ Angleichung der Genehmigungslage auf ein einheitliches, dem Klimaschutz und der Hochwertigkeit geschuldetes Maß sowie Überwachung sämtlicher Anlagen zur Bioabfallbehandlung

Hochwertige Verwertung der Komposte und Gärrückstände durch

- ▶ Nutzung flüssiger Gärrückstände als Flüssigdünger in der Landwirtschaft
- ▶ Fokussierung der Bestandsanlagen auf die Produktion von Fertigkompost bzw. nachkompostiertem Gärrest und dessen Vermarktung auch außerhalb der Landwirtschaft
- ▶ Erschließung von Absatzwegen für Grüngutkomposte in Konkurrenz zu Torf

Stoffspezifische Nutzung von Grüngut durch

- ▶ Auftrennung in Teilfraktionen, die gemäß ihren wertgebenden Eigenschaften zu Biobrennstoff, Kompost oder gar Biogas verarbeitet werden können
- ▶ Herstellung von güteüberwachten Biobrennstoffen vor allem für Kleinfeuerungsanlagen

Qualitätssicherung und Güteüberwachung von Anlagen und Produkt durch

- ▶ Entwicklung einer umfassenden Gütesicherung von Produktion und Produkten unter Beachtung der aktuell bestehenden Zertifizierungssysteme.

Summary

Biowaste is a valuable resource that must be used as comprehensively and as efficiently as possible in accordance with §§ 7 and 8 KrWG. The present study provides a comprehensive analysis and evaluation of the current handling of biowaste. Reflecting the legal requirements, concrete measures could thus be developed to improve the circular-flow economy in the sense of managing these waste masses as valuable raw materials and to use them as comprehensively as possible in accordance with their value-giving properties.

The first step in the process was to concretise the high quality of the recycling of biowaste. The high quality can be described on the basis of concrete environmental impacts that can be derived from the legal requirements. To assess the effects, the expected emissions, the degree of conservation of natural resources, the energy to be used and extracted and the enrichment of pollutants must be taken into account. If the central starting points in biowaste recycling are taken into account, the process with the highest quality is the one that produces high-quality products that can be used with a high substitution potential, contributing to energy generation and releasing the lowest possible emissions.

In a second step, the status achieved in Germany in biowaste recycling was analysed and evaluated on the basis of these criteria. This was done by describing good technical practice for the starting points in the systems, which could be identified as central tools for high-quality recycling, taking "technically possible" and "economically reasonable" into account. Depending on the different material properties and recycling options, this was done separately for biowaste (biowaste collected via the biowaste bin), green waste (separately collected green and garden waste) and woody biomass. The plant stock and the compost utilisation could thus be reflected in the corresponding good technical practice. For this purpose, existing data sets were evaluated as a matter of priority, but additional queries were also carried out.

In a final step, the individual starting points for optimising the overall system were derived from the identified deficits. These starting points could be translated into individual concrete measures.

Development of Criteria for Assessment of High Quality and Identification of Central Starting Points

The following criteria for the assessment of high quality have been derived from the requirements of the KrWG: Emissions from biowaste treatment determine the greenhouse effect and, above all, the acidification and terrestrial eutrophication potential via nitrogen emissions. The nutrients and organic substances contained in bio-waste and thus also in compost and fermentation residues enable resources such as phosphate ore and peat to be saved. The use of energy but also the use of biogas is not only reflected in the greenhouse balance, but can also be described in the cumulated energy input (fossil). Pollutant enrichment" was taken into account via the possible pollutant input into the soil (cadmium and PAH).

For **biowaste** the options recovery via open and closed composting up to fresh and finished compost and fermentation without and with post-rotting of the fermentation residues (fermentation residues and composted fermentation residues) are considered.

With the exception of closed composting, there are clear differences in emission levels with regard to both the greenhouse effect and the acidification and terrestrial eutrophication potential. Consequently, these are important parameters for optimization. The difference between the various recycling options is small with good plant management and emission-reducing measures, as the minimum values show, but also large with poor plant management and missing measures. For example, the open composting due to nitrogen emissions in the acidification and terrestrial eutrophication potential, in particular, has a significantly higher maximum load than closed composting with exhaust air treatment. The production of finished compost or composted fermentation residues takes place at higher cost and over a longer treatment period. The resulting additional burdens are generally low compared to the extended benefits and higher substitution successes.

The successes from the material use of composts and fermentation residues are all the higher the more sales are possible in the field of (hobby) horticulture or the production of substrates and soils. This is

only possible with finished composts and opens up the substitution of peat with large credits in the greenhouse effect and bark mulch with large credits regarding pollutant input into soils. A saving of phosphate is not achieved by exclusive use in commercial horticulture, therefore a balanced use of substrate and nutrients through the use of the finished compost/composted fermentation residue both in agriculture, (hobby) horticulture and landscaping on the one hand and substrates and soils on the other hand must be ensured.

Through fermentation, additional success can be achieved with the production and marketing of electricity and heat, which, with a high gas yield and high energetic efficiency, are similarly important with regard to climatic criteria as the maximum credits from the material use of composts and fermentation residues. The contribution to acidification and terrestrial eutrophication potential, on the other hand, is lower. In addition, the credits for energy are of outstanding importance in the cumulative fossil energy consumption.

Fermentation is advantageous over composting in terms of greenhouse effect, energy consumption and limited acidification potential, provided that the plant is well managed. The use of biogas is inevitably associated with high NO_x emissions, which have an impact on some environmental aspects.

The recycling of biowaste is of particularly high value if the following points are observed:

1. multiple use consisting of fermentation and aerobic post-treatment
2. high emission standards
3. production of finished compost and high value recycling
4. high energetic efficiency in the use of biogas

Kitchen and food waste is biowaste from inner-city districts, where the proportion of garden waste is usually very low. The recycling options are closed and open composting up to fresh and finished compost as well as fermentation without subsequent solid/liquid separation with direct application of a liquid fermentation residue in agriculture.

With the exception of closed composting, there are clear differences in emission levels with regard to both the greenhouse effect and the acidification and terrestrial eutrophication potential. Consequently, these are important parameters for optimisation. The difference between the various recycling options is small with good plant management and emission-reducing measures, as the minimum values show, but large with poor plant management and missing measures. With poor standards, the production of finished compost or composting in open plant management is associated with significantly higher climate-impacting or acidifying and eutrophying emissions. Using biogas from fermentation, NO_x emissions are added independently of the plant optimisation, but these are less significant than the differences from the different plant management with regard to acidification and eutrophication potential.

In the case of liquid fermentation residues, the loads from the application are comparatively high, as the fermentation residue with a dry matter content of only 7 % is present in large quantities.

The provision of finished compost is associated with a greater material benefit than that of fresh compost, although due to the larger degradation in the treatment process and the resulting lower remaining substrate and in some cases nutrient contents it is also less pronounced than in the case of biowaste. The ranges of variation within the respective recycling options are therefore lower for material use in the categories greenhouse effect and pollutant input than for biowaste. With regard to the substitution of phosphate there is no difference between the utilisation options – exception: exclusive use in the field of recultivation or commercial horticulture. Peat or bark mulch, on the other hand, can only be substituted by the use of finished compost in substrates and soils, with the associated substitution successes.

More important are the substitution successes from the energetic use of biogas and thus also the question of the gas yield and the energetic efficiency / proportion of heat use. With good plant management, fermentation is most likely to achieve net environmental benefits.

The recycling of kitchen and food waste is of particularly high value if the following points are observed:

1. multiple use of fermentation and material use
2. high emission standards in plant operation
3. high energetic efficiencies
4. production of finished compost and high-quality recycling

Green waste, 50% of which is assumed to consist of herbaceous material and 50% of more woody material, is collected separately at green waste collection points, for example. The following recycling options are distinguished for this waste stream: open composting either for the production of fresh or finished compost. Another option is the production of finished compost in open composting, whereby the herbaceous part is separated in advance and transferred to fermentation. Here, too, the fermentation residue is rotten. In a further option, the production of finished compost is coupled with the separation of the woody part, which is processed into wood chips for energetic use. The last option combines these approaches of energetic use by partial mass flows for fermentation and production of wood chips.

The large range in the balancing results is also noticeable in the recycling of green waste. Depending on the plant management, emissions from composting and digestion show clear range with regard to the greenhouse effect as well as acidification and terrestrial eutrophication potential, which in the case of the greenhouse effect only really take effect with the production of finished compost or the option of fermentation. With the option of energetic utilisation of the woody part, they decrease somewhat. If, however, attention is paid to good plant management and emission-reducing measures, the differences are again small. The importance of emission-reducing measures for high-quality recycling of green waste is correspondingly high.

With good plant management, the provision of finished compost with appropriate use is worthwhile throughout due to the substitution of peat or bark humus, especially with regard to the greenhouse effect or cadmium input into the soil. The type of material use is much more important than biowaste or even kitchen waste. The fluctuation margins for this are similarly large as those for emissions from treatment. Credits for electricity and heat are achieved significantly more through the energetic use of the woody part than through the fermentation of the fermentable part, whereby the complete use of heat is almost as important as electricity. The separation of woody matter has a positive effect on the greenhouse emissions, acidification potential (if the heat is used) and energy consumption, but a negative effect on the saving of phosphate and cadmium in the soil due to the removal of wood from material use.

The recycling of green waste is of particularly high value if attention is paid to the following points:

1. recycling with high emission standards during plant operation
2. finished compost instead of fresh compost and high-quality use of compost or composted fermentation residues
3. for woody part preparation for thermal use
4. for fermentable juicy portion in combination of fermentation and post-rotting at high energetic efficiencies

Transfer of the Central Starting Points to (Technical) Measures

Which (technical) measures can be used to address the tools that have just been determined?

Depending on the dry matter content, the optimum utilisation of biowaste via multiple use can be continuous dry fermentation or discontinuous dry fermentation (solid fermentation) in boxes for structurally rich material or wet fermentation with low dry matter content. The gas yield is up to 125 Nm³/Mg biowaste and can be largely exploited by adapting the hydraulic retention time and the process biology to the biological process of post-rotting the fermentation residues. The target value is that at least 80 % of the gas yield must be achieved according to the VDI fermentation test. A thermophilic continuous dry fermentation can be advantageous from the point of view of net energy output with the appropriate mode of operation (shredding of the input material in conjunction with bag openers, mashing / good inoculation of the input material, sufficiently long retention times).

In order to minimise emissions from treatment, the liquid fermentation residue must be stored in a gastight manner with sufficient storage capacity, whereby the gas hood should be used for flexible operation of the CHP unit. The aerobisation of the solid fermentation residue must be sufficient and the exhaust air produced must be fed to a specific treatment, whereby exhaust air containing methane should be used as supply air for the CHP, burned via a flare or otherwise specifically treated. In post-rotting, low temperatures with good ventilation and long retention times with the target rotting degree IV to V should be aimed at, whereby at least one roofing should be available. Rotting phases with higher temperatures and corresponding emission potential should be closed in order to clean off the resulting ammonia via a combination of acidic scrubber and biofilter. The exhaust air cleaning must be sufficiently dimensioned and controlled. The emission potential of the plants is not only determined by the technology, but also very clearly by the mode of operation. This results in the following specifications: Leaks in the system must be identified and eliminated in the course of regular inspections, the operation must be regularly monitored by the company itself and by third parties, the personnel must be regularly trained and educated. Good professional practice in fermentation and composting must be observed throughout the entire treatment process.

A good use of energy from biogas can be achieved via CHPs with electrical or thermal efficiencies of 43 or 45 % with flexible power supply and use of the heat, e.g. to cover the base load in a heating network. If the latter is not possible at the location, it would be preferable to aim for the use of an appropriate CHP plant, which is reached via a biogas network / micro gas network. If this is also not possible, feeding into the natural gas network is an option.

For a good material use, composts as of rotting degree IV can be used not only in agriculture but also in the area of high-quality substrate composts or as raw material for high-quality soils. These fields of application benefit from the separation of a liquid fertiliser and thus from the nutrient salts or ammonium. Quality assurance with external monitoring enables the direct marketing of composts for the production of potting soils or the company's own such production. The use in agriculture should be limited primarily to areas with a humus deficit in regions with a low livestock density and thus a low amount of solid manure/slurry. The composts and liquid fertilisers should be marketed quality-certified so that appropriate requirements are demonstrably met. The basis for high-quality recycling are separately collected input streams with low levels of extraneous matter.

Recommendations for **kitchen and food waste** are included in the above explanations for biowaste.

The optimal recycling of **non-woody and non-fermentable green waste** takes place via open or closed composting or composting under semipermeable membranes which results in finished compost. Green waste can also be added to the biogas treatment as a structural material. The herbaceous and coarse-grained woody fraction should be collected and recycled separately if possible. Good ventilation of the windrows helps to reduce emissions of methane in particular. This can be achieved by means of windrow geometry (larger specific surface area) and conversion frequencies, whereby this must not be accompanied by shredding. If necessary, control by adding structural material may also be helpful in the case of seasonally insufficiently structured waste. The latter can also serve to widen the C/N ratio, which should be between 25 and 35 for reasons of emission reduction. The water content can only be controlled in roofed rotting areas and indirectly by separating fermentable fractions. In the

later rotting phase, temperature drops in the windrow must be avoided by, among other things, reducing the conversion frequency in order to counteract the potential formation of nitrous oxide. If the design is closed and the emission potential is high, an acidic scrubber must be connected upstream of the biofilter to counteract the formation of nitrous oxide in the biofilter.

Green waste composts in particular have a high valuable potential. Since green waste is a rather low-nutrient raw material, the composts obtained from it are particularly predestined for use in soil and substrate production because the accompanying nutrients must not be present in excess quantities. This potential must be exploited and these composts should mainly be sold in these markets. The composts can be mixed as potting and plant soil and marketed with quality assurance to private households, horticulture and landscaping, municipal green space offices as well as tree nurseries. In addition to its own marketing, it is also possible to supply fresh compost to earthworks, which process it as a raw component for their products.

The energetic use of the coarse-grained, heterogeneous **woody green waste** requires shredding, drying in windrows and screening under regular control of the fuel properties generated in this way. This can either be done at the collection or recycling points themselves or outsourced to an appropriate specialist company. The establishment of a quality assurance system is recommended. The fuel should be used in plants designed for this purpose for heat generation or in plants with combined heat and power generation.

Valuation of Plant Stock in Status Quo

The starting points for the development of high-quality recycling identified in this way were combined to form specifications, which in the following section reflected the current status quo of biowaste treatment plants. These include the above mentioned points with reference to compliance with good technical practice, regular internal and external monitoring as well as training and further education of personnel. It is also generally important to provide input streams that are recorded separately and low in foreign matter.

The status quo of the stock, measured against the criteria of high-quality recycling, is determined by the data from the handbook on biowaste treatment (Rettenberger 2012), supplemented by the biogas atlas (Kern 2014) and further data on biowaste and green waste treatment provided by the Witzenhausen Institute from, among other things, three surveys.

The capacities for the recycling of **biowaste** in composting plants are about twice as high as those for the desired multiple use in fermentation plants. There is a corresponding need for action. Currently, 33% and 25% respectively of the biowaste in Germany is treated in fermentation plants, depending on whether the delivery to a fermentation plant or the actual treatment in an anaerobic stage is taken as a basis. As of the survey date, there are 72 biogas fermentation plants compared to 261 biogas composting plants, the approved fermentation capacities amount to 2.55 million Mg (or 1.98 million Mg with respect to the actual fermented material flow) vs. 4.83 million Mg composting capacities. Since the average throughput of existing composting plants is therefore relatively low at 18,600 Mg/a, retrofitting an anaerobic stage is not always economical. Of the estimated approximately 3 million Mg of exclusively composted biowaste on composting plants, 1 to 1.5 million Mg of plant capacity would have the potential for anaerobic pretreatment. Additional fermentation plants with capacities for 150,000 to 250,000 Mg/a are currently being planned. In the past, the Renewable Energy Sources Act (EEG) was associated with a number of initiatives aimed at the high-quality utilisation of biogas. With the new EEG 2017 and its requirements, this is not to be expected to the same extent in the future.

With regard to the data and information given in the following on the respective types of recovery, it should be noted that the data from the associated surveys are not verifiable and may turn out to be even more negative in the sense of high quality.

A closed design of the delivery areas of **fermentation plants** with exhaust air intake and treatment has already been realised to a large extent with an upward trend in recent years. In at least 2/3 of the affected plants with solid/liquid separation, the plant is also closed with exhaust air intake. The phase

of aerobisation of the solid fermentation residues is closed in 70 % of the plants, whereby the remaining 30 % also includes plants which produce only liquid fermentation residue and therefore do not aerobise. The exhaust air collected in these critical phases is only cleaned by acidic scrubbers in somewhat less than half of the plants upstream of the biofilters. Where post-rotting is carried out, small portions of the post-rotting are laid out completely open, a significant portion is roofed over and only a slightly smaller portion is carried out closed. Only in approx. 2/3 of the plants the fermentation residue is storage gas-tight with connection to the biogas system, whereby in some plants no liquid fermentation residue accumulates. This overview clearly shows the great need for action, especially in areas that have been identified as central to high-quality environmentally friendly recycling.

The situation is no different for biowaste composting plants, where the status quo assessment also reveals a clear need for action in decisive areas. It should be noted, however, that the survey of biowaste composting plants was carried out in only four federal states (Hesse, Rhineland-Palatinate, Thuringia and Saxony). In particular, a large proportion of the **biowaste composting plants** with low throughput still have open delivery and material processing areas, and regional differences in the number of plants in Germany are noticeable here. Intensive rotting is often not closed but is carried out openly (13 %) or only roofed over (with equally clear regional differences). More than half of the post-rotting is carried out open and not covered. Most of the exhaust air is cleaned with biofilters, but only a small proportion in combination with additional scrubbers and only a very small proportion with acid scrubbers.

With 584 plants, green waste treatment has a clear numerical advantage over biowaste treatment, which, however, has smaller throughputs, so that the approved capacities of 4.62 million Mg are smaller than those of biowaste composting plants. The desired separation of the woody part for energy recovery works out to more than 70 % (but only at 17 % a separate collection of woody and herbaceous material takes place), whereby a good 60 % of it is used directly in the desired combined heat and power plants. On average, the proportion of separated wood is 18 %, so that sufficient structural material remains for composting, but in some cases not if the proportion of separated wood is >40 %. Most green waste composting plants are open without roofing. Depending on the location and precipitation conditions, there may be a need for action.

The **use of compost** depends, on the one hand, on the type of compost produced. A good 60 % of the desired hygienised, biologically stabilised and mature finished compost with a rotting degree of IV or V and a rotting period of between five and twelve weeks as well as substrate compost is produced from organic and green waste, while the proportion of green waste alone is slightly higher. The quality-assured finished compost, which is predestined for use in soils and substrates, is still mainly used in agriculture, 27 % and 3 % respectively substitute peat products for use in earthworks and commercial horticulture and a further 24 % for peat products and bark humus for use in horticulture and landscaping. Both the proportion of compost produced and the field of application vary considerably from region to region. There is still considerable potential here.

Fermentation plants mainly produce finished compost or a mixture of fresh and finished compost as well as liquid fermentation residue. The latter is released into agriculture in a quantity of 23 % of the fermenter input as largely quality-assured. For the removal of foreign matter, a dry matter content of at least 50 % in the remaining solid fermentation residue is required. In some cases, only liquid fermentation residue is produced without solid/liquid separation, which can then only be used in agriculture. Overall, the proportion of finished compost produced and the type of compost marketing are geared more to the potential existing markets and, especially in times of high volumes, to plant capacities than to high quality. Due to the importance of agricultural utilisation, regional utilisation bottlenecks caused by various competing products such as agricultural fertilisers and fermentation residues from renewable raw materials biowaste plants have an influence on the utilisation route just as the limitation of nutrient application of organic-mineral fertilisers in accordance with the new fertiliser law and the maximum permissible foreign substance content. Organic farming will also be an important market segment in the future.

Reduction of Impurities and Foreign Substances

A central tool for limiting the proportion of foreign substances in the end products lies at the very beginning of the recycling chain. The mistakes made in the domestic collection of organic products must be countered by public relations work, incentives and controls. Nevertheless, any remaining foreign substances must be discharged by means of processing techniques. The design of collection and recording is not the subject of the study.

Both the new Fertilizer Ordinance and, in future, the certification of quality assured composts will address this issue more intensively. Furthermore, foreign substances also have an influence on the economic efficiency of the operation of the plants themselves.

Care should be taken to ensure that the material can be sifted and sampled upon delivery and, if necessary, assigned to different treatment routes accordingly. During processing, a compromise must be found between digestion of the waste for subsequent treatment and undesired shredding of the foreign substances contained, which are then more difficult to discharge in the subsequent process. In particular, pre-shredding and screening are carried out before fermentation in the plug-flow fermenter, whereby the foreign substances are to be shredded as little as possible via selective shredding aggregates in order to be able to separate them as oversized particles during screening. If the oversized grain is returned to the recycling process, foreign matter must be removed beforehand, e.g. plastic foils by air separation. The separation of plastics from the oversize grain can be optimised by biological drying and/or sensor-supported sorting technology. Alternatively, the screen can also be switched before shredding, so that foreign matter and metals can also be removed from the oversized grain stream and be re-introduced into the shredding process. A manual sorting after a bag opener/shredding and screening of the fine material including the separation of iron represents a further alternative to achieve even higher compost qualities, for which a uniform waste flow is necessary. Sensor-based systems require separation in advance, which is made more difficult by the moisture content and agglomerate formation.

In wet fermentation, the impurities are largely sorted out in the course of processing. During fermentation residue separation, the foreign matter remaining in the solid stream is to a certain extent comminuted. In the course of aerobisation, drying can take place in the closed plant area through intensive aeration, so that foreign matter can then be separated by screening, sifting or sensor-supported sorting technology. Even in the case of subsequent composting, a sufficiently high dry matter content must be ensured at the end of the treatment for the packaging process. This is aimed at in particular by post-rotting and the biological process, which are therefore carried out under roof. By aeration of the post-rotting, the conversion intervals and thus the foreign material shredding can be reduced if necessary.

The impurities can be removed in addition to screening via air classifiers and foil suction as well as hard material separators. The oversize fraction can only then be returned to the process again.

Best Practice Examples

The biogas park Großenlöder and the biowaste fermentation plant Quarzbichl are presented as exemplary biowaste fermentation plants. At the beginning there is a closed delivery to a flat bunker and the daily processing. The exhaust air is treated using acidic scrubbers and biofilters. The treatment includes the shredding of the biowaste and the screening of the impurities and foreign substances or alternatively a bag opener, subsequent screening and Fe metal separation as well as manual removal of foreign substances and crushing of the overflow. If necessary, delivered green waste is also shredded and added to the solid fermentation residue in the rotting as a structural material.

The biogas yield is between 100 and 120 Nm³/Mg fresh mass. The biogas is used in a cogeneration plant to generate electricity and heat, or alternatively by generating biomethane and feeding it into the natural gas network. The dwell time in the fermenter is 14 days. The biogas is temporarily buffered on the fermentation residue storage facilities or the fermentation residue storage facilities are combined with the biogas storage facility.

The solid fermentation residue is aerobically closed with the treatment of the exhaust air via acidic scrubbers and biofilters. Post-rotting then takes place in the form of roofed windrow composting up to

finished compost or alternatively via tunnel composting with heating of the rotting air via heat exchangers to dry the compost stream. The quality-assured compost is used in agriculture, landscaping, earthworks or the company's own earthworks and hobby gardens, and is partly sacked and delivered directly to citizens. Liquid fermentation residue is used for agricultural purposes.

The district of Bergstraße and the Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald are presented as examples for different aspects of the **recycling of green waste and compost**. A check is carried out at the start of decentralised collection, in connection with comprehensive public relations work. Using the example of the plant in Donau-Wald, the fermentable and woody fraction is ideally separated. The fine fraction is accordingly transferred to composting, the medium fraction to fermentation and the over-size grain to use as fuel. Material for green waste fermentation is also ensiled. The material is processed by crushing, screening, foreign material (stones) and metal separation, partly also manually, with optional mobile dust precipitation machines and surface water collection.

The composting takes place in roofed triangular marshes. At least half of the green waste fermentation residues must be mixed with freshly chopped green waste to start biological activity. The compost products have rotting degree V and are flexibly adjusted to the customers, with individual grain sizes also being offered. The BGK-quality certified products are sold loose or as sack and pallet goods, also at local dealers. The packaging and marketing of the composts is exemplary, especially in the Donau-Wald administration union. There is intensive public relations work and product advice. The administration union comprises earthworks, production facilities for bagged goods, marketing offices as well as machinery and logistics centres. There is a very dense network of customers and marketers. The separated fuel is subject to its own quality monitoring. Employees regularly take part in specialist events within the industry.

High-Quality Recycling of Biowaste – Recommendation

The detailed recommendations derived from the analysis of the status quo are based on the following points:

Mobilisation of waste biomass and securing a low level of extraneous matter in input streams through

- ▶ comprehensive target group-oriented waste consulting
- ▶ verification of the success of the collection and the provision of the biowaste by type in the individual local or regional authorities, if necessary by means of appropriate controls
- ▶ field trials for the step-by-step development of problematic settlement structures for biowaste collection using biowaste bins
- ▶ regulations on the maximum proportion of foreign substances in the input of recovery plants; development of the corresponding contractual regulations and methods for the practical determination of the proportion of foreign substances
- ▶ return of the screen overflow to the treatment process only after prior sorting for separation of foreign matter

Combined energetic-material use via fermentation for biogas production and subsequent material use of the fermentation residues (multiple use) through

- ▶ expansion of composting plants to include anaerobic treatment capacities
- ▶ development of regional cooperations between local authorities, especially in more rural areas, in order to achieve sufficient plant throughput for municipal or private operation
- ▶ use of biogas with high substitution successes

Fermentation under professional exhaustion of the specific gas formation rate through

- ▶ inventory of the asset portfolio and deficit analysis

Reduction of the emission level through

- ▶ alignment of the permit situation to a uniform level of climate protection, high quality and monitoring of all biowaste treatment facilities

High-quality recycling of composts and fermentation residues through

- ▶ use of liquid fermentation residues as liquid fertilizers in agriculture
- ▶ focus of the existing plants on the production of finished compost or post-composted fermentation residues and its marketing outside agriculture as well
- ▶ development of sales channels for green compost in competition with peat

Substance-specific use of green waste through

- ▶ separation into partial fractions to be used for processing into biofuel, compost or even biogas according to their value-giving properties
- ▶ production of quality-controlled biofuels, especially for small combustion plants

Quality assurance and quality monitoring of plants and products through

- ▶ development of a comprehensive quality assurance system for production and products and in exchange with the currently existing certification systems

1 Einleitung / Aufgabenstellung

Die flächendeckende Sammlung von Bioabfällen in den Kommunen ist seit dem 01. Januar 2015 durch §11 KrWG verpflichtend eingeführt. Auch wenn dies zu dem Zeitpunkt in der Praxis noch nicht in allen Kreisen umgesetzt wurde und in vielen anderen Kreisen und Städten darüber hinaus die Biotonne nicht an allen Grundstücken tatsächlich verfügbar ist, ist für die nächsten Jahre mit einer schrittweisen flächendeckenden Einführung zu rechnen. Das Bioabfall-Aufkommen wird demnach in den nächsten Jahren mit geschätzt 2-3 Mio. Jahrestonnen noch weiter deutlich anwachsen.

Bioabfälle stellen eine wertvolle Ressource dar, die es möglichst umfassend zu nutzen gilt und dies im Sinne der in den §§ 7 und 8 KrWG benannten hochwertigen Verwertung. Dieser Begriff der Hochwertigkeit wird jedoch für die Verwertung von Bioabfällen nicht weiter konkretisiert. Im alten KrWG/AbfG wurde in §5 (2) ausgeführt: „Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung ist anzustreben.“ Hochwertig ist eine Verwertung dann, wenn sie auf die wertgebenden Eigenschaften eines Stoffes / Abfalls abzielt und diese möglichst umfänglich nutzt. Im §6(2) des aktuellen Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird dazu ausgeführt, dass „diejenige Maßnahme Vorrang haben (soll), die den Schutz von Mensch und Umwelt (...) unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleistet.“ Zur Bewertung der Auswirkungen sind „1. Die zu erwartenden Emissionen, 2. Das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen, 3. Die einzusetzende und zu gewinnende Energie sowie 4. Die Anreicherung von Schadstoffen (...)“ zu berücksichtigen, wobei der gesamte Lebenszyklus des Abfalls zugrunde zu legen ist.

Auf dieser Basis gilt es in einem ersten Bearbeitungsschritt, den Begriff der Hochwertigkeit näher zu konkretisieren und die Hochwertigkeit im Umgang mit Bioabfällen näher zu beschreiben und festzulegen. Welche wertgebenden Eigenschaften sind in diesem Abfallmassenstrom enthalten und auf welche Art gelingt es, diese Potenziale möglichst vollständig zu heben? Hierbei müssen die ganzen Verwertungssysteme beachtet werden, d.h. die eigentlichen Verwertungsanlagen bis hin zum Umgang mit der dort erzeugten Energie und dem Produktmassenstrom Kompost bzw. Vergärungsrückstand. Dabei sind die Rahmenbedingungen „technisch möglich“ und „wirtschaftlich zumutbar“, die sozialen Auswirkungen sowie die Umweltfreundlichkeit der Verwertungsansätze zu beachten, d.h. die Minderung umweltschädlicher Emissionen sowie auch aus ökologischer Sicht ein angemessenes Verhältnis von Aufwand (Einsatz von Energie und Betriebsmitteln) und Nutzen und eine möglichst geringe Anreicherung von Schadstoffen in den Produkten.

Hieraus können Anforderungen abgeleitet werden, die an eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen zu stellen sind. Dies betrifft verschiedene Fragen der "guten fachlichen Praxis" der Kompostierung oder Vergärung, der Mehrfachnutzung, des emissionsarmen Anlagenbetriebes und der hochwertigen Absatzwege der erzeugten Produkte. Im Ergebnis ist dasjenige Verfahren am hochwertigsten, das gut und mit einem hohen Substitutionspotenzial verwertbare Produkte erzeugt, dabei zur Energieversorgung beiträgt und möglichst geringe Emissionen freisetzt.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der Herleitung der hochwertigen Verwertung von Bioabfällen regionale Besonderheiten, die insbesondere auch die Vermarktungssituation für Komposte und Gärreste betreffen können, unberücksichtigt bleiben. Ebenso unberücksichtigt bleiben in einem ersten Ansatz wirtschaftliche Aspekte von Aufwand und Ertrag sowie rechtliche und insbesondere genehmigungsrechtliche Fragestellungen.

In einem zweiten Schritt gilt es, die verschiedenen nicht nur anlagentechnischen Lösungen der Verwertung von Bioabfällen entsprechend diesem Bewertungskonzept zu bewerten. Dabei werden auch die Lösungsansätze beachtet, die zwar technisch weitgehend ausgereift sind, in der Praxis bislang aber noch nicht im großen Stil umgesetzt wurden.

Die Sammlung der Bioabfälle über die Biotonne erfolgt oftmals noch nicht optimal bzw. es ist zu beobachten, dass die Sortenreinheit in den vergangenen Jahren kontinuierlich abgenommen hat. In vielen Fällen erfolgt die Vorsortierung in den Haushalten über Plastiktüten, die als Fremdstoffe wesentlich den eigentlichen Verwertungsprozess negativ beeinflussen und dies gerade auch in Vergärungsanlagen. Zudem tragen diese Materialien wesentlich zur Verunreinigung der Vergärungsrückstände und Komposte bei und erschweren deren Vermarktung. Im Rahmen des Projektes galt es, die verschiedenen (technischen) Lösungen zur selektiven Aufbereitung/Zerkleinerung und Fremdstoffabreicherung zusammenzustellen und zu bewerten. Die unterschiedlichen Möglichkeiten wurden im Rahmen eines separaten Fachgesprächs mit Experten aus dem Anlagenbetrieb und der Anlagentechnik erörtert und bewertet.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt galt es dann, den in Deutschland erreichten Status quo an diesem Anforderungsprofil zu spiegeln. Dazu wurden zunächst alle bestehenden Informationen zusammengestellt und darauf aufbauend ergänzend gezielte Recherchen und Erhebungen durchgeführt. Der Fokus lag hierbei auf den klassischen Verwertungsanlagen für Biogut. Es gibt darüber hinaus eine Vielzahl gerade auch kleiner Verwertungsanlagen für Grüngut. Die Erhebung musste hier exemplarisch für einige Bundesländer in einer Form erfolgen, die repräsentative Aussagen zuließ.

Auch an dieser Stelle sei erwähnt, dass es nicht darum geht, verschiedene Regionen in Deutschland oder gar ganze Bundesländer summarisch zu bewerten, sondern lediglich die gesamte Bandbreite des Anlagenspektrums zu reflektieren. Auch hier blieb der atypische Einzelfall mit regionalen Randbedingungen unberücksichtigt.

Abschließend galt es Maßnahmen zu entwickeln und zu beschreiben, die eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen im Anlagenbestand zukünftig ermöglichen und bestehende Anlagen an den Stand der Technik heranführen können. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus beachtet, d.h. auch die Verwendung der erzeugten Energie sowie die Vermarktung der Komposte und Gärrückstände. Die mit der Umsetzung verbundenen Kosten wurden überschlägig abgeschätzt.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Phase der Behandlung und damit auch auf die Potenziale zur Verwertung / Nutzung der dabei hergestellten Produkte, insbesondere Biogas und Kompost bzw. Gärrückstand. Die Frage der Sammlung / Erfassung von Bio- und Grüngut wird nur am Rande angeschnitten.

Die Studie behandelt ausschließlich die bodenbezogene Verwertung dieser Abfallmassen.

2 Entwicklung von Maßstäben zur Bewertung einer hochwertigen Verwertung von Bioabfällen

Die Beurteilung der Hochwertigkeit der Verwertung von Bioabfällen bezieht sich immer auf das ganze Verwertungssystem und muss die unterschiedlichen Eigenschaften des Abfalls beachten. Im Ergebnis ist dasjenige Verfahren am hochwertigsten, das nutzbringende, stör- und schadstoffarme Produkte erzeugt, dabei zur Energieversorgung beiträgt und möglichst geringe Emissionen freisetzt. Wie auch im alten KrWG/AbfG formuliert: „Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung (...)“, die unterschiedlichen wertgebenden Eigenschaften und damit Potenziale sind entscheidend für die Bestimmung der hochwertigsten Verwertungslösung. Diejenige Lösung zeigt sich am hochwertigsten, die es versteht, diese spezifischen Potenziale möglichst umfassend bzw. vollständig zu heben.

Bioabfälle verfügen über ein breites Spektrum an Eigenschaften. So sind die Küchenabfälle energie- und nährstoffreich und weisen einen eher hohen Wassergehalt und wenig strukturgebende Anteile auf. Stammen die Bioabfälle aus den Gärten und Parkanlagen, kann es sich um eher holziges Material oder gar Holz handeln. Zu den Gartenabfällen gehören aber auch krautige Bestandteile bzw. auch Rasenschnitt, die sich in ihren Eigenschaften eher zwischen Küchenabfällen und Holz einordnen lassen.

Angesichts dieser unterschiedlichen Abfalleigenschaften mussten in einem ersten Schritt die Stellschrauben der Abschnitte in dem jeweiligen Verwertungssystem für die einzelne Abfallbiomasse identifiziert werden, die entscheidend die Hochwertigkeit der Verwertung bestimmen. Hierzu dienten Ökobilanzen, die getrennt für Grüngut, Küchenabfälle und den typischen Mix aus beiden Fraktionen erstellt wurden, der in der Regel über eine Biotonne gesammelt wird. Nicht in allen Fällen sind Biotonnen an Grundstücken mit Gärten aufgestellt, so dass das Biogut vor allem aus Küchenabfällen besteht.

Die Ökobilanzen dienen in dem Projekt weniger dem Vergleich unterschiedlicher Verwertungsoptionen. Wie aus der Praxis bekannt, gibt es für jeden Verwertungsansatz gute und weniger gute technische Lösungen, Ansätze zum Stoffstrommanagement oder auch Betriebsweisen. Um diese die Hochwertigkeit der Verwertung bestimmenden Lebenswegabschnitte zu identifizieren und die durch eine Optimierung gegebenen Spielräume kennen zu lernen, wurden Min-Max-Betrachtungen angestellt.

Die diskutierten Verwertungswege sind die klassischen abfallwirtschaftlichen Lösungen und umfassen die einfache Kompostierung, die Mehrfachnutzung (Vergärung und Kompostierung) sowie im Falle von Holz die direkte Nutzung als Brennstoff. Für diese abfallwirtschaftlichen Lösungen wurden jeweils 2 Szenarien bilanziert, die sowohl für die eigentliche Abfallbehandlung als auch die Nutzung der ggf. erzeugten Energie und der verbleibenden Behandlungsrückstände / Komposte in optimale und suboptimale Verhältnisse unterscheiden.

2.1 Festlegung der Kriterien

Nach den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind zur Bewertung der Hochwertigkeit einer Abfallverwertung:

- „1. die zu erwartenden Emissionen,
2. das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen,
3. die einzusetzende und zu gewinnende Energie sowie
4. die Anreicherung von Schadstoffen (...)“

zu beachten, wobei der gesamte Lebenszyklus des Abfalls zugrunde zu legen ist.

Die relevanten **Emissionen** ergeben sich für den Umgang mit Bioabfällen aus der Stickstoffbilanz und damit vor allem aus der Freisetzung von Stickoxiden (NO_x) oder Ammoniak (NH₃) (gewählte Kriterien: Eutrophierung terrestrisch und Versauerung) sowie Lachgas (N₂O), das zusammen mit der Freisetzung von Methan (CH₄) deutlich die Klimabilanz bestimmt, wobei auch die mit der Vermarktung der erzeugten Energie und der verbleibenden Komposte oder Gärrückstände erzielten Nutzen zu berücksichtigen sind (gewähltes Kriterium: Treibhauseffekt).

Kriterien: Eutrophierung terrestrisch, Versauerung, Treibhauseffekt

Das **Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen** wird bei Bioabfällen zum einen über die Schonung von Rohstofflagerstätten abgebildet, die zur Gewinnung von Pflanzennährstoffen abgebaut werden. Am bedeutendsten ist hier Phosphat (Kriterium: Mineralische Ressource Phosphaterz). Gerade die Weiterverarbeitung der Komposte in Richtung Erden und Substrate bietet die Chance, Torf substituieren zu können. Der Abbau von Torf spielt nicht nur aus Klimasicht eine größere Rolle (s.o.), Torflagerstätten haben in der Regel auch eine höhere ökologische bzw. naturschutzfachliche Bedeutung. Die substituierte Menge Torf bestimmt wesentlich die Hochwertigkeit einer Verwertung, sie lässt sich bisher nicht über ein Ökobilanzkriterium beschreiben.

Kriterien: Verbrauch an Phosphaterz und Torf

Der klassische Ansatz zur Bilanzierung und Bewertung der **eingesetzten und gewonnenen Energie** ist der KEA (Kumulierter Energieaufwand) und dies sowohl im Abfallverwertungssystem als auch in den Substitutionserfolgen. Von Bedeutung ist hierbei vor allem der fossile Anteil (gewähltes Kriterium: KEA_{fossil}).

Kriterium: Kumulierter Energieaufwand KEA_{fossil}

Im Prozess der Bioabfallbehandlung erfolgt keine **Anreicherung von Schadstoffen** im eigentlichen Sinne. Im Gegensatz zur Verwertung anderer Abfallstoffe erfolgt keine Kreislaufführung, d.h. Rückführung von aufbereiteten Altmaterialien zurück in den Herstellungsprozess. Komposte und Gärrückstände sind mit Schadstoffen belastet, die in aller Regel aus der natürlichen Belastung der Ausgangsmaterialien, d.h. der Gartenpflanzen und der Nahrungsmittel, resultieren. Gerade Schwermetalle finden sich ebenfalls in den Düngemitteln und Substraten, die dazu in Konkurrenz auf Böden ausgebracht werden. Eine Schadstoffanreicherung lässt sich in gewissem Sinne daher auch über den Vergleich der mit diesen Produkten (konventionelle Düngemittel, Substrate und Komposte) verbundenen Schadstoffmassen diskutieren (Kriterien: Schadstoffeintrag in Böden anhand Cadmium und PAK).

Kriterium: Schadstoffeintrag in Böden anhand Cadmium und PAK

Mit den oben aus den gesetzlichen Anforderungen einer hochwertigen Verwertung abgeleiteten Kriterien lassen sich im nächsten Schritt die Prozesse in einem Verwertungssystem identifizieren, die wesentlich die Hochwertigkeit beeinflussen.

2.2 Identifikation der zentralen Ansatzpunkte im Verwertungssystem

Die Hochwertigkeit einer Verwertungsmaßnahme ergibt sich aus den spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Bioabfallmassen. So gilt es zum einen die wertgebenden Eigenschaften möglichst umfassend zu nutzen und zum anderen das jeweilige Schadenspotenzial durch in der Regel technische Maßnahmen zu begrenzen. Die über das Sammelsystem eingetragenen Fremdstoffe wie insbesondere Kunststoffe stehen hingegen insbesondere der stofflichen Nutzung des Abfallstroms entgegen, so dass das entsprechende Potenzial nicht optimal genutzt werden kann. Eine hochwertige Verwertung bedingt daher ggf. auch eine Anpassung im Sammelsystem oder Strategien zur Ausschleusung der Fremdstoffe.

Die Identifizierung der Abschnitte in einem Verwertungsprozess, die wesentlich über die Hochwertigkeit bestimmen, erfolgt daher für die einzelnen Abfallmassenströme. Bioabfall umfasst das gesamte

Spektrum an energiereichen Küchenabfällen bis hin zu Gartenabfällen, die sich wiederum in krautig oder holzig unterscheiden lassen. Stehen erstere einer klassischen Verwertung über eine Kompostierung (eventuell in Verbindung mit einer Vergärung) zur Verfügung, lässt sich Holz aus der Pflege von Grünflächen vor allem als Energieträger nutzen.

Die Diskussion soll mit einem hohen Praxisbezug erfolgen. Die Festlegung der zu bilanzierenden und bewertenden Bioabfallmassenströme orientiert sich daher an den Abfallzusammensetzungen, die für die verschiedenen Erfassungssysteme typisch sind.

Die Darstellung erfolgt als Schwankungsbreite der mit der Behandlung verbundenen Umweltlasten gegenüber der Schwankungsbreite des damit erzielbaren Nutzens für die verschiedenen Behandlungsoptionen, wie im folgenden Unterkapitel zu Biogut näher ausgeführt wird.

2.2.1 Verwertung von Biogut als Mix aus Küchen- und Gartenabfällen

Biogut meint eine typische Zusammensetzung aus Küchen- und Gartenabfällen, wie sie über die Sammlung mit der Biotonne erreicht wird. Abhängig von der Bebauungsstruktur, der Behältergröße und der Abfall- und Gebührensatzung sowie der Jahreszeit ist in der Biotonne immer ein gewisser Anteil an Gartenabfällen enthalten. Als Szenarien werden die offene und geschlossene Kompostierung jeweils bis Frisch- und Fertigkompost einer Vergärung mit und ohne geschlossene Nachrotte gegenübergestellt. Als die Schwankungsbreite bedingende Nutzungsarten für Frischkompost und Gärrückstand betrachtet werden die Rekultivierung, Einsatz im Obstbau und der Landwirtschaft, für Fertigkompost und kompostierte Gärrückstände weiterhin der Einsatz im Hobbygartenbau, Gartenlandschaftsbau/Kommune, Erwerbsgartenbau und Erdenwerken.

Annahmen

Für die Bilanzierung der in den Behandlungsanlagen anfallenden Emissionen bilden die in [Cuhls 2015] für die jeweiligen Anlagentypen aufgeführten Minimal- und Maximalwerte die Grundlage. Die Ergebnisse für eine geschlossene Kompostierung und Erzeugung von Frischkompost (Komp. geschl. Frischk.) basieren auf Messungen an 8 Anlagen mit 14 Messphasen (inklusive teilgeschlossene Kompostierungsanlagen, Kompostierungsanlagen mit semipermeablen Membranen). Die Ergebnisse für eine geschlossene Kompostierung und Erzeugung von Fertigkompost (Komp. geschl. Fertigk.) basieren auf Messungen an 3 Anlagen mit 6 Messphasen. Die Ergebnisse für die offene Kompostierung und Erzeugung von Fertigkompost (Komp. offen Fertigk.) basieren auf Messungen an 5 Anlagen mit 11 Messphasen. Die Ergebnisse für eine Vergärung mit direkter Vermarktung des Gärrestes (Vergärung Gärrest) basieren auf Messungen an 12 Anlagen und 19 Messphasen. Die Ergebnisse für eine Vergärung und geschlossener Nachrotte (Vergärung kGR geschl.) basieren auf Messungen an 6 Anlagen mit 13 Messphasen. Zudem wurden weitere Veröffentlichungen herangezogen und geprüft. Die Werte bspw. der Universität Stuttgart [Kranert et al. 2016] liegen innerhalb der Schwankungsbreite.

Die hier aufgeführten Werte für "Kompostierung bis Frischkompost und Vergärung ohne Nachrotte" wurden dann angepasst, wenn diese über denen der "Kompostierung bis Fertigkompost" und "Vergärung mit Nachrotte" lagen. Im Falle des Frischkompostes wurde dabei angenommen, dass die Werte im Verhältnis der angenommenen Abbauraten der organischen Substanz von 50 % in der Haupt- und 60 % in Summe aus Haupt- und Nachrotte unter denen des Fertigkompostes liegen. Bei der Vergärung wurde der Maximalwert von "Vergärung mit geschlossener Nachrotte" auch für die "Vergärung ohne Nachrotte" übernommen. Hintergrund ist, dass schlechtere Werte ohne Nachkompostierung nicht verfahrenstechnisch erklärbar sind, sondern mit der Anlagenauswahl zusammenhängen. Um eine Verzerrung des Vergleiches zu verhindern, wurde das deshalb entsprechend den dem Abbaugrad nach zu erwartenden Gesamtfreisetzungen korrigiert. Daraus resultieren teilweise bei Frischkompost und Vergärung ohne Nachrotte (deutlich) niedrigere Minimal- und Maximalwerte. Zur Erzeugung von Frischkompost in offenen Kompostierungsanlagen finden sich in [Cuhls 2015] keine Werte. Zur Berechnung wurde daher das Verhältnis der Werte zur Erzeugung von Frisch-/Fertigkompost aus den

geschlossenen Kompostierungsanlagen auf die offenen Kompostierungsanlagen zur Erzeugung von Fertigkompost übertragen.

Zur Abbildung der mit der Verwertung von Kompost und / oder Gärrückständen verbundenen Umweltwirkungen wurde auf die Ergebnisse zurückgegriffen, die im Rahmen eines Projektes für das Umweltbundesamt [Knappe et al. 2012] erarbeitet wurden. In diesem Forschungsprojekt zur Optimierung der Verwertung organischer Abfälle wurden die Auswirkungen der Kompostausbringung in und auf Böden im Detail analysiert und darauf aufbauend sämtliche Optionen der stofflichen Verwertung von Komposten aus ökologischer Sicht bewertet.

Darstellungsweise in den nachfolgenden Abbildungen

Die Darstellung der Bewertungsergebnisse erfolgt für die betrachteten Systeme zum einen als Schwankungsbreite der mit der Behandlung verbundenen Umweltlasten (Minimal- bis Maximalwerte; Messergebnisse einzelner Anlagen), unterschieden in die Prozessschritte Behandlung und Nutzung der Produkte jeweils als schwebende Balken über der x-Achse aufgetragen. Und zum anderen wird die Schwankungsbreite der mit der Nutzung und Rückführung in den Wirtschaftskreislauf verbundenen Nutzen (Minimal- bis Maximalwerte), unterschieden in stofflichen Nutzen, Nutzen durch gewonnenen Strom und Wärme jeweils als schwebende Balken unter der x-Achse abgetragen.

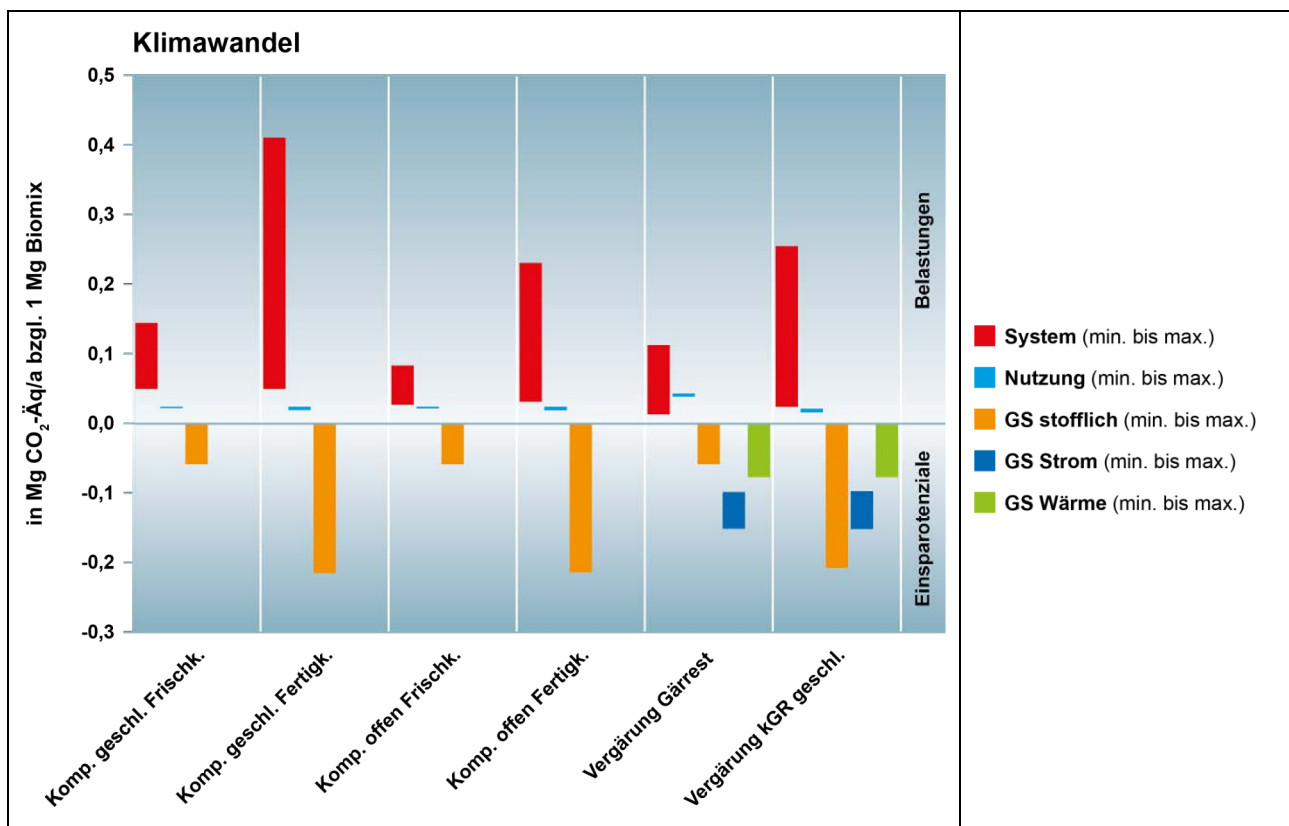
Unterschieden werden daher nicht nur die aufgezeigten Verwertungsoptionen, sondern es wird immer in optimale und suboptimale Ergebnisse differenziert. Diese ergeben sich insbesondere aus unterschiedlicher Anlagentechnik, Maßnahmen zur Minderung von Emissionen, energetischen Wirkungsgraden, aber auch Betriebsweisen und Nutzungsarten. Damit werden über die Ergebnisse auch immer die Spielräume deutlich, die sich jeweils aus einer Optimierung im Sinne Hochwertigkeit ergeben. Dies sind wichtige Informationen, um anschließend den Anlagenbestand bzw. den Status Quo zu bemessen. Je länger die schwebenden Balken sind, desto größer sind die zugehörigen Spielräume. Eine gegenüber einem anderen System große Balkenspannweite mit entsprechend großen maximalen Werten bedeutet nicht, dass diese Verwertungsoption schlechter ist, wenn die minimalen Werte ähnlich ausfallen, sondern dass der Optimierung an dieser Stelle eine besonders große Bedeutung zukommt. Die Balken schrumpfen auf einen Strich zusammen, wenn keine Schwankung auftritt. Die zugehörigen absoluten Werte können von der y-Achse abgelesen werden.

Ergebnisse

Betrachtet man sich den Treibhauseffekt, werden große Unterschiede über die einzelnen Optionen der Verwertung von Bioabfällen, vor allem jedoch auch den Betriebsweisen und Auslegungen der Anlagen deutlich. Die Emissionen aus den Anlagen / dem Verwertungssystem sind eine entscheidende Stellenschraube. Die Bandbreiten zwischen den Ergebnissen sind groß. Hier gilt es auf Standards zu achten, die die spezifischen Emissionsraten verringern. Die Herstellung eines ausgereiften Kompostes / Gärrückstandes ist immer mit etwas höheren Lasten verbunden, da sich der Behandlungsprozess über einen längeren Zeitraum erstreckt. Die damit erzielten Kompostqualitäten (Fertigkompost) wiegen diese aber mehr als auf, wenn auf die Anlagenführung geachtet wird. Zusätzliche Emissionen können über entsprechende Betriebsführung weitestgehend vermieden werden. Mit Fertigkompost eröffnen sich aber zusätzliche hochwertige Einsatzfelder wie der (Hobby)Garten- und Landschaftsbau sowie der Bereich Substrate und Erden, für die jeweils stabilisierter Kompost benötigt wird. In diesen Anwendungsfeldern können durch die damit substituierten Primärprodukte wie Torf hohe Gutschriften erzielt werden. Minimale stoffliche Gutschriften werden durch den Einsatz im Bereich der Rekultivierung erzielt. Der damit verbundene Nutzen ist relativ gering und wird hier mit nahe Null abgebildet.

Die Mehrfachnutzung¹ bestehend aus Vergärung mit Biogasnutzung und Nachrotte der Gärrückstände zur stofflichen Nutzung erweist sich in Summe als günstiger als die reine Kompostierung. Dies gilt vor allem über die erzielten Substitutionserfolge, die über die Nutzung der erzeugten Energie zu erzielen sind. Diese Substitutionserfolge unterscheiden sich jedoch je nachdem, ob das Biogas nur verstromt wird (bei eher suboptimalen Wirkungsgraden), oder ob die Verstromung mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad, hoher Gasausbeute und einer umfassenden Nutzung der verbleibenden Abwärme verbunden ist. Die erzielten Entlastungserfolge liegen in dieser optimierten Variante etwa doppelt so hoch, wie bei einer reinen Verstromung bei geringer Gasausbeute und niedrigem elektrischen Wirkungsgrad.

Abbildung 1: Ergebnisse für Biogut – Treibhauseffekt



Eigene Darstellung ifeu

In Summe ist der mit der Energienutzung maximal verbundene Erfolg in etwa gleich bedeutend wie derjenige, der über eine optimale Nutzung der kompostierten Gärrückstände, die sich über eine Anwendung auch im Bereich Erden und Substrate definiert, zu erzielen ist.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Klimaschutz mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Mehrfachnutzung bestehend aus Vergärung mit Biogasnutzung und Nachrotte der Gärrückstände zur stofflichen Nutzung
2. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb,

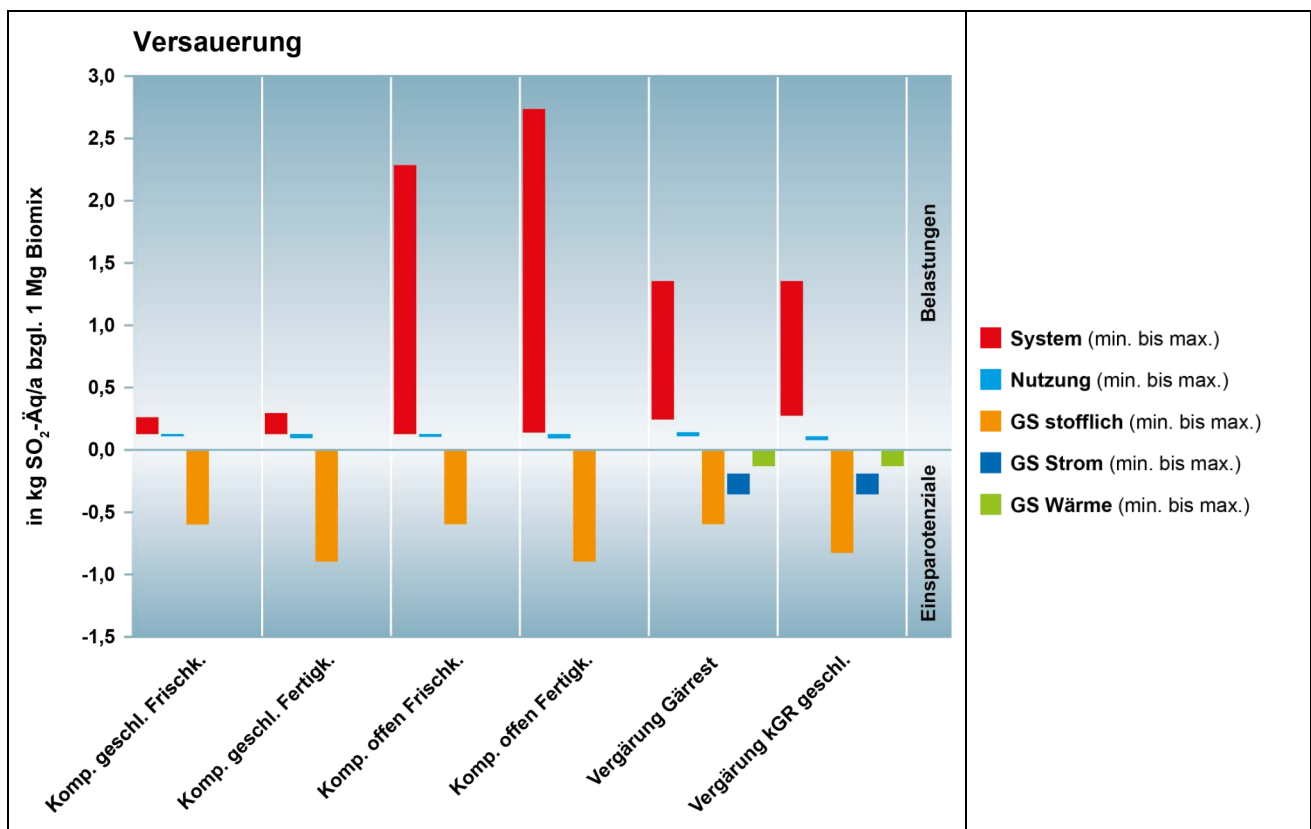
¹ Im allgemeinen Sprachgebrauch hat sich der Begriff Kaskadennutzung eingebürgert

3. bei Herstellung von Fertigkompost und hochwertiger Verwertung
4. und hohen energetischen Wirkungsgraden.

Die Ergebnisse für die sonstigen Emissionen / Umweltwirkungen werden über Versauerung und Eutrophierung terrestrisch abgebildet. Auf die separate grafische Darstellung der Wirkungskategorie Eutrophierung terrestrisch wurde verzichtet, sie unterscheidet sich nicht merklich von der für das Versauerungspotenzial. Das Versauerungs-, terrestrisches Eutrophierungs- (und PM10-) Potenzial hängt vor allem von den direkten Emissionen der Anlagen und der stofflichen Substitution durch die Kompost- und Gärreste ab. In diesem Zusammenhang ist die Frage der Emissionen aus den Anlagen / dem Betrieb von großer Bedeutung. Hierbei ist weniger die Frage, inwieweit die Kompostierungsanlagen geschlossen oder offen konzipiert sind, sondern die Betriebsweise entscheidend. Sind hier hohe Emissionsstandards gewährleistet, sind keine (relevanten) Unterschiede mehr zwischen diesen Anlagentypen feststellbar.

Mit Ausnahme des Krebsrisikopotenzials ist die Anlagenführung von offenen Kompostierungsanlagen hier besonders wesentlich, weil diese im ungünstigen Fall hohe Ammoniakemissionen ausstoßen, was hier nicht wie im Fall der geschlossenen Kompostierungsanlagen durch Abluftreinigung korrigiert werden kann. Die Kompostierung im offenen Betrieb und die Vergärung schneiden tendenziell mit etwas höheren Emissionen ab.

Abbildung 2: Ergebnisse für Biogut – Versauerungspotenzial



Eigene Darstellung ifeu

Die Kompensation dieser Emissionen durch die im Zuge der Vergärung erzeugte Energie gelingt für die Kriterien Versauerung nur noch in abgeschwächter Form und vor allem für Eutrophierung nur gerade noch, da die herkömmliche Erzeugung von Energie nicht mit größeren Emissionen von Stickstoffverbindungen verbunden ist als die Energieerzeugung aus Biogas. Der regenerative Energieträger Bio-

masse hat gegenüber fossilen Energieträgern hierbei keinen allgemeingültigen Vorteil wie beim Treibhauseffekt. Im terrestrischen Eutrophierungspotenzial geht neben NO_x auch das Lachgas mit ein, so dass hier eine größere Verschlechterung mit der Nachrotte im Vergleich zum Versauerungspotenzial möglich ist. Bei der Nutzung der Energie wichtig sind vor allem hohe elektrische Wirkungsgrade, die Bedeutung der Vermarktung der Überschusswärme ist etwas weniger relevant.

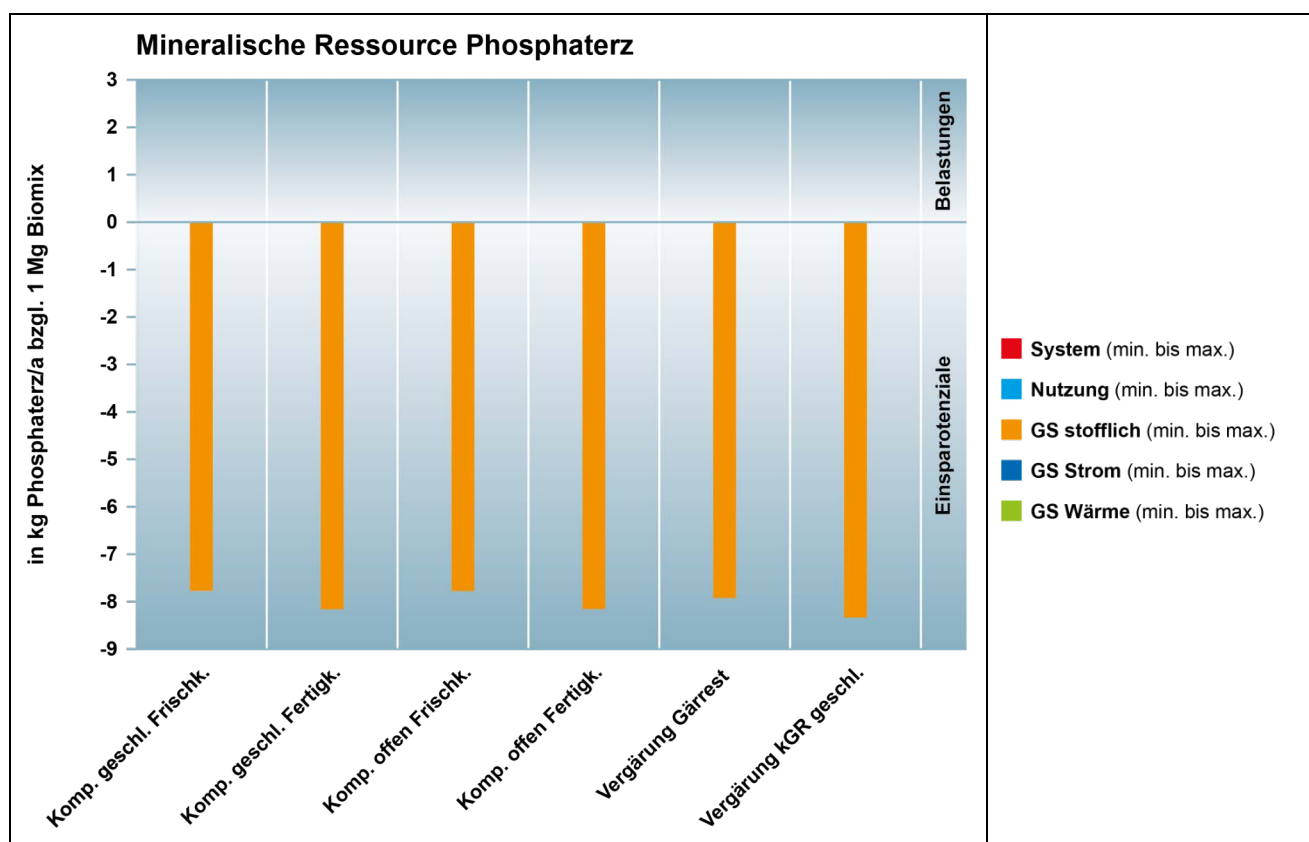
Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb,
2. Fertigkompost anstatt Frischkompost mit hochwertiger Verwertung,
3. Vergärung und Nachrotte der Vergärungsrückstände in Verbindung mit hohen energetischen Wirkungsgraden.

Die Verwertungsalternativen unterscheiden sich nicht (relevant) unter dem Gesichtspunkt der Schonung der mineralischen Ressource Phosphor, dies hängt hauptsächlich von der Nutzungsart ab, welche aber nur im Falle der Rekultivierung und Erwerbsgartenbau kein bzw. weniger Phosphor einspart.

Es bleiben die nicht über die Ökobilanz abbildbaren Unterschiede der potenziellen Schonung von Torfvorkommen. Eine Substitution von Torf setzt die Produktion von Fertigkompost voraus. Das Potenzial zur Verarbeitung zu Erden und Substraten und damit zur Substitution von torfbasierten Produkten haben Fertigkomposte, unabhängig davon, ob sie aus einer reinen Kompostierung stammen oder aus der Nachrotte von Vergärungsrückständen.

Abbildung 3: Ergebnisse für Biogut – Schonung der Ressource Phosphor



Eigene Darstellung ifeu

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Substitution von Phosphor und Torf mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

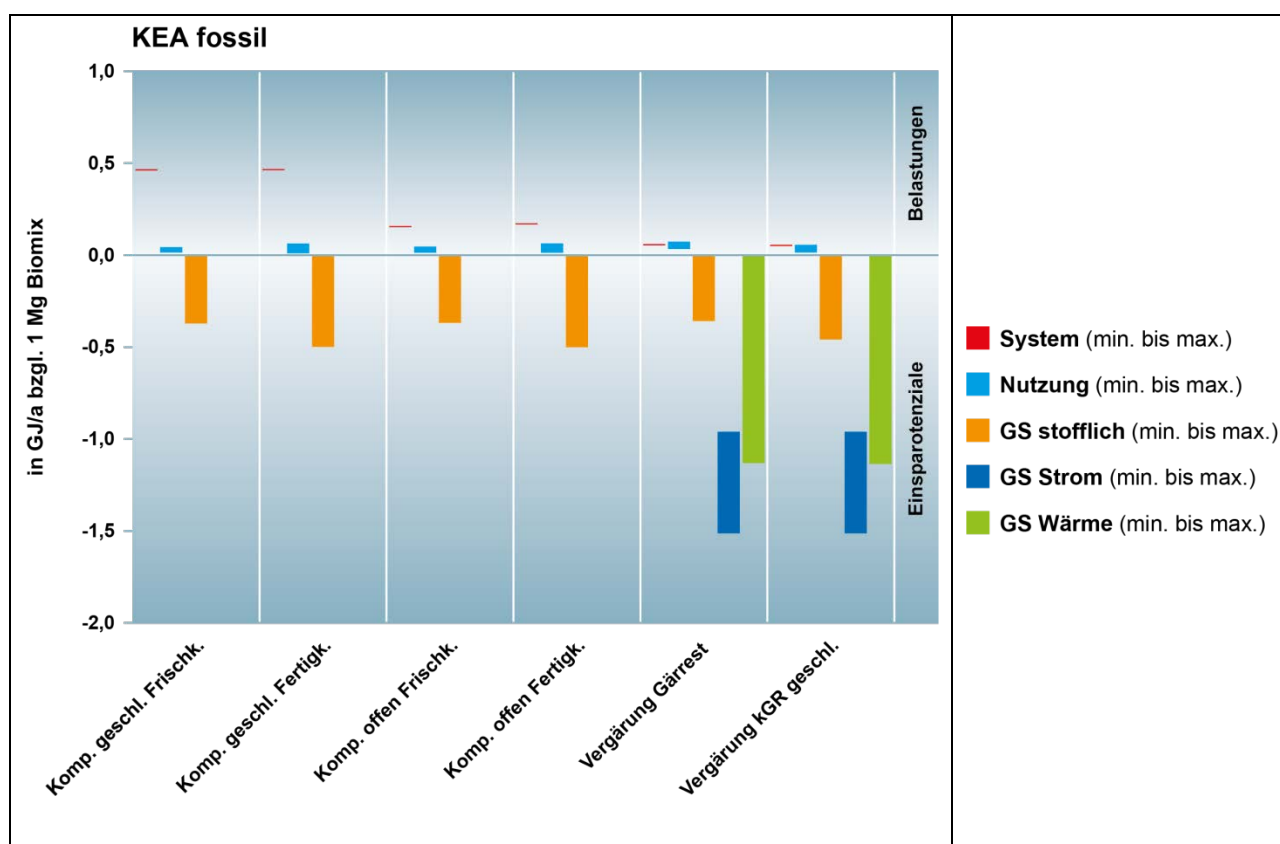
1. Produktion von Fertigkompost und Verarbeitung zu Produkten, die in Konkurrenz zu Torf treten können.
2. Ausnützung der Nährstoff- und Substratgehalte im Kompost durch eine ausgewogene Nutzung des Komposts sowohl im Bereich Landwirtschaft sowie (Hobby)Garten- und Landschaftsbau auf der einen Seite als auch Substrate und Erden auf der anderen Seite

Die Ergebnisse für das Kriterium KEA (Energiebilanz) sind eindeutig von der Frage bestimmt, ob die Verwertung der Bioabfälle über eine Mehrfachnutzung und damit eine Vergärung erfolgt. Wichtig sind hohe elektrische Wirkungsgrade in der Biogasnutzung sowie eine optimale Vermarktung der verbleibenden Abwärme.

Der zentrale Ansatzpunkt zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Energiebilanz ist:

1. Vergärung mit hohen energetischen Wirkungsgraden

Abbildung 4: Ergebnisse für Biogut – Energiebilanz (KEA_{fossil})



Eigene Darstellung ifeu

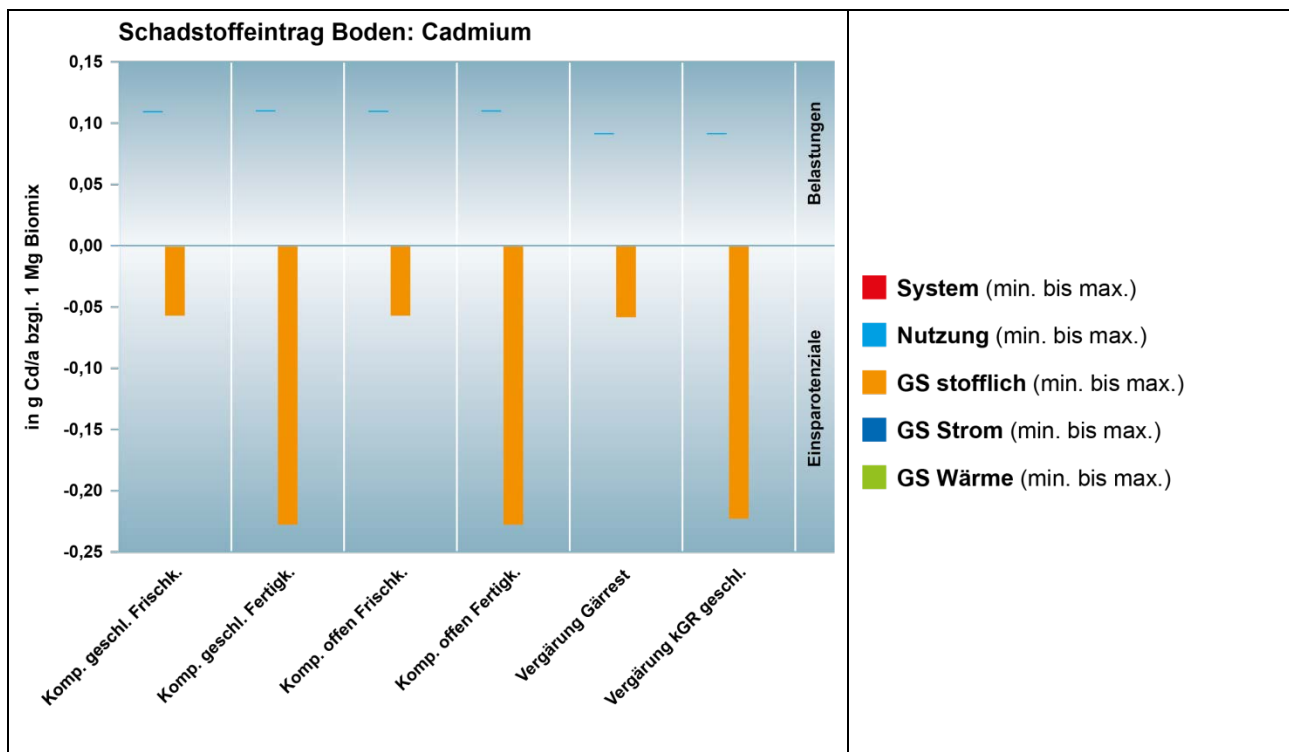
Unter dem Aspekt Schadstoffanreicherung (Schadstoffeinträge in Böden) lassen sich für den Parameter Cadmium signifikante Unterschiede zwischen den Verwertungsalternativen ablesen, die daraus resultieren, dass mit Fertigkompost im Gegensatz zu Frischkompost ein Substrat bereit gestellt werden kann, welches geringere Belastungen aufweist als die zu diesem Zweck klassisch eingesetzten Rindenprodukte. Der Schadstoffeintrag selbst lässt sich über die Verwertungsalternativen und die Verwertungsverfahren nicht beeinflussen. Grundsätzlich ist PAK im substituierten Rindenprodukt in größeren Mengen enthalten als in einer nährstoffäquivalenten Menge Kompost. Auch über die Substitution

von cadmiumhaltigem Primärdünger wird eine Gutschrift erzielt, die aber im Vergleich zur Substitution von Rindenprodukten gering ist und die Einträge über den Kompost nicht kompensieren kann. Torf weist keine signifikante Belastung mit Cd auf, die Substitution von Torfprodukten kann daher die Einträge über den Kompost ebenfalls nicht kompensieren.

Der zentrale Ansatzpunkt zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Minderung Schadstoffeintrag in Böden ist:

1. Fertigkompost bzw. kompostierter Gärrückstand anstatt Frischkompost bzw. Gärrückstand und Verarbeitung zu hochwertigen Erden und Substraten

Abbildung 5: Ergebnisse für Biogut – Schadstoffeintrag in Böden (Beispiel Cadmium)



Eigene Darstellung ifeu

Fazit

Führt man die Erkenntnisse aus der Diskussion entlang der einzelnen Umweltwirkungskategorien zusammen, lassen sich folgende Schlussfolgerungen festhalten. Die Verwertung des Bioguts aus der Biotonne ist mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge besonders hochwertig bei:

1. Mehrfachnutzung bestehend aus Vergärung mit Biogasnutzung und Nachrotte der Gärrückstände zur stofflichen Nutzung
2. Hohe Emissionsstandards
3. Herstellung von Fertigkompost und hochwertiger Verwertung
4. und hohen energetischen Wirkungsgraden

Diese Empfehlung lässt sich nicht nur aus der Klimabilanz ableiten und damit der Umweltwirkungskategorie, der nach einem Forschungsprojekt für das Umweltbundesamt [Knappe et al., 2012] die vergleichsweise höchste Bedeutung zukommt. Diese Empfehlung wird auch von den übrigen diskutierten

Wirkungskategorien gedeckt. Nur der Schadstoffeintrag – und hier nur am Beispiel des Parameters Cadmium – ist hierzu dann gegenläufig, wenn die Kompostverwertung mit der Zielrichtung der Substitution von Torf erfolgt. Dies hat positive Folgen aus Sicht des Klimaschutzes und der Schonung der Ressource Torf bzw. der mit dem Abbau verbundenen Eingriffen in oft wertvolle Naturräume. Mit der Zielrichtung der Substitution von Rindenumus sind relevante Substitutionserfolge hinsichtlich des Schadstoffeintrages in Böden verbunden. Rinden weisen eine vergleichsweise hohe Cadmium-Belastung auf. Ziel sollte es sein, die Kapazität vorzuhalten, um Fertigkompost für Vermarktungswege außerhalb der Landwirtschaft produzieren zu können. Falls eine Absteuerung von Teilmengen an die Landwirtschaft stattfindet, kann hierfür die Kompostierung vor der Nachrotte abgebrochen werden.

2.2.2 Verwertung von Küchenabfällen

Mit Küchenabfällen sind die Bioabfallmassen gemeint, die im Haushalt selbst und damit vor allem in der Küche zur Entsorgung anfallen. Es handelt sich um die typischen Putzabfälle aus der Zubereitung von Speisen, die klassischen Speiseabfälle im Sinne von Verzehrresten sowie überlagerte Lebensmittel und andere Reste. In Zusammensetzung und Verwertungseigenschaften entsprechen diese Abfallmassen daher in etwa den Speiseabfällen aus der Gastronomie.

Derartige Abfallmassen sind Bestandteil des typischen Biotonnen-Inhalts, der zusammen mit Gartenabfällen als "Biogut" beschrieben wird. Nicht immer werden aber auch Gartenabfälle über die Biotonne erfasst, in einigen Gebietskörperschaften sind durch Abfall- und Gebührensystem Anreize gesetzt, Gartenabfälle möglichst nicht dem System Biotonne zu übergeben. So werden derzeit im Zuge der Einführung der Biotonne bzw. der Ausweitung der Sammelgebiete auf ländliche Strukturen Sammelssysteme diskutiert, in denen die Gartenabfälle gezielt weiterhin der Eigenkompostierung zugeführt werden sollen. Da diese Verwertung Küchenabfällen wegen der hygienischen Probleme aber auch wegen der Eutrophierung der Gartenböden aus den damit verbundenen Nährstoffeinträgen verwehrt ist, müssen für diese Küchenabfälle somit Erfassungssysteme zur Verfügung gestellt werden, um dem gesetzlichen Anspruch einer flächendeckenden Bioabfallerfassung gerecht zu werden. Wenn die Biotonne auch in die verdichteten Quartiere mit Geschosswohnungsbau ausgedehnt wird, besteht der Biotonneninhalt zwangsläufig vor allem aus Küchenabfällen.

Als die Schwankungsbreite bedingende Nutzungsarten für Frischkompost betrachtet werden die Rekultivierung, Einsatz im Obstbau und der Landwirtschaft, für Fertigkompost weiterhin der Einsatz im Hobbygartenbau, Gartenlandschaftsbau/Kommune, Erwerbsgartenbau und Erdenwerken. Für den frischen Gärrückstand aus der Vergärung wird nur eine Nutzung in der Landwirtschaft betrachtet, so dass hierfür in der stofflichen Nutzung keine Schwankung auftritt.

Annahmen

Für die Bilanzierung der in den Behandlungsanlagen anfallenden Emissionen bilden die in [Cuhls 2015] für die jeweiligen Anlagentypen aufgeführten Minimal- und Maximalwerte die Grundlage. Da in den Praxisanlagen jedoch nicht ausschließlich Küchenabfälle verwertet wurden, mussten diese Werte im Emissionspotenzial angepasst werden.

Die Ergebnisse für eine geschlossene Kompostierung und Erzeugung von Frischkompost (Komp. geschl. Frischk.) basieren auf Messungen an 8 Anlagen mit 14 Messphasen (inklusive teilgeschlossene Kompostierungsanlagen, Kompostierungsanlagen mit semipermeablen Membranen). Die Ergebnisse für eine geschlossene Kompostierung und Erzeugung von Fertigkompost (Komp. geschl. Fertigk.) basieren auf Messungen an 3 Anlagen mit 6 Messphasen. Die Ergebnisse für die offene Kompostierung und Erzeugung von Fertigkompost (Komp. offen Fertigk.) basieren auf Messungen an 5 Anlagen mit 11 Messphasen. Die Ergebnisse für eine Vergärung mit direkter Vermarktung des Gärrestes (Vergärung Gärrest) basieren auf Messungen an 12 Anlagen und 19 Messphasen. Die Ergebnisse für eine Vergärung und geschlossener Nachrotte (Vergärung kGR geschl.) basieren auf Messungen an 6 Anlagen mit

13 Messphasen. Zudem wurden weitere Veröffentlichungen herangezogen und geprüft. Die Werte der Universität Stuttgart bspw. [Kranert et al. 2016] liegen innerhalb der Schwankungsbreite.

Die hier aufgeführten Werte für "Kompostierung bis Frischkompost und Vergärung ohne Nachrotte" wurden dann angepasst, wenn diese über denen der "Kompostierung bis Fertigkompost" und "Vergärung mit Nachrotte" lagen. Im Falle des Frischkompostes wurde dabei angenommen, dass die Emissionen im Verhältnis der angenommenen Abbauraten der organischen Substanz von 50 % in der Haupt- und 60 % in Summe aus Haupt- und Nachrotte unter denen des Fertigkompostes liegen. Bei der Vergärung wurde der Maximalwert von "Vergärung mit geschlossener Nachrotte" auch für die "Vergärung ohne Nachrotte" übernommen, so dass letztere nicht schlechter abschneidet als erstere. Hintergrund ist, dass schlechtere Werte ohne Nachkompostierung nicht verfahrenstechnisch erklärbar sind, sondern mit der Anlagenauswahl zusammenhängen. Um eine Verzerrung des Verfahrensvergleiches zu verhindern, wurde das deshalb entsprechend den dem Abbaugrad nach zu erwartenden Gesamtfreisetzungen korrigiert. Daraus resultieren teilweise bei Frischkompost und Vergärung ohne Nachrotte (deutlich) niedrigere Minimal- und Maximalwerte. Zur Erzeugung von Frischkompost in offenen Kompostierungsanlagen finden sich in [Cuhls 2015] keine Werte. Zur Berechnung wurde das Verhältnis der Werte zur Erzeugung von Frisch-/Fertigkompost aus den geschlossenen Kompostierungsanlagen auf die offenen Kompostierungsanlagen zur Erzeugung von Fertigkompost übertragen. Weiterhin wurden die (kohlenstoffhaltigen) Emissionen aus [Cuhls 2015], die für die Behandlung von Bio- und Grünabfällen gelten, entsprechend dem Verhältnis der abgebauten Menge organischer Trockensubstanz (oTS) beider Abfallarten linear skaliert, um eine Abschätzung für die Emissionen aus reinem Küchenabfall zu ermitteln. Für die betrachtete Vergärung wurde unterstellt, dass die Küchenabfälle als eine Art „Flüssig“dünger an die Landwirtschaft abgegeben werden, der nur einen TS-Gehalt von ca. 7,1 % hat. Bei Speiseabfällen bzw. Behandlung von ausschließlich Küchenabfällen ist eine Nachkompostierung der Gärrückstände nicht üblich.

Zur Abbildung der mit der Verwertung von Kompost und / oder Gärrückständen verbundenen Umweltwirkungen wurde auf die Ergebnisse zurückgegriffen, die im Rahmen eines Projektes für das Umweltbundesamt [Knappe et al. 2012] erarbeitet wurden. In diesem Forschungsprojekt zur Optimierung der Verwertung organischer Abfälle wurden die Auswirkungen der Kompostausbringung in und auf Böden im Detail analysiert und darauf aufbauend sämtliche Optionen der stofflichen Verwertung von Komposten aus ökologischer Sicht bewertet.

Darstellungsweise in den nachfolgenden Abbildungen

Die Darstellung der Bewertungsergebnisse erfolgt für die betrachteten Systemen zum einen als Schwankungsbreite der mit der Behandlung verbundenen Umweltlasten (Minimal- bis Maximalwerte; Messergebnisse einzelner Anlagen), unterschieden in die Prozessschritte Behandlung und Nutzung der Produkte jeweils als schwebende Balken über der x-Achse aufgetragen. Und zum anderen wird die Schwankungsbreite der mit der Nutzung und Rückführung in den Wirtschaftskreislauf verbundenen Nutzen (Minimal- bis Maximalwerte), unterschieden in stofflichen Nutzen, Nutzen durch gewonnenen Strom und Wärme jeweils als schwebende Balken unter der x-Achse abgetragen.

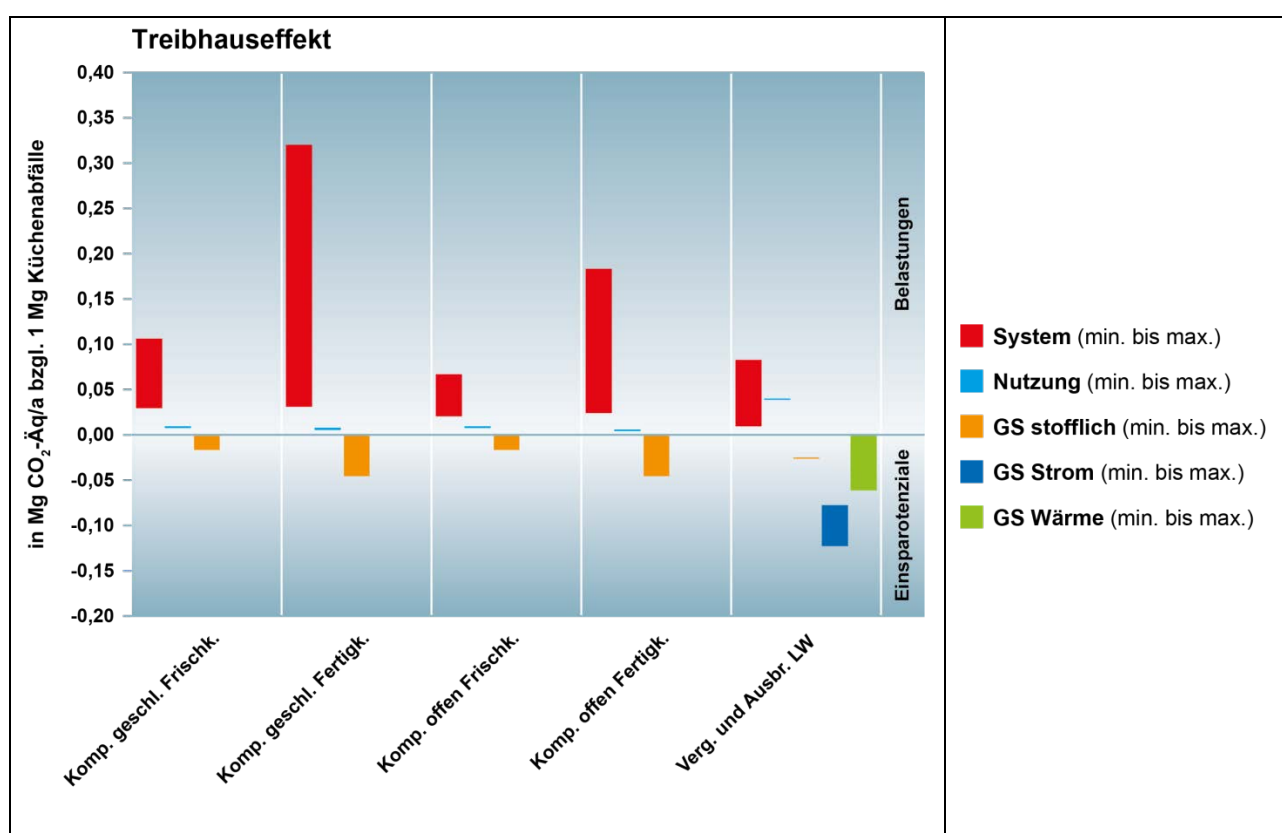
Unterschieden werden daher nicht nur die aufgezeigten Verwertungsoptionen, sondern es wird immer in optimale und suboptimale Ergebnisse differenziert. Diese ergeben sich insbesondere aus unterschiedlicher Anlagentechnik, Maßnahmen zur Minderung von Emissionen, energetischen Wirkungsgraden, aber auch Betriebsweisen und Nutzungsarten. Damit werden über die Ergebnisse auch immer die Spielräume deutlich, die sich jeweils aus einer Optimierung im Sinne Hochwertigkeit ergeben. Dies sind wichtige Informationen, um anschließend den Anlagenbestand bzw. den Status Quo zu bemessen. Je länger die schwebenden Balken sind, desto größer sind die zugehörigen Spielräume. Eine gegenüber einem anderen System große Balkenspannweite mit entsprechend großen maximalen Werten bedeutet nicht, dass dieses System schlechter ist, wenn die minimalen Werte ähnlich ausfallen, sondern dass der Optimierung an dieser Stelle eine besonders große Bedeutung zukommt. Die Balken schrumpfen

auf einen Strich zusammen, wenn keine Schwankung auftritt. Die zugehörigen absoluten Werte können von der y-Achse abgelesen werden.

Ergebnisse

Betrachtet man sich die Bilanzierungsergebnisse unter dem Gesichtspunkt Treibhauseffekt fallen auch hier die beträchtlichen Unterschiede im Emissionsverhalten innerhalb der unterschiedlichen Verwertungsalternativen auf. Die Bandbreite der Emissionswerte ist vor allem in den Verwertungsalternativen deutlich, die auf die Produktion von Fertigkompost abzielen. Hier spielen die Methanemissionen und daneben die N-Bilanz eine große Rolle. Mit einer längeren Verweildauer in der Anlage wird die Organik weiter abgebaut und damit ehemals organisch gebundener Stickstoff frei. Diese Emissionen, vor allem aber als Ammoniak-Frachten für den Biofilter und der damit verbundenen Entstehung von sehr treibhauswirksamem Lachgas, verschlechtern das Emissionspotenzial deutlich, was aber durch entsprechende Maßnahmen deutlich optimiert werden kann.

Abbildung 6: Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Treibhauseffekt



Eigene Darstellung ifeu

Die Unterschiede sind im Emissionsverhalten unter den Verwertungsoptionen dann nicht mehr so entscheidend, wenn sie durch technische und verfahrenstechnische Maßnahmen möglichst weit reduziert wurden. Die Vorteile liegen hier bei der Vergärungsoption, zieht man die Emissionen auf dem Feld mit ein allerdings nicht mehr. Die Emissionen am Einsatzort sind außer bei der Ausbringung von Gärrückständen weniger bedeutend und lassen sich nach den vorliegenden Erkenntnissen auch nicht weiter minimieren. Die Bedeutung der Gärrückstände ist hauptsächlich auf die Feldemissionen und nur untergeordnet auf deren große Masse bedingt durch den kleinen TS-Gehalt von gut 7 % zurückzuführen („Flüssig“dünger), die transportiert und ausgebracht werden muss, was zu entsprechenden Lasten führt.

Die Produktion von Kompost und deren Vermarktung erzielt nicht zwangsläufig klimaentlastende Wirkungen. Die Vermarktung der Komposte ist jedoch in den meisten Wegen mit Substitutionserfolgen verbunden und dies vor allem für Fertigkompost. Für die Vergärung der Küchenabfälle resultieren die entscheidenden Substitutionserfolge aus der Nutzung des Biogases. In "Summe" ist in der Abwägung von Aufwand (Emissionsverhalten aus dem Verwertungssystem) und Nutzen (Substitutionserfolg) die Option Vergärung klimaentlastend, die Kompostierung sowie Herstellung und Vermarktung von Fertigkompost unter optimalen Randbedingungen in etwa neutral bzw. leicht entlastend.

In Summe ist der mit der Energienutzung maximal verbundene Erfolg deutlich höher als der, der über eine optimale Nutzung der Gärrückstände bzw. Komposte zu erzielen ist.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Klimaschutz mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind deshalb:

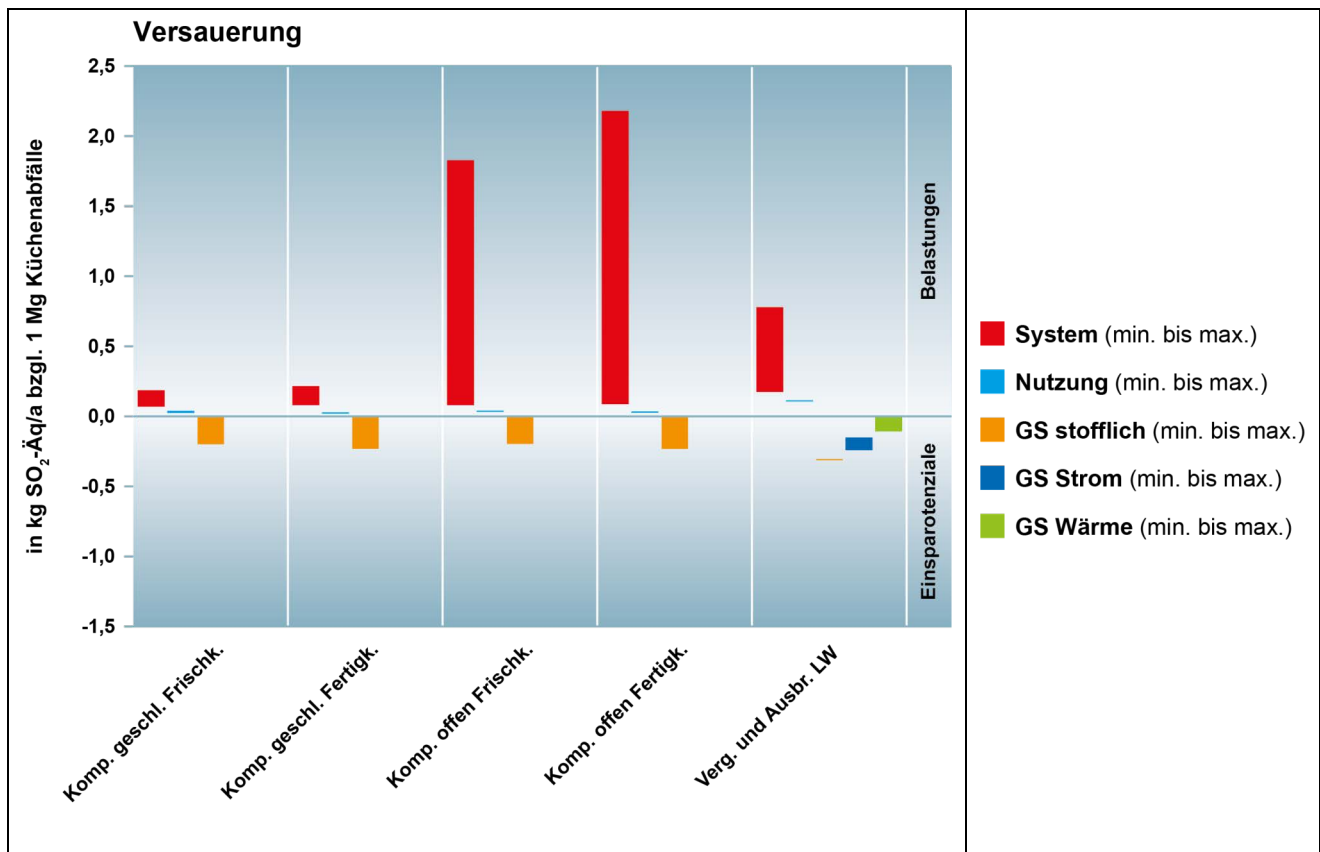
1. Mehrfachnutzung aus Vergärung und stofflicher Nutzung
2. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb
3. Hohe energetische Wirkungsgrade
4. und Herstellung von Fertigkompost und hochwertiger Verwertung.

Betrachtet man sich die Bilanzierungsergebnisse für die Kriterien Versauerungspotenzial und Eutrophierung terrestrisch, so ähneln sich diese tendenziell. Beide Ergebnisse sind stark von N-Emissionen bestimmt. Augenfällig sind die großen Unterschiede in den Umweltlasten für eine Kompostierung in geschlossener oder offener Betriebsweise. Augenfällig ist aber aus den Werten im unteren Bereich der Spannweite der offenen Kompostierung auch, dass das Emissionsniveau nicht nur deutlich reduziert, sondern auch auf eine zwischen geschlossener und offener Kompostierung vergleichbare Größe gebracht werden kann und dies über eine Optimierung in der Betriebsweise. Auch für die Vergärung werden Optimierungspotenziale deutlich. Das minimal erreichbare Emissionsniveau liegt aber etwas höher, resultierend vor allem aus den NO_x-Emissionen aus der Biogasnutzung. Wird der Gärrückstand in die Landwirtschaft gebracht, das Emissionsniveau gesenkt und das Biogas entsprechend genutzt, führen die Substitutionserfolge in Summe zu Umweltentlastungserfolgen.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb,
2. Nutzung der Komposte und Gärrückstände mit Substitutionserfolgen und
3. Mehrfachnutzung in Verbindung mit hohen energetischen Wirkungsgraden

Abbildung 7: Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Versauerung



Eigene Darstellung ifeu

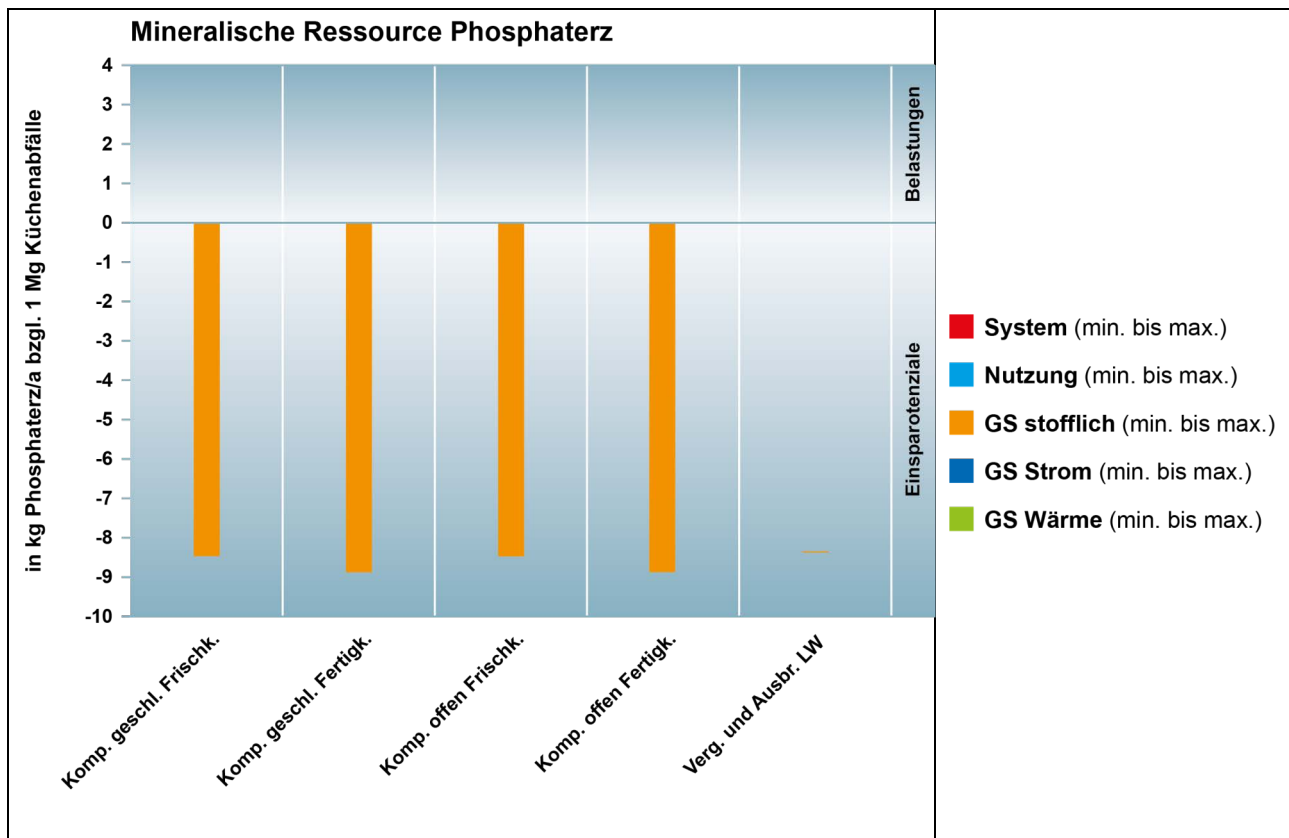
Die Verwertungsoptionen unterscheiden sich bezüglich der Nutzung der Ressource Phosphat nicht. Die absoluten Werte ergeben sich aus den angesetzten P-Gehalten der Küchenabfälle. Verluste treten über die Behandlungsprozesse hinweg in relevantem Umfang nicht auf.

Die Substitution von Torf und die damit verbundene Umweltentlastung lassen sich nicht über eine Ökobilanz bilanzieren und bewerten. Das Potenzial zur Verarbeitung zu Erden und Substraten und damit zur Substitution von torfbasierten Produkten haben Fertigkomposte.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Substitution von Phosphor und Torf mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Produktion von Fertigkompost und Verarbeitung zu Produkten, die in Konkurrenz zu Torf treten können.
2. Ausnützung der Nährstoff- und Substratgehalte im Kompost durch eine ausgewogene Nutzung des Komposts sowohl im Bereich Landwirtschaft sowie (Hobby)Garten- und Landschaftsbau auf der einen Seite und Substrate und Erden auf der anderen Seite

Abbildung 8: Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Schonung der Ressource Phosphat



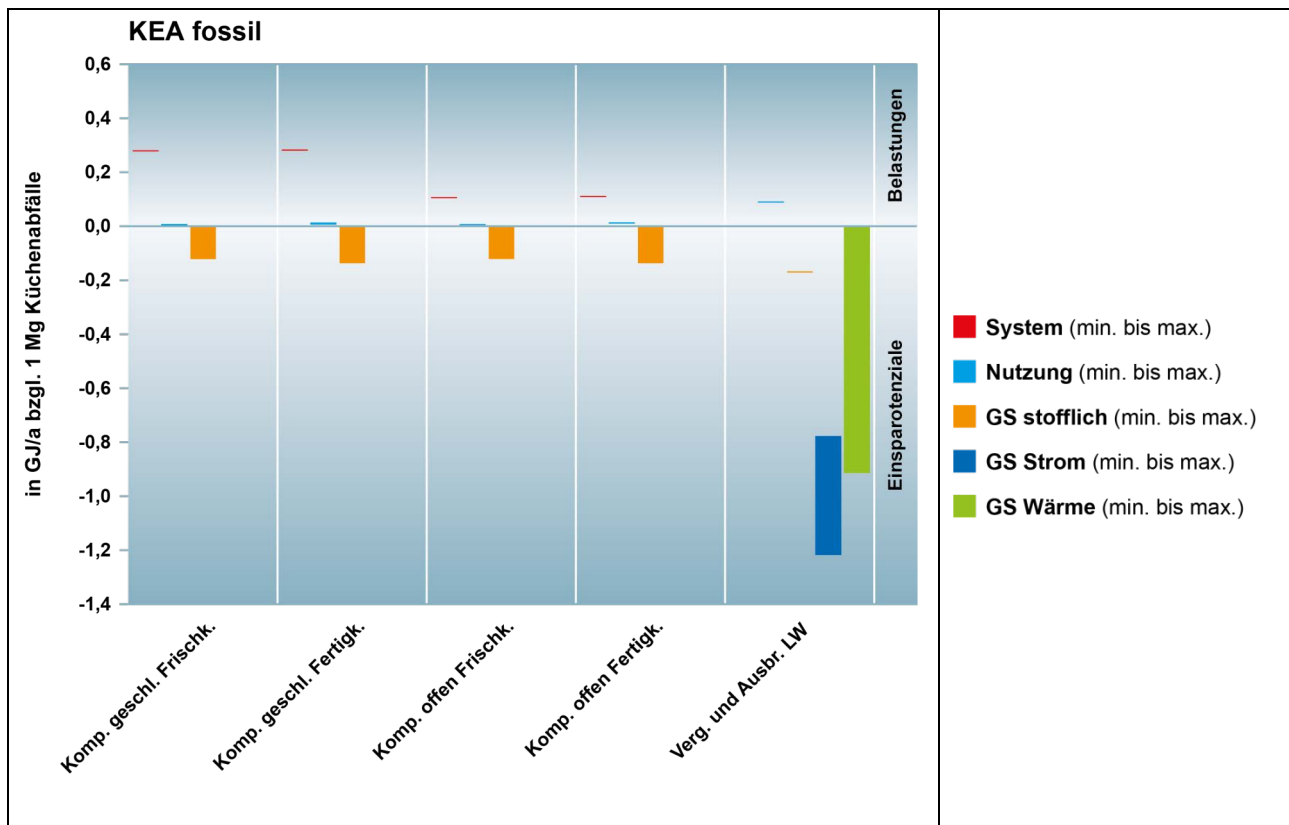
Eigene Darstellung ifeu

Die Gärrückstände werden landwirtschaftlich verwertet, womit in Abhängigkeit der postulierten Gehalte entsprechend Düngemittelgaben und damit Ressourcen an Phosphaterz geschont werden können. Dagegen werden Komposte über unterschiedlichste Wege abgesetzt, die in unterschiedlichem Umfang deren Gehalte an Pflanzennährstoffe honorieren. Die Ausbringung bspw. in Rekultivierungsmaßnahmen bspw. ist mit keiner Gutschrift verbunden. Entsprechen sind hier große Bandbreiten an Substitutionserfolgen aufgezeigt, die „0“ als Ausgangsgröße haben.

Deutliche Unterschiede gibt es jedoch in der Nutzung fossiler Ressourcen, ausgedrückt im KEA fossil. Der Aufwand der Kompostierung und der Abluftreinigung ist hier mit einem höheren Ressourcenverbrauch verbunden, als er sich über die Vermarktung der Komposte einsparen lässt. Relevante Optimierungsansätze sind nicht vorhanden. Die Mehrfachnutzung mit der Biogasproduktion und dessen energetischer Nutzung ist mit deutlichen Substitutionserfolgen verbunden.

Der zentrale Ansatzpunkt zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Energiebilanz ist:

1. Vergärung mit hohen energetischen Wirkungsgraden

Abbildung 9: Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Energiebilanz (KEA_{fossil})

Eigene Darstellung ifeu

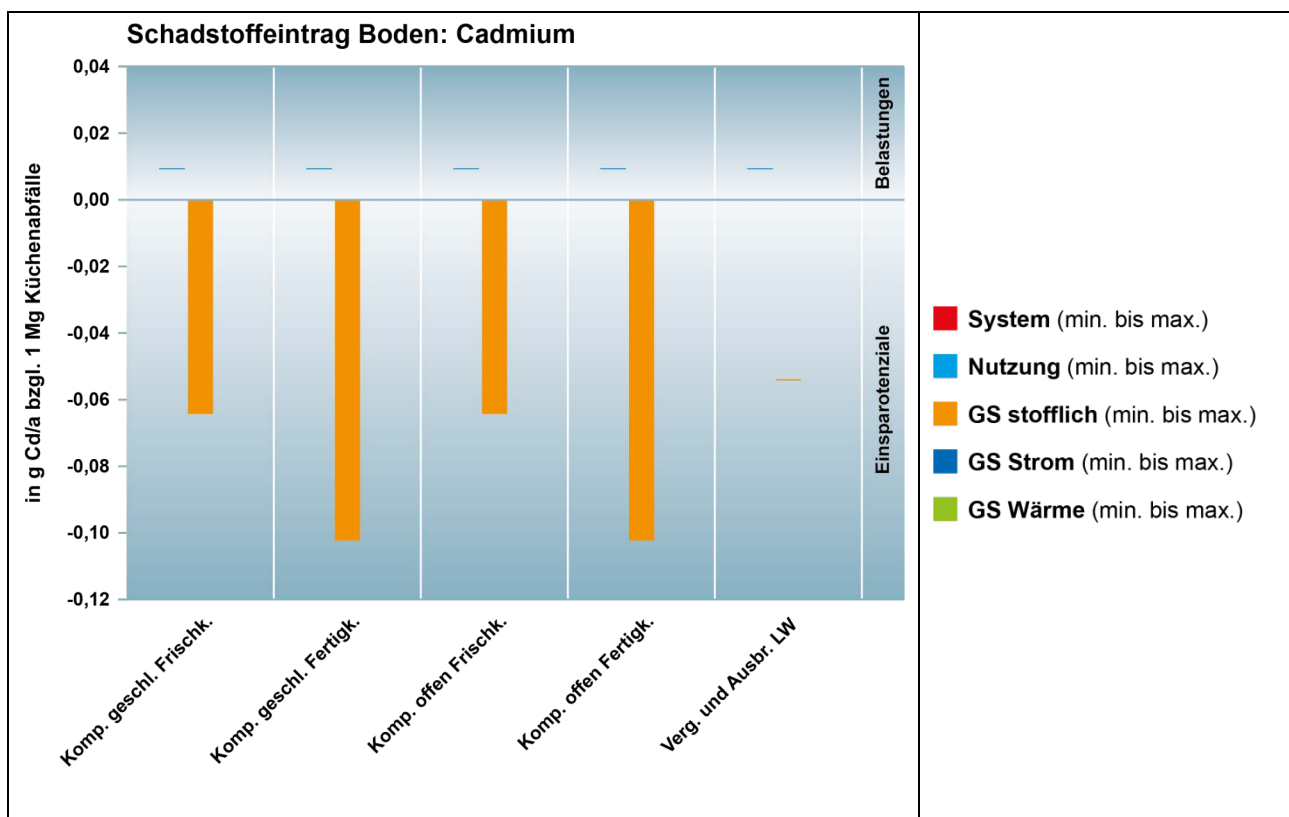
Die Höhe der Schadstoffeinträge in Böden resultiert aus den angesetzten Schadstoffbelastungen der Ausgangsmaterialien. Da über den Behandlungsprozess keine Schadstoffabreicherung in nennenswertem Umfang erfolgt, unterscheiden sich die Behandlungsverfahren hierin auch nicht. Die Einträge für PAK sind auf „0“ gesetzt, da keine Informationen zur Ausgangsbelastung der Abfallmassen vorlagen.

Die Substitutionserfolge liegen jedoch in allen Fällen deutlich höher als die Belastungen aus dem Betrieb. Für Cadmium ergeben sich Unterschiede aus der entsprechenden Belastung der in unterschiedlichem Umfang substituierten Produkte. Cadmium-Belastungen weisen P-Düngemittel aber auch Rindenprodukte auf. Da letztere sich nur über Fertigkomposte substituieren lassen, liegen die maximalen Erfolge für diese Komposte höher als für Frischkompost.

Der zentrale Ansatzpunkt zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Minderung Schadstoffeintrag in Böden ist:

1. Fertigkompost Verarbeitung zu hochwertigen Erden und Substraten

Abbildung 10: Ergebnisse für „Küchenabfälle“ – Schadstoffeinträge in Böden (Beispiel Cadmium)



Eigene Darstellung ifeu

Die Gärrückstände werden landwirtschaftlich verwertet, womit in Abhängigkeit der postulierten Gehalte entsprechend Düngemittelgaben und Frachten an Cd substituiert werden können. Dagegen werden Komposte über unterschiedlichste Wege abgesetzt, die in unterschiedlichem Umfang deren Gehalte an Pflanzennährstoffe honorieren. Die Ausbringung bspw. in Rekultivierungsmaßnahmen bspw. ist mit keiner Gutschrift verbunden. In Abhängigkeit der Verwertungswege werden demnach in unterschiedlichem Umfang Cd-belastete mineralische Düngemittel substituiert, die „0“ als Ausgangsgröße haben.

Fazit

Bezogen auf die Umweltlasten, d.h. den Status Quo der Umweltbeanspruchung, führt die Substitution über Phosphaterz zu den höchsten Entlastungserfolgen. Hierin unterscheiden sich jedoch die diskutierten Verwertungsvarianten nicht. Optimierungsansätze lassen sich damit hieraus nicht ableiten.

Die größten Unterschiede ergeben sich im Emissionsniveau. Die Verwertung von Küchenabfällen kann mit technischen Standards erfolgen, die das Emissionsniveau sehr deutlich reduzieren. Nur so ist die ökologische Vorteilhaftigkeit zu den Entsorgungsalternativen sicher gegeben.

Diese Empfehlung lässt sich vor allem aus der Klimabilanz ableiten und damit der Umweltwirkungskategorie, der nach einem Forschungsprojekt für das Umweltbundesamt [Knappe et al. 2012] die vergleichsweise höchste Bedeutung zukommt. Diese Empfehlung wird jedoch auch von den übrigen diskutierten Wirkungskategorien gedeckt. Aufgrund des hohen N-Emissionspotenzials dieser Abfallmassen hat die Beachtung hoher Emissionsstandards ebenfalls eine große Bedeutung.

Fazit zentrale Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge:

1. Mehrfachnutzung aus Vergärung und stofflicher Nutzung
2. Hohe Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb
3. Hohe energetische Wirkungsgrade und
4. Herstellung von Fertigkompost und hochwertige Verwertung.

2.2.3 Verwertung von Gartenabfällen / Grüngut

Für die Grünabfälle ist der Standard die offene Kompostierung bis Frisch- oder Fertigkompost. Grüngut besteht zu etwa 50 % aus krautigem und zu 50 % aus holzigem Material. Es wird je nach Region an Grüngutsammelplätzen abgeliefert oder auch an den Grundstücken abgeholt. In den Sommermonaten ist der Anteil krautigen Materials größer, in den Wintermonaten der holzige Anteil.

Als die Schwankungsbreite bedingende Nutzungsarten für Frischkompost betrachtet werden die Re-
kultivierung, Einsatz im Obstbau und der Landwirtschaft, für Fertigkompost und kompostierte Gär-
rückstände weiterhin der Einsatz im Hobbygartenbau, Gartenlandschaftsbau/Kommune, Erwerbsgar-
tenbau und Erdenwerken.

Annahmen

Als Szenarien werden die offene Kompostierung inklusive der Herstellung von Frisch- und Fertigkompost betrachtet. In einem weiteren Szenario wird aus dem nassorganischen Grüngut eine vergärbare Fraktion abgetrennt, die einer Vergärung mit offener Nachrotte unterzogen wird, wohingegen der Rest unverändert offen bis Frischkompost kompostiert wird. Im vierten Szenario wird hingegen die holzige Fraktion abgetrennt und für eine thermische Verwertung aufbereitet. Dies erfolgt durch eine Lagerung zur Selbsttrocknung des Materials und einer Siebung zur Abtrennung des Feingutes <80 mm, das unverändert einer offenen Kompostierung bis Fertigkompost angedient wird. Der krautige Anteil wird unverändert offen bis Fertigkompost kompostiert. Im fünften Szenario wird sowohl die vergärbare Fraktion aus dem nassorganischen Grüngut zur Vergärung mit offener Nachrotte als auch die holzige Fraktion, sofern sie nicht als Strukturmaterial benötigt wird, zur thermischen Verwertung abgetrennt und nur der Rest unverändert offen bis Fertigkompost kompostiert.

Die Daten basieren wie im Kapitel zu Biogut beschrieben auf [Cuhls 2015] mit den dort ebenso beschriebenen Anpassungen und Zusatzerrechnungen für Frischkompost aus offenen Kompostierungsanlagen. Die Ergebnisse für eine offene Kompostierung von Grüngut und Erzeugung von Fertigkompost (Komp. offen Fertigk.) basieren auf Messungen an 5 Anlagen mit 11 Messphasen. Für die Vergärung des nassorganischen Grüngutes wurden dieselben Emissionsfaktoren wie für die Vergärung von Biogut mit offener Nachrotte angesetzt. Das auf die Organik bezogene spezifische Gaspotenzial ist niedriger. Für den Nutzen aus der stofflichen Verwertung des kompostierten Gärrückstände wurden dieselben Faktoren verwendet wie für Grüngut-Fertigkompost, weil zum einen die Faktoren für das nach der Abtrennung der vergärbaren Fraktion verbleibende Grüngut auch nicht geändert wurden, so dass in Summe dasselbe Ergebnis steht. Zum anderen musste kompostierter Gärrückstand aus Grüngut in Ermangelung von Zusammensetzungen solcher kompostierter Gärrückstände mit dem Fertigkompost aus Grüngut approximiert werden. Die Daten für die thermische Verwertung entstammen Berechnungen und Empfehlungen aus dem Leitfaden des Landes Baden-Württemberg zur hochwertigen Verwertung [Turk et al. 2015]. Eine kleine Ungenauigkeit stellt dabei die Annahme dar, dass sich die stofflichen Eigenschaften des Grüngutes nach Abtrennung der holzigen Fraktion nicht verändern.

Darstellungsweise in den nachfolgenden Abbildungen

Die Darstellung der Bewertungsergebnisse erfolgt für die betrachteten Systeme zum einen als Schwankungsbreite der mit der Behandlung verbundenen Umweltlasten (Minimal- bis Maximalwerte; Messergebnisse einzelner Anlagen), unterschieden in die Prozessschritte Behandlung und Nutzung der Produkte jeweils als schwebende Balken über der x-Achse aufgetragen. Und zum anderen wird die Schwankungsbreite der mit der Nutzung und Rückführung in den Wirtschaftskreislauf verbundenen Nutzen (Minimal- bis Maximalwerte), unterschieden in stofflichen Nutzen, Nutzen durch gewonnenen Strom und Wärme jeweils als schwebende Balken unter der x-Achse abgetragen.

Unterschieden werden daher nicht nur die aufgezeigten Verwertungsoptionen, sondern es wird immer in optimale und suboptimale Ergebnisse differenziert. Diese ergeben sich insbesondere aus unterschiedlicher Anlagentechnik, Maßnahmen zur Minderung von Emissionen, energetischen Wirkungsgraden, aber auch Betriebsweisen und Nutzungsarten. Damit werden über die Ergebnisse auch immer die Spielräume deutlich, die sich jeweils aus einer Optimierung im Sinne Hochwertigkeit ergeben. Dies sind wichtige Informationen, um anschließend den Anlagenbestand bzw. den Status Quo zu bemessen. Je länger die schwebenden Balken sind, desto größer sind die zugehörigen Spielräume. Eine gegenüber einem anderen System große Balkenspannweite mit entsprechend großen maximalen Werten bedeutet nicht, dass dieses System schlechter ist, wenn die minimalen Werte ähnlich ausfallen, sondern dass der Optimierung an dieser Stelle eine besonders große Bedeutung zukommt. Die Balken schrumpfen auf einen Strich zusammen, wenn keine Schwankung auftritt. Die zugehörigen absoluten Werte können von der y-Achse abgelesen werden.

Ergebnisse

Die nachfolgend im Bilanzierungsergebnis dargestellten Verwertungsoptionen sind:

1. Komp. Offen Frischk.: offene Mietenkompostierung mit dem Produktionsziel Frischkompost
2. Komp. Offen Fertiggk.: offene Mietenkompostierung mit dem Produktionsziel Fertigkompost
3. FK + saftend kGR: wie 2., Abtrennung eines vergärbaren Anteiles, Biogaserzeugung und Nachkompostierung des Gärrückstandes
4. FK + holzig Hacks.: wie 2., Abtrennung eines holzigen Anteils, Aufarbeitung zu Hackschnitzeln und energetische Nutzung
5. FK + saftend kGR + holzig Hacks.: Kombination aus 3. und 4.

Auch hier gibt es bezüglich des Treibhauseffektes große Spannbreiten hinsichtlich der Emissionen aus den Anlagen und dem Nutzen. Durch die Erzeugung von Fertigkompost steigen auch hier die Lasten an, aber mit dem Fertigkompost sind bei der richtigen Nutzung im Bereich Erden und Substrate auch deutlich größere Substitutionseffekte zu erzielen. Wenn die Anlagenführung entsprechend gut erfolgt, übersteigen die dadurch erschlossenen Gutschriften die zusätzlichen Lasten deutlich.

Durch die Abtrennung eines zur Vergärung geeigneten saftenden Grünguts bei unveränderter Kompostierung des Rests bis Fertigkompost kann zusätzlich Energie gewonnen werden, wodurch die Gutschriften noch etwas erhöht werden können. Die Vergärung ist zwar tendenziell mit etwas höheren Lasten verknüpft, aber die mögliche Steigerung der Gutschriften ist bei guter Anlagenführung größer.

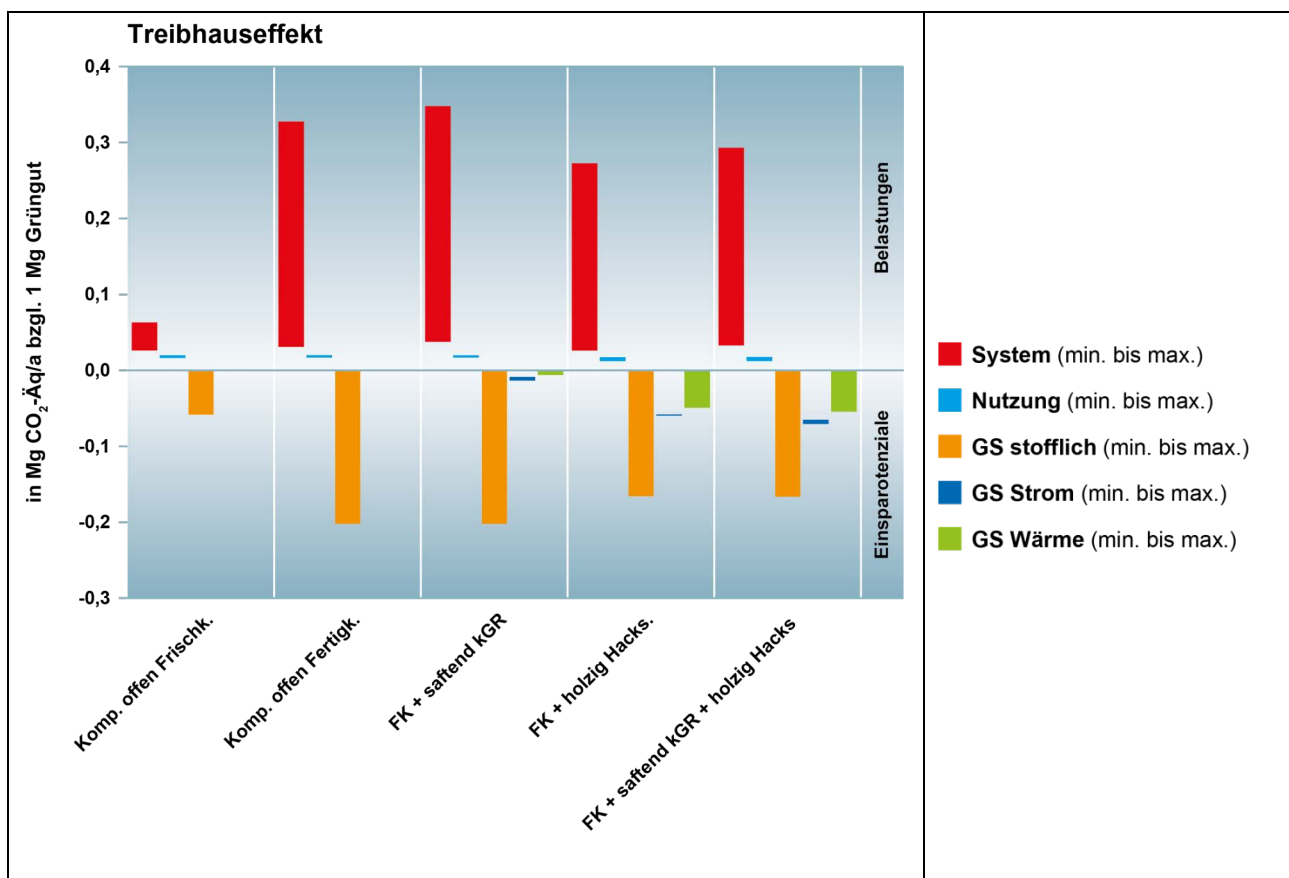
Eine in Summe aber etwas stärkere Steigerung der Gutschriften ist durch die Abtrennung und Aufbereitung des holzigen Anteils zur thermischen Verwertung und einer unveränderten Kompostierung des krautigen Materials bis Fertigkompost möglich. Ggf. ist eine Abtrennung des holzigen Anteils erst nach der Kompostierung der hier unterstellten Abtrennung zuvor vorzuziehen, weil dadurch die gewünschten Produkteigenschaften des Grüngutkomposts besser erreicht werden können.

Eine Kombination aus Vergärung von saftendem Grüngut und Aufbereitung des holzigen Anteils zur thermischen Behandlung und Kompostierung des verbleibenden krautigen Grüngutes bis Fertigkompost schneidet erwartungsgemäß am besten ab.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Klimaschutz mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Verwertung mit hohen Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb
2. Fertigkompost anstatt Frischkompost und hochwertige Nutzung der verbleibenden Komposte bzw. kompostierten Gärrückstände
3. für holzigen Anteil Aufbereitung als Brennstoff zur energetischen Nutzung
4. für vergärbaren saftenden Anteil in Kombination aus Vergärung und Nachrotte bei hohen energetischen Wirkungsgraden

Abbildung 11: Ergebnisse für „Grüngut“ – Klimawirkung



Eigene Darstellung ifeu

Auch beim Versauerungs- und terrestrischen Eutrophierungspotenzial ist die emissionsarme Führung der Anlage von entscheidender Bedeutung, wobei der Art der Nutzung des Kompostes bzw. Gärrückstandes aber eine ähnlich große Bedeutung zukommt.

Die Vergärung des vergärbaren Anteils des Grüngutes lohnt sich nur dann, wenn die Anlage in Kombination mit Nachrotte emissionsarm geführt wird und die stoffliche Nutzung als kompostierter Gärrückstand entsprechend dem Fertigkompost hochwertig erfolgt.

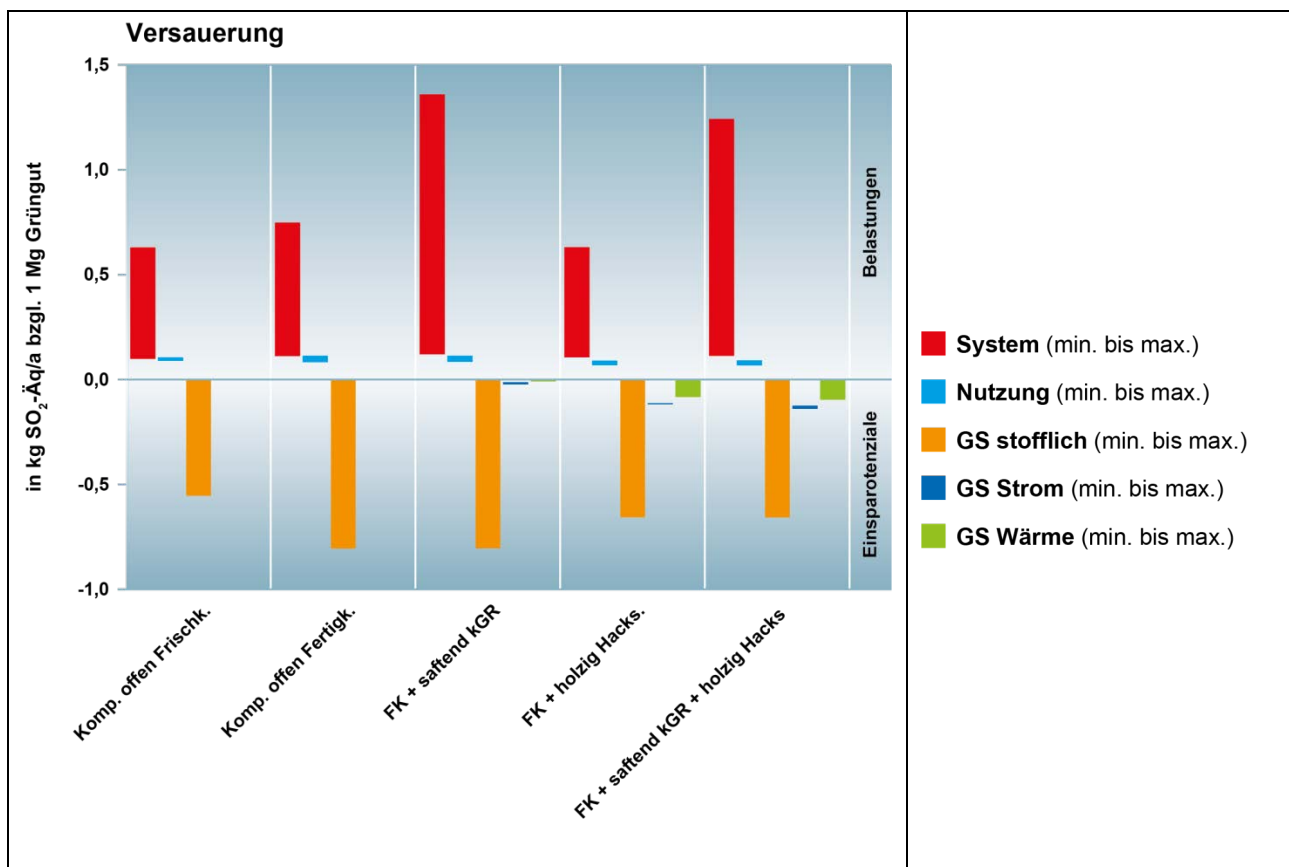
Durch die energetische Nutzung des holzigen Anteils nach Aufbereitung wird dieser der stofflichen Nutzung entzogen. Die dadurch gewonnene Energie erzielt beim Versauerungspotenzial maximal einen ähnlich großen bzw. größeren Nutzen als die jeweils beste stoffliche Nutzung, beim terrestrischen Eutrophierungspotenzial einen kleineren. Auf Gutschriftenseite verursacht die thermische Verwertung in der Kombination aus Vergärung und thermischer Nutzung aufgrund des relativ hohen Holzheizwertes wie beim Treibhauseffekt eine größere Veränderung als die Vergärung. Voraussetzung ist eine gegenüber der Kompostierung bis Fertigkompost unveränderte stoffliche Nutzung nach der Vergärung. Auf der Lastenseite ist es im Maximum genau umgekehrt, weil die Emissionen der Vergärung mit der Anlagenführung deutlich stärker schwanken als diejenigen einer Nutzung in bspw. einem Holzheizkraftwerk.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Verwertung mit hohen Emissionsstandards beim Anlagenbetrieb
2. Fertigkompost anstatt Frischkompost und hochwertige Nutzung der verbleibenden kompostierten Gärrückstände
3. für holzigen Anteil Aufbereitung zur thermischen Nutzung

Die Option, einen Anteil des Inputmaterials in eine Vergärung zu geben, schlägt sich unter diesen Wirkungsaspekten nicht relevant positiv nieder.

Abbildung 12: Ergebnisse für „Grüngut“ – Versauerungspotenzial



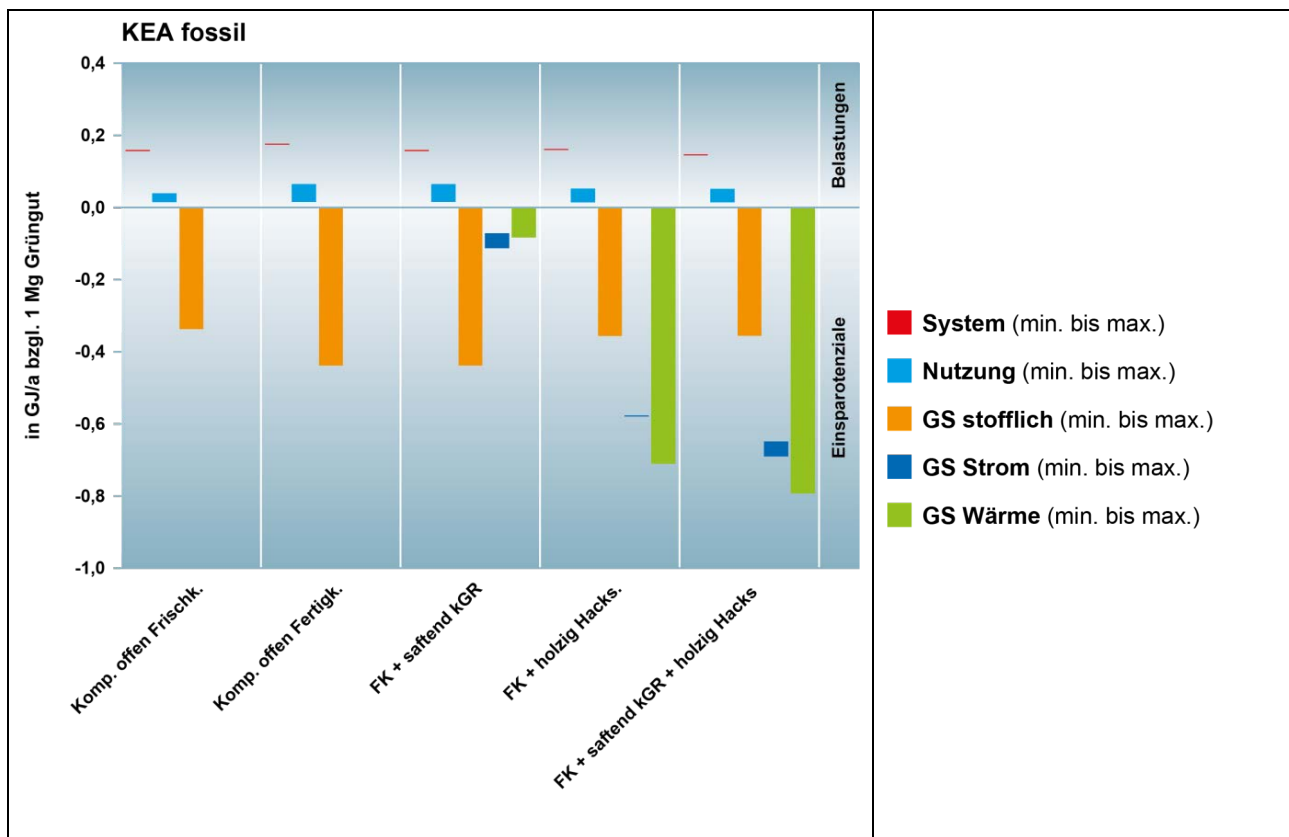
Eigene Darstellung ifeu

Beim KEA fossil ist der Energiezugewinn von größerer Bedeutung, wohingegen die Unterschiede zwischen den Anlagenstandards vergleichsweise gering ausfallen. Folglich ist die Kombination aus Vergärung und thermischer Nutzung hier deutlich am besten.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter dem Aspekt Energiebilanz mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Abtrennung des holzigen Anteils, Aufbereitung zur energetischen Verwertung und Nutzung unter hohen energetischen Wirkungsgraden
2. Fertigkompost / kompostierter Gärrückstand und hochwertige stoffliche Nutzung
3. Vergärung für vergärbaren saftenden Anteil

Abbildung 13: Ergebnisse für „Grüngut“ – Energiebilanz (KEA_{fossil})



Eigene Darstellung ifeu

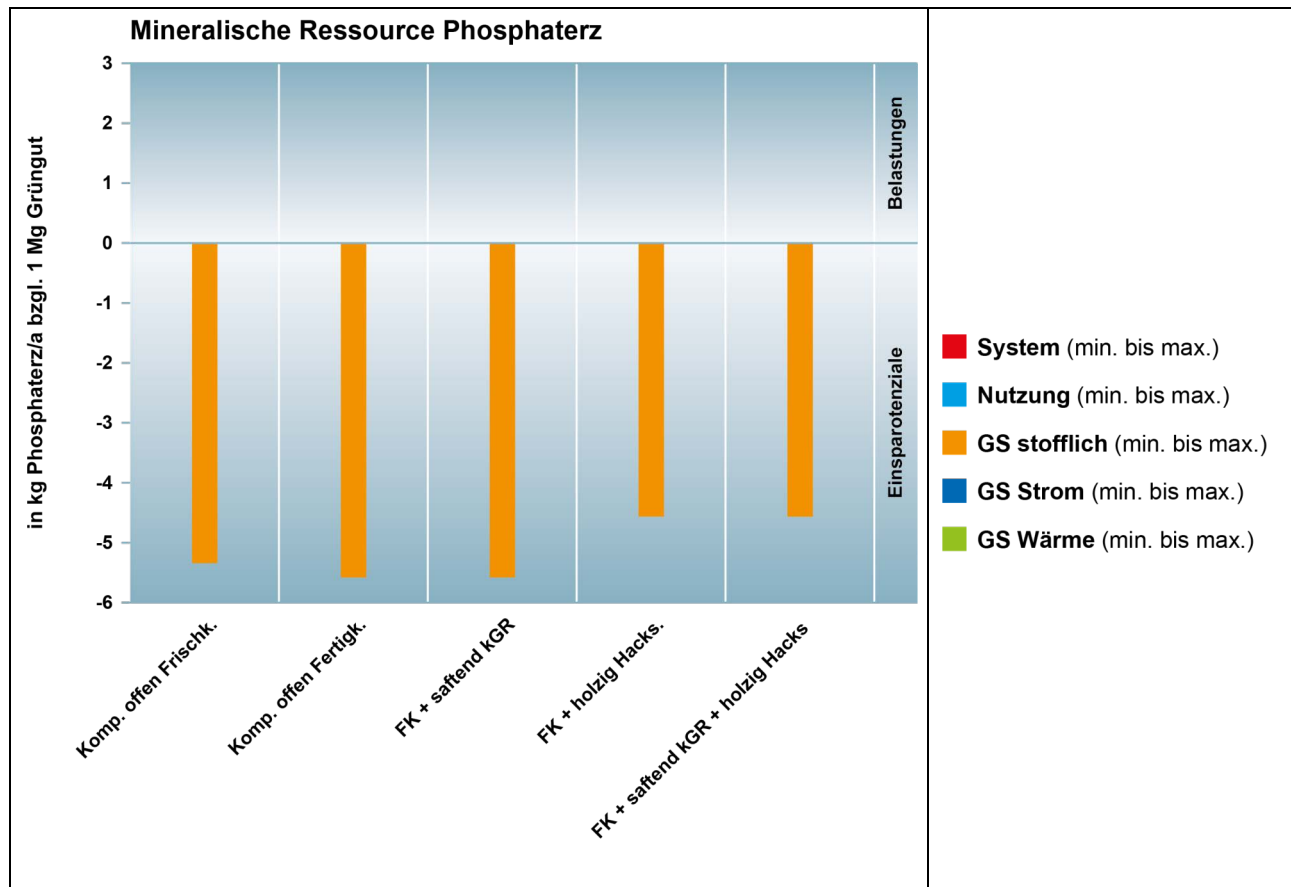
Genau anders herum verhält es sich bei der Einsparung von Phosphatressourcen und der Verminderung der Schadstoffeinträge Cadmium und PAK in die Böden. Hier spielt nur die stoffliche Nutzung der Komposte eine Rolle, welche Netto zu einer Verminderung der Schadstoffeinträge in die Böden führt und welche für den holzigen Anteil, der thermisch genutzt wird, entfällt.

Die zentralen Ansatzpunkte zur Optimierung der Verwertung unter den Aspekten Substitution von Phosphor und Torf sowie der Minderung Schadstoffeintrag in Böden mit Priorisierung in vorgeschlagener Reihenfolge sind:

1. Fertigkompost bzw. kompostierter Gärrückstand anstatt Frischkompost bzw. Gärrückstand und hochwertige Nutzung der verbleibenden kompostierten Gärrückstände

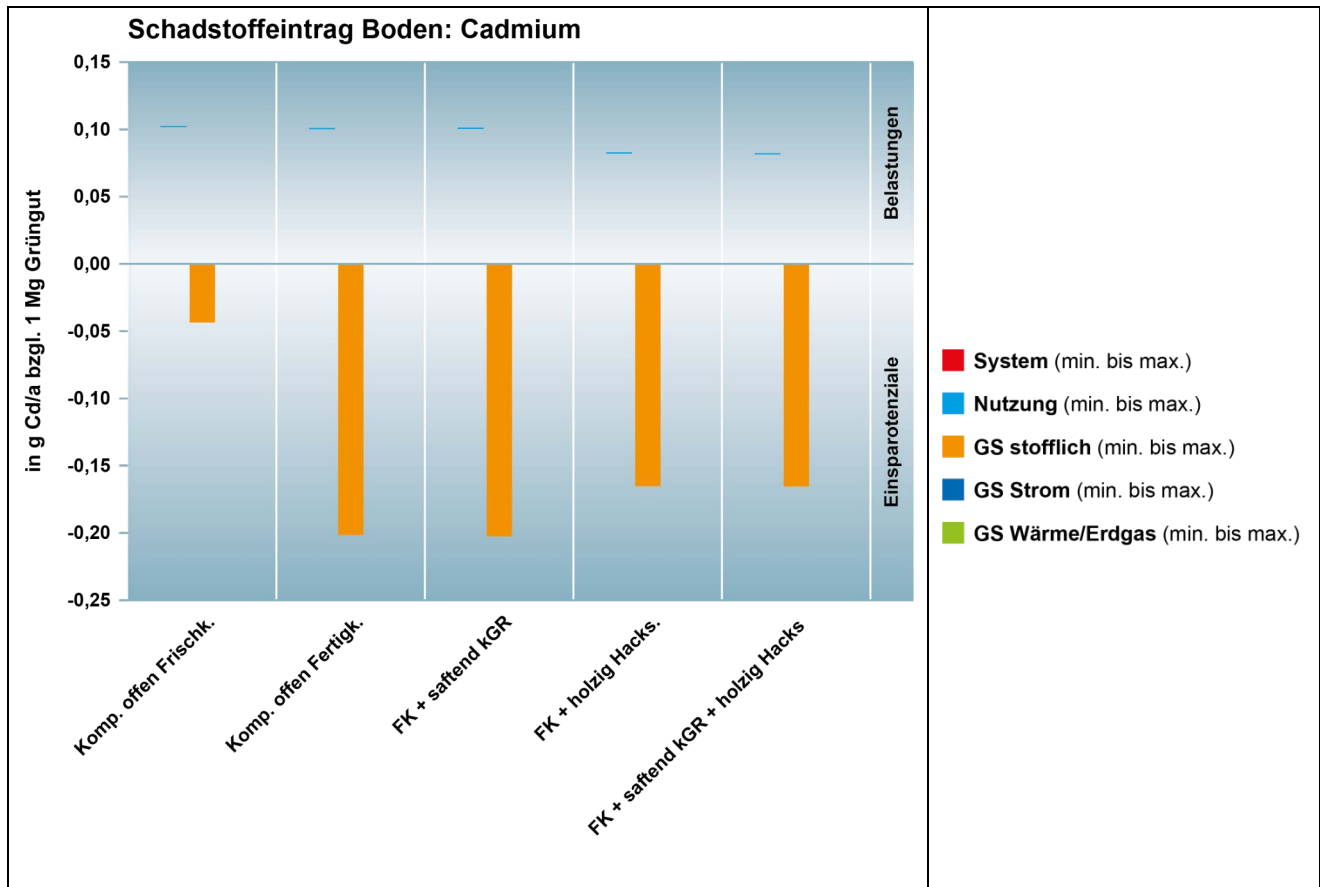
2. Ausnützung der Nährstoff- und Substratgehalte im Kompost durch eine ausgewogene Nutzung des Komposts sowohl im Bereich Landwirtschaft sowie (Hobby)Garten- und Landschaftsbau auf der einen Seite und Substrate und Erden auf der anderen Seite

Abbildung 14: Ergebnisse für „Grüngut“ – Schonung der Ressource Phosphat



Eigene Darstellung ifeu

Abbildung 15: Ergebnisse für „Grüngut“ – Schadstoffeintrag in Böden (Beispiel Cadmium)



Eigene Darstellung ifeu

Fazit

Die Verwertung muss mit hohen Emissionsstandards verbunden sein. Nur so lässt sich netto ein negativer Umweltbeitrag vermeiden. Die Herstellung von Fertigkompost und dessen hochwertige Verwertung sind nahezu durchgängig von Vorteil.

Über sehr viele Aspekte ist die Abtrennung von holzigen Bestandteilen zur Aufbereitung und Nutzung als Brennstoff positiv zu sehen. Unter manchen Aspekten auftretende gegenläufige Ergebnisse sind demgegenüber zu vernachlässigen.

2.3 Identifikation der das Ergebnis bestimmenden Größen

In dem ersten Arbeitsschritt sind für die diskutierten Bioabfälle die Lebenswegabschnitte /Aspekte identifiziert worden, die wesentlich über die Frage der Hochwertigkeit einer Verwertung bestimmen.

Ziel ist es nun, im Einzelnen die technischen Maßnahmen oder auch Maßnahmen in der Betriebsführung zu identifizieren, die für die bilanzierten Umweltwirkungen verantwortlich sind. Diese Analyse kann unabhängig von den verschiedenen Abfallarten erfolgen. Die für die einzelnen Bioabfälle relevanten Ansätze werden abschließend zu Optimierungsstrategien bzw. den jeweiligen Steckbriefen zusammengeführt.

2.3.1 Verwertung von Biogut über Mehrfachnutzung

In der Vergärungstechnik sind die Verfahren der Nassvergärung, der kontinuierlichen Trockenvergärung und der diskontinuierlichen Feststromvergärung zu unterscheiden. Für die Nassvergärung eig-

nen sich durch den TS-Gehalt von 15 % insbesondere strukturarme Ausgangsmaterialien wie Speiseabfälle sowie pumpfähige organische Abfälle mit geringen Trockensubstanzgehalten. Bei der Anmaischung werden pump- und rührfähige Substrate für die voll durchmischten Rührreaktoren hergestellt, wobei Inertstoffe wie Sand und Steine abgeschieden werden [Turk 2015]. In neuartigen zweistufigen Verfahren erfolgt eine Hydrolisierung des Abfalls [Sieber 2012], gefolgt von einer Fest/Flüssig-Trennung, wobei der flüssige Teil einer Nassvergärung unterzogen wird und der feste Teil gute Eigenschaften für eine Nachrotte aufweist. Die kontinuierliche Trockenvergärung erfolgt bei einem TS-Gehalt von 20-40 % in Pfropfenstromfermentern. Als Ausgangsmaterial hierfür eignen sich Bioabfälle oder krautiges Grüngut, die mit dem Presswasser aus der Gärrückstandbehandlung zu einer breiartigen Konsistenz verdünnt werden. Für die diskontinuierliche Trocken-, oder auch Feststoffvergärung genannt, in Boxen bietet sich der Einsatz von strukturreichem Material an, weil hier eine Berieselung mit Perkolat erfolgt, welches in das Material eindringen können muss. Die Verfahren können jeweils meso- oder thermophil betrieben werden.

Bei einer guten Betriebsführung überwiegt der Nutzen das im Vergleich zur Kompostierung höhere Emissionspotenzial, wenn die Biogaserzeugung und -verwertung mit hohen Wirkungsgraden erfolgt. Die Höhe des Nutzens hängt zunächst vom Gasbildungspotenzial der Verfahren ab. Tendenziell liegt die Biogasausbeute bei kontinuierlichen Nass- und Trockenfermentationsverfahren mit 110 bis 125 Nm³/Mg Bioabfall im ähnlichen Bereich, wohingegen mit der diskontinuierlichen Trockenfermentation etwas geringere Werte von 85 bis 100 Nm³/Mg Bioabfall erzielt werden [Turk et al 2015]. Diese Werte stammen nicht aus wissenschaftlichen Vergleichsmessreihen, sondern sind empirische Erfahrungswerte aus dem Anlagenbetrieb. Die Unterschiede im spez. Gasertrag können deshalb tlw. auch aus unterschiedlichem Bioabfallmaterial resultieren. Bei thermophilen Verfahren ist die Gasausbeute ggf. etwas höher. Der Gasertrag in der Vergärung sollte über eine Anpassung der hydraulischen Verweilzeit und der Prozessbiologie weitestgehend ausgeschöpft werden, abgestimmt auf den biologischen Prozess der Nachrotte der Gärrückstände.

Als Gegenspieler tritt hier aber der Eigenverbrauch der Anlagen zutage. Der Strombedarf ist für Nassfermentationsverfahren wegen der Durchmischung der großen Masse am größten, gefolgt von kontinuierlichen Trockenfermentationsverfahren. Am wenigsten benötigen die diskontinuierlichen Trockenfermentationsverfahren. Dieselbe Reihenfolge ergibt sich beim Eigenwärmebedarf. Netto wird mit kontinuierlichen Trockenfermentationsverfahren etwas mehr Strom erzeugt als in den anderen Varianten. Die produzierte Überschusswärme zur Abgabe ist bei beiden Trockenfermentationsverfahren ähnlich groß und etwas größer als bei der Nassfermentation.

In der Summe ist tendenziell eine eher thermophile kontinuierliche trockene Vergärung mit einer auf hohe Ausbeuten ausgelegten Betriebsweise (Zerkleinerung des Inputmaterials in Verbindung mit Sackaufreißern, Anmaischen / gutes Animpfen des Inputmaterials, ausreichend lange Verweilzeiten) vorteilhaft, wenn gute Absatzmöglichkeiten des bei diesem Verfahren anfallenden Überschusswassers bestehen.

Emission klimaschädlicher Gase

Frühere Untersuchungen wie [Rettenberger 2012] haben gezeigt, dass die Emissionen klimaschädlicher Gase zum einen zu einem Großteil aus der Lagerung der flüssigen Gärrückstände an der Anlage resultieren. Diese Emissionen sind vermeidbar, wenn die Lagerung der flüssigen Gärrückstände gasdicht erfolgt, was mittlerweile aufgrund der Vorgaben des EEG (2012) auch Praxis sein sollte. Die Gashaube über Lagern mit flüssigem Gärrückstand ist darüber hinaus für den flexiblen Betrieb des BHKW bzw. die damit verbundene flexible Stromeinspeisung wichtig und trägt zu einer leichten Erhöhung des energetischen Potenzials der Substrate (durch die CH₄-Ausgasung der flüssigen Gärrückstände) bei.

Das durchschnittliche Verhältnis der Treibhausgasemissionen aus den verschiedenen Prozessschritten zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 1: Emission klimaschädlicher Gase über die Prozessschritte

	CH ₄ (g/Mg Input)	N ₂ O (g/t Input)	Anteil am Treibhaus- effekt
Anlieferung und Aufbereitung	100	12	4,7%
Abpressung der Gärrückstände	460	17	12,7%
Lagerung der flüssigen Gärrückstände	2.000	2	38,9%
Nachrotte der Gärrückstände	1.100	98	43,6%

Zum anderen ist der Übergang der festen Gärrückstände von anaerob zu aerob mit klimaschädlichen Emissionen verbunden. Eine gute Anlagenführung in Kombination mit einer guten technischen Auslegung ist hier besonders wichtig. Um ein anhaltend anaerobes Milieu im Gärrückstand mit entsprechender Methanbildung zu vermeiden, muss auf eine hinreichende Aerobisierung des festen Gärrückstandes vor der ggf. notwendigen Weiterbehandlung (Rottephase) geachtet werden. Diese hier anfallende höher belastete Abluft ist einer gezielten Behandlung zuzuführen. Methan lässt sich nicht über einen Biofilter zurückhalten. Möglich wäre eine Nutzung dieser methanhaltigen Abluft als Zuluft für die BHKW-Motoren oder eine Verbrennung über eine Fackel.

Die Neubildung von Methan in der eigentlichen Rotte der Gärrückstände lässt sich durch ein entsprechendes niedriges Temperaturniveau bei guter Durchlüftung vermeiden. Hohe Verweilzeiten in den Fermentern bedeuten einen Austrag in Rottegrad IV oder V und damit geringe biologische Restaktivitäten, die zur Methanbildung führen würden. Wichtig ist eine gute Durchlüftung des Materials, was eine Bildung von Lachgas unterdrückt.

Auch das Unterbinden diffuser Biogas- und Methanleckstellen hat nach (Häring et al. 2010) eine hohe Bedeutung. Die Leckstellen entstehen unter anderem häufig durch eine fehlerhafte Montage oder Wartung und können jährlich einen Gasverlust von bis zu 1% verursachen. Bei bestehenden Anlagen lassen sie sich durch regelmäßige Kontrollen identifizieren und beseitigen.

Energiewirkungsgrad

Die Verwertung ist umso hochwertiger, je effektiver das erzeugte Biogas auch tatsächlich genutzt werden kann. Am günstigsten ist die Nutzung in einem effizienten BHKW mit einem hohen elektrischen wie thermischen Wirkungsgrad. Je nach Modulgröße sind in der Praxis elektrische Wirkungsgrade bis zu 43% und thermische Wirkungsgrade bis zu 45% möglich (LUBW 2015).

Eine effiziente Nutzung in Kraft-Wärmekopplung setzt aber voraus, dass die Wärme auch umfassend genutzt und bspw. zur Grundlastabdeckung in ein Wärmenetz eingespeist werden kann. Sind diese Möglichkeiten am Standort der Vergärungsanlage nicht gegeben, kann auch eine Einspeisung in ein Biogasnetz und damit die Nutzung über ein BHKW an einem Standort erfolgen, der eine optimale Wärmenutzung ermöglicht. Dies gilt analog auch für die Aufbereitung des Biogases zu Erdgas und Einspeisung in ein entsprechendes Erdgasnetz. Die Aufbereitung zu Biomethan ist jedoch mit einem Energieaufwand verbunden, der den Gesamtwirkungsgrad der Biogasnutzung schmälert. Aus klimapolitischer Sicht ideal wäre bspw. eine wärmegeführte dezentrale Nutzung dieses Biomethans bspw. in Mini-BHKWs in Gebäuden. Dies lässt sich aber nicht über die Bioabfallverwertungsanlage beeinflussen.

Emission von insbesondere Ammoniak

Sollte nicht nur eine Aerobisierung sondern eine der Vergärung nachgeschaltete Rotte notwendig sein, dann ist eine Rotteführung notwendig, die die Lachgasbildung unterdrückt und damit zwangsläufig mit der Bildung von Ammoniak verbunden ist. Lachgas lässt sich über die übliche Abluftreinigung mit Biofilter und im besten Fall vorgeschaltetem saurem Wäscher nicht reduzieren, wohl aber Ammoniak. Dies bedeutet, dass die Rottephasen mit einem höheren Temperaturniveau und Bildung von Ammoniak in einer geschlossenen Anlage erfolgen müssen, so dass diese beladene Abluft gefasst und über eine Kombination aus saurem Wäscher und Biofilter gereinigt werden kann.

Teil einer guten Betriebsführung ist neben der ausreichend dimensionierten Abluftreinigung (auf den Luftmassenstrom und seine Beladung ausgerichtet) die regelmäßige Kontrolle der Funktionsfähigkeit und der ausreichenden Abreinigungserfolge. Nur so ist sicherzustellen, dass die Emissionsminderungserfolge nach Anlagenauslegung im Anlagenbetrieb auch tatsächlich erreicht werden.

Verwertung von flüssigen und festen Gärrückständen

Die festen Gärrückstände sollen (ggf. über eine Nachkompostierung) einen möglichst hohen Rottegrad aufweisen. Dies ist auch aus wirtschaftlicher Sicht geboten. Komposte mit einem Rottegrad von weniger als IV lassen sich nur über die Landwirtschaft vermarkten. Dies setzt entsprechende Absatzmöglichkeiten voraus, d.h. große landwirtschaftliche Flächen und Anbaukulturen mit einem hohen Humusdefizit bei gleichzeitigem geringem Viehbesatz bzw. Aufkommen an Festmist und Gülle und einer landwirtschaftlichen Betriebsstruktur, die die Herausbildung eines Nachfrageoligopols vermeidet. Für Komposte mit einem hohen Reifegrad lassen sich auch Vermarktungswege außerhalb der Landwirtschaft erschließen, die zudem mit dem höchsten ökologischen Nutzen verbunden sind.

Hochwertige Substratkomposte bzw. Komposte als Ausgangsmaterial für hochwertige Erden dürfen nur geringe Nährstoffgehalte aufweisen. Dies ist mit Biogut und dann möglicherweise hohen Anteilen an Küchenabfällen kaum möglich. Die Vergärung und damit einhergehend die Abtrennung einer flüssigen Phase reduziert jedoch den Nährstoffgehalt und dies insbesondere für den "kritischen" Stickstoff. Gerade verbunden mit einer Nachkompostierung weisen die Gärrückstände / Komposte auch eine ausreichende Strukturstabilität auf. Zumindest die Vermarktung der Komposte zur Herstellung von Blumenerden und einfachen Pflanzerden oder deren eigener Produktion und Direktvermarktung sollte möglich sein. Auf die damit verbundenen umweltseitigen Erfolge wird in Kap. 2.3.1 umfassend eingegangen. Für die Vermarktung außerhalb der Landwirtschaft gibt es auch einige Beispiele aus der Praxis. Die Komposte müssen aber hierfür frei von Fremdstoffen sein und einer Gütesicherung mit Fremdüberwachung unterliegen.

Neben den Komposten fallen bei einer Vergärung – je nach Verfahrenstyp in unterschiedlichem Umfang – flüssige Gärrückstände bzw. Überschusswasser an. Gerade bei einer kontinuierlichen trockenen Vergärung handelt es sich um große Massen. Wie eine Nährstoffbilanz zeigt (LUBW 2015), verbleibt ein erheblicher Anteil der im Bioabfall enthaltenen Nährstoffe in diesem Massenstrom. Dies gilt insbesondere für Stickstoff, der durch den Abbau der Organik im Fermenter als Ammonium vorliegt. Im Sinne einer hochwertigen Verwertung ist es daher wichtig, diese Wassermassen effektiv als Flüssigdünger zu vermarkten bzw. zu nutzen und sie nicht als Abwasser der Kanalisation zu übergeben bzw. Kläranlagen zuzuführen. Wie der kompostierte Gärrückstand kann dieser flüssige Gärrückstand einer Qualitätssicherung durch die BGK Bundesgütegemeinschaft Kompost unterzogen werden, was die Vermarktungsmöglichkeiten unterstützen sollte.

2.3.2 Verwertung von Grüngut über Kompostierung

Bei der Kompostierung sind die offene und geschlossene Verfahrensweise sowie als weitere Lösung die Kompostierung unter semipermeablen Membranen zu unterscheiden. Der Abfall wird in allen Fällen zu Mieten aufgesetzt, von denen die Ausführung in Form von Dreiecksmieten die größte spezifische Oberfläche hat, gefolgt von Trapez- und schließlich Tafelmieten.

Die anlagenbedingten Emissionen liegen zwar durch die längere Rottezeit für die Erzeugung von Fertigkompost höher als für Frischkompost. Die Betrachtung im ersten Schritt hat aber gezeigt, dass sich die Zusatzbelastungen bei der richtigen Prozessführung beschränken lassen und durch den höherwertigen Nutzen bei entsprechendem Einsatz des Fertigkompostes im Bereich Torfersatz mehr als ausgleichen. Zusätzlich fallen die Emissionen bei der Anwendung des Fertigkompostes geringer aus als bei Frischkompost. Dieser Effekt aus der Ausbringung der Komposte ist aber verhältnismäßig gering.

Emission klimaschädlicher Gase

Geringere spezifische Oberflächen führen zu einer schlechteren Durchlüftung des Abfalls und damit zur Ausbildung anaerober Bereiche in der Miete, so dass klimaschädliches Methan gebildet wird. Es sollten daher eher keine Tafelmieten gewählt werden [Cuhls 2015]. Zu Beginn der Rotte ist es von Vorteil, den Abfall für eine bessere Belüftung häufiger umzusetzen und dies umso häufiger, je größer der Mietenquerschnitt ist. Dabei muss aber darauf geachtet werden, dass das Material durch das Umsetzen nicht zu sehr zerkleinert und damit die Struktur nicht zu stark verringert wird. Eine Auswirkung auf die Belüftung hat weiterhin die Zugabe von Strukturmaterial, soweit die kompostierten Grünabfälle bspw. saisonbedingt nicht ausreichend strukturiert sind. Dies kann über Shreddergut, Siebüberlauf oder holziges Grüngut erfolgen.

Das Aufgabematerial sollte auf sein C/N-Verhältnis geprüft werden, das möglichst bei 25 bis 35 liegen sollte. Damit kann das Emissionspotenzial beschränkt werden. Für die Belüftung der Mieten ist weiterhin der Wassergehalt wichtig. Eine aktive Steuerung des Feuchtegehalts ist nur bei überdachten Rotteflächen möglich, wobei ein Teil des Dachflächenwassers gespeichert und zur evtl. Befeuchtung des Materials bereitgehalten wird. Erfolgt eine Abtrennung der krautigen Gartenabfälle zur Vergärung (v.a. im Sommer) bei einer reinen Grüngutkompostierung, dürften die Randbedingungen gegeben sein, weil das C/N-Verhältnis im verbleibenden Massestrom dann weit genug ist und der Wassergehalt geringer wird.

Die hohen Temperaturen in der ersten Rottephase begünstigen die Bildung von Methan in anaeroben Bereichen. In der späteren Rottephase steigen hingegen gegenläufig zu den Methan- und Ammoniakemissionen die Lachgasemissionen insbesondere bei Temperatureinbrüchen an, weil für die Nitrifikation, im Zuge derer bei ungünstigen Bedingungen auch Lachgas entsteht, Temperaturen von <45 °C nötig sind. Mit fortgeschrittener Rottedauer sollte die Umsetzhäufigkeit daher dann wieder verringert werden.

Die Intensivrotte und Nachrotte sollten zur Steuerung des Wassergehaltes zumindest überdacht sein, die Aufschichtung des Materials in Dreiecksmieten erfolgen bei Umsetzhäufigkeiten, die dem Prozessverlauf und der Emissionssituation anzupassen sind. Dies setzt voraus, dass an den Mieten regelmäßige entsprechende Kontrollen durchgeführt werden.

Emission von insbesondere Ammoniak

Die Ammoniakemissionen sinken mit der Temperatur und geringeren Belüftungsraten sowie insbesondere bei nicht zu engen C/N-Verhältnissen, welche durch Zugabe von Baum- und Strauchschnitt geweitet werden können. Die Abscheidung von Ammoniak an Biofiltern geschlossener Kompostierverfahren erfolgt zwar vollständig, bewirkt aber auf den Biofiltern die Bildung von NO und Lachgas, so dass die Entfernung von Ammoniak primär über vorgeschaltete saure Wäscher erfolgen sollte, um

eine Erhöhung der klimaschädlichen Emissionen auszuschließen. Das dabei anfallende Ammoniumsulfat kann ggf. als Dünger verkauft werden. Die Zugabe von 5 bis 10 % Altkompost zum frischen Grünabfall bewirkt die Reduktion auch von Ammoniakemissionen, weil dadurch flüchtige Verbindungen besser eingebunden werden. [Cuhls 2015].

Das Emissionspotenzial einer reinen Grüngutkompostierung, und dies gerade auch bei der Abtrennung von krautigem Material, liegt niedriger als für eine Biogutkompostierung bekannt. Die Phase der Intensivrotte sollte gekapselt erfolgen, was nicht nur über eine Einhausung, sondern auch über eine Abdeckung der Mieten mit Membrantextilien erfolgen kann. Die bei der eingehausten Rotte gefasste Abluft muss vor der Aufgabe auf einen Biofilter durch einen sauren Wäscher gereinigt werden.

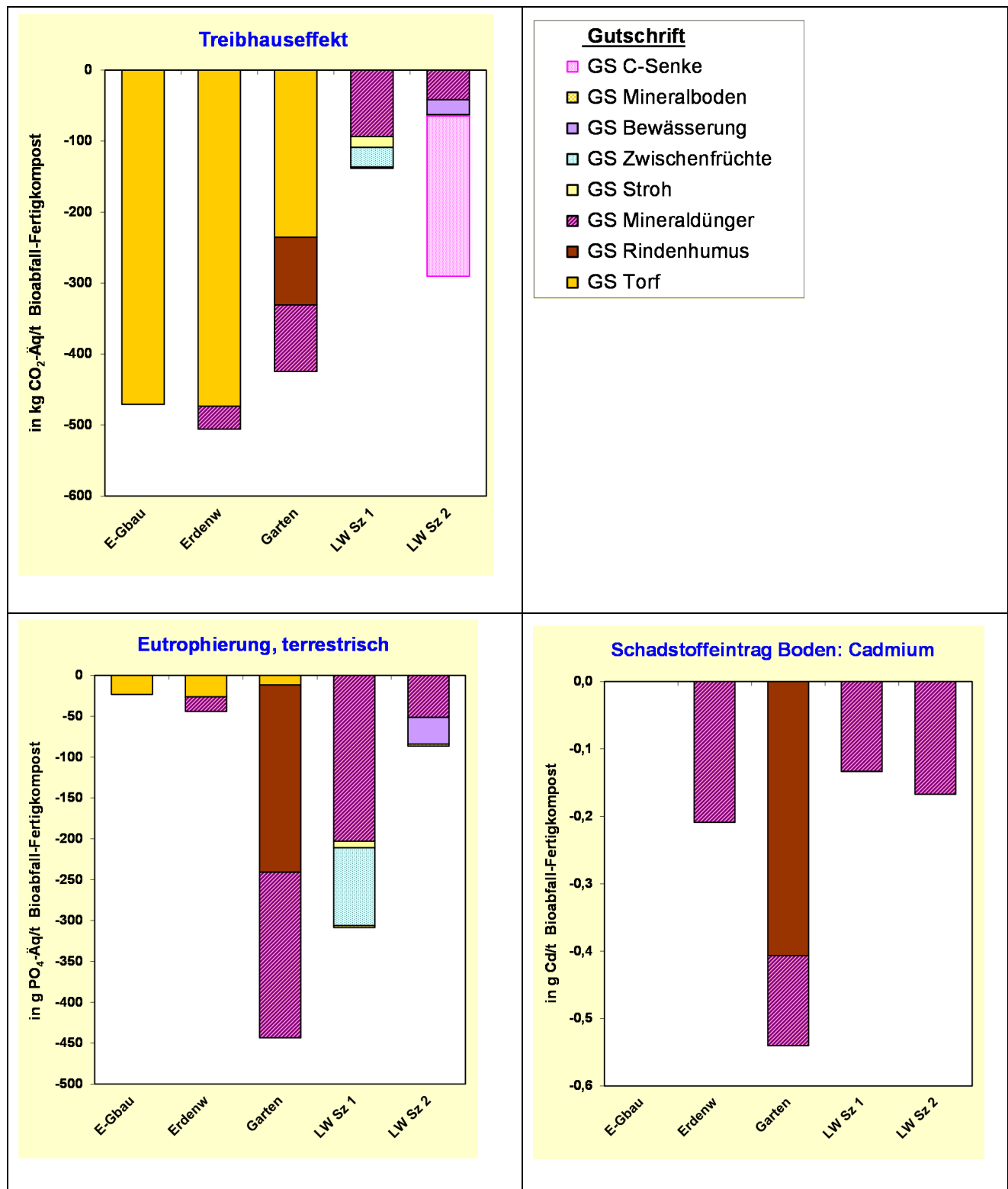
Kompostnutzung – Vermarktung

In einer umfassenden Studie für das Umweltbundesamt (2012) wurden die verschiedenen Optionen des Einsatzes von Kompost in ihren Umweltwirkungen und insbesondere auf die Prozesse im Boden hin aufgearbeitet und analysiert. In der nachfolgenden Abbildung sind einige Ergebnisse der darauf aufbauenden vergleichenden Bewertung der Vermarktungswege für Komposte aufgezeigt. Es handelt sich um Optionen außerhalb der Landwirtschaft (E-Gbau = Erwerbsgartenbau; Erdenw = Erdenwerke; Garten = Garten- und Landschaftsbau) sowie der Einsatz in der Landwirtschaft unter verschiedenen Randbedingungen. LW Sz1 beschreibt den klassischen Einsatz, wobei die Komposte nicht nur als Nährstoffträger sondern auch zur Schließung der Humusbilanzen herangezogen werden (und damit bspw. den Zwischenfruchtanbau substituieren), das Szenario LW Sz2 geht davon aus, dass die Komposte auf Ackerböden ausgebracht werden, die ein deutliches Humusdefizit aufweisen (die Zufuhr der organischen Masse führt daher zur langfristigen Anhebung der Humusgehalte und damit Festlegung von Kohlenstoff im Boden). Die Bilanzierungsergebnisse unterstellen, dass die Komposte immer zu 100% in diese Wege vermarktet werden. Aus der Abbildung wird die ökologische Bedeutung einer Vermarktung außerhalb der Landwirtschaft deutlich und dies insbesondere aus Sicht des Klimaschutzes.

Komposte werden im Garten- und Landschaftsbau bspw. zur Weiterentwicklung von Rohböden bzw. zum Humusaufbau eingesetzt. Dies setzt einen Einsatz großer Massen pro Fläche voraus und ist nur dann möglich, wenn der damit verbundene Nährstoffaufbau dem spezifischen Bedarf des Pflanzenbewuchses entspricht bzw. keine Eutrophierung der Böden und vor allem kein Nährstoffaustrag in das Grundwasser zu befürchten ist. Diese Komposte bzw. die daraus ggf. selbst hergestellten Blumen- und Pflanzerden dürfen daher nur einen geringen Nährstoffgehalt aufweisen. Dienen die Komposte Erdenwerken als Ausgangsmaterial für Profierden oder werden entsprechend im Erwerbsgartenbau eingesetzt, muss auf deren Kalkulierbarkeit geachtet werden. Um die Nährstoffversorgung der einzelnen Kulturen gezielt einstellen zu können, muss der Kompost als Humusträger dienen, während die benötigten Nährsalze gezielt zugegeben werden.

Grünabfallkomposte aus eher nährstoffarmem Ausgangsmaterial eignen sich daher besonders für die Vermarktung außerhalb der Landwirtschaft. Dieses wertgebende Potenzial gilt es zu nutzen. Dies kann auf zwei Wegen erfolgen, die Herstellung von Fertig- oder gar Substratkompost und dessen Vermarktung an die entsprechenden Abnehmer bzw. die Herstellung eigener Substrate und Erden oder zum anderen die Herstellung von Frischkompost und dessen Vermarktung an Erdenwerke, die diesen als Teilmassenstrom in eigenen Kompostierungsanlagen zu ihren Produkten weiterverarbeiten. In allen Fällen bedarf dies einer entsprechenden Gütesicherung wie bspw. über die Bundesgütegemeinschaft Kompost oder die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen.

Abbildung 16: Vergleichende ökologische Bewertung der Vermarktungswege von Komposten (aus Biogut) am Beispiel der Umweltwirkungskategorien Treibhauseffekt, Eutrophierung terrestrisch und Schadstoffeintrag



Quelle: [Knappe et al. 2012], verändert

Ein einfacher Schritt der Veredelung der Komposte liegt in der Abmischung von Blumen- und Pflanzern, die sich auch lose vermarkten lassen. Klassische Abnehmer sind Privathaushalte, aber auch der

Garten – und Landschaftsbau, kommunale Grünflächenämter sowie Baumschulen. Werden die Produkte vor allem an Privathaushalte und in kleinen Mengen vermarktet, kann die Möglichkeit zur Absackung geprüft werden. Wie jedes andere Produkt müssen auch diese Erden für Privathaushalte engagiert beworben werden. Substratkomposte oder Frischkomposte vermarktet an die Erdenwerke, Herstellung von Blumenerden als Sackware oder offen, Herstellung von Pflanzerden und weitere Absatzwege außerhalb der Landwirtschaft sollten gerade für Grüngutkomposte einen Vermarktungsanteil von >50% haben.

2.3.3 Verwertung holziger Abfallmassen als Energieträger

Holz hat einen zu hohen ökonomischen Wert, Scheitholzfeuerungen sind mittlerweile zudem so weit verbreitet, dass holzige Biomasse nur noch mit eher kleinen Durchmessern an Grüngutsammelplätzen der Grüngutverwertung übergeben werden. Aufgrund der Heterogenität des Strauchschnitts als Ausgangsmaterial unterscheidet sich Grüngut als Brennstoff zwar gravierend von herkömmlichen Holzhackschnitzeln, dennoch lassen sich hochwertige Brennstoffe herstellen. Zumindest zur Nutzung in kleineren Verbrennungsanlagen muss das Grüngut vor der energetischen Nutzung gezielt aufbereitet werden.

Dies kann über eine Zerkleinerung und anschließende Trocknung über die Lagerung in Mieten erfolgen. Die Trocknung erfolgt somit vor allem biologisch. Danach erfolgt eine Siebung über ein Sternsieb zur Abtrennung des Feingutes und des Überkornes, aber auch von Fremdbestandteilen. Diese Aufbereitung zu einem definierten Brennstoff erfordert auch eine regelmäßige Qualitätskontrolle der Brennstoffeigenschaften. Ggf. ist eine Abtrennung der holzigen Fraktion nach der Grüngutkompostierung zu präferieren. Dies vermindert die als Holz zur energetischen Nutzung abgeschiedene Masse, unterstützt aber gewünschte Grüngutkomposteigenschaften (arm an Nährsalzen).

Die eigentliche Nutzung unterliegt ebenfalls Standards, die sich aus dem Immissionsschutz aber auch dem Klimaschutz (Energiekennwerte der Verwertungsanlagen) ergeben. Die Aufbereitung, vor allem auch die Vermarktung erfolgen nicht selten über Fachbetriebe und Händler und liegen somit nicht mehr in der Verantwortung bzw. im Beeinflussungsbereich der Kreise und Städte, denen in der Regel die Verwertung des Grüngutes obliegt.

Eine weitere Schwierigkeit in der Erfassung und Bewertung des Status Quo liegt darin, dass die Aufbereitung des Grüngutes und die Auftrennung auf die verschiedenen Verwertungswege (Brennstoff, Kompostierung, Vergärung) nicht an den eigentlichen Grüngutverwertungsanlagen / Kompostierungsanlagen erfolgt, sondern bereits auf den Sammel- und Häckselplätzen.

Die energetische Nutzung der holzigen Biomassen kann in erster Näherung als hochwertig angesehen werden, wenn eine Abtrennung der holzigen Abfallmassen zur energetischen Nutzung erfolgt und entweder selbst Hackschnitzel hergestellt werden oder das holzige Grüngut zu diesem Zweck an einen Spezialbetrieb abgegeben wird.

2.4 Hochwertige Verwertung der unterschiedlichen Abfallbiomassen -Zusammenfassung

Über die nachfolgenden Steckbriefe wird, differenziert nach den unterschiedlichen Bioabfallmassen, eine hochwertige Verwertung im Sinne des KrWG skizziert.

Grundsätzlich gilt es, die gute fachliche Praxis von der Sammlung / Erfassung über die Aufbereitung / Behandlung bis hin zur Herstellung hochwertiger Produkte und deren Vermarktung zu beachten. Die Verwertung in den Bio- und Grüngutverwertungsanlagen kann insbesondere nur dann hochwertig im Sinne der KrWG erfolgen, wenn die Sammlung und Erfassung entsprechend aufgestellt ist und Inputmassenströme weitgehend frei von Fremdstoffen liefert, die den Verwertungsprozess selbst oder letztendlich das Produkt negativ beeinflussen. Die gute fachliche Praxis bedeutet auch, dass man sich in allen Belangen innerhalb der geltenden Regelwerke bewegt.

Die nachfolgend in den Steckbriefen zusammengefassten Merkmale einer hochwertigen Verwertung dienen als Grundlage für die in Kapitel 4 erfolgende Spiegelung an dem in der Praxis erreichten Status Quo. Mit der gewählten Ausformulierung dieser Steckbriefe erwies sich eine Ausdifferenzierung in Biogut und Küchenabfälle nicht mehr zielführend. Reine Küchenabfälle aus privaten Haushalten fallen in den Sammel- und Verwertungssystemen nur im absoluten Ausnahmefall an und dies auch in Zukunft. In allen Gebietsstrukturen, in denen die Biogutsammlung erfolgt, sind Grünflächen und Gärten vorhanden, so dass immer Gartenabfälle in das Sammelsystem gelangen, allerdings in unterschiedlichem Umfang. Es existieren Konzepte der Biogutsammlung, die zu einem weitgehenden Ausschluss der Gartenabfälle führen würden. Dabei handelt es sich um Sacksammlungen vor allem im Bringsystem. Dieser Ansatz wird auch in Zukunft eine Nischenlösung bleiben.

Tabelle 2: Hochwertige Verwertung von Biogut

Biogut	
Leitgedanke Hochwertigkeit	• Grundlage für eine hochwertige Verwertung sind getrennt erfasste und fremdstoffstoffarme Inputströme • Kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung über Vergärung zur Biogaserzeugung und anschließende stoffliche Nutzung der Gärreste (Mehrfachnutzung)
Hochwertige Behandlung	• Die gesamte Behandlung erfolgt unter Beachtung der guten fachlichen Praxis Vergärung und Kompostierung. • Einhausung der Anlieferung/Aufbereitung mit Fassung und Behandlung der Abluft • Vergärung unter fachgerechter Ausschöpfung der spezifischen Gasbildungsrate. Das in den Fermenter eingetragene Substrat sollte mind. 80 % des Gasertrags aus dem VDI-Gärtest erzielen. • Einhausung des Fermenteraustrags, der notwendigen Behandlung des Gärsubstrats (Abpressung, Mischung etc.), der Aerobisierung und, falls erforderlich, des ersten Teils der Nachrotte. Die dabei entstehende Abluft wird gefasst und mit saurem Wäscher und Biofilter behandelt. • Nachrotte auf mindestens überdachten Rotteflächen in Dreiecks- oder Trapezmieten mit einer fachgerechten Mietengeometrie • Lagerung flüssiger Gärrückstände bis zur Verwertung in gasdichten Behältern mit ausreichender Lagerkapazität
Hochwertige Verwertung	• <u>Biogas</u> • Verstromung im BHKW mit hohen Wirkungsgraden nach dem Stand der Technik bei flexibler Stromeinspeisung und unter weitmöglicher KWK-Nutzung (nach Abzug des Eigenbedarfs) • oder • Aufbereitung zu Biomethan und Einspeisung ins Erdgasnetz • <u>Gärrückstände</u> • Die gesamte Verwertung erfolgt unter Beachtung der guten fachlichen Praxis. • Vorrangig Erzeugung von Fertigkompost nach den Anforderungen einer regelmäßigen Güteüberwachung und hochwertige Verwertung als Pflanz-/Blumenerde (Torfsubstitution) sowie als Dünger und Bodenverbesser in der Landwirtschaft bzw. im Landschaftsbau

	• Erzeugung von Frischkompost nach den Anforderungen einer regelmäßigen Güteüberwachung für Komposte • Verwertung der flüssigen Gärrückstände als Dünger in der Landwirtschaft
Qualitätssicherung	• Qualitätssicherung für die Erzeugung der Komposte und flüssigen Gärrückstände • Regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung des Betriebs (Prozess und Produkt) • Regelmäßige Schulung und Fortbildung des Personals

Tabelle 3: Hochwertige Verwertung von Grüngut (Garten- und Parkabfälle)

Grüngut (Garten- und Parkabfälle)	
Leitgedanke Hochwertigkeit	• Grundlage für eine hochwertige Verwertung sind getrennt erfasste und fremdstoffstoffarme Inputströme. • Stoffliche Nutzung über die Erzeugung von Grüngutkompost und ggf. Zugabe als Strukturmaterial für die Biogutbehandlung • Energetische Nutzung der grobstückigen holzigen Anteile als Brennstoff in geeigneten Feuerungsanlagen • Vergärung von Teilchargen mit hohem Biogaspotenzial
Hochwertige Behandlung	• Die gesamte Behandlung erfolgt unter Beachtung der guten fachlichen Praxis. • Möglichst getrennte Erfassung von krautiger und grobstückiger holziger Fraktion • Überdachung/Abdeckung der Rotte- bzw. Lagerflächen (in Abhängigkeit vom Niederschlagsprofil) zur kontrollierten Rotteführung und Rotte in Dreiecks- oder Trapezmieten mit einer fachgerechten Mietengeometrie • Grobstückiger, holziger Anteil aus der Absiebung kann energetisch verwertet werden (s. Verwertungssteckbrief holziges Grüngut).
Hochwertige Verwertung	• Die gesamte Verwertung erfolgt unter Beachtung der guten fachlichen Praxis. • Erzeugung von Fertigkompost nach den Anforderungen der Qualitätssicherung für Kompost und Vermarktung vorrangig außerhalb der Landwirtschaft, z. B. Herstellung eigener Pflanz-/Blumenerden oder Vermarktung an Erdenwerke
Qualitätssicherung	• Qualitätssicherung für die Erzeugung der Komposte • Regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung des Betriebs (Prozess und Produkt) • Regelmäßige Schulung und Fortbildung des Personals

Tabelle 4: Hochwertige Verwertung von holzigem Grüngut

Holziges Grüngut	
Leitgedanke Hochwertigkeit	• Grundlage für eine hochwertige Verwertung sind qualitativ und quantitativ hochwertige Inputströme.

	• Energetische Nutzung als Brennstoff in geeigneten Feuerungsanlagen • Möglichst getrennte Erfassung von grobstückigem, holzigem Grün- gut
Hochwertige Behandlung	• Die gesamte Behandlung erfolgt unter Beachtung der guten fachli- chen Praxis. • Ggf. Konfektionierung des Brennstoffs durch Trocknung und Absie- bung von Feinmaterial/mineralischen Anteilen
Hochwertige Verwertung	• Die gesamte Verwertung erfolgt unter Beachtung der guten fachli- chen Praxis. • Einsatz des erzeugten Brennstoffs in Biomasse(heiz)anlagen, die technisch für den Einsatzstoff ausgelegt sind und den Anforderun- gen der 1. bzw. 4. BImSchV entsprechen. • Möglichst weitgehende KWK-Nutzung
Qualitätssicherung	• Regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung des Betriebs (Prozess und Produkt) • Regelmäßige Untersuchung des erzeugten Brennstoffs, z. B. in Ori- entierung an der DIN EN ISO 17225-2:2014-09 • Regelmäßige Schulung und Fortbildung des Personals • Aufbau einer Gütesicherung empfohlen

3 Analyse und Bewertung des Status quo der Bioabfallbehandlung

3.1 Grundlagen

3.1.1 Aufgabe und Zielstellung

Während in Kapitel 2 die Anforderungen an eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen abgeleitet und definiert wurden, werden nun in diesem Kapitel die ermittelten Anforderungskriterien mit dem tatsächlichen Anlagenbestand in Deutschland gespiegelt.

Ziel ist hierbei, den tatsächlichen Anlagenbestand im Hinblick auf die Anforderungen an die Hochwertigkeit zu evaluieren und gegebenenfalls Defizite aufzuzeigen. Hierbei stehen insbesondere bauliche und technische Anforderungen sowie die Nutzung der Produkte im Vordergrund. Nachfolgend wird unterschieden zwischen Biogutbehandlungsanlagen, differenziert nach Vergärungs- und Kompostierungsanlagen, sowie Anlagen zur Behandlung von Grüngut und holzigem Grüngut.

Bereits im Vorfeld zeichnete sich ab, dass der vorhandene Datenbestand (Umweltbundesamt, 2012) im Hinblick auf die Ist-Standanalyse nur unvollständig und in Teilbereichen unbefriedigend vorhanden war. Erfahrungen aus anderen vergleichbaren Bereichen zeigen, dass es schwer ist, Daten bei Anlagenbetreibern zu erheben, die insbesondere Defizite offenlegen sollen. Diese Tatsache führt einerseits zu einem geringen Rücklauf und lässt andererseits befürchten, dass gerade Anlagen mit besonders großen Defiziten sich nicht an der Erhebung beteiligen. Somit ist nicht auszuschließen, dass die realen Ergebnisse im Trend noch negativer ausfallen als die, aufgrund des Rücklaufs dokumentierten. Zudem lässt sich der Wahrheitsgehalt der Aussagen kaum verifizieren.

Dennoch wurde der vorhandene Datenbestand durch drei weitere Befragungen ergänzt (siehe nachfolgendes Kapitel). Der Rücklauf war mit über 90 % bei den Betreibern von Biogutvergärungsanlagen, 75 % bei den Betreibern von Biogutkompostierungsanlagen in vier Bundesländern und ca. 30 % bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern als Verantwortliche für die Grüngutverwertung erfreulich hoch.

Dennoch dürfen die nachfolgend dargestellten Ergebnisse nicht als absolute Größen verstanden werden, da viele Einflussfaktoren das Ergebnis bestimmen. Allerdings zeigen die Auswertungen eine klare Tendenz und legen Defizite und Schwachstellen der biologischen Abfallbehandlung offen.

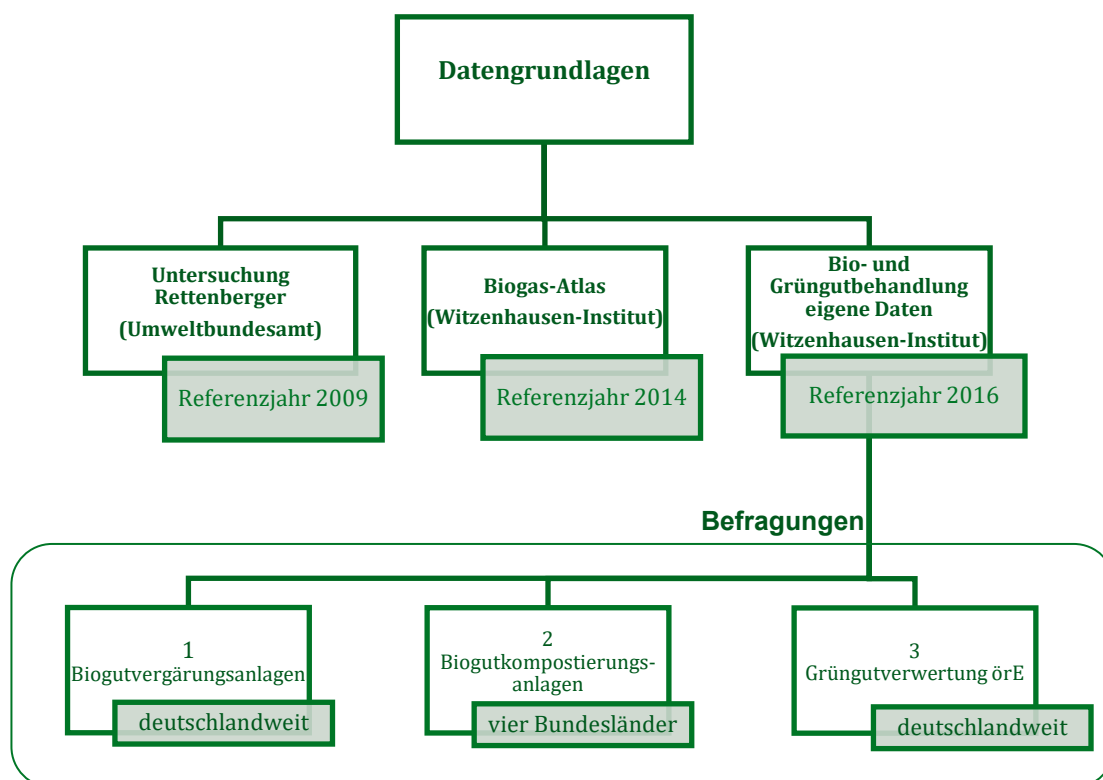
Abschließend möchten wir uns nochmals herzlich bei all den Anlagenbetreibern bedanken, die an der Befragung teilgenommen haben.

3.1.2 Datengrundlage

Grundlage der vorliegenden Auswertung ist die im Jahre 2012, bezogen auf das Referenzjahr 2009, veröffentlichte Untersuchung von Prof. Rettenberger et al. zur biologischen Abfallbehandlung aus dem ‚Handbuch Bioabfallbehandlung – Erfassung des Anlagenbestands Bioabfallbehandlung‘ (Umweltbundesamt, 2012). Die vorliegenden Daten erwiesen sich in Teilbereichen, aufgrund fehlender und unvollständiger Angaben als unzureichend, sodass ergänzend die Daten des ‚Biogas-Atlas‘ aus dem Jahr 2014/15 (Kern & Raussen, 2014) sowie die Datensammlung zu biologischen Abfallbehandlungsanlagen des Witzenhausen-Instituts verwandt wurden.

Abbildung 17 zeigt eine Übersicht der für diese Studie verwendeten Datengrundlagen.

Abbildung 17: Darstellung der Datengrundlage



Eigene Darstellung

Zu Befragung 1

Deutschlandweite Befragungen von Betreibern von Biogutvergärungsanlagen (2016) auf Grundlage des Biogas-Atlas.

Im Rahmen des Projektes wurde im Herbst 2016 an 83 bundesdeutschen Biogutvergärungsanlagen ein Fragebogen zur Erhebung des Status quo der Biogutverwertung versandt. Der Rücklauf betrug 93 % (76 verwertbaren Bögen). In die nachfolgenden Ausführungen fließen daher die Angaben von 76 Anlagen ein (30 Boxenvergärungsanlagen, 15 Nassvergärungsanlagen sowie 31 Pfropfenstromvergärungsanlagen ein).

Tabelle 5: Deutschlandweit befragte Biogutvergärungsanlagen

Biogutvergärungsanlagen		
	Anzahl	%
Anlagen befragt	83	
Keine Informationen erhalten	4	
Anlagen stillgelegt	3	
Rückmeldung	76	100
Boxenvergärung	30	39
Nassvergärung	15	20
Pfropfenstromvergärung	31	41

Zu Befragung 2

Exemplarische Befragungen von Betreibern von Biogutkompostierungsanlagen in den vier Bundesländern Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen (2017)

In den vier Bundesländern wurden 44 Betreiber von Biogutkompostierungsanlagen mit einer genehmigten Jahreskapazität von mindestens 10.000 Mg/a befragt. Von den 44 befragten Anlagen gab es einen Rücklauf von 31 Anlagen. Der Rücklauf lag somit bei 75 %.

Tabelle 6: Befragte Biogutkompostierungsanlagen der Bundesländer (> 10.000 Mg/a)

Biogutkompostierungsanlagen		
	Anzahl Befragungen	Anzahl ausgewertet
Hessen	10	8
Rheinland-Pfalz	5	3
Sachsen	17	9
Thüringen	12	11
SUMME	44	31

Zu Befragung 3

Deutschlandweite Befragungen zur Grüngutverwertung bei allen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (2017)

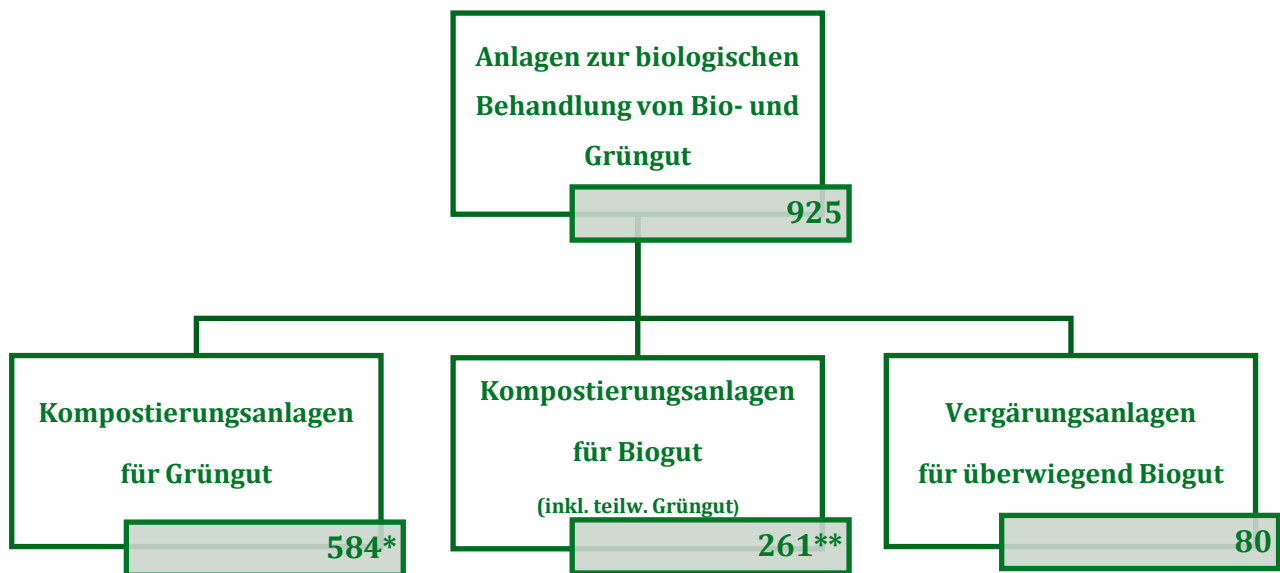
Als Datengrundlage für den Bereich ‚Grüngut‘ werden eigene Ergebnisse aus dem seit 2016 laufenden, durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt „Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI)“, zum Zwecke einer übergeordneten Verwendung herangezogen. Insgesamt wurden Informationen aus 118 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern bzw. von 176 Anlagen ausgewertet. Bei der Befragung von allen 377 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern ergab sich somit ein Rücklauf von 31 %.

3.1.3 Anlagenbestand zur biologischen Abfallbehandlung in Deutschland

In nachfolgender Abbildung ist der zugrunde gelegte deutschlandweite Bestand an Anlagen zur biologischen Behandlung von Bio- und Grüngut mit insgesamt 925 Anlagen dargestellt. Dabei wurden Kompostierungsanlagen für Grüngut mit einer Kapazität von < 1.000 Mg/a nicht berücksichtigt.

Das Gros der Anlagen sind mit 584 Anlagen (63 %) Grüngutbehandlungsanlagen. Danach folgen mit 261 Anlagen (28 %) Biogutkompostierungsanlagen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass i. d. R. Biogutkompostierungsanlagen auch Teilströme von Grüngut mitbehandeln, sodass die Grenze hierbei fließend zu sehen ist. Zudem sind 80 Biogutvergärungsanlagen (8 %) berücksichtigt. Diese Anlagen verarbeiten ausschließlich oder zumindest überwiegend Biogut. Anlagen die überwiegend gewerbliche Speisereste oder andere organische Stoffströme (Gülle, Klärschlamm u. a.) behandeln blieben unberücksichtigt.

Abbildung 18: Anzahl der in Deutschland vorhandenen Anlagen zur biologischen Behandlung von Bio- und Grüngut (Grüngutkompostierungsanlagen < 1.000 Mg/a nicht berücksichtigt) 2016 (Witzenhausen-Institut)



* darunter 24 Grüngutkompostierungsanlagen ohne Kapazitätsangaben ; ** darunter eine Biogutkompostierungsanlage ohne Kapazitätsangabe

Eigene Darstellung

In Abbildung 19 ist die Verteilung der betrachteten Anlagen nach Größenklassen (genehmigte Kapazität) dargestellt. Demnach liegen 76 % aller Grüngutkompostierungsanlagen im Kapazitätsbereich von < 10.000 Mg/a.

Bei den Biogutkompostierungsanlagen verarbeiten 82% der Anlagen weniger als 30.000 Mg/a genehmigte Kapazität und ca. die Hälfte davon weniger als 10.000 Mg/a.

Die Biogutvergärungsanlagen sind grundsätzlich auf einen größeren Durchsatz ausgelegt. Allein 53 % der Anlagen haben eine Behandlungskapazität von mehr als 30.000 Mg/a und lediglich 3 % haben weniger als 10.000 Mg/a Behandlungskapazität.

Betrachtet man die mittlere Anlagengröße (Genehmigte Kapazität) aller Anlagen differenziert nach Stoffstrom bzw. Behandlungsart so liegen diese bei:

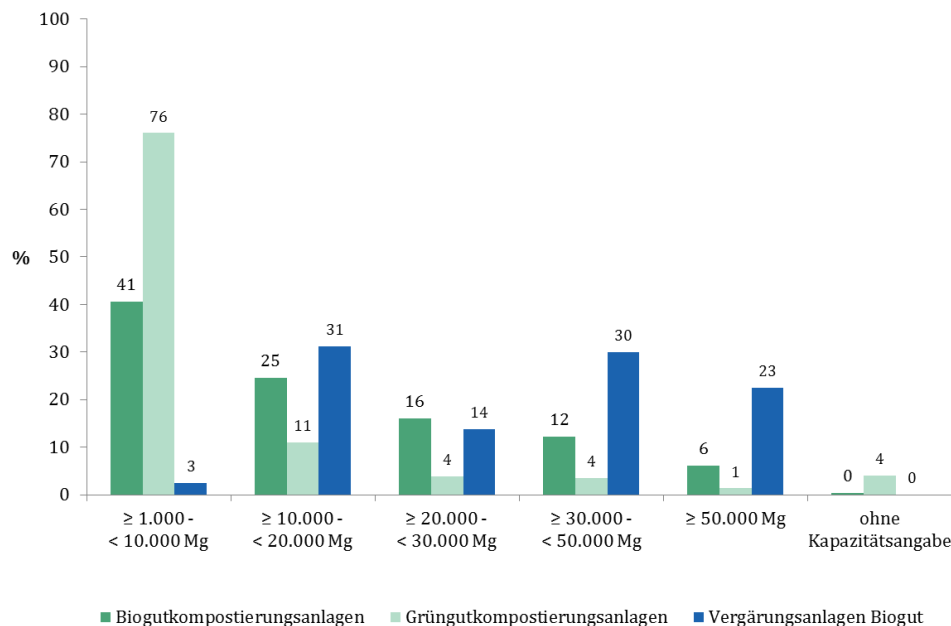
- ▶ Ø 8.300 Mg/a Grüngutkompostierungsanlagen
- ▶ Ø 18.600 Mg/a Biogutkompostierungsanlagen
- ▶ Ø 33.000 Mg/a Biogutvergärungsanlagen

Die Summe der genehmigten Kapazitäten beläuft sich auf:

- ▶ 4,62 Mio. Mg Behandlungskapazität in Grüngutkompostierungsanlagen
- ▶ 4,83 Mio. Mg Behandlungskapazität in Biogutkompostierungsanlagen
- ▶ 2,55 Mio. Mg Behandlungskapazität in Biogutvergärungsanlagen, davon ca. 1,98 Mio. Mg Behandlungskapazität von Bioabfall in der Vergärung

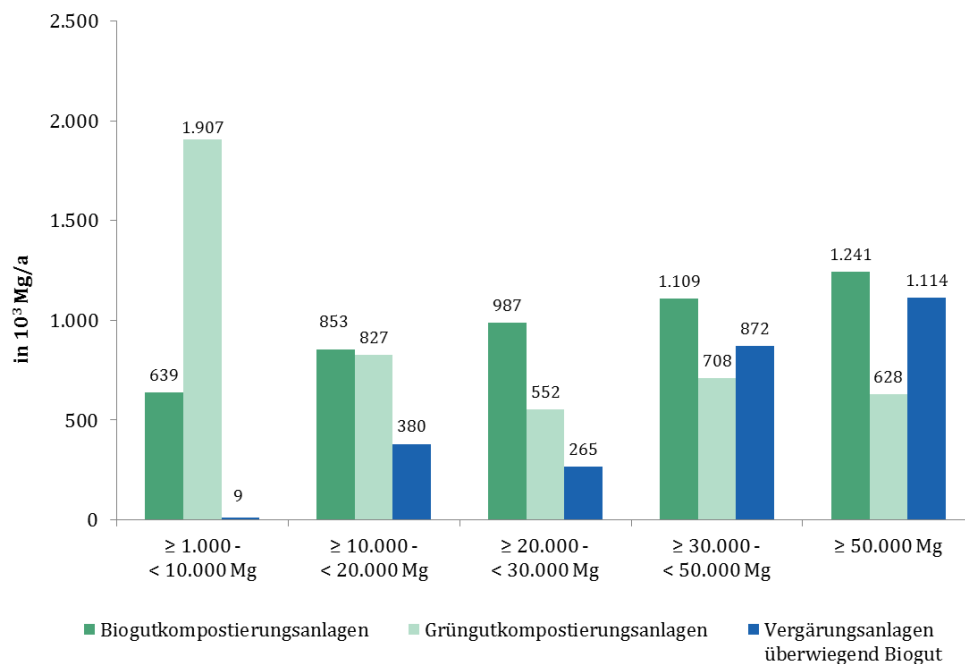
In Abbildung 20 ist die Verteilung der genehmigten Kapazitäten nach Größenklassen (genehmigte Kapazität) dargestellt.

Abbildung 19: Prozentualer Anteil der in Deutschland vorhandenen Biogutkompostierungs-, Grüngutkompostierungs- und Biogutvergärungsanlagen im genehmigten Kapazitätsbereich zwischen ≥ 1.000 Mg/a und ≥ 50.000 Mg/a, Stand 2016



Witzenhausen-Institut: Grundgesamtheit: 925 Anlagen | Biogutkompostierungsanlagen Kapazität min. / max.: 1.000 Mg/a / 120.000 Mg/a | Grüngutkompostierungsanlagen Kapazität min. / max.: 1.000 Mg/a / 87.600 Mg/a | Biogutvergärungsanlagen Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a

Abbildung 20: Summe der genehmigten Kapazitäten der in Deutschland vorhandenen Biogutkompostierungs-, Grüngutkompostierungs- und Biogutvergärungsanlagen im genehmigten Kapazitätsbereich zwischen ≥ 1.000 Mg/a und ≥ 50.000 Mg/a, Stand 2016



Witzenhausen-Institut: Grundgesamtheit: 900 Anlagen | Biogutkompostierungsanlagen Kapazität min. / max.: 1.000 Mg/a / 120.000 Mg/a | Grüngutkompostierungsanlagen Kapazität min. / max.: 1.000 Mg/a / 87.600 Mg/a | Biogutvergärungsanlagen Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Werte gerundet

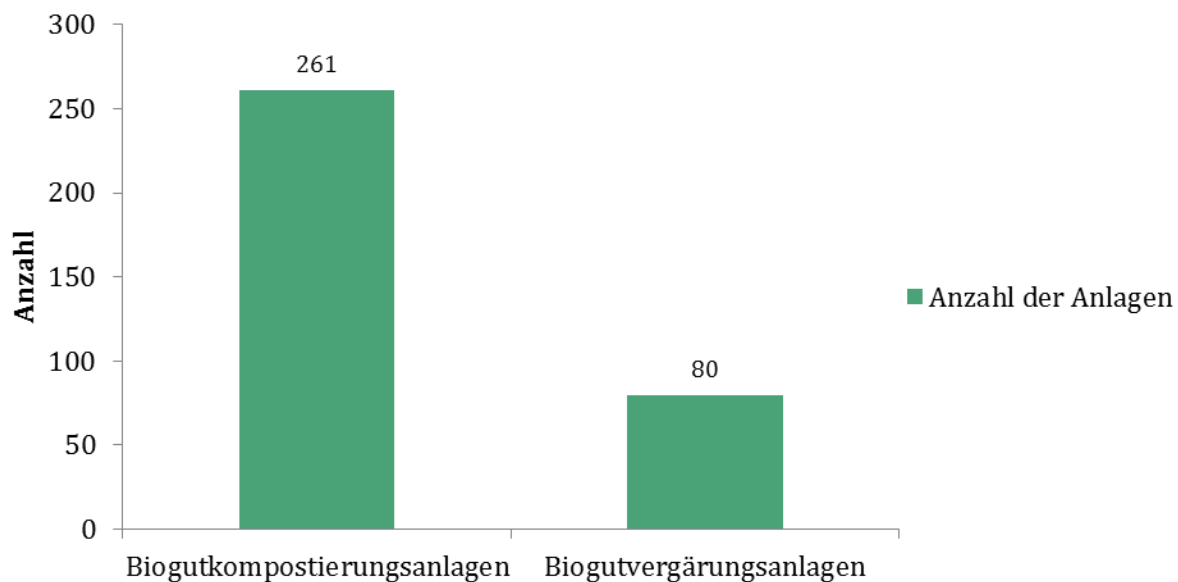
3.2 Hochwertige Verwertung von Biogut

3.2.1 Mehrfachnutzung von Biogut

Dem Leitgedanken der hochwertigen Verwertung von Biogut entsprechend wird eine kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung, d. h. eine vorgeschaltete Vergärung und eine nachgelagerte stoffliche Nutzung der Gärückstände (Mehrfachnutzung), angestrebt. In der Regel erfolgt bei diesen Anlagen eine anaerobe Behandlung mit dem Ziel der Biogaserzeugung sowie anschließend eine aerobe Behandlung der festen Gärückstände mit dem Ziel einen Kompost zu erzeugen. Flüssige Gärückstände werden entweder einer weiteren Fest-/Flüssigtrennung unterzogen oder als flüssiger Gärückstand landwirtschaftlich verwertet.

Abbildung 21 zeigt die Anzahl der in Deutschland vorhandenen Biogutkompostierungsanlagen und Biogutvergärungsanlagen. Aus der historischen Entwicklung gibt es deutlich mehr Biogutkompostierungsanlagen als Biogutvergärungsanlagen.

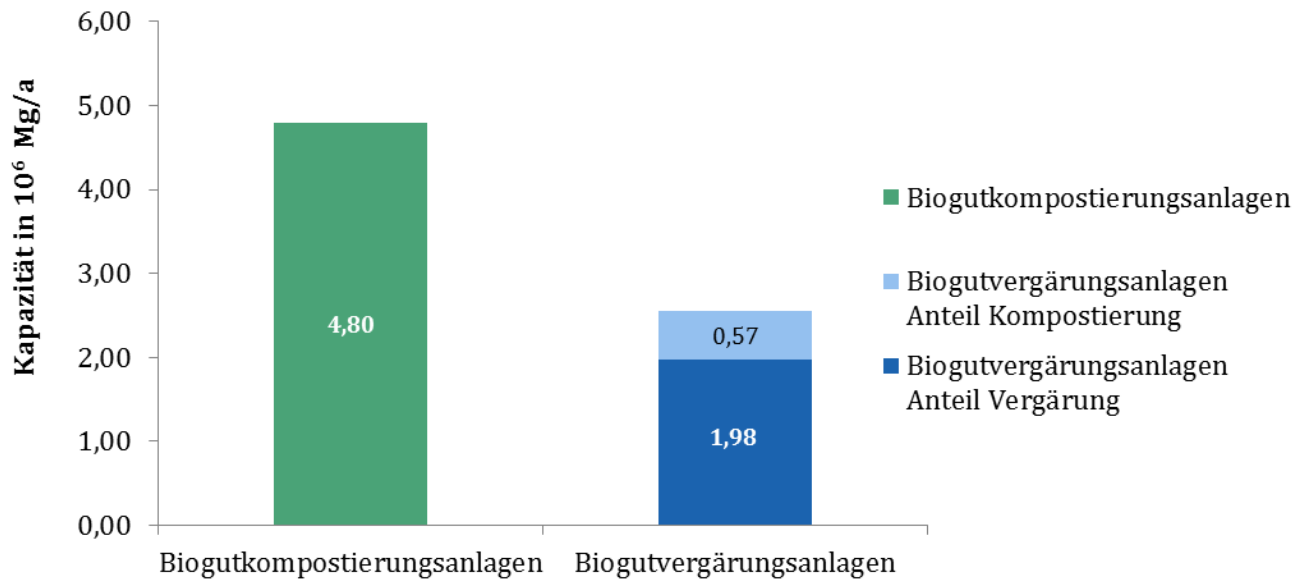
Abbildung 21: Anzahl an Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen in Deutschland, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Biogutkompostierungsanlagen: darunter eine Anlage ohne Kapazitätsangabe | Kapazität min. / max.: 1.000 Mg/a / 120.000 Mg/a

In Abbildung 22 ist dieser Sachverhalt anhand der genehmigten Kapazitäten verdeutlicht. Im Gegensatz zu den Biogutvergärungsanlagen verfügen die 261 aufgeführten Biogutkompostierungsanlagen mit 4,80 Mio. Mg/a über eine in etwa doppelt so große Behandlungskapazität. Bei der Biogutvergärung können jährlich ca. 2,55 Mio. Mg Behandlungskapazität zur Verfügung gestellt werden. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass lediglich ca. 1,98 Mio. Mg/a reine Vergärungskapazitäten darstellen. Die Differenzmengen werden entweder als Teilstrom oder im Bypass an der Vergärungsstufe vorbei in die aerobe Behandlung gefahren. Somit sind die Anlagen so ausgelegt, dass im Mittel ca. 77 % des Bioguts in Vergärungsanlagen tatsächlich der Vergärung zugeführt werden.

Abbildung 22: Genehmigte Kapazitäten an Biogut von Biogutkompostierungs- und -vergärungsanlagen 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grundgesamtheit: 340 Anlagen

Aktuelle Daten über die tatsächlich verwerteten Mengen an Biogut in Kompostierungs- bzw. Vergärungsanlagen liegen bundesweit nicht vor. Auf der Datengrundlage des Biogas-Atlas 2014 wurden ca. 1,5 Mio. Mg Biogut in Biogutvergärungsanlagen verbraucht. Bei einem Gesamtaufkommen von ca. 4,56 Mio. Mg² Biogut (Bundesamt, Stat., 2017) würde dies bedeuten, dass ca. 33 % des Bioguts bereits in Biogutvergärungsanlagen gehen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass gegenwärtig ca. 3 Mio. Mg Biogut in ausschließlich aerobe Behandlungssysteme verbraucht werden. Diese Mengen könnten durch Vorschaltung einer anaeroben Stufe höherwertig verwertet werden.

Unterstellt man, dass von den Mengen in Biogutvergärungsanlagen ca. 23 % nicht die anaerobe Stufe durchlaufen und lediglich aerob behandelt werden, werden ca. 25 % des erfassten Bioguts in einer Vergärungsstufe behandelt.

Allerdings sind der Möglichkeit der Integration von anaeroben Vorschaltanlagen in vorhandene Kompostierungsanlagen, insbesondere unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Grenzen gesetzt. Geht man davon aus, dass Anaerobanlagen einen Minstdurchsatz von 20.000 Mg/a für einen wirtschaftlichen Betrieb brauchen, sind 170 der 261 Kompostierungsanlagen bzw. 1,5 Mio. Mg von 4,8 Mio. Mg genehmigter Behandlungskapazität für eine Um- oder Nachrüstung nicht geeignet (Tabelle 7). Wird die wirtschaftliche Grenze auf einen Minstdurchsatz von 10.000 Mg/a reduziert, sind noch 106 der 261 Kompostierungsanlagen bzw. 0,64 Mio. Mg von 4,8 Mio. Mg genehmigter Behandlungskapazität nicht geeignet.

Diese Annahme geht hierbei von den vorhandenen Bedingungen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (zum Zeitpunkt der Datenerhebung) aus und berücksichtigt nicht, dass im Rahmen von interkommunalen Kooperationen Mengen gebündelt werden oder durch eine Intensivierung der Biogutsammlung Mengen gesteigert werden können und somit ein wirtschaftlicher Betrieb auf einer größeren Grundgesamtheit verwirklicht werden könnte. Dies wurde von verschiedenen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (z. B. Rhein-Neckar-Kreis) eindrucksvoll realisiert.

² Abfallschlüssel 20030104 Abfälle aus der Biotonne

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsschwelle zur Nachrüstung von anaeroben Vorschaltanlagen

Wirtschaftlichkeitsschwelle für die Integration einer anaeroben Vorschaltanlage	geeigneter Kompostanlagen Anzahl	geeigneter Kompostanlagen genehmigte Kapazität (Mg/a)
Kompostanlagen Jahresdurchsatz ≥ 20.000 Mg/a	91	3,3 Mio. Mg/a
Kompostanlagen Jahresdurchsatz ≥ 10.000 Mg/a	155	4,16 Mio. Mg/a

3.2.2 Fazit

Im Bereich der hochwertigen Verwertung von Biogut hat sich mit dem EEG in der Vergangenheit einiges bewegt. Es wurde ein kontinuierlicher Zubau von anaeroben Behandlungskapazitäten für Biogut, entweder durch die Integration von Vorschaltanlagen in vorhandene Kompostierungsanlagen oder durch den Neubau von Anlagen für die energetisch-stoffliche Verwertung von Biogut, erreicht.

Dennoch ist die Situation insgesamt nicht zufriedenstellend und das Potenzial bei weitem nicht erschlossen. Von den geschätzten annähernd 3 Mio. Mg Biogut die gegenwärtig ausschließlich aerob behandelt werden, ist unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und technischen Aspekten ein weiteres Potenzial von ca. 1 bis 1,5 Mio. Mg Anlagenkapazität für eine anaerobe Vorbehandlung vorhanden. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass gegenwärtig Projektierungen, Planungen und Bau von Vergärungsanlagen für Biogut mit Kapazitäten in der Größenordnung von 150.000 bis 250.000 Mg/a umgesetzt werden.

Darüber hinaus belegen Restmüllanalysen, dass noch ein Potential von ca. 4-5. Mio. Mg, meist haushaltsstämmiges Biogut im Restmüll verbleiben. Durch eine Intensivierung der flächendeckende Erfassung mit optimierten und nutzerfreundlichen Systemen könnte ein weiteres Potential von ca. 2. Mio. Mg Biogut angesetzt werden, sodass zukünftig insgesamt ein Potential von bis zu ca. 3.5 Mio. Mg Biogut zusätzlich für eine Vergärung zur Verfügung stehen könnte.

Die hierzu notwendigen Investitionen liegen je nach Anlagengröße und Standortvoraussetzung (Vorschaltanlage oder Komplettanlage mit Nachrotte) zwischen 400 bis 600 € Investitionen je Mg Input, was einer Gesamtinvestition von ca. 1.750 Mio. € entsprechen würde. Demgegenüber würde bei einem durchschnittlichen Biogasertrag eine CO₂-äq.-Einsparung gegenüber der Kompostierung durch die erzeugte Energie bei voller Wärmenutzung von maximal 180 kg je Mg (Massepotenzial 1,5 Mio Mg) und gegenüber einer Mitbehandlung in einer durchschnittlichen Müllverbrennungsanlage bei einer Nutzung des kompostierten Gärrestes zu je 50 % in Landwirtschaft und Erdenwerken von 95 kg je Mg (Massepotenzial 2 Mio Mg) erreicht werden. Dies entspricht einer potenziellen Gesamteinsparung von 0,47 Mio. Mg CO₂-äq jährlich.

Allerdings sind die Eckpunkte des EEG 2017, welche auf Wettbewerb und Ausschreibung beruhen, nicht geeignet den Ausbau der Mehrfachnutzung von Biogut voranzubringen. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die vorhandenen Impulse sowie die rechtlichen Vorgaben und der politische Wille nicht ausreichend sind, eine konsequente Erfassung und Mehrfachnutzung für Bioabfälle zu erreichen.

3.3 Verwertung von Biogut in Vergärungsanlagen

In den nachfolgenden Ausführungen werden die ermittelten Hochwertigkeitskriterien in Bezug auf die baulichen Anforderungen der Biogutbehandlung in Vergärungsanlagen untersucht.

Hierbei stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

- Bauliche Ausführung von Biogutvergärungsanlagen
 - Einhausung des Anlieferbereichs
 - Bauliche Ausführung der Fest-/Flüssigtrennung
 - Bauliche Ausführung der Aerobisierung fester Gärreste
 - Bauliche Ausführung der Nachrotte
 - Erfassung und Behandlung der Abluft
 - Schwachgasmanagement

Grundlage der Bewertung ist eine Befragung der Anlagenbetreiber von Biogutvergärungsanlagen in Deutschland.

3.3.1 Bauliche Ausführung von Biogutvergärungsanlagen

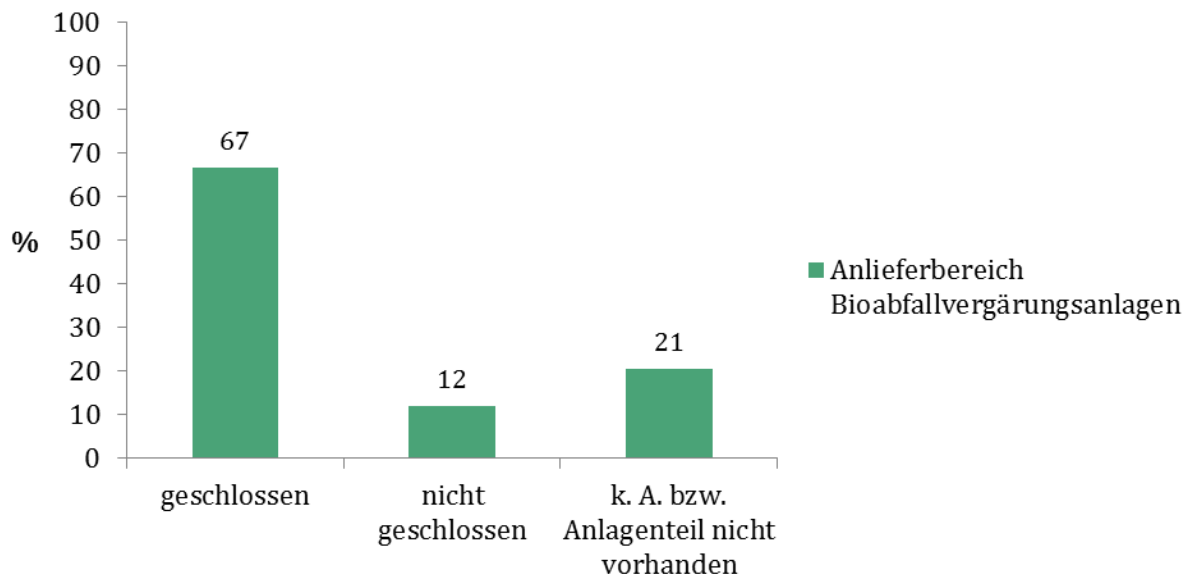
Einhausung des Anlieferbereichs

Biogutvergärungsanlagen verfügen über einen Anlieferungsbereich, in dem das Biogut im Regelfall in Flachbunkern, aber auch vereinzelt in Tiefbunkern oder in Tunneln angeliefert wird. Vom Anlieferbereich aus wird das Material meist zur weiteren Verarbeitung (z. B. Zerkleinerung, Siebung, Dosierung) verbracht, bevor es vollständig oder in Teilströmen in den Fermenter zur Biogaserzeugung verbracht wird.

Ein geschlossener Anlieferbereich mit Abluftfassung und -behandlung wird für eine hochwertige Behandlungsanlage vorausgesetzt.

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen (Umweltbundesamt, 2012) zu den baulichen Ausführungen der Anlieferbereiche von Bioabfallvergärungsanlagen in Deutschland. Im Referenzjahr 2009 waren die Anlieferbereiche mit 67 % der insgesamt 63 untersuchten Bioabfallvergärungsanlagen geschlossen ausgeführt.

Abbildung 23: Bauliche Ausführung der Anlieferbereiche von Bioabfallvergärungsanlagen, Stand 2009

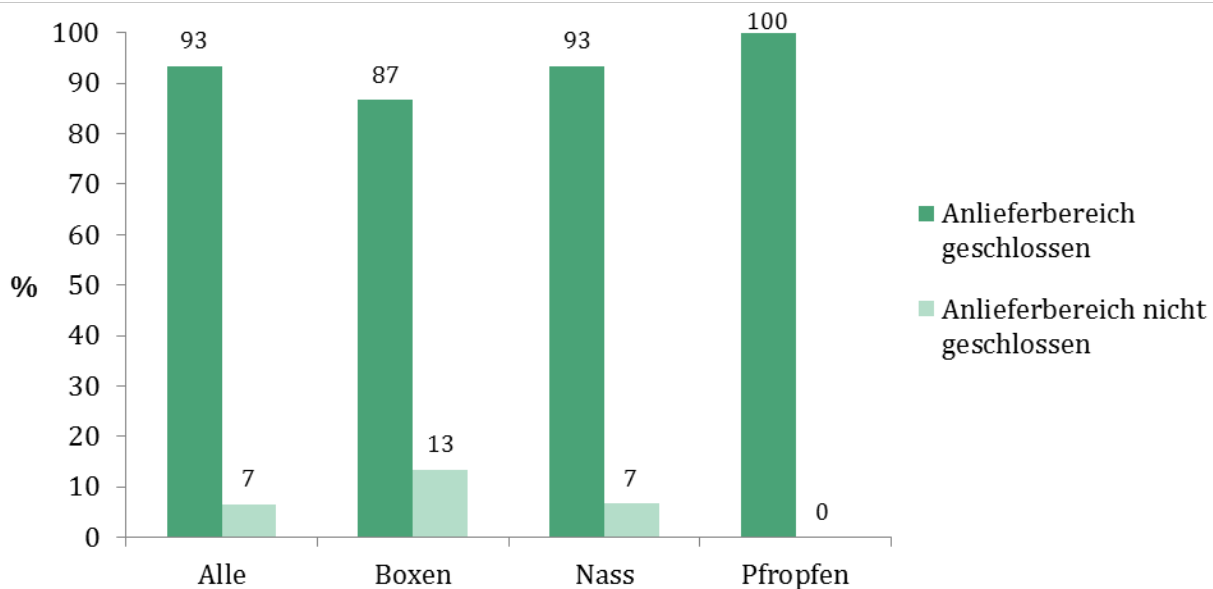


Daten entnommen aus (Umweltbundesamt, 2012) | Durchsatzbereich min. / max.: < 10.950 Mg/a / > 18.250 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 63 Anlagen | geschlossen: 42 Anlagen | nicht geschlossen: 8 Anlagen | k.A. bzw. nicht vorhanden: 13 Anlagen

In der Befragung der Biogutvergärungsanlagenbetreiber aus dem Jahr 2016 (Abbildung 24) zeigte sich, dass bereits 93 % der befragten Biogutvergärungsanlagen über geschlossene Anlieferbereiche

mit Abluftfassung und -behandlung verfügen. Bei nur 7 % der Biogutvergärungsanlagen erfolgt die Anlieferung offen oder überdacht. Biogutvergärungsanlagen die nach dem Pfropfenstromverfahren betrieben werden, sind im Anlieferbereich zu 100 % geschlossen. Offene oder teiloffene Anlieferbereiche finden sich bei den Boxenvergärungsanlagen mit 13 % und bei den Nassvergärungsanlagen mit 7 %. Bei den Boxenvergärungsanlagen ohne geschlossenen Anlieferbereich handelt es sich um kleine Anlagen mit <15.000 Mg/a Behandlungskapazität. Bei der im Anlieferbereich offenen Nassvergärungsanlage handelt es sich lediglich um eine Anlage, ebenfalls mit einer geringen Behandlungskapazität (8.500 Mg/a).

Abbildung 24: Bauliche Ausführung der Anlieferbereiche von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 76 Anlagen
 | Grundgesamtheit Boxen: 30 Anlagen | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen

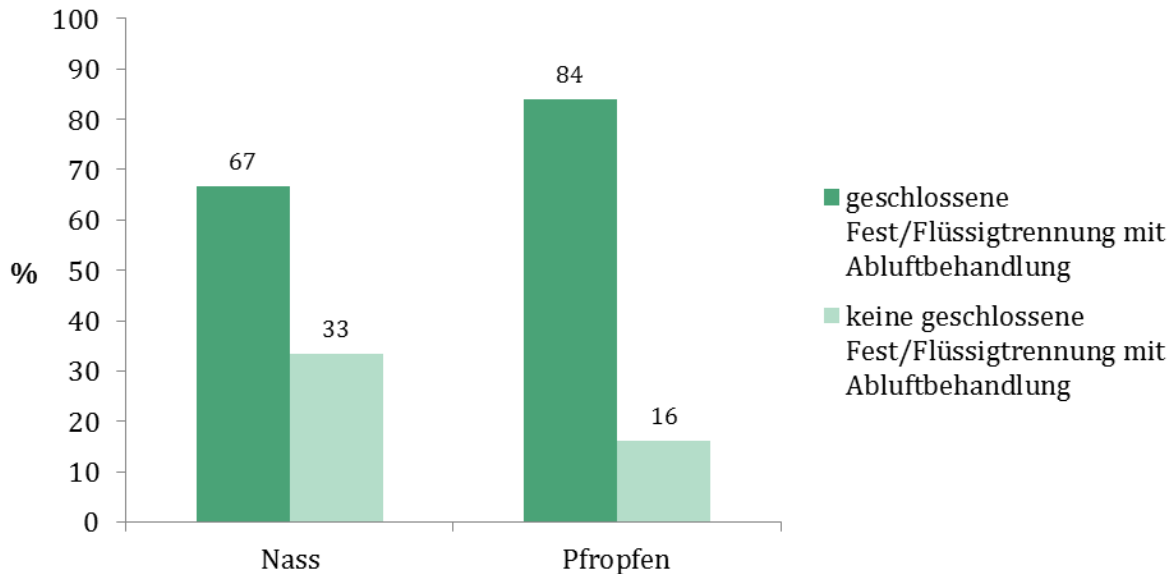
Bauliche Ausführung der Fest-/Flüssigtrennung des Gärrückstandes

Die Fest-/Flüssigtrennung hat zum Ziel, die im frischen Gärrückstand enthaltenen Feststoffe abzutrennen um einen kompostierbaren sowie einen flüssigen und ausbringbaren Gärrückstand zu erzeugen. Bedingt durch den geringen Gehalt an Trockensubstanz (< 30 %), ist die Fest-/Flüssigtrennung i. d. R. bei den Nass- und Pfropfenstromverfahren erforderlich. Wird der flüssige Gärrückstand direkt vermarktet oder in wenigen Fällen direkt einer Kläranlage zugeführt, entfällt die Fest-/Flüssigtrennung. Boxenvergärungsanlagen erreichen am Ende des Vergärungsabschnitts i. d. R. einen stapelfähigen Gärrückstand, der ohne eine Fest-/Flüssigtrennung weiterverarbeitet werden kann.

Während der Phase der Fest-/Flüssigtrennung können vom frischen Gärrückstand erhebliche Emissionen (Ammoniak, Methan u. a.) ausgehen, sodass dieser Abschnitt geschlossen mit entsprechender Abluftfassung und Saurem Wäscher ausgerüstet sein muss.

Abbildung 25 zeigt, dass etwa zwei Drittel der befragten Nassvergärungsanlagen über geschlossene Fest-/Flüssigtrennungen mit Abluftfassung verfügen. Bei den Pfropfenstromvergärungsanlagen sind es 84 % der befragten Anlagen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei verschiedenen Anlagen dieser Verfahrensschritt entfällt.

Abbildung 25: Bauliche Gestaltung der Fest-/Flüssigtrennung mit Abluftbehandlung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 8.500 Mg/a / 70.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 46 Anlagen
 | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen

Bauliche Ausführung der Aerobisierung fester Gärreste

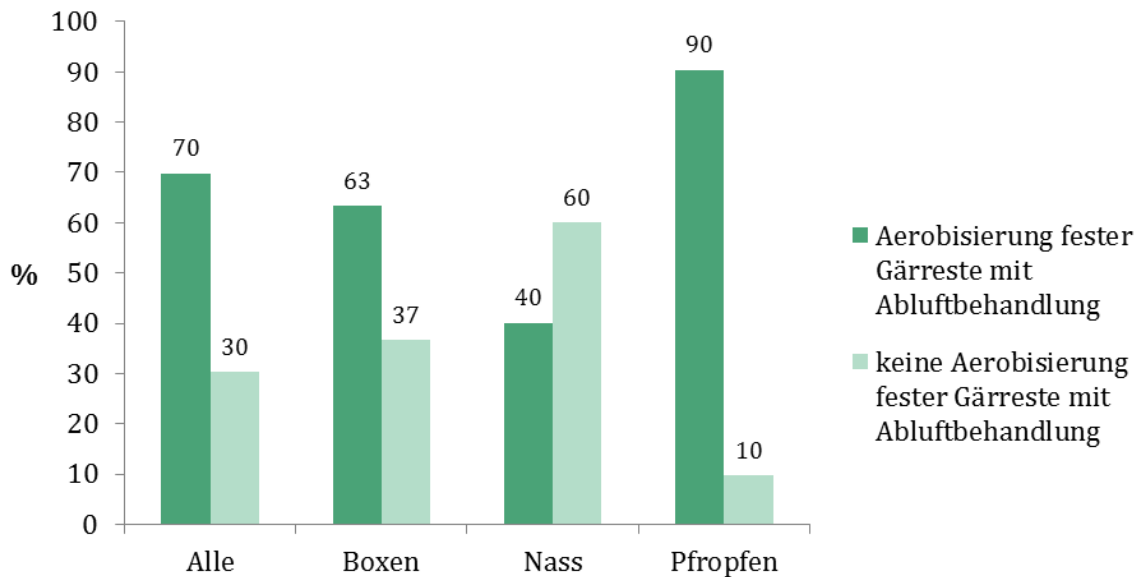
Die aerobe Nachbehandlung fester Gärreste dient der Stabilisierung, Hygienisierung (falls nicht schon vorab in der thermophilen Vergärung erfolgt) und insbesondere der Reduzierung der Materialfeuchte. Bei der Aerobisierung wird der anaerobe Prozess der Vergärung in einen aeroben Prozess der Kompostierung überführt. Auch hier ist wieder das erhebliche Emissionspotenzial von frischem Gärrückstand zu beachten, sodass dieser Prozess geschlossen mit entsprechender Abluftfassung und -behandlung ausgeführt werden muss.

Die Dauer der Aerobisierungsphase variiert je nach Anlage teilweise sehr stark, sodass es zwischen dem Prozess der Aerobisierung und Nachrotte zu einem fließenden Übergang kommen kann. Anlagen- und verfahrensspezifisch kann die Aerobisierung zwischen einem Tag und ein bis zwei Wochen dauern.

Die Ergebnisse über alle befragten Biogutvergärungsanlagen zeigen in Abbildung 26, dass der Großteil der Biogutvergärungsanlagen ihre Gärrückstände einer Aerobisierung mit Abluftbehandlung unterziehen (70 %). Aber bei 30 % der befragten Biogutvergärungsanlagen wird dieser emissionsseitig kritische Abschnitt ohne Abluftfassung durchgeführt. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei verschiedenen Nass- und teilweise auch bei Pfropfenstromvergärungsanlagen keine Fest-/Flüssigtrennung erfolgt und nur ein flüssiger Gärrückstand vermarktet wird. Somit findet auch keine Aerobisierung fester Gärrückstände statt.

Bei der Pfropfenstromvergärung wird bei 90 % der Anlagen eine gekapselte Aerobisierung mit Abluftfassung durchgeführt. Bei Boxenvergärungsanlagen sind es lediglich 63 % der Anlagen.

Abbildung 26: Aerobisierung fester Gärrückstände mit Abluftbehandlung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 76 Anlagen
 | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen | Grundgesamtheit Boxen: 30 Anlagen

Bauliche Ausführung der Nachrotte

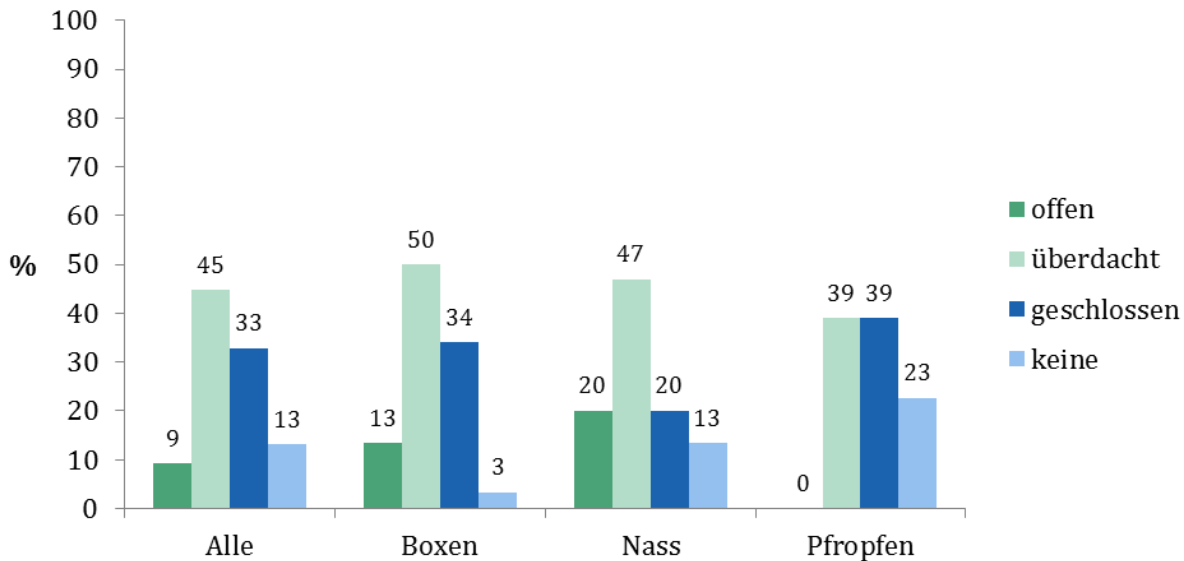
Nach der Hygienisierung und Stabilisierung des Komposts findet die Nachrotte statt. Die Übergänge der einzelnen Behandlungsphasen sind hierbei je nach Verfahren fließend. Sie dient hauptsächlich der weiteren Stabilisierung. Die Nachrotte sollte zumindest überdacht bzw. je nach Standortbedingungen geschlossen ausgeführt werden.

Da in der Erhebung 2009 (Umweltbundesamt, 2012) ca. 60 % der Anlagenbetreiber keine Angabe zur baulichen Gestaltung der Nachrotte machten bzw. keine Nachrotte vorhanden war, können keine Ergebnisse abgeleitet werden.

Abbildung 27 zeigt die bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutvergärungsanlagen. Bei durchschnittlich 33 % aller Anlagen erfolgt die Nachrotte geschlossen. Hierbei schwanken die Angaben zwischen 34 % (Boxenvergärung) und 39 % (Pfropfenstromvergärung). Bei den Nassvergärungsanlagen gaben lediglich 20 % an, eine geschlossene Nachrotte zu haben. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Nassvergärungsanlagen oftmals über keine Rotte/Nachrotte verfügen.

Überwiegend erfolgt die Nachrotte auf überdachten Flächen (45 %). Eine offene Nachkompostierung wurde bei den Pfropfenstromvergärungsanlagen nicht benannt, bei den Boxenvergärungsanlagen betrieben 13 % der Anlagen eine offene Nachrotte. Bei der Nassvergärung ist zu berücksichtigen, wie bereits erwähnt, dass diese Anlagen oftmals über keine Nachrotte verfügen.

Abbildung 27: Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 76 Anlagen
 | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen | Grundgesamtheit Boxen: 30 Anlagen

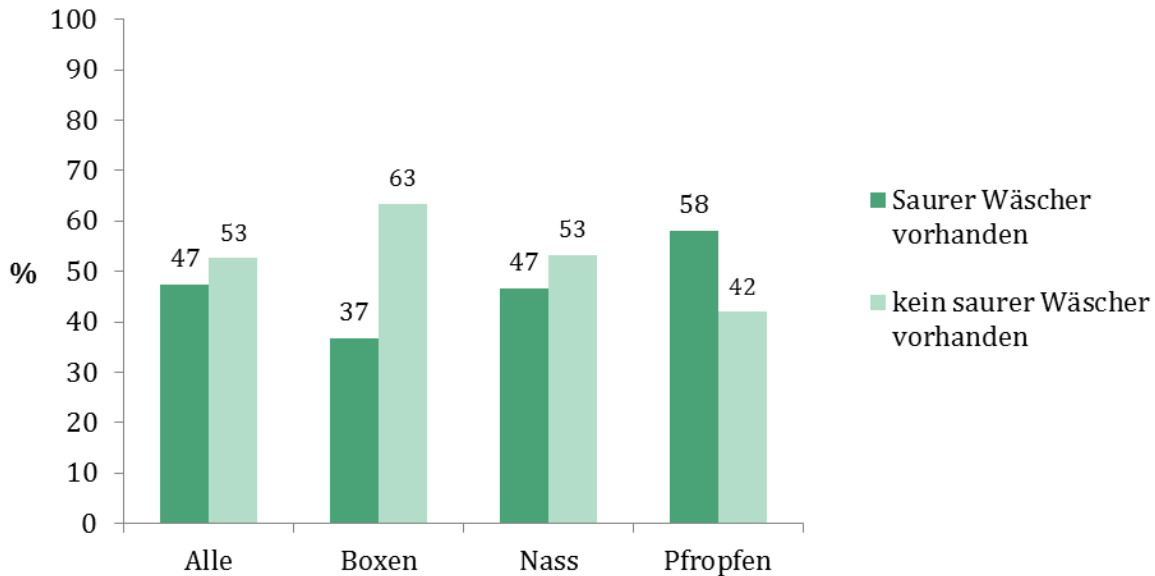
Erfassung und Behandlung der Abluft mittels Sauern Wäschers

Das in der gefassten Abluft vorhandene Ammoniak soll in Gegenwart von Schwefelsäure (Saurer Wäscher) in einem kontinuierlichen Waschprozesses zu Ammoniumsulfat umgesetzt und so eine unkontrollierte NH_3 -Emission in die Atmosphäre unterbunden werden. Eine anschließende Verwendung der konzentrierten $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösung als Flüssigdünger ist möglich.

Der Einsatz eines Sauern Wäschers ist für den hochwertigen Betrieb einer Biogutvergärungsanlage erforderlich, insbesondere in Bereichen wo mit frischem Gärrückstand große Ammoniakfreisetzungen möglich sind (Fest-/Flüssigtrennung, Aerobisierung)

In den meisten Fällen sind bei der Abluftbehandlung Saure Wäscher den Biofiltern vorgeschaltet, um die Abluft zu reinigen und damit auch die mikrobielle Aktivität des Biofilters aufrecht zu erhalten. Saure Wäscher werden bei den befragten Biogutvergärungsanlagen nicht durchgängig eingesetzt (Abbildung 28). Im Mittel wird bei knapp der Hälfte der Anlagen (47 %) ein Saurer Wäscher eingesetzt. Vor allem bei Boxenvergärungsanlagen wird nur in 37 % der Anlagen ein Saurer Wäscher eingesetzt. Bei den Pfropfenstromvergärungsanlagen haben 58 % einen Saurer Wäscher im Einsatz, bei der Nassvergärung sind es 47 % der Anlagen.

Abbildung 28: Saurer Wäscher zur Abluftreinigung von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 76 Anlagen
 | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen | Grundgesamtheit Boxen: 30 Anlagen

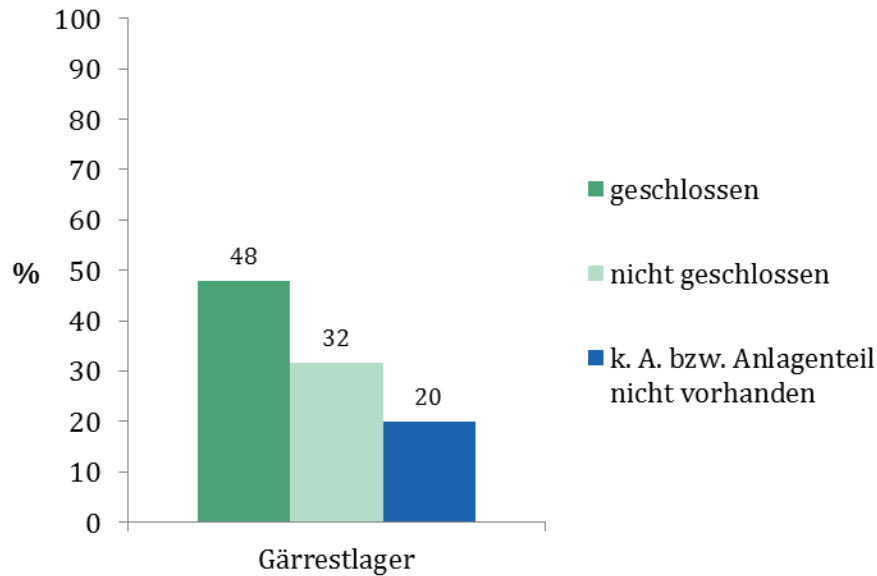
Bauliche Ausführung der flüssigen Gärrückstandslager

Eine wesentliche Quelle für Emissionen, insbesondere Methanemissionen, sind offene Lager für flüssige Gärrückstände (Carsten Cuhls, 2015).

Aus Abbildung 29 geht hervor, dass im Jahr 2009 knapp die Hälfte aller Anlagen angab, geschlossene Gärrückstandslager zu haben. Bei knapp einem Drittel war das Gärrückstandslager explizit offen (Abbildung 30).

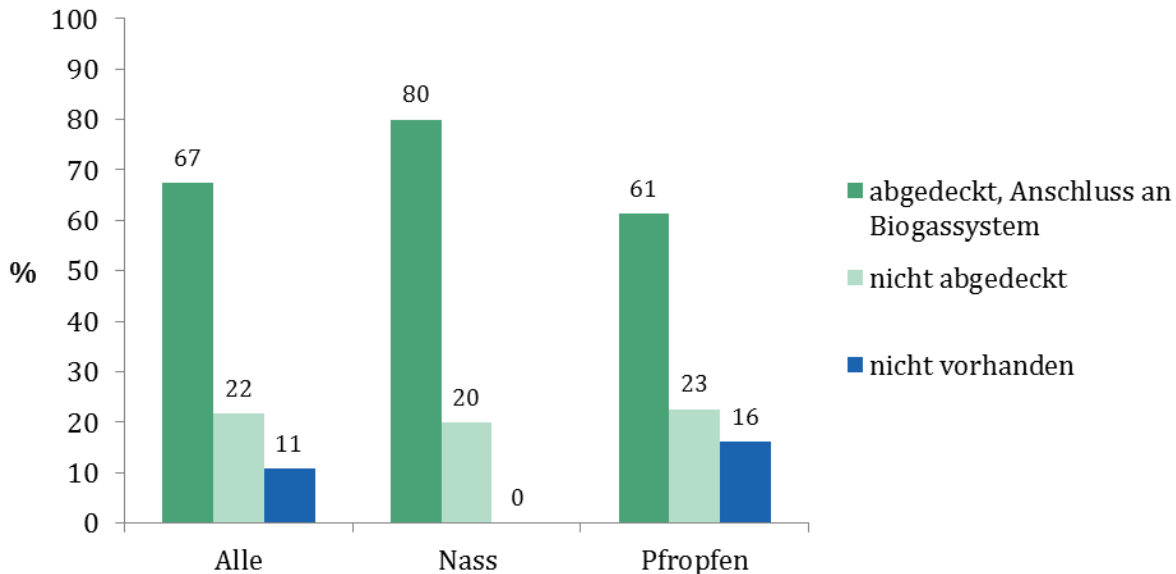
In der Umfrage 2016 (Abbildung 30) gaben ca. zwei Drittel aller Anlagenbetreiber (nur Nass- und Pfropfenstromverfahren) an, über geschlossene Gärrückstandslager mit Anschluss an das Biogassystem zu verfügen. Bei der Nassvergärung waren dies 80 % aller Anlagen. Bei den Pfropfenstromvergärungsanlagen waren 61 % der Gärrückstandslager geschlossen. Auch hier ist jeweils zu berücksichtigen, dass 11 % bzw. 16 % angaben, dass dieses Modul nicht vorhanden ist (z. B. bei Teilstromvergärung unter Verzicht eines flüssigen Gärrückstandes oder bei direkter Einleitung des flüssigen Gärrückstände in eine Kläranlage, was aber nur in wenigen Anlagen praktiziert wird).

Abbildung 29: Bauliche Gestaltung des Gärückstandslagers von Bioabfallvergärungsanlagen, Stand 2009



Daten entnommen aus (Umweltbundesamt, 2012) | Durchsatzbereich min. / max.: < 10.950 Mg/a / > 18.250 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 63 Anlagen | geschlossen: 30 Anlagen | nicht geschlossen: 20 Anlagen | k.A. bzw. nicht vorhanden: 13 Anlagen

Abbildung 30: Bauliche Gestaltung des Gärückstandslagers von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 4.000 Mg/a / 85.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 76 Anlagen | Grundgesamtheit Nass: 15 Anlagen | Grundgesamtheit Pfropfen: 31 Anlagen

3.3.2 Fazit zur baulichen Ausführung von Biogutvergärungsanlagen

Bauliche Ausführung des Anlieferbereichs

Die Anlieferbereiche aller befragten Bioabfallvergärungsanlagen sind im Jahre 2009 zu 67 % und in den Jahren 2016 zu 93 % geschlossen ausgeführt. Mit Blick auf die Hochwertigkeit ist dieses Ergebnis als sehr zufriedenstellend einzustufen, zumal es sich bei den Anlagen mit nicht geschlossenem Anlieferbereich um relative kleine Anlagen handelt.

Das Kriterium der Hochwertigkeit ist erfüllt, sodass kein Handlungsbedarf besteht.

Bauliche Gestaltung der Fest-/Flüssigtrennung

Im Bereich der baulichen Gestaltung der Fest-/Flüssigtrennung gaben 67% der befragten Nassvergärungsanlagen bzw. 84% der befragten Pfropfenstromanlagen an, über eine geschlossene Ausführung der Fest-/Flüssigtrennung mit Abluftfassung und -behandlung zu verfügen.

Bei vorhandener Fest-/Flüssigtrennung ist eine Einhausung und Abluftfassung erforderlich, andernfalls ist das Kriterium der Hochwertigkeit für die aus Emissionsgründen kritische Phase nicht erfüllt.

Bei Anlagen mit einer Fest-/Flüssigtrennung ohne eine Einhausung und Abluftfassung besteht Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der Aerobisierung

Die bauliche Ausführung der Aerobisierung von festen Gärrückständen zeigt, dass ca. 70 % der Anlagen über eine geschlossene Ausführung der Aerobisierung mit Abluftfassung und -behandlung verfügen.

Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit für die aus Emissionsgründen kritische Phase nicht bei allen Anlagen erfüllt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass dieses Modul nicht bei allen Verfahrenstypen vorhanden ist.

Dennoch besteht Handlungsbedarf, insbesondere bei der Boxenvergärung, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der Nachrotte

Über eine eingehauste Nachrotte verfügen ca. ein Drittel aller Anlagen. Eine überdachte Ausführung der Nachrotte hatten 45 %. Circa 9 % der Anlagenbetreiber gaben an über eine offene Nachrotte zu verfügen.

Eine offene, nicht überdachte Nachrotte entspricht nicht den Anforderungen an die Hochwertigkeit. Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit nicht bei allen Anlagen erfüllt.

Es besteht Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Einsatz saurer Wäscher

Der Einsatz eines Sauren Wäschers zur Behandlung der Abluft und Verminderung des Ammoniakaustritts wird lediglich in 47 % aller Anlagen vorgesehen. Für den hochwertigen Betrieb einer Biogutvergärungsanlage ist der Einsatz eines Sauren Wäschers für die ammoniakbelasteten Abluftströme zwingend erforderlich.

Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit bei ca. der Hälfte der Anlagen nicht erfüllt.

Es besteht Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der flüssigen Gärrückstandslager

2016 hatten 67 % der Anlagen (Nass- und Pfropfenstromvergärung) geschlossen und mit Anschluss an das Biogassystem ausgeführte flüssige Gärrückstandslager. D.h. 20 % (Nassvergärungsanlagen) bzw.

23 % (Pfpfenstromvergärungsanlagen) hatten keine an das Biogasnetz angeschlossenen Lager für flüssige Gärrückstände.

Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit bei ca. einem Fünftel der Anlagen nicht erfüllt.

Es besteht Handlungsbedarf die Defizite zu beheben.

3.4 Verwertung von Biogut in Kompostierungsanlagen

In den nachfolgenden Ausführungen werden die ermittelten Hochwertigkeitskriterien in Bezug auf die baulichen Anforderungen der Biogutbehandlung in Kompostierungsanlagen untersucht.

Hierbei stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

- ▶ Bauliche Ausführung von Biogutkompostierungsanlagen
 - ▶ Einhausung des Anlieferbereichs
 - ▶ Einhausung der Materialaufbereitung in Kompostierungsanlagen
 - ▶ Einhausung der Intensivrotte
 - ▶ Einhausung der Nachrotte
 - ▶ Technik der Abluftbehandlung

Grundlage der Bewertung ist eine Befragung der Anlagenbetreiber für Biogutkompostierungsanlagen auf der Grundlage von Rettenberger et al. (Umweltbundesamt, 2012) sowie die Befragung der Anlagenbetreiber mit Anlagen >10.000 Mg/a in den vier Bundesländern (Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen).

3.4.1 Bauliche Ausführung von Biogutkompostierungsanlagen

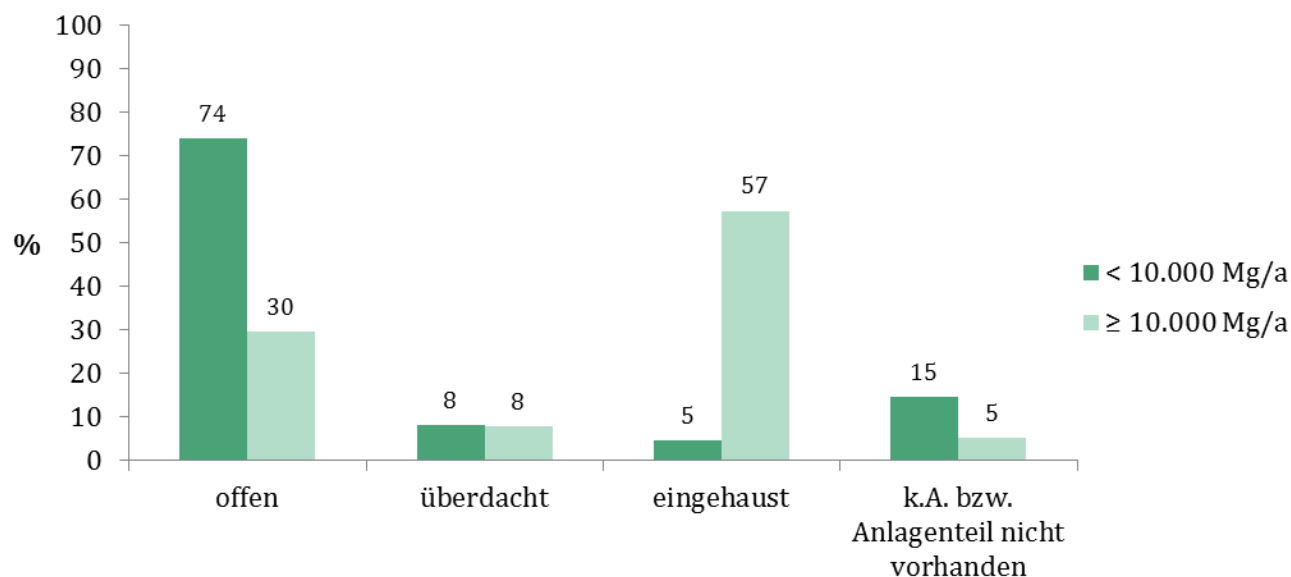
Einhausung des Anlieferbereichs

Auch Biogutkompostierungsanlagen verfügen meist über Anlieferbereiche mit Flachbunkern. Nach der Anlieferung wird das Biogut anschließend aufbereitet und in Mieten (Dreiecks- oder Trapezmieten) oder Tunneln aerob behandelt. Die Anforderungen an den Anlieferbereich von Biogutkompostierungsanlagen sind analog denen der Biogutvergärung zu sehen.

Aus Abbildung 31 geht hervor, dass im Referenzjahr 2009 74 % der Biogutkompostierungsanlagen <10.000 Mg/a bzw. 30 % der Biogutkompostierungsanlagen ≥10.000 Mg/a einen offenen Anlieferbereich aufwiesen (Umweltbundesamt, 2012), während nur 5 % (<10.000 Mg/a) bzw. 57 % (≥10.000 Mg/a) im Anlieferbereich geschlossen ausgeführt waren.

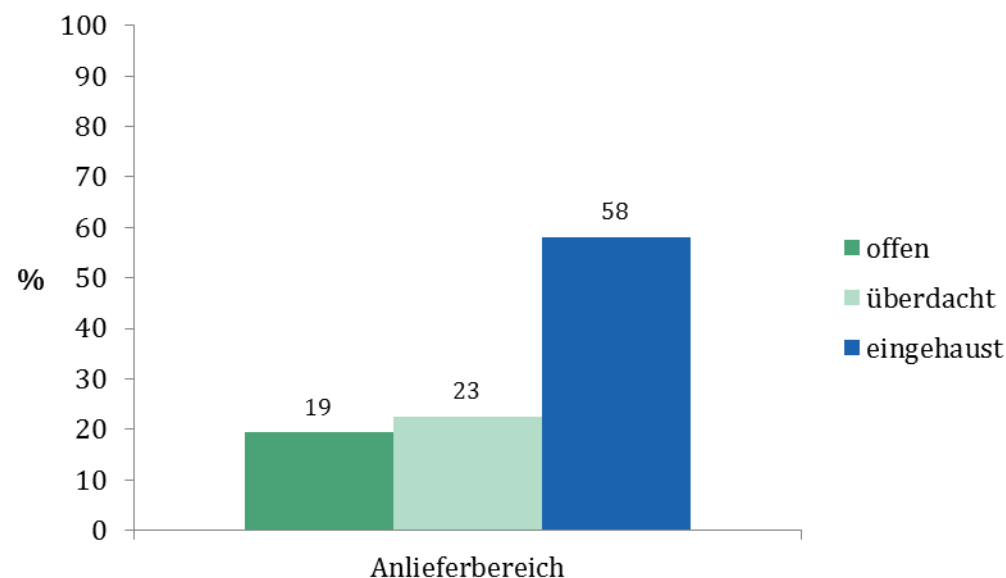
In der Befragung aus dem Jahr 2017, in der nur Anlagen ≥10.000 Mg Jahresdurchsatzkapazität berücksichtigt wurden (Abbildung 32), hatten noch 19 % der befragten Anlagen einen offenen Anlieferbereich und 58 % verfügten über einen eingehausten Anlieferbereich. Somit hat sich die Situation nicht wesentlich verändert. Allerdings wurden 2017 nur exemplarisch Anlagen aus vier Bundesländern berücksichtigt.

Abbildung 31: Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009



Daten entnommen aus (Umweltbundesamt, 2012) | Durchsatzbereich min. / max.: < 10.000 Mg/a / > 30.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 225 Anlagen | geschlossen: 71 Anlagen | überdacht: 18 Anlagen | offen: 114 Anlagen | k.A. bzw. nicht vorhanden: 22 Anlagen | < 10.000 Mg/a: 110 Anlagen | ≥ 10.000 Mg/a: 115 Anlagen

Abbildung 32: Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017

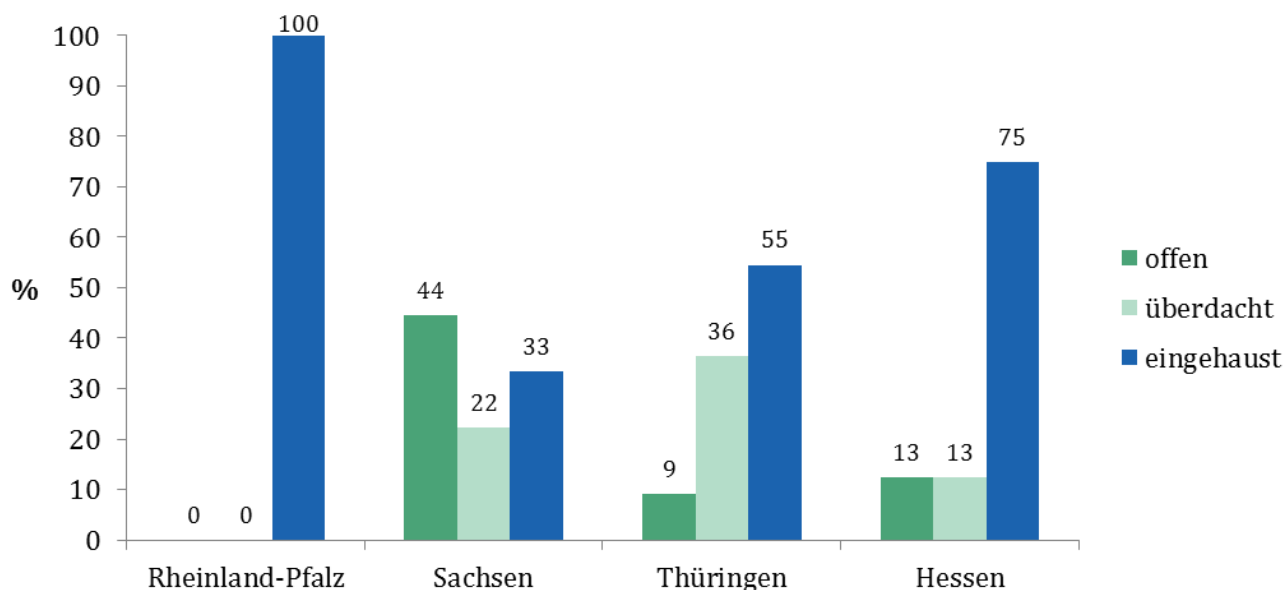


(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Unterschiede ergeben sich bei einer regionalen Betrachtung der Biogutkompostierungsanlagen (Abbildung 33). In Rheinland-Pfalz und Hessen ist die Mehrheit der Anlieferbereiche der befragten Biogutkompostierungsanlagen eingehaust und nur zu einem geringen Anteil lediglich überdacht oder offen ausgeführt.

Im Gegensatz dazu finden sich in Sachsen und Thüringen noch viele überdachte oder offene Anlieferbereiche in Biogutkompostierungsanlagen. Nur die Hälfte der Anlieferbereiche der Biogutkompostierungsanlagen in Thüringen ist eingehaust. In Sachsen ist die Mehrheit der Anlieferbereiche mit ca. 44 % der befragten Biogutkompostierungsanlagen offen ausgeführt.

Abbildung 33: Bauliche Gestaltung der Anlieferbereiche von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017

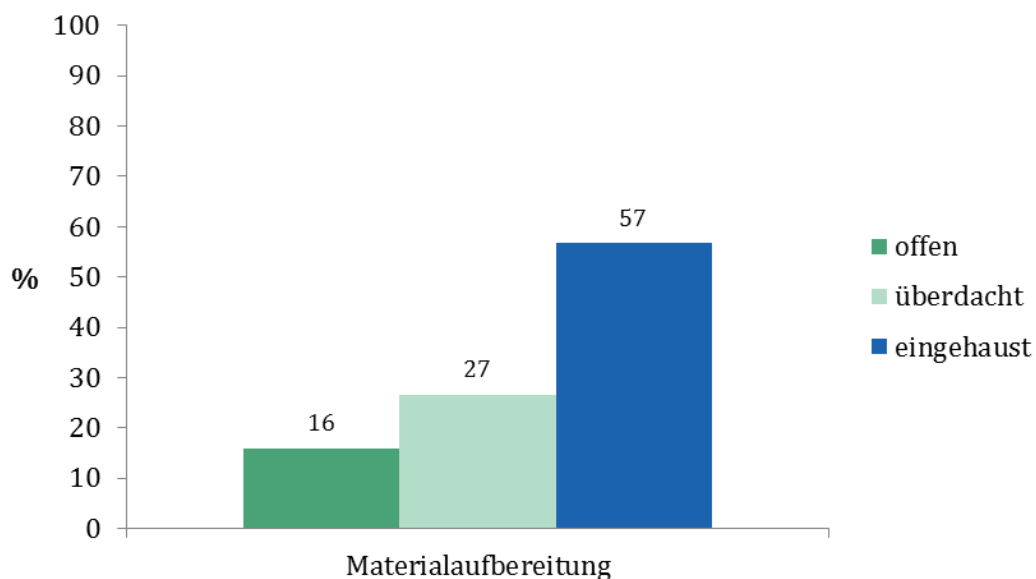


(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Einhausung der Materialaufbereitung in Kompostierungsanlagen

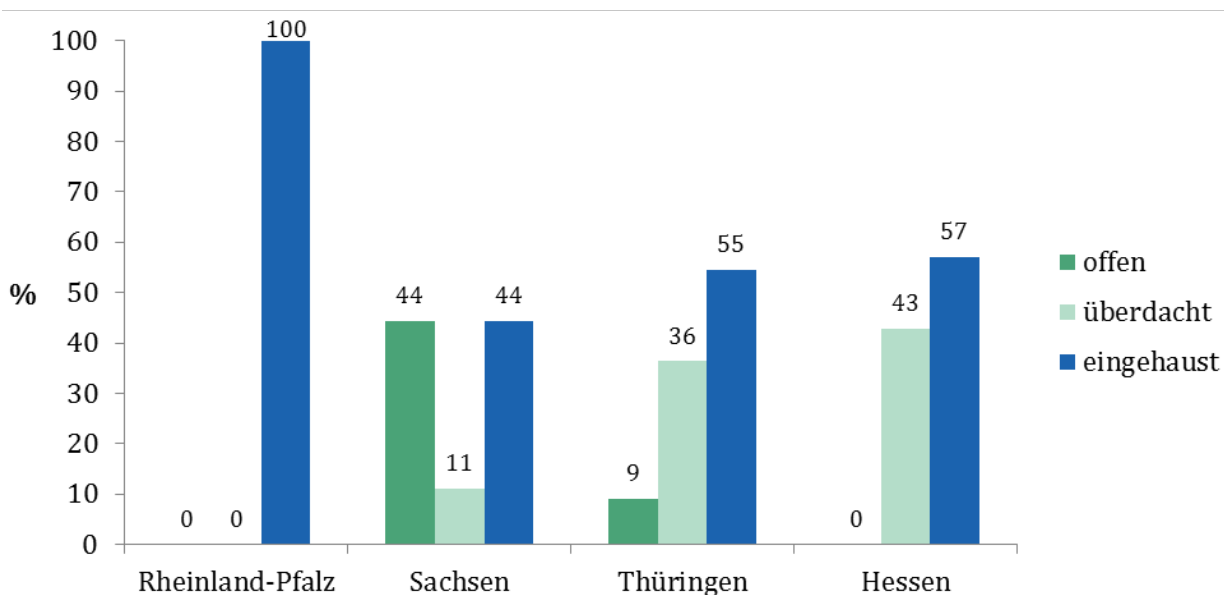
Die Materialaufbereitung von Biogutkompostierungsanlagen ist räumlich oftmals dem Anlieferbereich angeschlossen. Daher unterscheiden sich die Ergebnisse in Bezug auf die bauliche Gestaltung nur geringfügig. Abbildung 34 und Abbildung 35 im Vergleich zu Abbildung 32 und Abbildung 33 verdeutlichen diesen Zusammenhang. Die bauliche Ausführung Materialaufbereitung ist ähnlich wie die Anlieferung überwiegend eingehaust (57 %). Das Verhältnis zwischen offener und überdachter baulicher Gestaltung verschiebt sich bei der Materialaufbereitung geringfügig in Richtung überdachter Ausführung. Im Vergleich zum Anlieferbereich überdachen 4 %-Punkte mehr Anlagenbetreiber ihre Materialaufbereitung statt diese offen zu betreiben.

Abbildung 34: Bauliche Gestaltung der Materialaufbereitung von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Abbildung 35: Bauliche Gestaltung der Materialaufbereitung von Biogutkompostierungsanlagen - regional, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Abbildung 35 zeigt, dass zwischen den vier befragten Bundesländern regionale Unterschiede mit Blick auf die Einhausung der Materialaufbereitung bestehen. Die Materialaufbereitung in Rheinland-Pfalz und Hessen ist tendenziell eingehaust oder überdacht, aber nicht gänzlich offen ausgeführt. Hingegen sind besonders in Sachsen noch ca. 44 % der Anlagen mit einer offenen Materialaufbereitung anzutreffen.

Einhausung der Intensivrotte

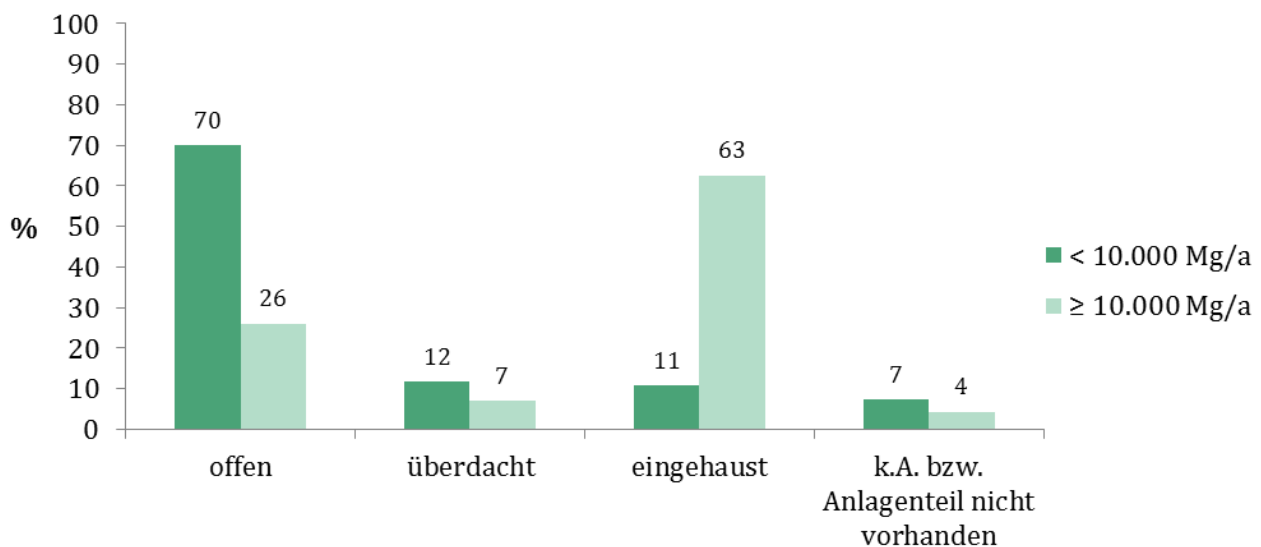
Die Intensivrotte ist im Hinblick auf Emissionen die bedeutendste Phase während der Kompostierung.

In Abbildung 36 ist die bauliche Gestaltung der Intensivrotten von Biogutkompostierungsanlagen (Umweltbundesamt, 2012) dargestellt.

Demnach waren im Referenzjahr 2009 70 % der Biogutkompostierungsanlagen <10.000 Mg/a bzw. 26 % der Biogutkompostierungsanlagen ≥10.000 Mg/a mit einer offenen Intensivrotte ausgeführt (Umweltbundesamt, 2012). Umgekehrt waren nur 11 % (<10.000 Mg/a) bzw. 63 % (≥10.000 Mg/a) mit einer eingehausten Intensivrotte ausgeführt.

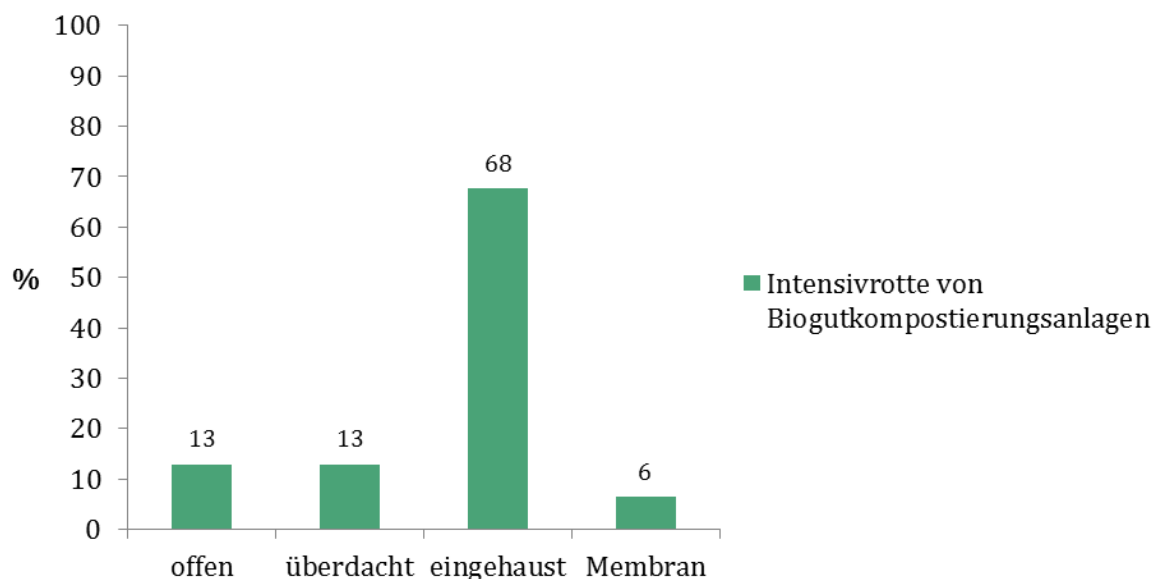
In der aktuellen Befragung aus dem Jahr 2017 war bei 68 % der Anlagen (≥10.000 Mg/a) die Intensivrotte vollständig eingehaust ausgeführt. Bei jeweils 13 % der Anlagen ist die Intensivrotte entweder überdacht oder offen ausgeführt. In 6 % der Biogutkompostierungsanlagen wird das Biogut unter einer Membranabdeckung (Abbildung 37) kompostiert.

Abbildung 36: Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009



Daten entnommen aus (Umweltbundesamt, 2012) | Durchsatzbereich min. / max.: < 10.000 Mg/a / > 30.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 225 Anlagen | geschlossen: 71 Anlagen | überdacht: 18 Anlagen | offen: 114 Anlagen | k.A. bzw. nicht vorhanden: 22 Anlagen | < 10.000 Mg/a: 110 Anlagen | ≥ 10.000 Mg/a: 115 Anlagen

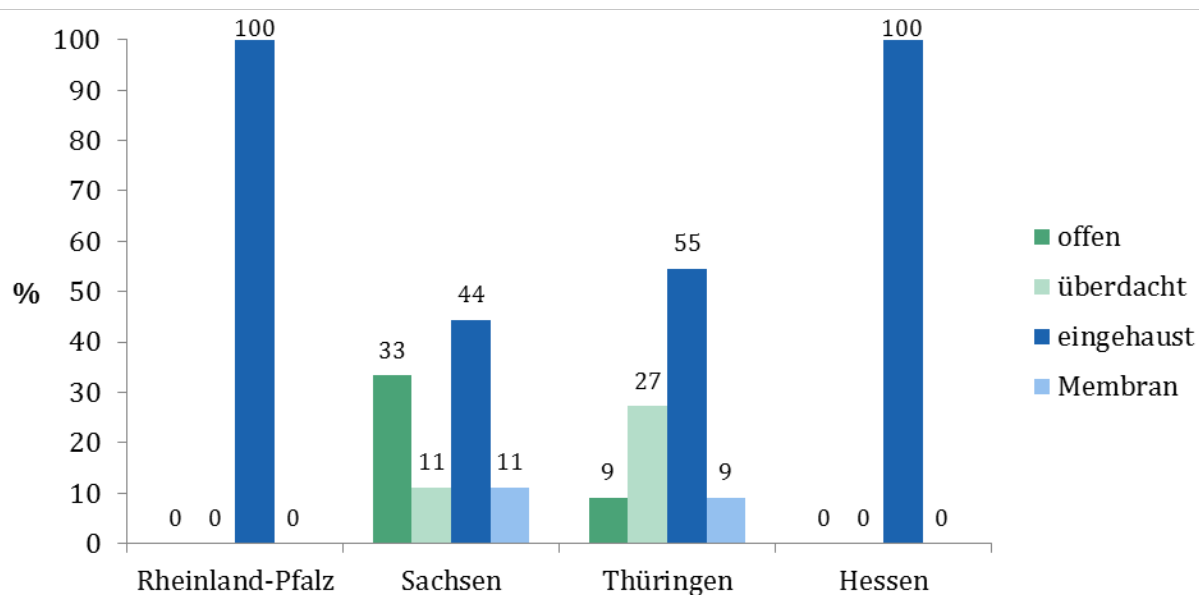
Abbildung 37: Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Auch hier sind wieder signifikante regionale Unterschiede festzustellen: Während die befragten Anlagenbetreiber in Rheinland-Pfalz und Hessen zu 100 % angaben, ihre Intensivrotte vollständig eingehaust zu betreiben, gaben dies in Sachsen und Thüringen nur etwa die Hälfte der befragten Anlagenbetreiber an (Abbildung 38).

Abbildung 38: Bauliche Gestaltung der Intensivrotte von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Einhausung der Nachrotte

Die Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen dient dem weiteren biologischen Abbau, wobei auch hier der Übergang von Intensivrotte zu Nachrotte fließend zu sehen ist. Bei der Nachrotte kommt es zu einer weiteren Stabilisierung und zu einer Erhöhung des Rottegrads. Zudem wird i. d. R. weiter Feuchte ausgetragen.

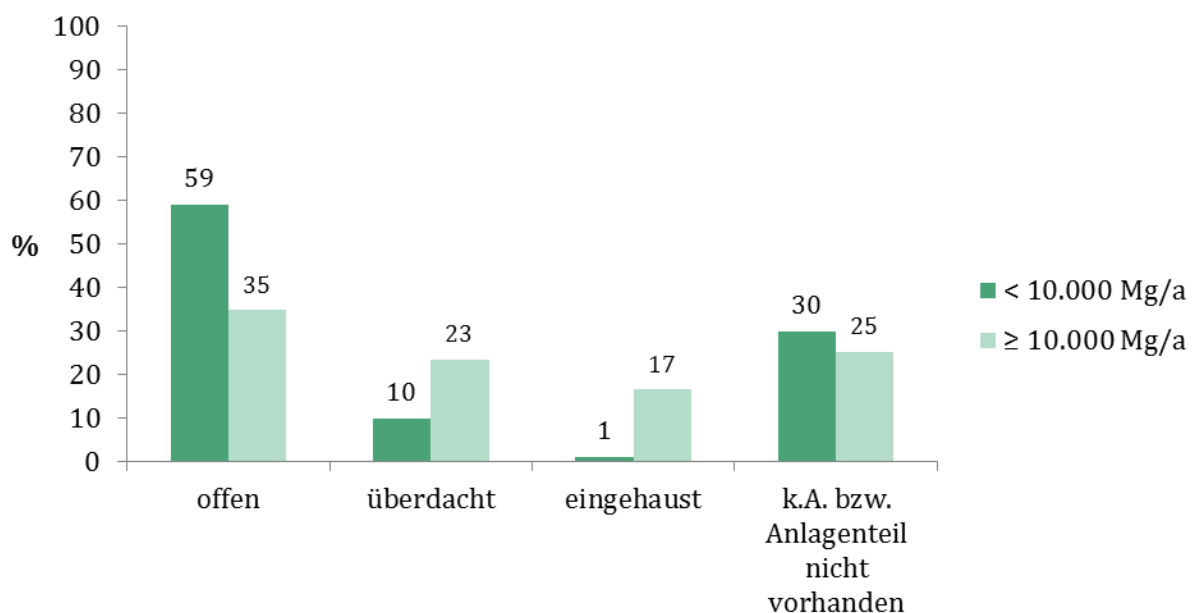
In Abbildung 39 ist die bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen für das Referenzjahr 2009 nach Rettenberger et al. (Umweltbundesamt, 2012) dargestellt. Demnach war bei 59 % der Biogutkompostierungsanlagen <10.000 Mg/a bzw. 35% der Biogutkompostierungsanlagen ≥10.000 Mg/a die Nachrotte offen ausgeführt (Umweltbundesamt, 2012).

In der Erhebung 2017 gaben 61 % der Anlagenbetreiber (≥10.000 Mg/a) in den gewählten vier Bundesländern an, eine offene Nachrotte zu betreiben (Abbildung 40). Jeweils 13 % verfügten über eine überdachte und eingehauste Nachrotte. Weitere 13 % gaben an, über eine Kombination aus offen und überdacht zu verfügen. Ob die Diskrepanz primär auf unterschiedliche Betrachtungsebenen (Bundesebene versus vier Bundesländer) zurückzuführen ist oder was letztendlich die Gründe hierfür sind, lässt sich nicht abschließend erklären.

Ähnlich zur Intensivrotte gibt es auch bei der baulichen Gestaltung der Nachrotte regionale Unterschiede bei den befragten Anlagenbetreibern (Abbildung 41).

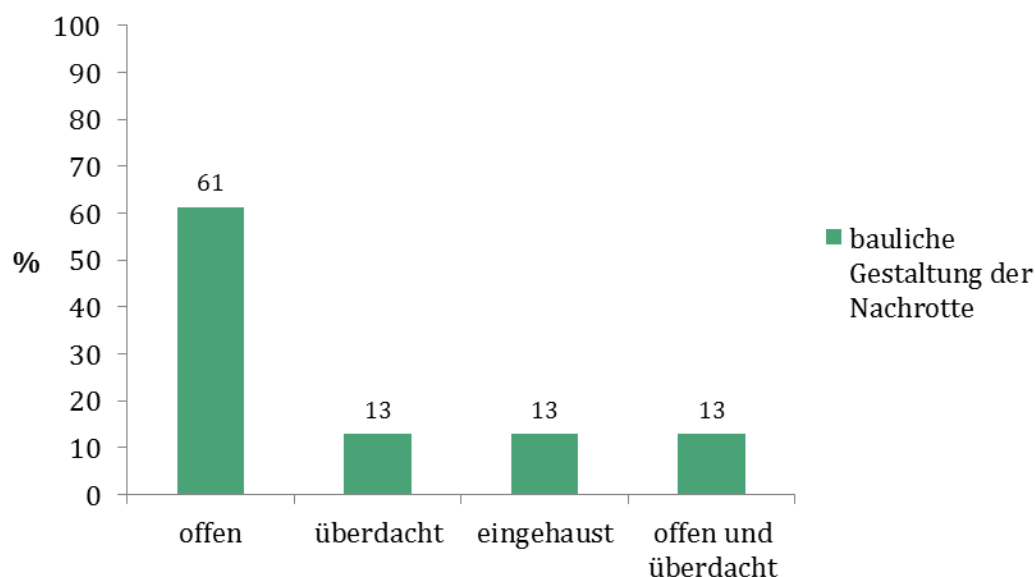
Während in Sachsen und Thüringen ca. drei Viertel der Anlagenbetreiber angaben, eine offene Nachrotte zu betreiben, waren es in Rheinland-Pfalz lediglich 33% bzw. in Hessen lediglich 38 %.

Abbildung 39: Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2009



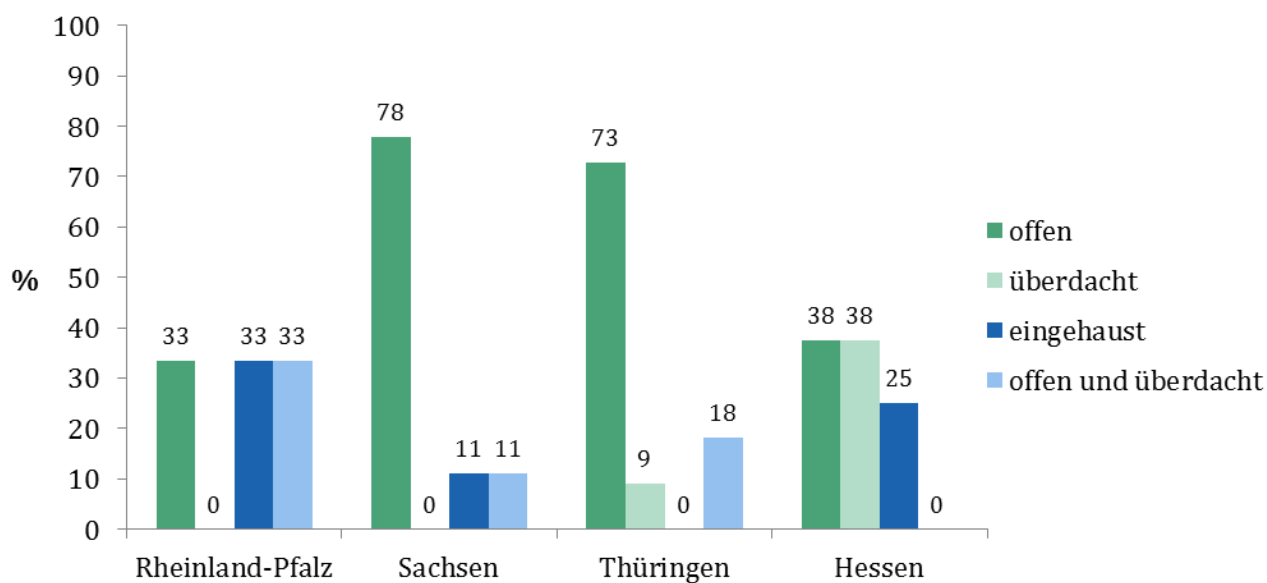
Daten entnommen aus (Umweltbundesamt, 2012) | Durchsatzbereich min. / max.: < 10.000 Mg/a / > 30.000 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 225 Anlagen | geschlossen: 71 Anlagen | überdacht: 18 Anlagen | offen: 114 Anlagen | k.A. bzw. nicht vorhanden: 22 Anlagen | < 10.000 Mg/a: 110 Anlagen | ≥ 10.000 Mg/a: 115 Anlagen

Abbildung 40: Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Abbildung 41: Bauliche Gestaltung der Nachrotte von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Technik der Abluftbehandlung

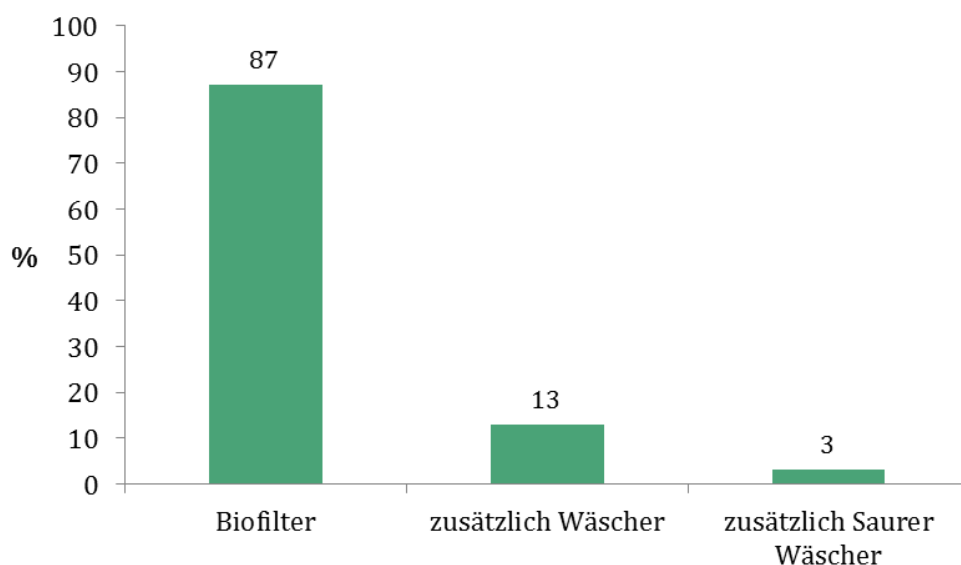
Die Abluftbehandlung mittels Biofilter und Wäscher stellt in Bezug auf die Anlagenhochwertigkeit von Biogutkompostierungsanlagen ein wichtiges Kriterium dar. Insbesondere Geruchsemissionen und Klimagase können mittels Abluftbehandlung vermieden werden.

Abbildung 42 verdeutlicht die prozentualen Anteile der eingesetzten Abluftbehandlungstechniken. Mit 87 % nutzt die Mehrheit der Biogutkompostierungsanlagen (≥ 10.000 Mg/a) Biofilter zur Reinigung

der Abluft. 13 % nutzen zusätzlich zum Biofilter noch einen Wäscher und 3 % (entspricht einer Anlage) geben an, zusätzlich noch einen Sauren Wäscher zu betreiben.

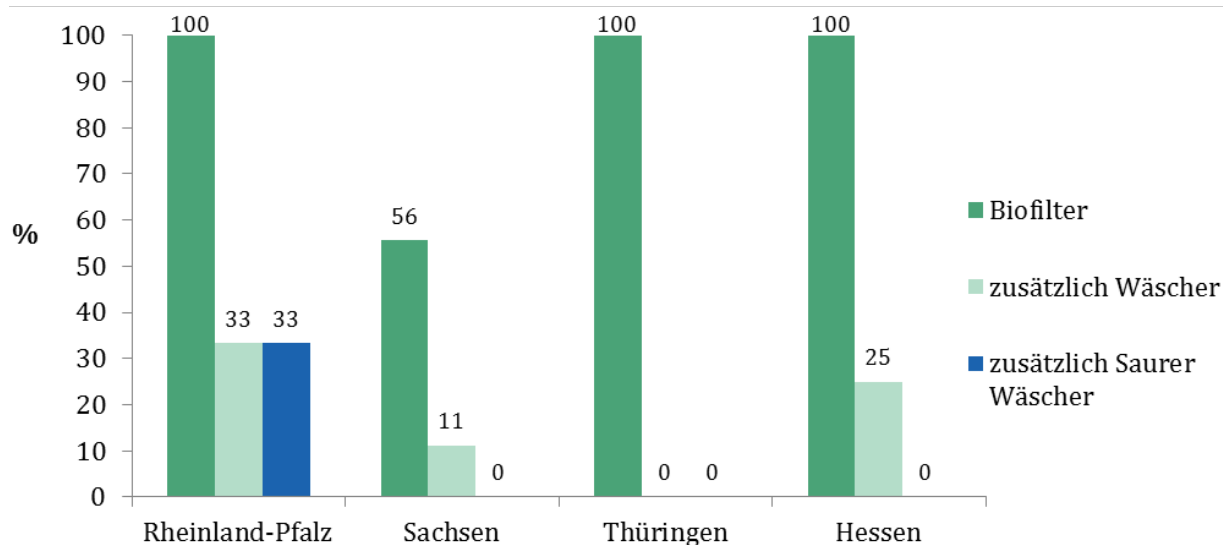
Aus Abbildung 43 geht die Verteilung des Einsatzes der Abluftbehandlungstechniken nach Bundesländern hervor. Lediglich eine Anlage in Rheinland-Pfalz gibt an ihre Abluft zusätzlich mittels eines Sauren Wäschers zu reinigen.

Abbildung 42: Bauliche Gestaltung der Abluftbehandlung von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

Abbildung 43: Bauliche Gestaltung der Abluftbehandlung von Biogutkompostierungsanlagen – regional, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Befragte Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen, Hessen | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 31 Anlagen

3.4.2 Fazit zur baulichen Ausführung von Biogutkompostierungsanlagen

Bauliche Ausführung des Anlieferbereichs

Die Anlieferbereiche aller befragten Bioabfallkompostierungsanlagen im Jahre 2009 waren bei 32 % geschlossen ausgeführt. 2017 lag der Anteil bei 56 %. Allerdings wurden 2017 nur Anlagen >10.000 Mg/a und lediglich die Anlagenbetreiber in den vier Bundesländern (Hessen, Rheinland-Pfalz, Thüringen und Sachsen) befragt. Zudem ist zu berücksichtigen, dass es erhebliche regionale Unterschiede gibt. Während in Rheinland-Pfalz und Hessen 100 % bzw. 75 % der Anlagen eingehaust ausgeführt wurden, waren es in Thüringen bzw. Sachsen lediglich 50 % bzw. 33 %.

In einer hochwertigen Biogutkompostierungsanlage ist der Anlieferbereich geschlossen auszuführen.

Das Kriterium der Hochwertigkeit ist nicht bei allen Anlagen erfüllt.

Es besteht, regional sehr unterschiedlich, Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der Materialaufbereitung

Die bauliche Ausführung der Materialaufbereitung ist vergleichbar mit denen der Anlieferung. Im Mittel der vier Bundesländer (>10.000 Mg/a) war bei 57 % der Anlagen der Aufbereitungsbereich eingehaust ausgeführt. Auch hier waren wieder deutliche regionale Unterschiede festzustellen. In Rheinland-Pfalz und Hessen waren 100 % bzw. 57 % der Anlagen eingehaust ausgeführt, in Thüringen bzw. Sachsen lediglich 50 % bzw. 44 %.

In einer hochwertigen Biogutkompostierungsanlage ist der Aufbereitungsbereich geschlossen auszuführen.

Das Kriterium der Hochwertigkeit ist nicht bei allen Anlagen erfüllt. Es besteht, regional sehr unterschiedlich, dringender Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der Intensivrotte

Die Intensivrotte der befragten Bioabfallkompostierungsanlagen im Jahre 2009 war bei 37 % geschlossen ausgeführt und bei 48 % offen. 2017 lag der Anteil der Anlagen (vier Bundesländer, >10.000 Mg/a) mit geschlossener Intensivrotte bei 68 %. Allerdings wurden auch hier große regionale Unterschiede festgestellt. Während in Rheinland-Pfalz und Hessen alle Anlagen eine geschlossene Intensivrotte hatten, waren es in Thüringen bzw. Sachsen lediglich 55 % bzw. 44 %. Hinzukamen 11 % bzw. 9 % mit Membranabdeckung.

In einer hochwertigen Biogutkompostierungsanlage ist die Intensivrotte geschlossen auszuführen.

Das Kriterium der Hochwertigkeit ist nicht bei allen Anlagen erfüllt.

Es besteht, regional sehr unterschiedlich, dringender Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Bauliche Ausführung der Nachrotte

Über eine eingehauste oder überdachte Nachrotte verfügen ca. ein Drittel aller befragten Biogutkompostierungsanlagen. Eine offene Ausführung der Nachrotte hatten 66 %.

Eine offene, nicht überdachte Nachrotte entspricht nicht den Anforderungen an die Hochwertigkeit. Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit nicht bei allen Anlagen erfüllt.

Es besteht Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

Technik der Abluftbehandlung

Die Verwendung eines Biofilters geben 87 % aller Biogutkompostierungsanlagen an, teilweise zusätzlich in Kombination mit einem Wäscher (13 %) bzw. Sauren Wäscher (4 %). Für den hochwertigen Betrieb einer Biogutkompostierungsanlage ist der Einsatz eines Biofilters zwingend erforderlich.

Somit ist das Kriterium der Hochwertigkeit bei dem überwiegenden Teil der Anlagen erfüllt.

Es besteht vereinzelt dringender Handlungsbedarf, die Defizite zu beheben.

3.5 Verwertung von Grüngut und holzigem Grüngut

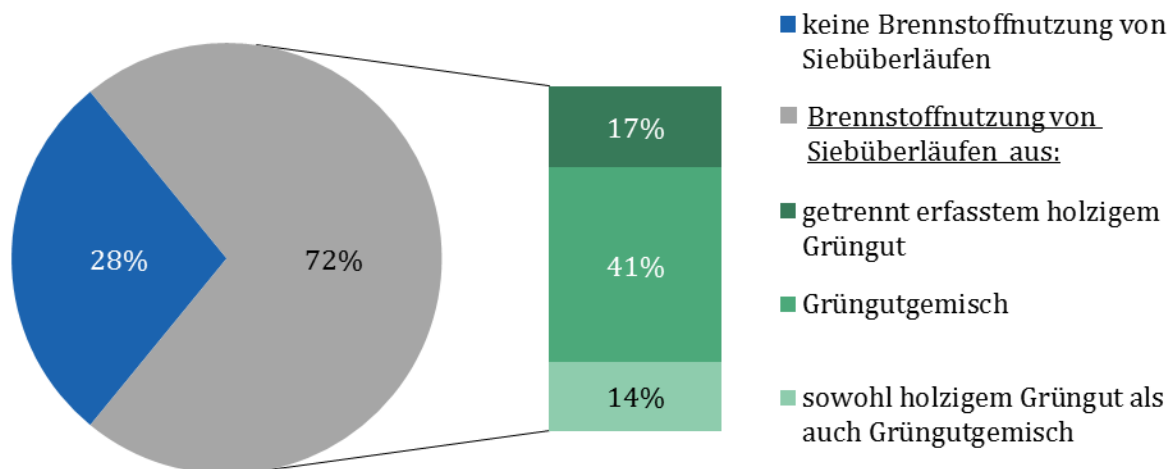
3.5.1 Hochwertigkeit der stofflichen und energetischen Verwertung

Dem Leitgedanken der hochwertigen Verwertung von Biogut entsprechend wird eine kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung d. h. entweder eine thermische Nutzung des holzigen Grünguts oder eine vorgeschaltete Vergärung von Teilchargen mit hohem Biogaspotenzial und eine nachgelagerte stoffliche Nutzung der Komposte (Mehrfachnutzung) angestrebt. In der Regel erfolgt eine Abtrennung des holzigen Grünguts bzw. bereits im Vorfeld eine getrennte Erfassung des holzigen Grünguts.

Die nachfolgende Auswertung basiert auf der Auswertung einer Befragung von allen 377 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zum Thema Grünguterfassung und -verwertung. Die Erhebung wurde im Rahmen des seit 2016 laufenden und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts „Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI)“ des Projektträgers Jülich durchgeführt. Hierbei kann auf Rückmeldungen von etwa 1/3 der deutschen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (118 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, 176 Anlagen) zurückgegriffen werden.

Abbildung 44 zeigt den Anteil an Grüngutbehandlungsanlagen von ca. 72 % die eine Brennstoffnutzung der holzigen Grüngutfraktion vornehmen. Bei 17 % wird bereits im Vorfeld der holzige Anteil separat erfasst, bei 41 % wird er aus dem Grüngutgemisch (holzig-krautig) abgetrennt und bei 14 % sowohl getrennt erfasst als auch aus dem Grüngutgemisch abgetrennt.

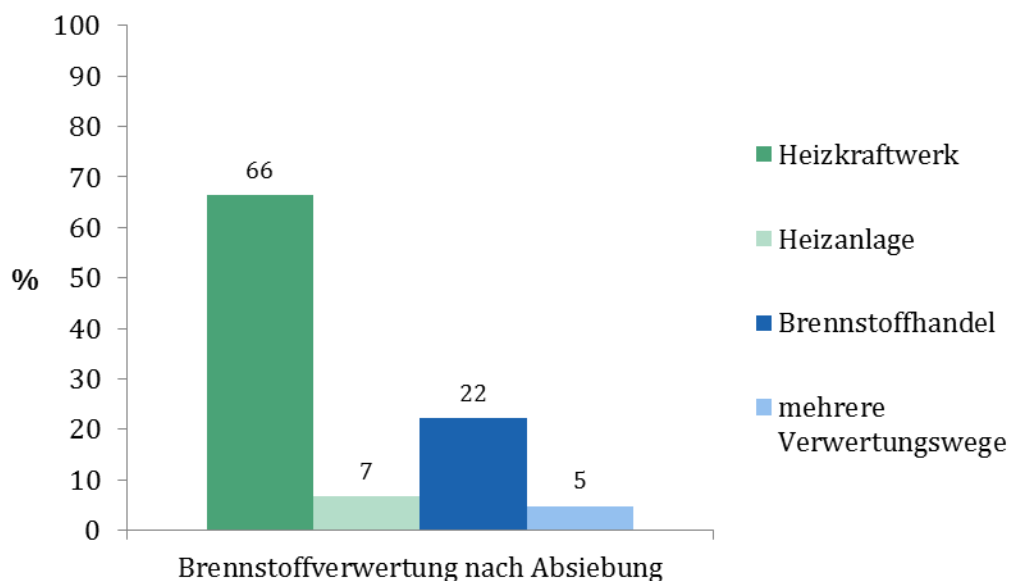
Abbildung 44: Brennstoffnutzung von Siebüberläufen, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grün-OPTI Befragung | Grundgesamtheit insgesamt: 167 Anlagen (örE)

Abbildung 45 zeigt die verschiedenen thermischen Nutzungswege für holziges Grüngut. Nach der ersten Absiebung werden ca. 66 % des holzigen Grüngutes in Heizkraftwerken verwertet. An zweiter Stelle steht der Brennstoffhandel (22 %), gefolgt vom Einsatz in Heizanlagen (7 %).

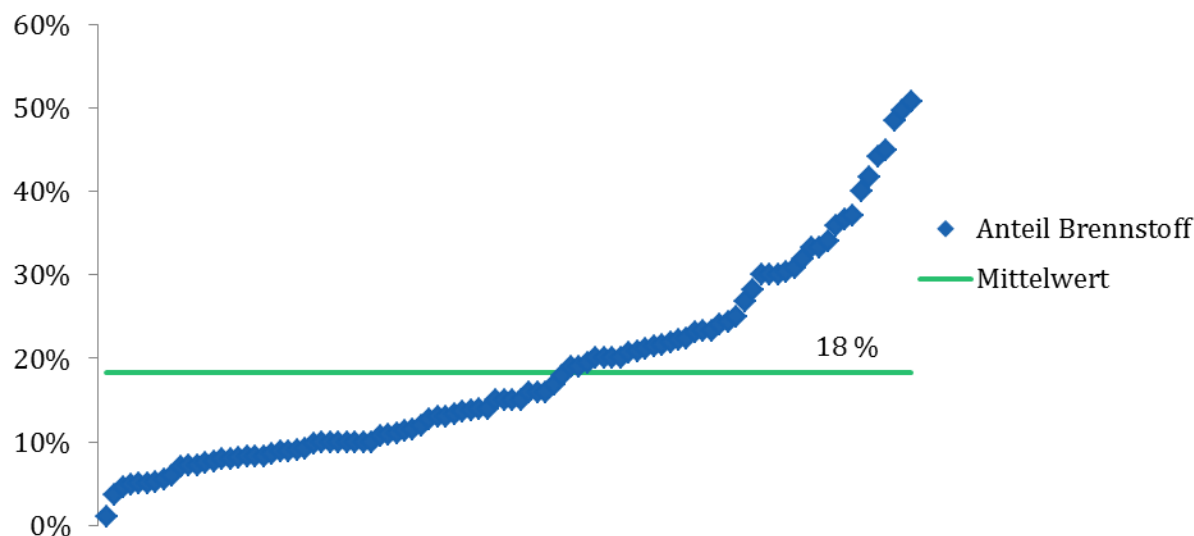
Abbildung 45: Brennstoffverwertung nach Brennstoffabsiebung aus Grüngut, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grün-OPTI Befragung | Grundgesamtheit insgesamt: 167 Anlagen (öRE)

Der Anteil der abgetrennten holzigen Fraktion schwankt von Anlage zu Anlage erheblich und liegt im Mittel bei ca. 18 % (Abbildung 46).

Abbildung 46: Anteil des abgesiebten Brennstoffs am Grüngutinput, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grün-OPTI Befragung | Grundgesamtheit insgesamt: 167 Anlagen (öRE)

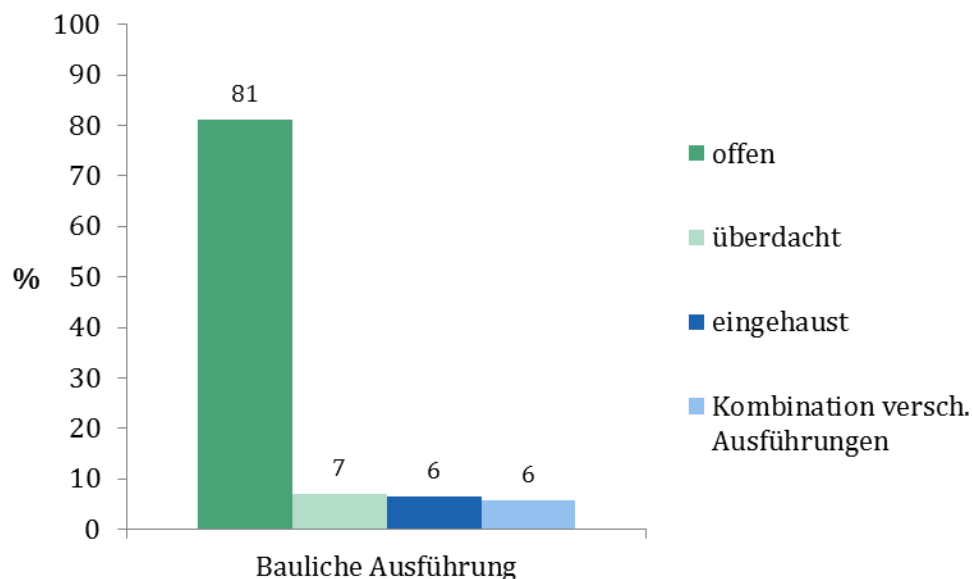
3.5.2 Bauliche Ausführung der Grüngutbehandlung

Zur hochwertigen Verwertung von Grüngut soll unter Berücksichtigung des örtlichen Niederschlagsprofils eine Überdachung der Rotteflächen zur kontrollierten Rotteführung sowie die Rotte in Dreiecks- oder Trapezmieten mit einer fachgerechten Mietengeometrie erfolgen.

Die meisten Kompostierungsanlagen, die vorwiegend Grüngut verwerten, sind offene Anlagen ohne Überdachung (81 %). Lediglich 7 % sind überdacht, 6 % geschlossen und 6 % in verschiedenen Kombinationen ausgeführt (Abbildung 47).

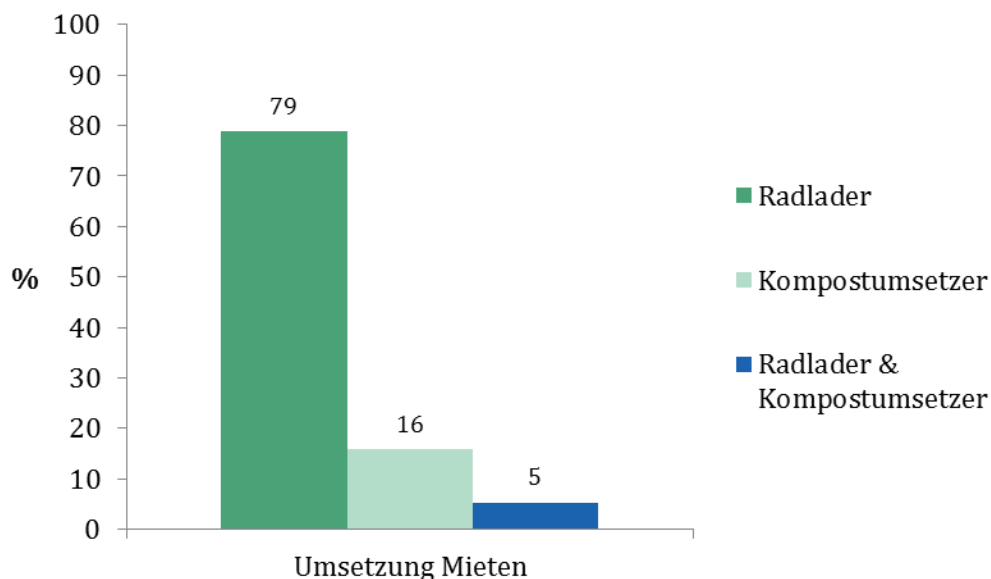
Abbildung 48 zeigt, dass 79 % der Anlagen die Grüngutmieten mittels Radlader umsetzen, lediglich 16 % setzen einen speziellen Kompostumsetzer ein.

Abbildung 47: Bauliche Ausführung der Grüngutkompostierung, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grün-OPTI Befragung | Grundgesamtheit insgesamt: 155 Anlagen (öRE)

Abbildung 48: Umsetzung der Kompostmieten, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grün-OPTI Befragung | Grundgesamtheit insgesamt: 155 Anlagen (öRE)

3.5.3 Fazit zur Verwertung von Grüngut und holzigem Grüngut

Die hochwertige Verwertung von Grüngut beinhaltet eine kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung (thermische Nutzung des holzigen Grünguts oder eine vorgeschaltete Vergärung von Teilchargen sowie stoffliche Nutzung des erzeugten Komposts). Hierbei soll sich die energetische Nutzung der grobstückigen Fraktion nur auf den holzigen Teil beschränken. Vor allem muss sichergestellt sein, dass noch genügend Strukturmaterial für einen ordnungsgemäßen Rottebetrieb des zu kompostierenden Grünguts oder auch zur Nachrotte der Gärrückstände aus der Biogutverwertung verbleibt.

Nach Vorgaben der Bioabfallverordnung sind im Rahmen der Kompostierung holzige Materialien so zu zerkleinern oder der Kompost so ab zu sieben, dass im Kompost keine stückigen Materialien über 40 mm Siebmaschenweite enthalten sind. In der Regel wird der Siebüberlauf als Brennstoff vermarktet. Bei ca. 72 % der befragten öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger wird holziges Grüngut abgetrennt bzw. direkt separat gesammelt und energetisch verwertet. Über 70 % des holzigen Grünguts wird in Heizkraftwerken oder Heizwerken direkt genutzt. Weitere 22 % werden über den Brennstoffhandel vermarktet.

Im Hinblick auf eine hochwertige Verwertung nährstoffarmer Komposte aus Grüngut, sollte die Aus-sortierung der holzigen Anteile zur energetischen Verwertung nach dem Rotteprozess erfolgen. Damit verbliebe der maximale holzige Anteil im Kompost und die Brennstofffraktion wäre vorgetrocknet.

Der mittlere Anteil an abgetrenntem holzigem Grüngut liegt bei 18 %. Insofern ist davon auszugehen, dass i. d. R. noch genügend Strukturmaterial für den Rottebetrieb im Material verbleibt. Allerdings können bei einzelnen Anlagen, die über 40 % holziges strukturreiches Material abtrennen, Konflikte mit dem ordnungsgemäßen Rottebetrieb entstehen.

Zur Sicherstellung einer hochwertigen Verwertung sind ein Vernässen des Grünguts und die Ausbildung von anaeroben Zonen zu verhindern. Je nach Material und Niederschlagsstruktur (Menge und Verteilung) ist dies durch eine Überdachung der Rotte sicherzustellen.

Die bauliche Ausführung der Rotte ist i. d. R. offen konzipiert (81%). 79 % der Anlagen setzen die Kompostmieten mit dem Radlader um.

Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob die standortspezifischen Rahmenbedingungen eine offene Rotte zulassen oder ob hier Defizite vorliegen.

3.6 Hochwertige Verwertung von Kompost

3.6.1 Komposte und Verwertungswege aus der Bio- und Grüngutbehandlungsanlagen

Komposte werden je nach Zusammensetzung und Dauer beziehungsweise Intensität der Rotte in die drei Kategorien Frischkompost, Fertigkompost sowie Substratkompost eingeteilt.

Frischkompost bezeichnet einen hygienisierten jedoch nicht vollständig ausgereiften Kompost mit einem Rottegrad von II oder III. Die Dauer der Kompostierung liegt für Frischkompost bei zwei bis sechs Wochen. Der Kompost enthält noch Anteile leicht abbaubarer organischer Substanz, wodurch die mikrobielle Aktivität des Bodens gefördert wird. Zum Einsatz kommen Frischkomposte überwiegend zur Bodenverbesserung und Düngung in der Landwirtschaft.

Bei **Fertigkompost** handelt es sich um einen hygienisierten, biologisch stabilisierten und ausgereiften Kompost mit einem Rottegrad von IV oder V. Die Rottedauer liegt hier zwischen fünf und zwölf Wochen. Fertigkompost enthält höhere Anteile an stabilen Humusstoffen, welche als Dauerhumus zur Bodenverbesserung beitragen. Zudem verfügt er über alle für die Düngung wichtigen Pflanzennährstoffe.

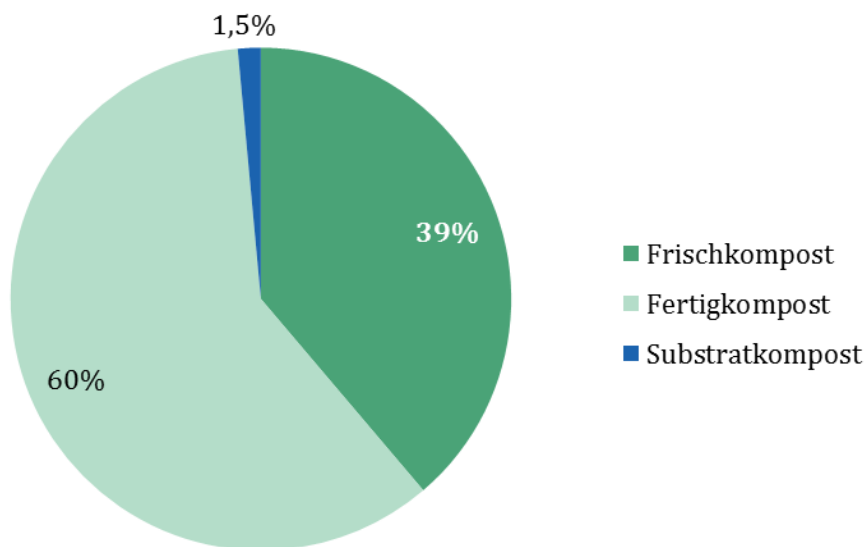
Fertigkompost mit begrenzten Gehalten an löslichen Pflanzennährstoffen wird als **Substratkompost** bezeichnet. Dieser wird in feinkörnigen Siebungen von 0 bis 10 mm abgesetzt. Verwendung finden

Substratkomposte hauptsächlich in Erdenwerken bei der Herstellung von Pflanz- und Blumenerden (Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V.).

Vor dem Hintergrund einer hochwertigen Verwertung sollen möglichst Produkte auf Basis primärer Rohstoffe substituiert werden, die hohe negative ökologische Auswirkungen in der Produktion und Anwendung haben. Demzufolge ist die Substitution von Torf und Torfprodukten am hochwertigsten. In der Regel können Torfprodukte in Pflanz- und Blumenerden nur durch Fertigkomposte substituiert werden.

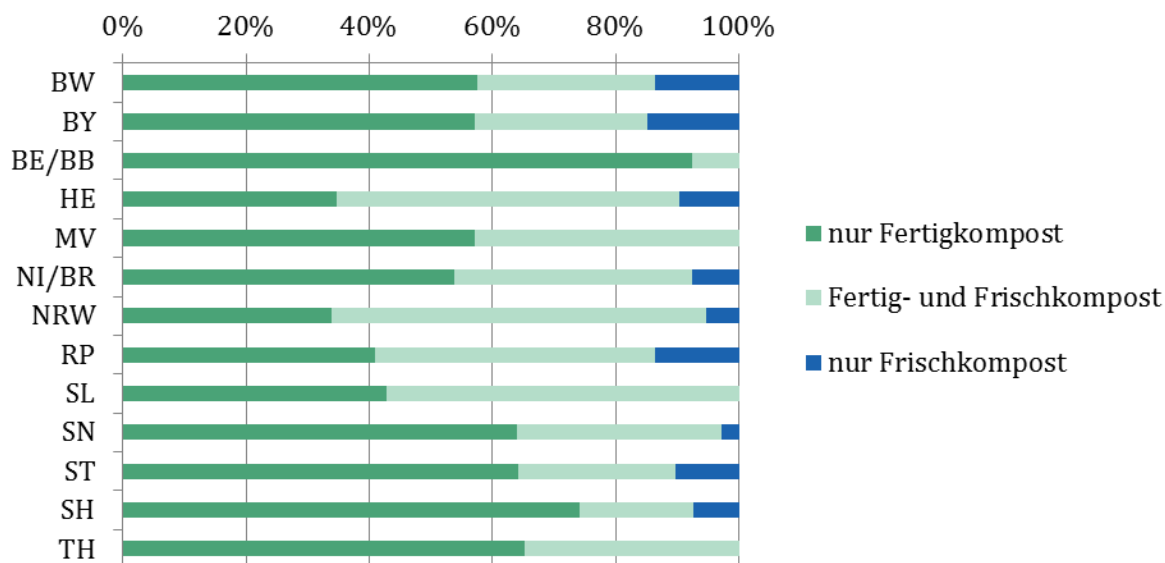
Abbildung 49 zeigt die Anteile der drei Komposttypen an der in gütegesicherten Kompostierungsanlagen produzierten Gesamtmenge Kompost für das Jahr 2016. Mit rund 60 % bildet Fertigkompost den größten Anteil. 39 % der erzeugten Kompostmenge waren Frischkomposte, während Substratkompost mit rund 1,5 % bezogen auf die Menge eine untergeordnete Rolle spielte.

Abbildung 49: Produzierte gütegesicherte Komposte differenziert nach Komposttyp, Stand 2016



(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) | Kompostierungsinput: 6,96 Mio. Tonnen

Abbildung 50: Produktion von gütegesicherten Frisch- bzw. Fertigkomposten in den einzelnen Bundesländern im Jahr 2016

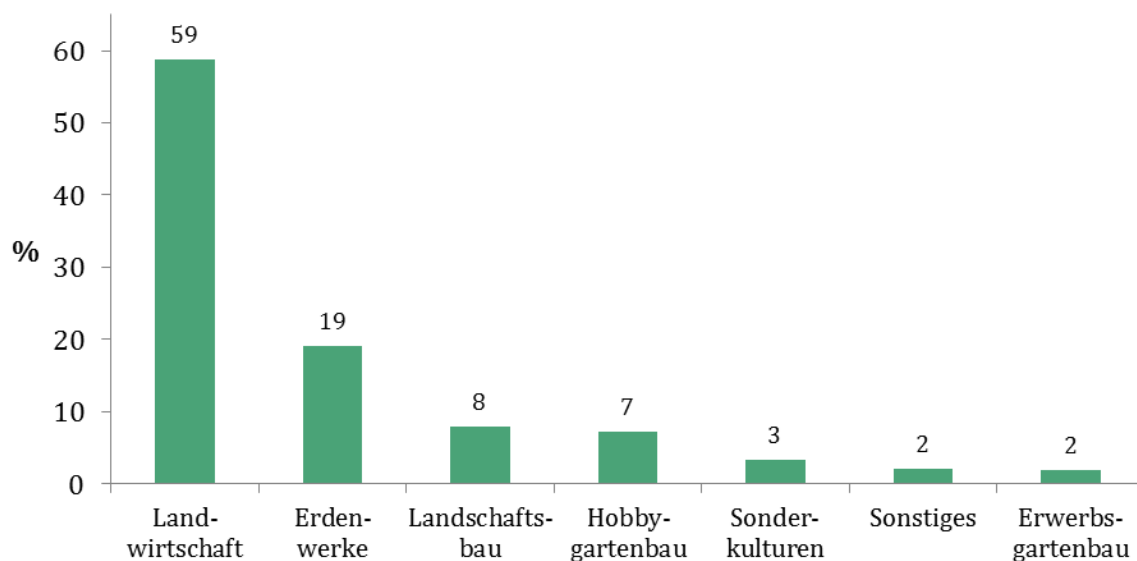


(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) | Grundgesamtheit insgesamt: 527 güteges. Anlagen | BW: 73; BY: 107; BE/BB: 26; HE: 52; MV: 7; NI/BR: 52; NRW: 56; RP: 22; SL: 7; SN: 36; ST: 39; SH: 27; TH: 23

Der Anteil der erzeugten Kompostarten fällt in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich aus (Abbildung 50). So wird beispielsweise in Berlin/Brandenburg in ca. 90 % der Anlagen Fertigkompost erzeugt. In NRW liegt der Anteil an Anlagen, die ausschließlich Fertigkompost erzeugen, lediglich bei 34 %.

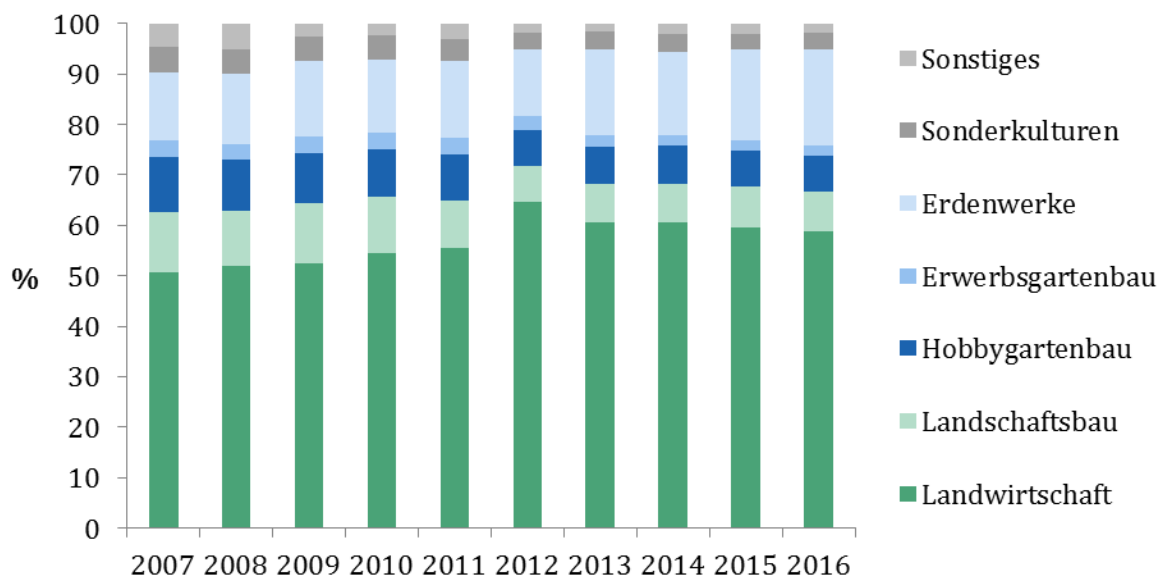
Mit Hinblick auf die Hochwertigkeit der Verwertung ist der Einsatzbereich des produzierten Komposts von Bedeutung. Abbildung 51 zeigt die Verwertungswege der gütegesicherten Komposte im Jahr 2016. Der größte Anteil, 59 % der Komposte, wird hierbei in der Landwirtschaft verwertet. 19 % der Komposte werden in Erdenwerken weiter aufbereitet und hochwertig verwertet. Danach folgen Landschaftsbau (8 %), Hobbygartenbau (7 %) sowie Sonderkulturen.

Abbildung 51: Vermarktungswege gütegesicherter Komposte, Stand 2016



(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) |

Abbildung 52: Vermarktungswege gütegesicherter Komposte für den Zeitraum 2007–2016



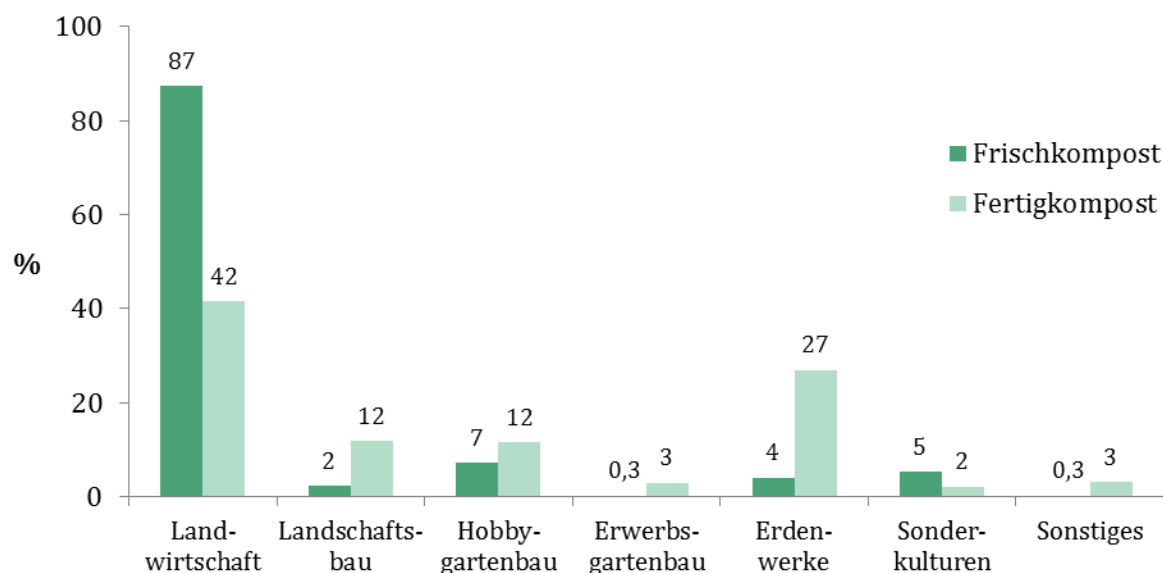
(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) |

Abbildung 52 zeigt die Vermarktungswege für gütegesicherte Komposte für den Zeitraum 2007 bis 2016. Hierbei wird deutlich, dass sowohl der Einsatz in der Landwirtschaft als auch der Einsatz in Erdenwerken leicht zugenommen hat.

In Abbildung 53 sind hierzu die Anteile der unterschiedlichen Verwertungswege für Kompost, differenziert nach Frisch- und Fertigkompost, dargestellt. Es lassen sich deutliche Unterschiede zwischen Frisch- und Fertigkompost erkennen. Mit rund 87 % wird ein Großteil der erzeugten Frischkomposte in der Landwirtschaft verwertet. Für Fertigkompost liegt dieser Anteil dagegen nur bei etwa 42 %. Fertigkompost wird tendenziell eher auf hochwertigeren Wegen in der Erdenproduktion verwertet. So liegt etwa der Anteil, welcher in Erdenwerke gelangt, mit rund 27 % wesentlich höher als der Anteil

des Frischkomposts. Ähnlich sieht es in den Bereichen Landschaftsbau sowie Hobbygartenbau aus. Im Erwerbsgartenbau sowie für sonstige Zwecke wird nahezu kein Frischkompost eingesetzt.

Abbildung 53: Verwertungswege gütegesicherter Frisch- und Fertigkomposte, Stand 2016



(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.) | Kompostierungsinput: 6,96 Mio. Tonnen

Tabelle 8 zeigt die Vermarktungswege von gütegesicherten Frisch- und Fertigkomposten differenziert nach den verschiedenen Bundesländern. Hierbei zeigen sich deutliche Unterschiede. Beispielsweise schwankt der Anteil an Komposten, die in Erdenwerken vermarktet werden, zwischen 36,8 % (Bayern) und 3,0 % (Sachsen-Anhalt). Umgekehrt werden in Sachsen-Anhalt Spitzenwerte bei der landwirtschaftlichen Verwertung (90,6 %) erreicht. Der geringste Anteil an Komposten, die in der Landwirtschaft verwertet werden, ist in Bayern mit 40,2 % zu finden.

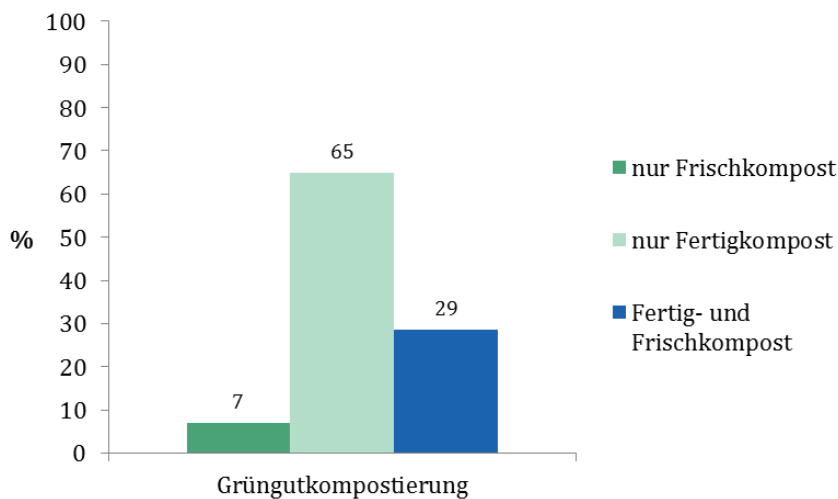
Tabelle 8: Vermarktung von gütegesicherten Frisch- und Fertigkomposten in den einzelnen Bundesländern 2016

Bundesland	Erdenwerk	Erwerbsgartenbau	Hobbygartenbau	Landschaftsbau/ Rekultivierung	Landwirtschaft	Sonderkulturen	Sonstiges
BW	19,5%	4,4%	13,0%	8,0%	44,9%	6,2%	4,0%
BY	36,8%	2,5%	9,2%	6,3%	40,2%	2,4%	2,6%
BE/BB	11,6%	2,1%	10,1%	19,0%	54,4%	0,6%	2,2%
HE	6,0%	1,4%	5,8%	8,5%	76,2%	0,0%	2,1%
MV	4,1%	0,0%	1,1%	33,8%	60,7%	0,0%	0,4%
NI/BR	26,1%	1,5%	9,4%	8,0%	52,2%	1,0%	1,8%
NRW	8,2%	1,6%	3,9%	7,7%	71,7%	5,4%	1,5%
RP	19,2%	1,1%	5,7%	2,3%	49,3%	22,0%	0,5%
SL	7,0%	0,2%	10,1%	31,4%	44,6%	4,7%	2,1%
SN	17,1%	2,3%	8,1%	16,9%	54,7%	0,2%	0,7%
ST	3,0%	0,7%	2,9%	2,9%	90,6%	0,0%	0,0%
SH	12,0%	2,0%	6,1%	10,5%	66,6%	0,0%	2,9%
TH	30,9%	0,1%	8,8%	4,5%	54,9%	0,0%	0,8%

(Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.)

Abbildung 54 beinhaltet die prozentualen Anteile der Grüngutkompostierungsanlagen bezüglich ihrer Erzeugung von Frisch- und Fertigkompost. Die Darstellung basiert auf Daten der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., entsprechend sind nur Anlagen mit RAL-Gütekennzeichnung enthalten. Anders als bei den betrachteten Biogutkompostierungsanlagen, produziert der größte Anteil der Grüngutkompostierungsanlagen ausschließlich Fertigkompost. 29 % der betrachteten Anlagen erzeugen sowohl Fertig- als auch Frischkompost und ein kleiner Anteil von 7 % setzt ausnahmslos Frischkompost ab.

Abbildung 54: Produzierte Komposte von Grüngutkompostierungsanlagen ≥ 1.000 Mg/a, Stand 2016

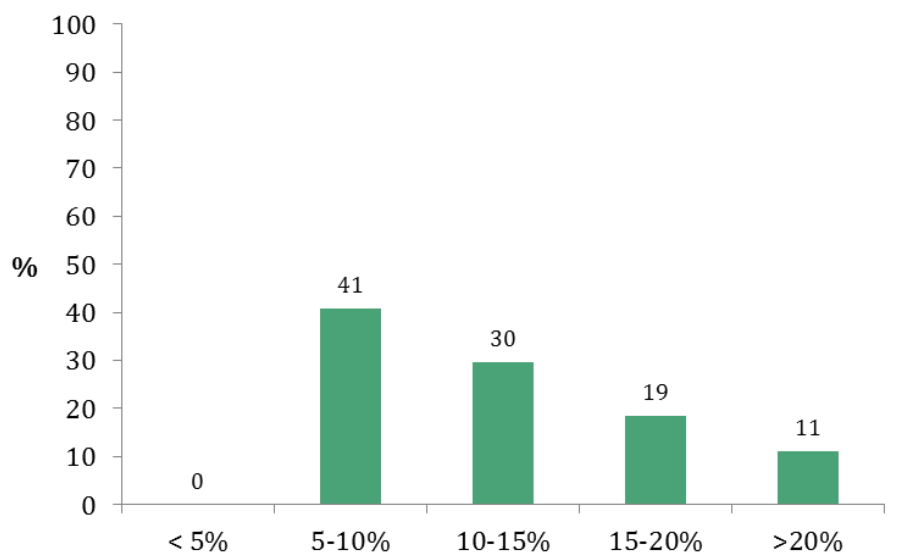


(Witzenhausen-Institut) | Grundgesamtheit insgesamt: 246 Anlagen

3.6.2 Verwertung von Siebüberläufen – Biogutkompostierungsanlagen

Der Anteil des ausgeschleusten Siebüberlaufs am Gesamtinput von Biogutkompostierungsanlagen 2017 ist in Abbildung 55 auf der Grundlage der Befragung der Biogutkompostierungsanlage in den vier Bundesländern mit mehr als 10.000 Mg/a Durchsatz dargestellt. Bei 41% der Anlagen liegt der Siebüberlauf zwischen 5 bis 10 % des Inputs, bei 30 % zwischen 10 % und 15 % und bei 11 % sogar über 20 %.

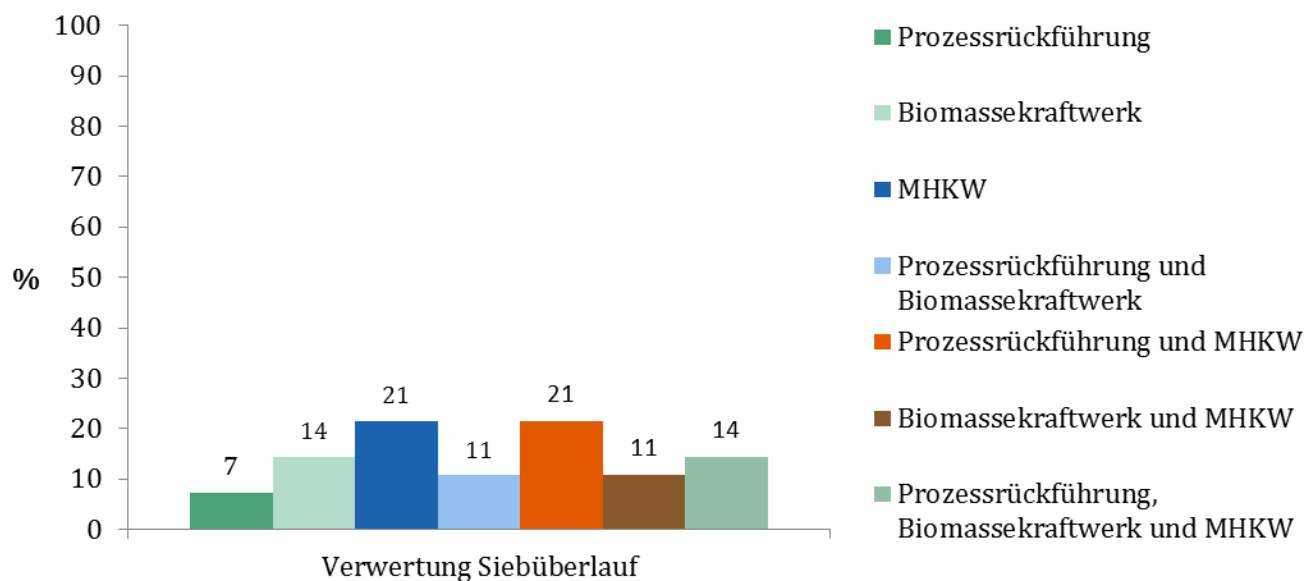
Abbildung 55: Anteil des ausgeschleusten Siebüberlaufs am Gesamtinput von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Grundgesamtheit insgesamt: 27 Anlagen

Abbildung 56 zeigt die Verwertungswege der Siebüberläufe von den Biogutkompostierungsanlagen in den vier Bundesländern. Hierbei wird deutlich, dass ca. 45 % des Siebüberlaufs in Verbrennungsanlagen geht (14 % Biomassekraftwerk, 22 % MHKW und 11 % Biomassekraftwerk und MHKW). Bei 7 % der Anlagen wird der gesamte Siebüberlauf wieder in den Prozess zurückgeführt und bei 48 % werden Teilströme sowohl in den Prozess zurückgeführt als auch energetisch verwertet.

Abbildung 56: Verwertung der Siebüberläufe von Biogutkompostierungsanlagen, Stand 2017



(Witzenhausen-Institut) | Kapazität min. / max.: 10.000 Mg/a / 87.500 Mg/a | Grundgesamtheit insgesamt: 28 Anlagen

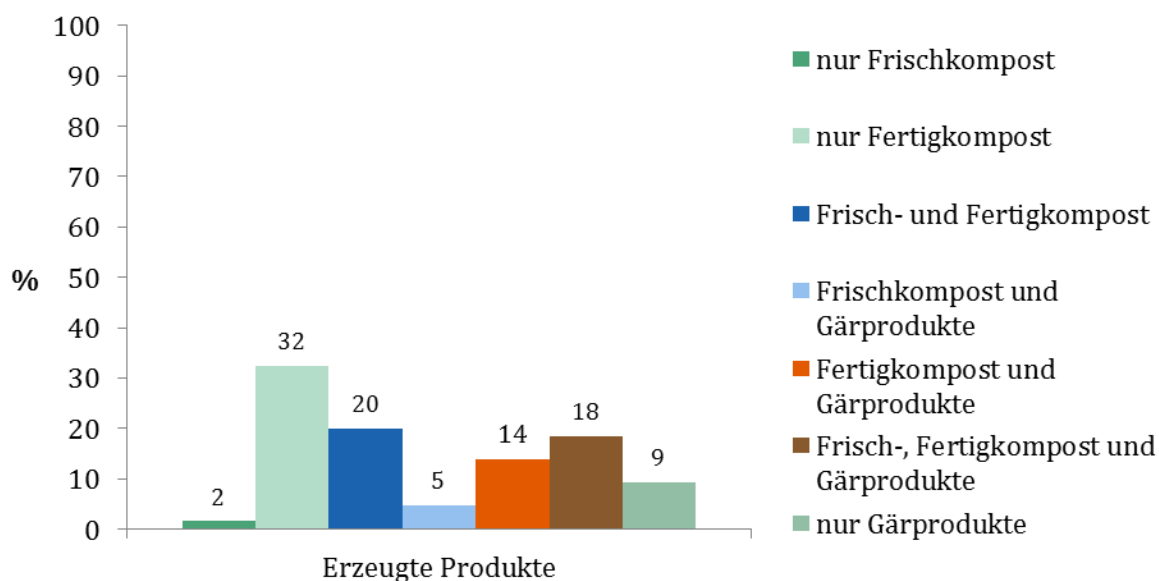
3.6.3 Komposte und Gärreste von Biogutvergärungsanlagen

Abbildung 57 zeigt die prozentualen Anteile der Biogutvergärungsanlagen gemäß ihrer Erzeugung unterschiedlicher Kompostprodukte. Die Darstellung basiert auf Daten der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., weshalb nur RAL-gütegekennzeichnete Anlagen enthalten sind. Es lässt sich feststellen, dass ein großer Teil der Anlagen nur Fertigkompost beziehungsweise Frisch- und Fertigkompost produziert. Ein kleiner Teil der Anlagen erzeugt sowohl Frischkompost als auch Gärreste (flüssig) zur Vermarktung, während rund 14 % der betrachteten Anlagen neben den Gärreste auch Fertigkompost absetzen. Rund ein Fünftel der Anlagen produzieren alle drei hier betrachteten Kompostprodukte. Der Anteil der Biogutvergärungsanlagen, welcher ausschließlich Gärreste vermarktet, liegt bei rund 13 %. Vernachlässigbar ist der Teil der Anlagen, die nur Frischkompost als Produkt erzeugen.

Flüssige Gärreste entstehen i. d. R. bei der Nass- und bei der Pflropfenstromvergärung. Bei der Boxenvergärung entsteht i. d. R. kein flüssiger Gärrückstand. Meist verbleibt bei der Boxenvergärung ein flüssiger Perkolatüberschuss, der in regelmäßigen Abständen landwirtschaftlich verwertet oder entsorgt werden muss. Der Fermenteraustrag aus der Nass- und Pflropfenstromvergärung kann anschließend durch eine Fest-/Flüssigtrennung in einen festen, kompostierbaren und einen flüssigen Gärrückstand weiter unterteilt werden. Unter Verzicht auf eine Fest-/Flüssigtrennung kann der Fermenteraustrag aus der Nassvergärung, unter der Voraussetzung, dass eine Hygienisierung nachgewiesen wurde, auch vollständig als flüssiger Gärrückstand vermarktet werden. Bei der Pflropfenstromvergärung kann bei Verzicht auf eine Fest-/Flüssigtrennung der Fermenteraustrag mit frischem Bio- und Grüngut angereichert werden (Teilstromvergärung) bis ein strukturreiches und belüftbares Material entsteht, das anschließend kompostiert wird.

Auf der Grundlage der Daten des Biogas-Atlas 2014/15 (Kern & Raussen, 2014) wurden ca. 270.000 Mg flüssiger Gärrückstand in die Landwirtschaft vermarktet. Hierbei handelte es sich zu über 80 % um RAL-gütesicherte Gärrückstände. Bezogen auf den gesamten Input (Fermenterinput) von 1,14 Mio. Mg entspricht dies einer Quote von ca. 23 % flüssigem Gärrückstand.

Abbildung 57: Erzeugte Produkte von Biogutvergärungsanlagen, Stand 2016



(Witzenhausen-Institut) | Grundgesamtheit insgesamt: 65 Anlagen

3.6.4 Fazit hochwertige Verwertung von Komposten

Erzeugung von Fertigkompost

Aus Gründen der hochwertigen stofflichen Verwertung ist ein hochwertiges Kompostprodukt (Fertigkompost) anzustreben. Somit sollte die Fertigkomposterzeugung mit dem Ziel eines weiteren Ausbaues des Einsatzes in Erdenwerken weiterentwickelt werden. Allerdings ist die Erzeugung eines Fertigkompostes noch kein Garant für die Verwertung in der Erdenindustrie, wie die Daten deutlich belegen. Von den ca. 60 % erzeugtem gütegesichertem Fertigkompost gehen ca. 19 %-Punkte in die Erdenindustrie.

Sowohl bei der Biogutkompostierung als auch bei der Biogutvergärung wird zu einem großen Teil Fertigkompost erzeugt. Bei der Vergärung ist allerdings zu berücksichtigen, dass Teilströme direkt als flüssiger Gärrückstand landwirtschaftlich verwertet werden und somit nicht für eine weitere aerobe Behandlung zur Verfügung stehen. Zudem spielt insbesondere bei der Vergärung für die weitere Feinaufbereitung der TS-Gehalt (Restfeuchte) eine entscheidende Rolle, da nur bei einem TS zwischen 50 bis 60 % ein Absieben und damit eine weitere Fremdstoffentfrachtung möglich ist. Der Rottegrad spielt vor diesem Hintergrund eher eine untergeordnete Rolle. Bei dem überwiegenden Teil der Anlagen wird aber sowohl Fertig- als auch Frischkompost erzeugt.

Der Anteil an Frisch- und Fertigkompost wird neben anlagentechnischen Voraussetzungen wesentlich auch von den regionalen und jahreszeitlichen Marktbedingungen sowie der Anlagenkapazitäten vor Ort bestimmt. Besteht ein Behandlungsdruck als Folge eines großen Mengenaufkommens (in der Vegetationszeit) wird vorrangig Frischkompost erzeugt. Sind Behandlungskapazitäten vorhanden sowie liegt ein ungünstiges Marktumfeld vor, wird vorrangig Fertigkompost produziert.

Da die Anlagen i. d. R. langfristig Absatzmärkte entwickeln, orientieren sich der erzeugte Rottegrad und die Kompostqualität vorrangig an den zur Verfügung stehenden Märkten.

Vor dem Hintergrund der düngerechtlichen Begrenzung der Nährstoffausbringung von organisch-mineralischen Düngern sowie der Anforderungen an die maximal zulässigen Fremdstoffgehalte wird die gegenwärtige Diskussion zur Kompostvermarktung mehr durch die grundsätzliche Frage der potenziell vorhandenen Märkte als die Frage der hochwertigen Verwertung geprägt. Hierbei spielt die landwirtschaftliche Verwertung eine wesentliche Rolle.

Daher wird der ökologische Landbau zukünftig ein wichtiges Marktsegment sein. Auch hier wird fast ausschließlich nur Fertigkompost absetzbar sein. Neben der Rottequalität spielt hier aber insbesondere die Kompostqualität (sehr geringe Fremdstoffbelastung) eine noch entscheidendere Rolle.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Vermarktungssituation für Komposte zumindest regional durch Verwertungsengpässe durch verschiedenen Konkurrenzprodukten (Wirtschaftsdünger, Gärrückstände aus NawaRo-Biogasanlagen u. a.) geprägt ist, sodass für viele Anlagenbetreiber sowohl von Kompostierungs- als auch von Vergärungsanlagen die Frage der grundsätzlichen Verwertung der Komposte und Gärreste vor der Frage der hochwertigen Verwertung steht.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb der Branche die hochwertige Verwertung der Komposte weiter gesteigert werden kann, hierzu sind aber insbesondere weitere Qualitätssteigerungen der Komposte durch Reduzierung der Fremdstoffgehalte notwendig.

4 Typische Maßnahmen in der Prozess- und Aufbereitungskette zur Reduzierung des Stör- und Fremdstoffanteils

„Am Ende anfangen!“ – Getreu diesem Leitsatz ist die stoffliche Verwertung der in Biogutvergärungsanlagen erzeugten Produkte eine wesentliche Grundlage für Anlagenplanung und -betrieb. Basis für die stoffliche Verwertung ist die hohe Qualität der erzeugten Produkte. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Gehalt an Fremdstoffen, wie Kunststoffe und Glasscherben. Gesteigerte Brisanz erhält dieses Thema vor allem aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen und den damit einhergehenden verschärften Anforderungen.

Der Fremdstoffanteil in den Endprodukten entsteht im Regelfall bereits ganz am Anfang der Verwertungskette, nämlich durch die entsprechenden Fehlwürfe bei der häuslichen Erfassung des Bioguts. Wesentlicher Bestandteil einer Strategie zur Fremdstoffreduktion ist demzufolge die Intensivierung der Abfallberatung und Aufklärung der Bürger. Ohne eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit, Anreize und Kontrolle ist eine hinreichende Inputqualität für die stoffliche Nutzung des Bioguts nicht zu erreichen.

Weitere Elemente der Fremdstoffreduktion sind technische Verfahren im Zuge diverser Verarbeitungsschritte, die eine Ausschleusung der noch verbleibenden Fremdstoffe ermöglichen. In der Praxis kommt es dabei immer wieder zu einer unzureichenden Fremdstoffabscheidung, vor allem bei der Herstellung von Kompost aus Gärrückständen. Nach Erfahrung der Autoren ist hierbei eine entscheidende Stellschraube das Feuchtemanagement im Kompostierungsprozess. Nur wenn das Material vor der Konfektionierung (vor allem Siebung) ausreichend trocken ist, kann eine Fremdstoffabscheidung in befriedigender Weise gelingen. Dies sowie weitere technische Möglichkeiten und Lösungen sind der Schwerpunkt des Kapitels.

4.1 Hintergrund

Bereits seit Längerem steht die Verunreinigung des Bioguts mit Fremdstoffen und der damit einhergehende Fremdstoffgehalt in den erzeugten Produkten Kompost und flüssige Gärreste im Fokus der Behandlungs- und Verwertungsbranche.

Fremdstoffe beeinflussen i.d.R. die Produktqualität und sind daher schlussendlich vor der Vermarktung des Frisch- oder Fertigkompostes abzutrennen. Demgegenüber sind Störstoffe, die i.d.R. zu prozesstechnischen Störungen und Problemen führen können, bereits vor oder während des Verfahrensablaufs abzutrennen. Dabei müssen nicht zwangsläufig alle Fremdstoffe auch Störstoffe sein und umgekehrt. So kann beispielsweise Inertmaterial wie Sand in einer Behandlungsanlage als Störstoff zu prozesstechnischen Problemen wie etwa Sedimentation in Fermentern führen, hat jedoch auf die Produktqualität keinen signifikanten Einfluss. Im Folgenden werden nur Fremdstoffe betrachtet. Fremdstoffe sind daher i.d.R. Steine, Keramik, Glas, Eisen- und Nichteisenmetalle, Kunststoffe und Kunststofffolien sowie Papier, Pappe und Kartonage (PPK), falls dieses im Behandlungsprozess nicht abgebaut wird.

Die Thematik hat sich aktuell aufgrund der Novelle der Düngemittelverordnung verschärft. Statt des bisher geltenden Grenzwertes für den zulässigen Fremdstoffanteil im Produkt Kompost oder Gärrückstandsdünger ($< 0,5$ Gew.-% TM) wurden zwei Grenzwerte eingeführt. Die Gesamtsumme bleibt unverändert, allerdings nun aufgeteilt nach nicht abgebauten (weichen) Kunststoffen mit $< 0,1$ Gew.-% TM und andere Fremdstoffe (Glas, Metall, Hartplastik, Steine, Papier) mit $< 0,4$ Gew.-% TM.

Auch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) misst dem Thema Fremdstoffvermeidung im Biogut große Bedeutung bei. So werden auch die Anforderungen an die gütegesicherten Produkte er-

höht. Die Flächensumme der ausgelesenen Fremdstoffe, als Indikator für den optischen Verunreinigungsgrad, wird von 25 cm²/l Prüfsubstrat auf 15 cm²/l Prüfsubstrat abgesenkt. Dafür wird eine Übergangsfrist bis zum 30. Juni 2018 vorgesehen.

Aus den Auswertungen der BGK geht hervor, dass insbesondere Komposte aus Biogutvergärungsanlagen bereits heute Schwierigkeiten haben die Grenzwerte einzuhalten. Ursache hierfür ist, dass mitunter Biogut mit Fremdstoffanteile von 5 Gew.-% und mehr bei den Verwertungsanlagen angeliefert wird. Für die energetische Nutzung ist dies sekundär, aber die ebenso wichtige stoffliche Nutzung der erzeugten Produkte ist mit so hohen Fremdstoffanteilen nicht möglich. Dies bedeutet, dass im Behandlungsprozess über 99 % der Fremdstoffe abgetrennt werden müssen. Nur wenn dies gelingt, kann am Ende ein Kompost erzeugt werden, der weitgehend frei von Fremdstoffen ist und die Anforderungen der Gütesicherung erfüllen kann.

Woran liegt das und wie können nach einer Kompostierung oder Vergärung des Bioguts weiterhin gütegesicherte Komposte und flüssige Gärreste erzeugt werden?

Entscheidender Ansatzpunkt ist sicherlich die Bekämpfung der Ursache, also eine Verminderung der Fehlwürfe bei der Erfassung des Bioguts. Hierfür ist es erforderlich, dass die Erfassung von entsprechender Öffentlichkeitsarbeit mit Anreizen und Kontrollen begleitet wird. Auf diese vorgelagerten und wichtigen Voraussetzungen für eine letztendlich gute Kompostqualität wird im Rahmen dieses technischen Kapitels nicht weiter eingegangen.

Neben der Inputqualität und den rechtlichen Anforderungen gibt der Markt für die erzeugten Produkte weitere wesentliche Rahmenbedingungen für die stofflich-energetische Behandlung des Bioguts vor. Die Entsorgungskosten der Fremdstoffmengen, die Stromkosten sowie die Erlöse für Energie stellen wesentliche Parameter für den wirtschaftlichen Betrieb dar. Dabei sind diese nicht unabhängig zu betrachten. Ein einseitiger Fokus auf hohe Biogaserträge führt nicht selten zu Problemen bei der Kompostierung und damit zu hohen Kosten für Lüftung und Entsorgung von noch stark mit Organik angereicherten Fremdstofffraktionen.

Nachfolgend werden die praxisüblichen Aufbereitungstechniken in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen bei den verschiedenen Verfahrensschritten dargestellt und hinsichtlich ihrer Eignung zur Fremdstoffabtrennung bewertet. Dabei fließen vor allem die praktischen Beobachtungen und Einschätzungen der Autoren ein.

4.2 Anlieferung

Der Anlieferungsbereich dient der Abfallannahme und Zwischenlagerung und kann zur ersten Sichtkontrolle der Abfälle und Entnahme von größeren und sperrigen Fremdstoffen genutzt werden. Die Gestaltung des Anlieferbereichs beeinflusst die Möglichkeit zur Qualitätskontrolle des angelieferten Materials und damit die Option fremdstoffbelastete Chargen auszuschleusen oder zurückzuweisen. In Anlagen mit Tiefbunkern oder Abladung der Abfälle in ein automatisches Beschickungssystem (z.B. Schubböden) besteht beispielsweise keine oder kaum Gelegenheit einzelne Anlieferungschargen zu bewerten oder verunreinigte Chargen aus der Behandlungsanlage zu entfernen. Generell sollte der Anlieferungsbereich zur Entladung nicht zu eng konzipiert werden. Erfahrungsgemäß kommen mehrere Anlieferfahrzeuge nahezu gleichzeitig und es bedarf ausreichend Platz und gegebenenfalls Zwischenlagermöglichkeiten, um Chargen separieren und beproben zu können, vergl. Abbildung 58.

Abbildung 58: Anlieferung von Biogut in der Praxis



Foto: Witzenhausen-Institut

Durch die visuelle Kontrolle allein ist eine Bewertung des Fremdstoffgehalts aber kaum objektiv möglich [Kranert et al. 2016]. An dieser Stelle fehlen noch Verfahren für reproduzierbare „Schnelltests“ – hier besteht daher noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf, wobei das Thema aktuell von der Bundesgütegemeinschaft bearbeitet wird.

Die Aufgabe der Anlieferung, also die Zwischenlagerung, Pufferung von Anlieferungsspitzen und Vergleichmäßigung des Durchsatzes der Aufbereitungsstufe, ist für Kompostierungs- und Vergärungsanlagen identisch. Bei Behandlungsanlagen mit einer Teilstromvergärung erfolgt zusätzlich die Trennung von Chargen, die der Vergärung zugeführt werden, und solchen, die direkt der Kompostierung zugegeben werden. Hier kann gegebenenfalls, neben dem erwarteten Biogasertrag, auch der Fremdstoffgehalt ein Entscheidungskriterium sein, insbesondere wenn bei den zu kompostierenden Chargen eine angepasste Aufbereitung gewählt werden kann.

4.3 Aufbereitung

In vielen kleinen Kompostierungsanlagen und Behandlungsanlagen mit einer diskontinuierlichen Trockenvergärung (Garagenfermenter) wird keine Aufbereitung des Bioguts vorgenommen. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, dass das Strukturmaterial aber auch die Fremd- und Störstoffe vor der biologischen Behandlung nicht zerkleinert werden. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass das Material nicht aufgeschlossen wird und auch der Inhalt von geschlossenen Beuteln dem biologischen Abbau nicht zugänglich ist.

Vor- und Nachteile von Behandlungsanlagen ohne Vorbehandlung des Bioguts (Kompostierung, Garagenfermenter):

Vorteile:

keine Fremd- und Störstoffzerkleinerung

Nachteile:

keine Homogenisierung und Materialaufschluss

keine Beutelöffnung

z.T. keine Inputkontrolle (Störstoffe)

und keine Fremdstoffentfrachtung vor dem Prozess

Die Aufbereitung der Abfälle dient dem Zweck, die Stör- bzw. Fremdstoffe abzutrennen sowie die Abfälle für die nachfolgenden biologischen Behandlungsprozesse zu konditionieren. Dabei unterscheidet sich der Aufbereitungsaufwand einer Kompostierung und Vergärung deutlich, wobei sich auch die verschiedenen Vergärungsverfahren hierin deutlich unterscheiden.

Die Aufbereitung von Biogut wird vorwiegend bei der Vergärung, teilweise auch bei der Kompostierung, vorgenommen, insbesondere um das organische Material aufzuschließen und vorhandene PE- und BAW-Beutel zu öffnen. Die Aufbereitung von Biogut für die Vergärung ist immer ein Kompromiss zwischen einem starken Aufschluss des organischen Materials für hohe Biogasausbeuten und einer möglichst geringen Zerkleinerung der enthaltenen Fremdstoffe als Grundlage für eine erfolgreiche Ausschleusung.

Der Aufbereitungsgrad ist abhängig vom eingesetzten Vergärungsverfahren und bei Tunnelvergärungsverfahren gering, z.T. auch ohne eine Aufbereitung. In jüngster Zeit wird aber auch in diesen Anlagen eine schonende Aufbereitung mit Sackaufreißer durchgeführt, da nur so der Inhalt einem biologischen Abbau zugänglich zu machen ist. Eine Zerkleinerung des Materials wird jedoch nicht angestrebt, da verfahrensbedingt strukturgebendes Material für die Perkolation des Haufwerks erforderlich ist.

Hingegen ist die Aufbereitung bei kontinuierlichen Vergärungsverfahren wie kontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren (z.B. Pfropfenstromvergärungsverfahren) und Nassvergärungsverfahren deutlich aufwendiger. Ziel der Aufbereitung ist hier auch die Störstoffe wie Glas, Steine, Kunststofffolien und Hartkunststoffe zu entfernen, die in den einzelnen Verfahrensschritten zu technischen Problemen führen können. Bei den Nassvergärungsverfahren dient die Aufbereitung ebenfalls zur Einstellung des für die Vergärung erforderlichen Trockensubstanzgehaltes der Abfälle sowie der Störstoffabtrennung insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Sediment- und Schwimmschichten in der Vergärung. Hierzu werden gegenüber den Trockenvergärungsverfahren andere Aggregate wie beispielsweise Hydrozyklone, Sandabscheider und Nasssiebungsaggregate eingesetzt.

Vorzerkleinerung und Siebung

Die übliche Materialaufbereitung vor dem Eintrag in das Vergärungssystem erfolgt vorwiegend durch einen Zerkleinerungs- und einen Absiebungsschritt. Dies ist insbesondere bei Pfropfenstromvergärungsverfahren der Fall. Eine Zerkleinerung des Bioguts in einer Kompostierungsanlage wird in der Regel nur bei einer stoffstromspezifischen Nachbehandlung eingesetzt und/oder wird zum Öffnen von Beuteln und Gebinden eingesetzt, um die Zugänglichkeit für die anschließende biologische Behandlung sicherzustellen, vergl. Abbildung 59. Für die stoffstromspezifische Nachbehandlung erfolgt nach der Zerkleinerung anschließend eine Absiebung. Je nach Art und Erfordernis der Aufbereitung kann sowohl die Zerkleinerung als auch die Siebung an erster Stelle stehen.

Abbildung 59: Sackaufreißer und langsam laufendes Zerkleinerungsaggregat



Foto: Fa. BRT Hartner / Eggersmann

Vorteil der Verfahrensabfolge Zerkleinern/Sieben ist, dass durch die Zerkleinerung großer organischer Materialien die Biogasausbeute gesteigert und die nachfolgend abgesiebte Überkornmenge reduziert werden kann. Eine zu starke Zerkleinerung der Fremdstoffe gilt es aber zu unterbinden, da diese durch die anschließende Siebung dann nicht mehr zuverlässig abgeschieden werden können. Sie werden somit in den Behandlungsprozess eingeschleust und müssen nachgängig aufwendig aussortiert werden. Daher ist es vorteilhaft selektive Zerkleinerungsaggregate zu verwenden, die Folien und Plastik nicht zu sehr zerkleinern. Daher kommen zumeist langsam laufende Aggregate zum Einsatz. Das bei der Siebung erzeugte Überkorn wird entweder thermisch verwertet oder nach der Aussortierung von Fremdstoffen wieder in den Prozess zurückgeschleust.

Je nach Anforderung an die nachfolgende biologische Behandlung werden aber auch Aggregate mit einer größeren Zerkleinerungswirkung wie Querstromzerspaner eingesetzt, vergl. Abbildung 60. Diese Aggregate werden insbesondere bei Nassvergärungsverfahren eingesetzt, da hier eine weitgehende Zerkleinerung zur Herstellung sowie der Homogenisierung der Gärsuspension erforderlich ist. Fremdstoffe werden in diesem Zerkleinerungsaggregat jedoch erheblich zerkleinert.

Abbildung 60: Außen- und Innenansicht Querstromzerspaner



Foto: Fa. Weima

Vor- und Nachteile einer Vorzerkleinerung mit Absiebung und Ausschleusung des Siebüberlaufs

Vorteile:

Inputkontrolle bei der Vorzerkleinerung und Siebung möglich

Einsatz von Sackaufreißer zum Öffnen der Beutel

Homogenisierung und Materialaufschluss

Ausschleusung großer Anteile von Fremdstoffen (Kunststoffen) vor der Kompostierung/Vergärung

maximale Ausschleusung der Fremdstoffe bei der Nassvergärung, aber auch eines hohen Organikanteils

Nachteile:

je nach eingesetztem Zerkleinerungsaggregat Fremdstoffzerkleinerung

Beeinträchtigung der Effizienz der Aufbereitungsaggregate durch hohen Wassergehalt

großer Materialaustrag durch Überkornausschleusung (10 – 20 Gew.-%) und dadurch geringere Kompostausbeute

Verwertung Siebüberlauf aufgrund der Verunreinigungen ggf. nur in der MVA

Das Überkorn aus der Absiebung wird teilweise im Kreislauf gefahren und erneut der Aufbereitung zugeführt. Zum einen kann hierdurch eine Anreicherung der Fremdstoffe und zum anderen eine Erhöhung der Abfallmenge, die in der biologischen Stufe behandelt wird, erreicht werden. Insbesondere in anlieferungsschwachen Zeiträumen wie beispielsweise in den Wintermonaten wird diese Fahrweise zur Steigerung der Auslastung der Vergärungsanlagen vorgenommen. Eine mehrfache Behandlung der Abfälle in der Aufbereitung führt jedoch zu einem höheren Fremdstoffeintrag in die Organikfraktion, so dass eine Abtrennung der Kunststofffolien durch eine vorgeschaltete Windsichtung vorteilhaft sein kann. Siebaggregate werden heute bereits mit einem Windsichter ausgerüstet angeboten (vergl. Abbildung 61).

Abbildung 61: stationäre und mobile Siebmaschine mit Windsichter



Foto: Produktinformation Fa. Komptech

Die Abtrennung der Kunststoffe und Kunststofffolien ist aufgrund des hohen Wassergehaltes des Überkorns schwierig, so dass unter Umständen die Effizienz der Fremdstoffausschleusung unbefriedigend ist. Eine biologische oder technische Trocknung des Überkorns trägt daher zu einer Verbesserung der Fremdstoffabtrennung bei. In jüngster Zeit wird der Einsatz von sensorbasierten Sortiersystemen auf Basis der Nah-Infrarot-Technik (NIR) zur Aussortierung von Kunststoffen erprobt.

Siebung und Nachzerkleinerung des Siebüberlaufs

Um den Eintrag größerer Fremdstoffmengen zu umgehen, kann die Siebung auch vorgeschaltet werden. Allerdings werden damit deutlich höhere Überkornmengen aus dem Prozess ausgeschleust. Diese sind zu einem größeren Anteil auch organischer Natur, wie holziges Material, aber auch Obst, Gemüse und größere Fleischreste, sodass Einbußen bei der Gasausbeute in Kauf zu nehmen sind. Daher ist die Vorschaltung eines Sackaufreißers vor der Siebstufe zu empfehlen, um die geschlossenen Beutel zu öffnen und damit den Inhalt der Siebung zugänglich zu machen.

Daher kann es auch hier günstig sein, den Siebüberlauf nachzuzerkleinern und wieder in die Prozesskette zurückzuführen. Auch in diesem Fall sollte aber eine weitergehende Aufbereitung des Siebüberlaufes durch eine Folienabsaugung, Fe-Abscheidung, Sortierung usw. vorgenommen werden, um den Anteil der eingetragenen Fremdstoffmenge deutlich zu reduzieren. Weiterhin wird der Austrag von Organik vermindert, was sich positiv auf den Biogasertrag auswirkt. Die Anordnung des Zerkleinerungsaggregates im Siebüberlauf der Siebstufe führt dazu, dass die Durchsatzleistung der Zerkleinerungsaggregate geringer ausfällt als bei einer Anordnung vor der Siebstufe. Die Entscheidung für oder gegen die Nachzerkleinerung und Kreislaufführung kann nur im Einzelfall getroffen werden.

Absiebung mit Nachzerkleinerung und ggf. Aufbereitung des Siebüberlaufs

Vorteile:

Inputkontrolle bei Siebung möglich

Homogenisierung und Materialaufschluss

Einsatz von Windsichtern und FE-Abscheidern möglich

hohe stoffliche Nutzung durch Wiedereintrag des Überlaufs, Nutzung des Überlaufs als Strukturmaterial

geringere erforderliche Durchsatzleistung des Nachzerkleinerungsaggregates durch Abscheidung der Feinfraktion in der Siebstufe

Nachteile:

Je nach eingesetztem Zerkleinerungsaggregat und Häufigkeit der Rückführung Fremdstoffzerkleinerung

Beeinträchtigung der Effizienz der Aufbereitungsaggregate durch hohen Wassergehalt

Wiedereintrag Siebüberlauf erhöht ggf. Fremdstoffgehalt im Endprodukt

Entsorgung Siebüberlauf aufgrund der Verunreinigungen ggf. nur in der MVA

Manuelle bzw. händische Vorsortierung

Die manuelle Aussortierung größerer Fremdstoffe vor der Zerkleinerung gilt nicht mehr als Stand der Technik. In den ersten großtechnischen, gekapselten Kompostierungsanlagen mit hohem Durchsatz und Automatisierungsgrad waren Sortierkabinen meist noch fester Bestandteil der Behandlungsanlagen, vergl. Abbildung 62.

Abbildung 62: Sortierkabine für händische Sortierung



Foto: IGLux, Bioabfallvergärung Quarzbühl

Gerade bei sehr fremdstoffhaltigen Anlieferungen erweist sich die manuelle Vorsortierung als sehr effizient. Neben großen Folien, Hartkunststoffen, Glas und Metallen können vor allem auch enthaltene Störstoffe aussortiert werden. Voraussetzung für eine effiziente Fremdstoffentnahme ist jedoch eine Vergleichmäßigung der Sortierfraktion in der Sortierkabine.

Vor allem aufgrund hoher Kosten und hoher Anforderungen an die Hygiene (Keime, Bioaerosole) und an den Arbeitsschutz (hohe Verletzungsgefahr), wird die manuelle Vorsortierung heute nur noch in wenigen Anlagen durchgeführt. Angesichts der aktuellen Situation mit stark fremdstoffbelastetem Biogut verbunden mit hohen Qualitätsanforderungen an den Fremdstoffgehalt im Kompost könnte der manuellen Vorsortierung des Bioguts eine Renaissance bevorstehen.

Besonders die gasertragsstarken Küchen- und Nahrungsmittelabfälle befinden sich häufig in geschlossenen (Plastik-)Beuteln im Biogut. Vor einer manuellen Sortierung sollten daher in jedem Fall ein Sackaufreißer oder eine Zerkleinerung und eine entsprechende Absiebung des Feinmaterials (inklusive Fe-Abscheidung) installiert sein.

Der händischen Sortierung sind jedoch Grenzen gesetzt. Auch bei einer optimalen Vorbereitung und Vergleichmäßigung der Sortierfraktion ist eine vollständige Fremdstoffabtrennung nicht gewährleistet, z.B. aufgrund von Überdeckung und der teilweisen geringen Korngröße der Fremdstoffe. Daher befinden sich derzeit zur Entnahme der Kunststoffe sensorbasierte Sortiersysteme auf Basis der Nah-Infrarot-Technik (NIR), die vorwiegend in der Sortierung von DSD-Abfällen Anwendung finden, in der Erprobung. Erste Versuchsergebnisse zeigen positive Ansätze, aber auch bei diesen Verfahren ist eine ausreichende Vereinzelung der Abfallbestandteile für die zielgerichtete und sortenreine Entnahme der Fremdstoffe erforderlich.

Sensorbasierten Sortiersysteme

Sensorbasierte Sortiersysteme wurden zunächst für die Sortierung von Verpackungen eingesetzt. Später wurden die Sortiersysteme ebenfalls zur Aufbereitung der Kompostfraktion aus Biogutkompostierungs- und -vergärungsanlagen verwendet, um die Effizienz der Stör- und Fremdstoffabtrennung zu erhöhen. Derzeit laufen auch erste Untersuchungen von den Herstellern dieser Aggregate zur Aufbereitung des Inputmaterials der Anlagen. Erste Untersuchungen zeigen vielversprechende Ergebnisse [Mitteilung Fa. Tomra].

Abbildung 63: sensorbasiertes automatisches Sortiersystem



Produktinformation Fa. Tomra Sorting Solutions

Die Sortiersysteme können mit verschiedenen Sensoren wie Nah-Infrarot-Sensoren oder Röntgenkameras ausgerüstet werden, so dass die Detektion verschiedene Materialien wie Kunststofffolien, Hartkunststoffen, Steinen, Glas und Mineralien möglich ist, vergl. Abbildung 63. Die auszulesenden Materialien werden durch den Sensor detektiert und am Ende des Zuführbandes über einen Druckluftimpuls aus dem Materialstrom entfernt. Die Entnahme der gewünschten Objekte kann auch durch einen Industrieroboter mit Greiftechnik vorgenommen werden, jedoch ist deren Leistung kaum höher als die manuelle Sortierung. Zu sortenreinen Abtrennung der gewünschten Objekte und Effizienzsteigerung ist eine Vereinzelung des Stoffstroms auf dem Zuführband unabdingbar.

Die sensorbasierten Sortiersysteme konnten sich bislang aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht in der Aufbereitung von Biogut oder Komposten durchsetzen. Als problematisch stellt sich hierbei insbesondere die Vereinzelung des Eingangsmaterials dar, da diese Anforderung durch die Materialeigenschaften (hoher Feuchtegehalt, Verpilzung, Agglomeratbildung usw.) beeinflusst wird [Pretz 2017].

4.4 Randbedingungen im Biologischen Prozess

Die biologische Behandlung des Bioguts erfolgt mittels Kompostierung oder Vergärung. Eine aerobe Nachbehandlung des ausgegorenen Materials ist bei den Vergärungsverfahren für die abgepressten Feststoffe erforderlich. Im Hinblick auf die jeweiligen biologischen Prozesse sind entsprechende Aufbereitungs- und Behandlungsschritte erforderlich, welche einen erheblichen Einfluss auf die Eigenschaften und die Abtrennung der Fremdstoffe haben. Nicht zuletzt eine ausreichende und intensive Rotte ist Voraussetzung für den Wassergehalt der Komposte/Gärrückstände und damit ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Effektivität der Konfektionierung.

4.4.1 Vergärung

Während der Vergärung wird der Fremdstoffgehalt kaum beeinflusst, außer dass durch den Abbau organischer Substanz der relative Anteil der Fremdstoffe steigt. Ein weiterer Effekt besteht darin, dass in den vergleichsweise flüssigen Medien der Nass- und Pfropfenstromfermenter eine gewisse Reinigung („Waschen“) der Fremdstoffe zu beobachten ist. Allerdings wird dieser Effekt in den nachfolgenden Verfahrensschritten wieder rückgängig gemacht. In sehr nassen Medien bietet die Nasssiebung gegebenenfalls eine gute Möglichkeit Fremdstoffe abzutrennen.

Bei Batch-Verfahren erfolgt die Beschickung und Entleerung der Tunnelfermenter mittels Radladern. Zur Herstellung eines optimalen Gärsubstrats wird das frische Biogut häufig mit ausgetragenen Gärückstand vermischt („Anmaischen“). Auch dies erfolgt in der Regel mittels Radladern, zum Teil zusätzlich auch mit Umsetzern oder speziellen Mischaggeaten. Anders als beim Umsetzer hat der Radladerbetrieb nur unwesentlichen Einfluss auf die Struktur der Fremdstoffe, eine Zerkleinerung unterbleibt weitgehend. Allerdings kommt es im Zuge der Materialbewegung zu einer weiteren „Einmischung“ der Fremdstoffe.

Da bei den Batch-Verfahren das Gärsubstrat über 21 bis 28 Tage in den Tunneln nicht mechanisch bewegt wird, bleibt dieser Behandlungsschritt ohne Konsequenz für die Fremdstoffcharakteristik.

In den liegenden Pfropfenstromfermentern selbst wird das Substrat unter Einsatz langsam rotierender Rühr-/Paddelwerke durch den Fermenter bewegt, sodass eine weitere Zerkleinerung weitgehend ausbleibt. Stehende Fermenter haben keine mechanischen Rührwerke.

Bei der Nassvergärung werden, wie zuvor beschrieben, die Fremdstoffe im Zuge der Aufbereitung bereits weitestgehend aussortiert.

Gärückstandsseparation

Bei der kontinuierlichen Trockenvergärung erfolgt nach dem Abzug des nassen Gärückstände üblicherweise eine Separation, bei der eine feste Fraktion zur anschließenden aeroben Behandlung und eine flüssige Fraktion zur Zwischenlagerung und landwirtschaftlichen Verwertung ohne weitere Behandlung erzeugt werden. Eingesetzt werden dazu Schneckenpressen, in denen durch die Aufbringung eines Pressdrucks durch einen Presskonus am Ende der Förderschnecke eine mechanische Abtrennung der Flüssigkeit durch Siebkörbe erfolgt. Im Zuge dieses Bearbeitungsschritts erfolgt durch die Materialbewegung unter Druck eine gewisse Zerkleinerung („Effekt des Zermahlens“), insbesondere von spröden Fremdstoffen wie Glas. Der flüssige Gärückstand ist nahezu frei von Fremdstoffen, enthält allerdings feine mineralische Anteile, die im Lager sedimentieren.

Bei Teilstromvergärungskonzepten, die auf die Vermeidung flüssiger Gärückstände ausgelegt sind, kann auf den Separationsschritt verzichtet werden. Zur Sicherstellung der Kompostierbarkeit des nassen Gärückstandes sind ein relativ hoher Trockensubstanzgehalt und ein ausreichender Strukturanteil erforderlich. Dies wird durch die Einmischung von trockenen, strukturreichen Chargen vor der Rotte erreicht. Dabei kann es sich um zerkleinertes Grüngut, Kompost oder rückgeführtes Überkorn aus der Biogutaufbereitung und Kompostkonfektionierung handeln.

In vielen Anlagen erfolgt zusätzlich eine Vermischung mit frischem Biogut, welches im Bypass an der Aufbereitung vorbeigeführt und direkt in die Rotte eingebracht wird. Dies bietet den Vorteil, dass insbesondere fremdstoffbelastete Biogutchargen an der Aufbereitung vorbeigeführt werden können, und so die Zerkleinerung der Fremdstoffe an dieser Stelle verhindert wird. Dazu bedarf es einer Eingangskontrolle der Chargen und eines entsprechenden Stoffstrommanagements bei der Anlieferung. In der Praxis könnten Chargen aus bestimmten Abfuhrbezirken, die erfahrungsgemäß fremdstoffbesetzt sind, routinemäßig im Bypass geführt werden.

Bei der Tunnelvergärung (Batch-Verfahren) erfolgt keine Gärückstandsseparation. Bei der Nassvergärung ist das gesamte Gärsubstrat bereits weitgehend fremdstofffrei, so dass eine direkte landwirtschaftliche Verwertung möglich ist. Zur Bereitstellung von Prozesswasser zur Anmaischung des Bioguts muss jedoch ein großer Anteil der Gärückstände entwässert werden. Die anfallenden Feststoffe werden anschließend ebenfalls kompostiert.

Aerobisierung

Die Überführung der Gärückstände in einen aeroben Zustand hat gemäß der novellierten TA-Luft zwingend in einem geschlossenen Anlagenbereich zu erfolgen. Die Gärückstände werden durch eine

intensive Belüftung aerobisiert und die Geruchsstoffe ausgetrieben. Die Aufenthaltsdauer in der Aerobisierung beträgt in der Regel zwischen ca. 1 und 2 Wochen. Hier werden vorwiegend Rottetunnel eingesetzt, die zumeist per Radlader beschickt und entleert werden. Der Einsatz von automatischen Ein- und Austragssystemen kommt nur bei Behandlungsanlage mit einer ausreichenden Kapazität in Frage.

In der Aerobisierung wird der Gärrückstand in der Regel nicht umgesetzt, sodass keine weitergehende mechanische Zerkleinerung der Fremdstoffe erfolgt. Durch die intensive Belüftung der Gärrückstände ist es jedoch möglich einen großen Anteil der enthaltenen Feuchtigkeit auszutreiben und das Gärmaterial zu trocknen. Die Trocknung des Gärrestes kann unterstützt werden, wenn die Abwärme der BHKW für die Erwärmung der Zuluft genutzt wird. Dies eröffnet die Möglichkeit, den Gärrückstand nach der Aerobisierung beispielsweise durch eine Siebung oder Sichtung vor der Nachrotte weitergehend von Fremdstoffen, insbesondere Kunststofffolien und Hartkunststoffen zu entfrachten.

Bei einigen Abfallbehandlungsanlagen mit Vergärungsstufe wird in dieser Phase auch die Hygienisierung gemäß BioAbfV sichergestellt. I.d.R. erfolgt nach der Aerobisierung noch eine Nachrotte und die entsprechende Konfektionierung.

Es ist eine Binsenweisheit, dass zur Kompostierung ausreichend abbaubares organisches Material erforderlich ist. Diese Voraussetzung ist bei der alleinigen Kompostierung des Bioguts erfüllt. In Kombination mit der Vergärung ist jedoch die Frage zu stellen, ob eine zu starke Fokussierung auf hohe Biogaserträge unter Umständen eine fachgerechte Kompostierung deutlich erschwert.

Wenngleich es zwischen anaerob und aerob abbaubarer Organik Unterschiede gibt, ist festzustellen, dass durch die Biogasproduktion bereits ein erheblicher Teil der leicht abbaubaren Organik umgesetzt ist. Hinzu kommt, dass das Material durch das bei der Biogaserzeugung freiwerdende Wasser sowie gegebenenfalls der erfolgten Verdünnung, deutlich feuchter ist als „frisches“ Biogut. Daran wird deutlich, dass die Kompostierung fester Gärrückstände anspruchsvoller ist als die direkte Kompostierung von Biogut. Sofern das Hygienisierungskonzept der Anlage dem nicht entgegensteht, unterstützt die Beimischung von Strukturmaterialien und leicht abbaubarer Organik den Start und die Stabilität des Kompostierungsprozesses. Da ein ausreichend hoher Trockensubstanzgehalt des Rohkomposts für dessen effiziente Konfektionierung unerlässlich ist, muss durch die mit der Kompostierung verbundene Erwärmung eine ausreichende Trocknung sichergestellt werden.

4.4.2 Kompostierung

Intensivrotte

Die erste Phase der Kompostierung ist bis zum Abschluss der hygienisierenden und biologisch stabilisierenden Behandlung ab einer Durchsatzleistung von 30 Mg pro Tag gemäß der novellierten TA-Luft geschlossen auszuführen. In Kompostierungsanlagen, die aufgrund der Durchsatzleistung zu einer Einhausung der Intensivrotte gezwungen sind, werden in der Regel Kompostierungsverfahren wie Tafelmieten- und Rottetunnelkompostierung mit automatischen Ein- und/oder Austragssystemen eingesetzt. Kleinere Kompostierungsanlagen nutzen hier in der Regel Radlader oder aber mobile selbstfahrende Umsetzgeräte zur Bewirtschaftung der Kompostierung.

Bei der Durchführung der Intensivrotte in Rottetunneln erfolgt die Beschickung üblicherweise mittels Radladern. Das Biogut wird in der Intensivrotte zumeist nicht oder nur wenige Male umgesetzt. Die Korngröße und Struktur der Fremdstoffe bleiben hierdurch nahezu unverändert.

In der Intensivrotte wird aufgrund der hohen biologischen Aktivität ebenfalls ein großer Anteil der Feuchtigkeit ausgetrieben und dadurch der Kompost getrocknet. Hierdurch besteht auch bei den Kompostierungsverfahren die Möglichkeit, nach der Intensivrotte gezielt die Fremdstoffe wie Kunststofffolien mittels Siebung und/oder Sichtung aus dem Material zu entfernen.

Nachrotte

Neben dem weitergehenden Abbau der Organik (Erhöhung des Rottegrads) ist die zentrale Aufgabe der Nachrotte die Reduktion des Wassergehalts, sodass die nachgelagerte Konfektionierung effektiv durchgeführt werden kann. Diese Aufgabenstellung ist sowohl bei den Kompostierungs- als auch Vergärungsanlage das wesentliche Ziel der Nachrotte.

Die Nachrotte erfolgt in der Regel in unbelüfteten Dreiecksmieten auf überdachten oder teilweise auch offenen Flächen. Diese werden in regelmäßigen Intervallen mittels Umsetzaggregaten umgeschichtet. Das Umsetzen verfolgt das Ziel, eine optimierte Rottesteuerung (Belüftbarkeit, Feuchtemanagement, gegebenenfalls Hygienisierung) sicherzustellen und die Rottezeiten zu verkürzen. Aufgrund der Umsetzhäufigkeiten werden häufig selbstfahrende mobile Umsetzaggregate zur Bewirtschaftung der Nachrotte eingesetzt, vergl. Abbildung 64. Durch die schnelllaufenden Umsetzwalzen, die oftmals mit scharfkantigen Werkzeugen, wie Schlegeln, ausgerüstet sind, können noch enthaltene Fremdstoffe stark zerkleinert werden.

Abbildung 64: mobiles Umsetzaggregat



Foto: IGLux

Die Gewährleistung einer optimalen Steuerung des Rotteprozesses und eines ausreichenden Wasseraustrags durch regelmäßiges Umsetzen steht damit dem Ziel der Fremdstoffauslese teilweise entgegen. Da das Umsetzen zu einem Wasseraustrag beiträgt, aber auch die Zerkleinerung der Fremdstoffe bewirkt, sollte zur Vermeidung einer Rückvernässung und damit einer Reduzierung der Umsetzhäufigkeit die Nachrottefläche überdacht ausgeführt werden.

Wahl des Umsetzaggregats

Einen gewissen Einfluss haben die Wahl des Umsetzaggregats und der technischen (z. B. Walzenform, Ausführung der Schlegel) sowie betrieblichen (z. B. Umdrehungsgeschwindigkeiten) Eigenschaften der Umsetzwalze.

Alternativ kann auch ein schonenderes Umsetzen mittels Radlader erfolgen. Für die Kontrolle der Rottesteuerung bringt dies allerdings aufgrund der schlechteren Durchmischung Nachteile. Darüber hinaus ist es zeit- und arbeitsintensiv, sodass insbesondere in Anlagen mit hohen Durchsatzleistungen das Umsetzen mit Radladern nicht praktikabel ist.

Belüftung der Nachrotte

Durch eine Belüftung in der Nachrotte kann der Wasseraustrag deutlich verbessert und beschleunigt werden. Die Umsetzintervalle können somit verlängert werden und dienen hauptsächlich dazu, Setzungen in der Miete mit einer Materialverdichtung in bestimmten Bereichen (Mietenfuß) zu beheben,

die Struktur in der Miete zu verbessern und dadurch die Voraussetzungen für eine wirksame Belüftung aufrechtzuerhalten.

Nachrotte in Tunneln

Günstige Bedingungen bietet die Durchführung des gesamten Kompostierungsprozesses in geschlossenen, belüfteten Rottetunneln. Die Nachrotte erfolgt hier statisch und somit ohne Umsetzen. Eine weitere Fremdstoffzerkleinerung findet nicht statt. Allerdings ist der erforderliche Investitions- und Betriebsaufwand (z. B. Strom, Abluftreinigung) hoch. In der Praxis wird eine gekapselte Nachrotte nur bei wenigen Anlagen angetroffen.

4.5 Kompostkonfektionierung

Im Zuge der Konfektionierung des Komposts werden unterschiedliche Qualitäten für verschiedene Anwendungsbereiche (Landwirtschaft, GaLa-Bau, Hobbygartenbau, Substratherstellung, Erdenwerke), z. B. hinsichtlich der Korngröße, erzeugt. Zentrale Voraussetzung für die Vermarktung insbesondere höherer Qualitäten ist die weitgehende Abscheidung der enthaltenen Fremdstoffe. Dies gelingt am besten bei möglichst großen Korngrößen der Fremdstoffe und bei niedrigem Feuchtegehalt im Kompost.

Oft reichen zur Konfektionierung ein oder zwei Siebschnitte aus. Bei erhöhten Fremdstoffanteilen im Kompostmaterial können die Anforderungen an die Produkte hinsichtlich noch enthaltener Fremdstoffanteile (DüMV, Gütesicherung der BGK e. V.), vor allem im Bereich der weichen Kunststoffe, teilweise nicht erfüllt werden. In diesen Fällen sind Verfahrensmodifikationen oder der Einsatz weiterer technischer Lösungen zu erwägen.

Die Siebschnitte können zwar weiter reduziert werden (z. B. auf 8 mm oder 10 mm), um weiterhin ein hochwertiges Produkt zu erzielen. Dies geht allerdings zulasten der Überkornmenge, welche anderweitig kostenintensiv verwertet oder entsorgt werden muss. Auch aus ökologischen Gründen sollte der nicht stofflich genutzte Stoffstrom möglichst klein gehalten werden. Für die landwirtschaftliche Verwertung, die den Regelfall darstellt, können, bei niedrigen Störstoffgehalten, obere Korngrößen von 20 mm bis 25 mm ausreichen.

Zentral: Materialfeuchte im Kompost

Die Effektivität der Siebung steht und fällt mit der Materialfeuchte. Der Kompost sollte einen Trockensubstanzgehalt von etwa 60 % aufweisen. In diesem Fall ist das Material ausreichend locker, sodass die Fremdstoffe gut abgetrennt werden können. Eine Klumpenbildung bei der Siebung wird vermieden und der Kompost ist noch so feucht, dass eine übermäßige Staubentwicklung unterbleibt.

Der Wasseraustrag muss in der Nachrotte sichergestellt werden, die hierfür entsprechend baulich und technisch ausgestattet sein sowie fachlich kompetent betrieben werden muss. Bei Biogutvergärungsanlagen startet die Kompostierung von Gärgut – trotz Vermischung mit Strukturmaterialien – oftmals mit höheren Wassergehalten als bei reinen Biogutkompostierungsanlagen. Daher ist auf die effiziente Absenkung der Materialfeuchte in der Nachrotte von Vergärungsanlagen besonderes Augenmerk zu legen. Dies stellt die Anlagenbetreiber immer wieder vor Herausforderungen, sei es grundsätzlich oder zu bestimmten Jahreszeiten bei hohen Materialdurchsätzen.

Bei der Nachrotte von Gärgut wird oft nur ein deutlich geringerer Trockensubstanzgehalt im Kompost erreicht. Statt bei 60 % TS liegt dieser oftmals nur zwischen 50 % und 55 % TS. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Eine Ursache kann beispielsweise darin liegen, dass im gesamten Rottebereich die Anlagenkapazitäten, wie z. B. die Größe der Nachrotteflächen, nicht ausreichend bemessen sind. In diesem Fall unterliegt der Rotteprozeß zeitlichen Beschränkungen, die durch den Jahresgang des Anlageninputs noch verstärkt werden. Des Weiteren kann insgesamt oder auch zeitweilig ein Mangel an strukturgebendem Material, wie z. B. Grüngut oder Überkorn, den Rotteprozeß erschweren.

Idealerweise erlaubt die installierte Anlagentechnik und -ausführung sowie die Verfügbarkeit an Strukturmaterial eine flexible Betriebsweise, mit der insbesondere auch auf die jahreszeitlich bedingten schwankenden Anforderungen reagiert werden kann.

Option: Vertiefende Aufbereitungsschritte

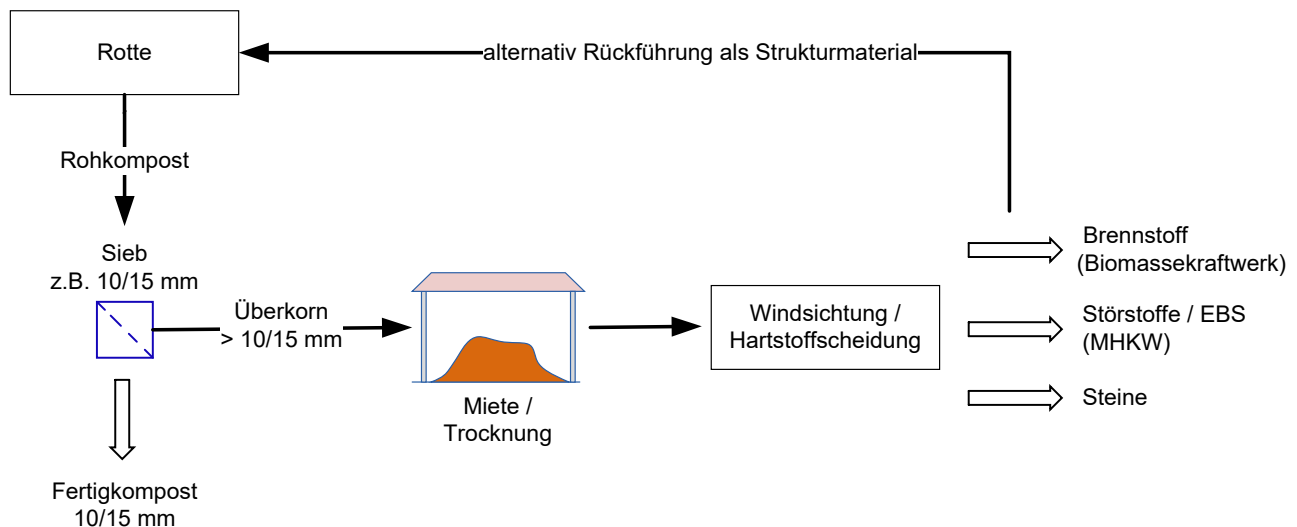
Zur Sicherung der Kompostqualität und Einhaltung der Gütesicherungskriterien sowie zur Reduzierung der Siebrückstände werden, neben der Siebung, zunehmend zusätzliche Aggregate zur Abscheidung der Leichtstoffe (beispielsweise Windsichter, Folienabsaugung) und der Schwerstoffe (beispielsweise Hartstoffscheider) eingesetzt. Die Abscheidung von Leichtstoffen über eine Windsichtung erfolgt meistens in Kombination mit der Siebung. Hartstoffscheider sind bislang wenig verbreitet. Voraussetzung für eine effiziente Abscheidung der Fremdstoffe ist auch hier die Konditionierung des Kompostmaterials (z.B. Trockensubstanzgehalt, Korngrößenspektrum) auf das eingesetzte Aggregat.

Option: Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Überkornfraktion bei Einfachsiebung

Häufig wird noch die gesamte Überkornfraktion aus der Kompostsiebung als Abfallstoff entsorgt, was im Regelfall zulasten der Anlagenwirtschaftlichkeit geht. Insbesondere bei einem hohen Wassergehalt im Rohkompost haften an den Fremdstoffen relevante Anteile organischen Materials, das gemeinsam mit den Fremdstoffen abgeschieden wird. Das Ergebnis ist eine größere Menge zu entsorgendes Material. Hinzu kommt, dass Teilmengen humus- und nährstoffreicher Fraktionen nicht in den stofflichen Kreislauf zurückgeführt werden.

In diesem Fall kann die Überkornfraktion nochmals zur Rotte aufgesetzt und danach erneut abgesiebt sowie bei Bedarf mittels Windsichtung und Hartstoffscheidung gereinigt werden. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abbildung 65. Bei einer ausreichenden Aufbereitungstiefe kann das Material entweder als Brennstoff zur energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken vermarktet oder als Strukturmaterial in den Rotteprozeß zurückgeführt werden. Bedingung für die Rückführung ist, dass der Fremdstoffgehalt so niedrig ist, dass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird.

Abbildung 65: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Einfachsiebung



Eigene Darstellung ifeu

Die Rückführung eröffnet dem Anlagenbetreiber die Möglichkeit, flexibel auf jahreszeitlich schwankende Inputqualitäten und Betriebszustände zu reagieren. In Phasen der mangelnden Verfügbarkeit

anderer strukturgebender Inputstoffe (Grüngut) ergibt sich hieraus eine betriebsinterne Lösung. Ob sich die weitergehende Aufbereitung und Aufreinigung der Überkornfraktion auch wirtschaftlich lohnt, ist im Einzelfall zu betrachten.

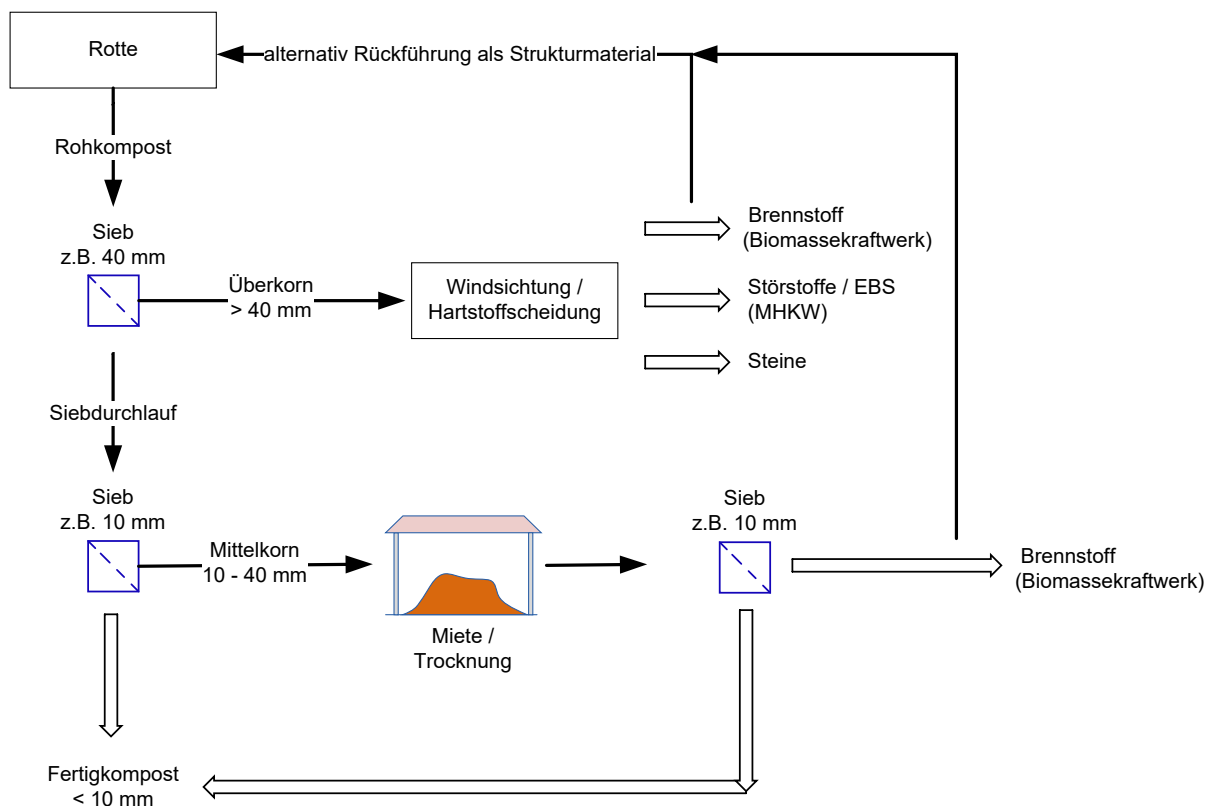
Option: Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Mittelkornfraktion bei Mehrfachsiebung

Alternativ kann auch eine Mehrfachsiebung mit unterschiedlichen Sieblochgrößen sinnvoll sein. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abbildung 66. Hierbei kann beispielsweise zunächst in einer Grobsiebung die Überkornfraktion abgetrennt werden, welche anschließend einer weitergehenden Aufbereitung unterzogen wird.

Aus dem Siebdurchlauf wird in einer zweiten Siebung mit einer geringeren Sieblochgröße die Kompostfraktion gewonnen. Der dabei anfallende Siebüberlauf, bezeichnet als Mittelkornfraktion, kann zunächst erneut dem Rotteprozeß zugeführt werden. Dadurch erfolgt eine Trocknung des Materials und somit eine wesentliche Verbesserung der Siebfähigkeit. Durch diese Maßnahme können aus dem Mittelkorn noch zusätzlich bis zu 50 % Feinfraktion (Kompost) abgetrennt werden. Der Siebüberlauf aus dieser Siebung kann beispielsweise als Biomassebrennstoff vermarktet werden.

Es besteht die Möglichkeit sowohl aus der Überkornfraktion > 40 mm als auch der Mittelkornfraktion 10 bis 40 mm einen Materialstrom zu erzeugen, welcher in den Rotteprozeß als Strukturmaterial zurückgeführt werden kann. Entscheidend für die Eignung sind die Aufbereitungstiefe und ein niedriger Fremdstoffgehalt, sodass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird.

Abbildung 66: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Mehrfachsiebung



Eigene Darstellung ifeu

5 Best Practice Beispiele

5.1 Biogutvergärung im Biogaspark Großenlöder

Anlagenkurzbeschreibung

Am Standort Großenlöder betreibt die Biothan GmbH, ein Tochterunternehmen der RhönEnergie Fulda AG, eine Anlage zur Erzeugung von Biomethan aus Bioabfällen (Trockenvergärung) regionaler Herkunft mit nachgeschalteter Kompostierung. Zudem wird am Standort eine Nassvergärung für Lebensmittelabfälle und gewerbliche Abfälle sowie Gülle betrieben.

Betreiber/Standort/Ansprechpartner

Betreiber: Biothan GmbH
Heinrichstraße 17/19, 36037 Fulda
info@biothan.de

Standort: Biogaspark Großenlöder
Am Finkenbergr, 36137 Großenlöder-Kleinslöder

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Sebastian Tews, Christoph Bien (Betriebsleiter)

Inbetriebnahme

2011–2012 wurde in einer ersten Ausbaustufe die Nassvergärung gebaut. In der zweiten Ausbaustufe (2012–2013) wurde die Trockenvergärung für Bio-/Grüngut realisiert. Seit 2012 erfolgen eine Biogasaufbereitung mit dem PSA-Verfahren und die Einspeisung von Bio-Erdgas.

Input-Ströme

Insgesamt werden ca. 30.000 Mg/a Bio- und Grüngut inklusive Parkabfälle aus dem Landkreis Fulda am Standort (Trockenvergärung) verwertet.

Zudem wird am Standort eine Nassvergärung für etwa 27.000 Mg Lebensmittelabfälle und gewerbliche Abfälle sowie 5.000 Mg Gülle betrieben (hier nicht weiter beschrieben).

Anlieferung und Aufbereitung des Bioguts

Das Biogut wird in einem Flachbunker in einer geschlossenen Halle angeliefert, arbeitstäglich aufbereitet und zwischengelagert. Das Biogut wird geschreddert. Anschließend wird ein Großteil der Stör- und Fremdstoffe abgesiebt. Der Siebdurchgang wird in einem Bunker zwischengelagert und kontinuierlich (24 Stunden/7 Tage) in die beiden Fermenter gefüttert. Das Grüngut wird ebenfalls geschreddert und überwiegend als Strukturmaterial dem festen Gärrückstand in der Rotte zugegeben.

Vergärungsverfahren

Liegender Pfropfenstromfermenter (Kompogas, 2 x 1.300 m³), kontinuierliche Trockenvergärung, thermophil

Biogaserträge und Gasnutzung

Aus insgesamt 30.000 Mg Biogut werden ca. 24 Millionen Kilowattstunden Biomethan erzeugt und in das Erdgasnetz eingespeist. Der spezifische Biogasertrag liegt zwischen 100 und 120 Nm³/Mg Frischmasse.

Das erzeugte Biogas wird in zwei Gasspeichern (auf den Gärrückstandslagern) zwischengepuffert, anschließend (zusammen mit dem Biogas aus der Nassfermentation) getrocknet/entschwefelt und dann in einer Druckwechseladsorptionsanlage (PSA – Fabrikat Carbotech) auf Erdgasqualität aufbereitet.

Das Biomethangas wird anschließend in einer separaten Einspeisestation verdichtet und ins Erdgasnetz eingespeist.

Abbildung 67: Gasaufbereitung und Einspeisung



© Biothan, Fulda

Aufbereitung der festen bzw. flüssigen Gärreste

Der Gärrest aus den Pfpfenstromfermentern wird über Siebkorbpressen in eine flüssige und eine feste Fraktion getrennt (Mengenverhältnis grob ca. 50 : 50).

Der flüssige Gärrückstand wird in gasdichte Gärrestlager gepumpt und bis zur landwirtschaftlichen Ausbringung gelagert. Das entstehende Restgas wird im Gassystem (Gasspeicher) erfasst.

Der feste Gärrückstand wird in sogenannten Aerobisierungsboxen konditioniert. Die entstehende Abluft wird in einem Sauren Wäscher behandelt und anschließend über einen Biofilter geführt. Der somit hygienisierte und stabilisierte Gärrückstand wird anschließend in einer überdachten Mietenkompostierung (Nachrotte) für ca. fünf bis sechs Wochen zu Fertigkompost nachgerottet.

Maßnahmen Immissionsschutz

Der komplette Abluftstrom aus den geschlossenen Hallen der Anlieferung, Aufbereitung und Aerobisierung wird gefasst, über einen Sauren Wäscher geführt und über den Biofilter an die Atmosphäre abgegeben.

Vermarktung der Gärreste

Der feste Gärrest wird kompostiert und ein Kompost (Rottegrad V) erzeugt. Zur Konfektionierung wird der Rohkompost auf 10 bzw. 8 mm abgesiebt. Der Siebüberlauf wird energetisch verwertet. Der gütegesicherte Kompost wird in die Landwirtschaft, in den Landschaftsbau sowie in Erdenwerke vermarktet. Zudem wird ein Teil abgesackt und auf den Wertstoffhöfen an die Bürgerinnen und Bürger verkauft. Die flüssigen Gärrückstände werden landwirtschaftlich genutzt.

Qualität und Gütesicherung

Alle Gärrückstände (flüssige Gärreste und Kompost) unterliegen der Gütesicherung der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) und haben ein entsprechendes Zertifikat.

Der Betrieb wird gegenwärtig als Entsorgungsbetrieb zertifiziert.

Abbildung 68: Biogaspark Großenlöder



Luftaufnahme Biogaspark Großenlöder | © Biothan, Fulda

5.2 Biogutvergärungsanlage Quarzbichl

Anlagenkurzbeschreibung

Am Standort Eurasburg betreibt die WGV Recycling GmbH neben anderen abfallwirtschaftlichen Einrichtungen eine Bioabfallvergärungsanlage mit nachgeschalteter Kompostierung und eine Grüngutkompostierung.

Betreiber/Standort/Ansprechpartner

Betreiber: WGV Recycling GmbH,
Quarzbichl 12, 82547 Eurasburg

Standort: Bioabfallbehandlungsanlage Quarzbichl
82547 Eurasburg

Ansprechpartner: Gerhard Ganser

Inbetriebnahme /Umbau/Weiterentwicklung

Inbetriebnahme Tunnelkompostierung (GICOM) im Juli 1995

Inbetriebnahme betriebseigenes Erdenwerk im März 2002

Erweiterung um eine Vergärungsanlage (STRABAG Umwelttechnik); Inbetriebnahme im September 2014

Input-Ströme

Insgesamt werden ca. 21.500 Mg/a Biogut sowie ca. 13.500 Mg Grüngut am Standort verwertet.

Davon werden die gesamte Menge Biogut sowie ca. 3.500 Mg/a Grüngut in der Vergärungsanlage verarbeitet. Das restliche Grüngut wird separat in überdachten Dreiecksmieten kompostiert.

Das Biogut wird in einem Flachbunker in einer geschlossenen Halle angeliefert und arbeitstäglich aufbereitet.

Abbildung 69: Luftbild Bioabfallbehandlungsanlage Quarzbichl



© WGV Recycling Quarzbichl

Aufbereitung

Sackaufreißer, Absiebung auf 60 mm mit Sternsieb, Fe-Metallabscheidung der Fraktionen > 60 mm und < 60 mm, Zerkleinerung der Fraktion > 60 mm mit Schneidscheibenmühle auf < 60 mm. Zusammenfassen der Fraktionen und Aufgabe auf einen Pufferspeicher mit 350 m³ Inhalt zur kontinuierlichen Fütterung der Vergärungsanlage auch nachts und an Wochenenden.

Vergärungsverfahren

Liegender Pfropfenstromfermenter (STRABAG Umwelttechnik), kontinuierliche Trockenvergärung, thermophil, Verweilzeit 21 Tage, anschließende Fest-/Flüssigtrennung mit drei Entwässerungspresen

Spezifische Biogaserträge und Gasnutzung

Biogasertrag zwischen 100 bis 120 Nm³/Mg Frischmasse (bezogen auf Inputmischung Biogut/Grün-gut), Nutzung in einem BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung

Aufbereitung der festen bzw. flüssigen Gärreste

Keine weitergehende Aufbereitung des flüssigen Gärguts (Hygienisierung im Prozess)

Nachrotte des festen Gärguts in Tunnelkompostierung (zwei bis drei Wochen) mit Erwärmung der Rotteluft mittels Wärmetauscher. Dazu wird kein Strukturmaterial benötigt. Nach der Tunnelkompos-tierung wird das gerottete Gärgut mit mobilen Siebmaschinen (Trommelsieb, Sternsieb) konfektio-niert.

Abbildung 70: BHKW-Container mit Aktivkohle-Adsorber, im Hintergrund der abgedeckte Lagertank für das flüssige Gärgut



© WGV Recycling Quarzbühl

Fremdstoffseparierung

Händische Abtrennung der Fremdstoffe aus der Fraktion > 60 mm des Bioguts, Abtrennung der Eisenmetalle aus den Fraktionen < 60 mm und > 60 mm mittels Überbandmagneten, Trocknung des festen Gärguts in der Tunnelkompostierung durch die Erwärmung der Rottezuflut zur Verbesserung der anschließenden Konfektionierung mit mobilen Siebmaschinen (Trommel-, Sternsieb)

Abbildung 71: Sortierkabine zur händischen Separierung der Fremdstoffe



© WGV Recycling Quarzbühl

Abbildung 72: Sortierband zur händischen Separierung der Fremdstoffe



© WGV Recycling Quarzbühl

Maßnahmen Immissionsschutz

Die Abluft der Tunnelkompostierung wird über einen Sauren Wäscher und ein Biofilter gereinigt.

Der Lagerbehälter für das flüssige Gärgut ist mit dem Biogasspeicher kombiniert. Dadurch entstehen keine zusätzlichen Gasemissionen.

Qualität und Gütesicherung

Nachgerottetes festes Gärgut: Gütezeichen RAL-GZ 251 der Bundesgütegemeinschaft Kompost

Flüssiges Gärgut: Gütezeichen RAL-GZ 245 der Bundesgütegemeinschaft Kompost

WGV ist ein Entsorgungsfachbetrieb

Vermarktung der Gärreste

Flüssiges Gärrest: konventionelle Landwirtschaft

Nachgerottetes festes Gärrest:

- ▶ betriebseigenes Erdenwerk
- ▶ Hobbygartenbau, Garten- und Landschaftsbau
- ▶ konventionelle Landwirtschaft
- ▶ Ökolandbau

Fortbildung der Mitarbeiter

Schulungen und Fortbildungen zum Nachweis der Fachkunde für Tätigkeiten im Umgang mit Biogas (gemäß TRGS 529) und Schulungen für befähigte Personen nach TRGS 1203

Abbildung 73: Erdenherstellung im betriebseigenen Erdenwerk



© WGV Recycling Quarzbichl

Abbildung 74: Verkaufsstelle für Erden (Kleinmengen)



© WGV Recycling Quarzbichl

5.3 Grüngutverwertung im Landkreis Bergstraße

Anlagenkurzbeschreibung

Am Standort Deponie Lampertheim-Hüttenfeld betreibt der ZAKB eine Grüngutaufbereitungs- und Kompostierungsanlage. Auf der Anlage wird das Grüngut aus privaten Haushalten und Kommunen behandelt und kompostiert. Als Produkte werden gütegesicherter Kompost sowie ein holziger Brennstoff erzeugt, der im Heizkessel des Kreiskrankenhauses Heppenheim energetisch verwertet wird.

Betreiber/Standort/Ansprechpartner

Betreiber: Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße

Standort: Am Brunnengewännchen 5, 68623 Lampertheim-Hüttenfeld

Ansprechpartner: Herr Dietmar Eberlein, Tel: 06256/851-222, Email: d.eberlein@zakb.de

Inbetriebnahme

August 2012

Input-Ströme

Dezentrale Sammlung an 12 Annahmestellen

Anlieferung und Aufbereitung des Grünguts

Anlieferung: unzerkleinert oder als Häckselgut, 2x jährlich Strauchschnitt gebündelt als Grünperrmüllabfuhr.

Aufbereitung: Zerkleinerung, Siebung, Störstoffabscheidung (Steine), Metallabscheidung

Erzeugte Stoffströme

- ▶ Brennstoff Premium für Heizwerk Kreiskrankenhaus
- ▶ Brennstoff für BMKW's
- ▶ Kompost
- ▶ Störstoffe: Steine
- ▶ Altmetall: aus Magnetabscheidung

Maßnahmen Immissionsschutz

- ▶ Begrenzung der Aufbereitungszeiten für Zerkleinerung und Siebung
- ▶ Optionale mobile Staubbodenschlagmaschinen
- ▶ Oberflächenwassererfassung

Stoffliche Nutzung des Komposts

- ▶ Methanoxidationsschicht Deponie
- ▶ Landwirtschaft

Energetische Nutzung der holzigen Fraktion im Kreiskrankenhaus Heppenheim

Einsatz der holzigen Fraktionen als Brennstoff, ggf. unter Zumischung von

- ▶ Waldhackschnitzeln zur Verbesserung der Rieselfähigkeit
- ▶ A I-Holz zur Substitution von Waldhackschnitzeln

Qualität und Gütesicherung

- ▶ Annahmekontrolle auf den Annahmestellen
- ▶ Eigene Qualitätsüberwachung für Brennstoffe
- ▶ Definition Prozessabläufe
- ▶ Güteüberwachung BGK

Fortbildung der Mitarbeiter

Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb

Regelmäßige Teilnahme an fachspezifischen Veranstaltungen innerhalb der Branche und der Verbände, fachlicher Austausch

Abbildung 75: Brennstofflager | © ZAKB Lampertheim



Abbildung 76: Heizkessel Kreiskrankenhaus Heppenheim | © ZAKB Lampertheim



5.4 Kompostverwertung im Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald

Kurzbeschreibung des Unternehmens

Das BBG Donau-Wald ist ein Kommunalunternehmen, welches im Jahr 1996 vom ZAW Zweckverband Abfallwirtschaft Donau-Wald als Tochterunternehmen gezielt für die Aufbereitung von Bioabfällen und Grüngut sowie die Vermarktung der Komposte und Erden gegründet wurde.

Die Biotonne wurde 1991 als ein Baustein des Wertstofffassungssystems Donau-Wald zunächst versuchsweise eingeführt. Im Jahre 2016 betrug der Anschlussgrad an die Biotonne 84 %, verbunden mit einem Biogutaukommen von 57.877 Jahrestonnen. Zusätzlich werden 65.643 Jahrestonnen Grüngut auf den dezentralen Sammelstellen, Recycling- und Wertstoffhöfen sowie an den Kompostier- und Vergärungsanlagen angenommen. Somit werden jährlich 123.520 Mg biogenes Material im Verbandsgebiet Donau-Wald (507.477 Einwohner) erfasst. Pro Einwohner werden 114 kg Biogut und 129 kg Grüngut angenommen und verarbeitet.

Die Verwertung des Bio- und Grünguts erfolgt mit der Zielsetzung einer Mehrfachnutzung. Sowohl das Bio- als auch das Grüngut werden zu großen Teilen der Vergärungsanlage zugeführt und zunächst zur Biogaserzeugung genutzt. Die verbleibenden Komposte werden zu großen Anteilen zusätzlich gezielt weiter aufbereitet und in großem Umfang zu hochwertigen Erden und Substraten weiterveredelt. Die Vermarktung der Komposte erfolgt möglichst außerhalb der Landwirtschaft. Mit diesem Konzept werden die wertgebenden Eigenschaften von Bio- und Grüngut in vollem Umfang genutzt.

Betreiber/Standort/Ansprechpartner

Firmensitz:	BBG Donau-Wald KU, - Werkleiter Karl-Heinz Kellermann Gerhard-Neumüller-Weg 1 94532 Außernzell
Ansprechpartner:	Karl-Friedrich Engl Leiter Qualitätssicherung, Entwicklung und Vertrieb Tel: 09903 920-170, karl-friedrich.engl@awg.de
Gebiet:	4.500 qkm und 507.477 Einwohner Landkreis Passau, Deggendorf, Regen, Freyung-Grafenau und die kreisfreie Stadt Passau
Input-Menge:	123.520 Mg
Anlagen:	7 Kompostieranlagen 11 Grüngutannahmestellen 2 Biogutkompostwerke 1 Grüngutvergärungsanlage 1 Erdenwerk mit Partnerunternehmen 2 Produktionsstätten für Sackware mit Partnerunternehmen 2 Vermarktungsbüros für Flüssigdünger mit Partnerunternehmen 1 Zentralbüro für die Vermarktung 1 Maschinenpark- und Logistikzentrum mit Siebanlagen, Häckslern und LKW (Container- und Schubbodenfahrzeuge)
Output:	25.000 m ³ Biokompost 30.000 m ³ Grüngutkompost 15.000 m ³ Rinden- und Düngemulch 12.000 m ³ Erden und Substrate 120.000 Säcke Erden, Kompost & Rindenmulch 38.000 m ³ Flüssigdünger (Gärrückstand flüssig)

Abbildung 77: Produktauswahl des BBG Donau-Wald



© BBG Außernzell

Verarbeitung von Grüngut und Vermarktung als hochwertige Erden und Substrate

Das Sammelsystem ist dezentral aufgebaut. Als Übergabestellen dienen Wertstoffhöfe, die verschiedenen Abfallverwertungsanlagen sowie eigens eingerichtete Sammelplätze. Die Sammelplätze sind alle eingezäunt und mit Personal versehen. Chargen von 800 bis 1.500 m³ werden gehäckselt und dann als Neucharge aufgenommen und über den gesamten Produktionsweg dokumentiert. Aus dem gesamten Massenstrom erfolgt eine Auftrennung in die Feinfraktion zur Kompostierung, Mittelfraktion zur Vergärung und Überkorn zur Nutzung als Brennstoff. Ab dem Frühjahr/Sommer erfolgt eine Silierung des Materials auf den befestigten Flächen von fünf Kompostieranlagen und in zwei großen Fahrsilos in Regen-Poschetsried für die dortige Grüngutvergärungsanlage.

Die Gärrückstände aus der Grüngutvergärungsanlage werden nachkompostiert, bzw. gehen wie der Flüssigdüngeranteil direkt in die Landwirtschaft. Für die Nachkompostierung der Grüngutgärrückstände müssen mindestens 50 % frisch gehäckselt Grünschnitt hinzugegeben werden, um eine neue biologische Aktivität zu starten. Durch regelmäßige Umsetzvorgänge durchlaufen dann auch diese Mieten den normalen Kompostierungsprozess.

Die produzierten Komposte aus den dezentralen Kompostierungsanlagen werden immer mit Reifegrad V angeboten. Die Komposte werden in verschiedenen Korngrößen je nach Kundenvorgaben und Anwendungsbereich bereitgestellt. Das Unternehmen nutzt verschiedene Techniken; hier wird individuell entschieden, ob die Aufbereitung mit einem Sternsieb- oder einem Trommelsieb geschieht. Grobes, holziges Material der 35 mm-Fraktion wird nochmals aufbereitet und findet Verwendung als Mulchstoff im Privatbereich, aber auch im Garten- und Landschaftsbau. Die Mittelfraktionen der 25 mm-Siebung gehen grundsätzlich in die Nachkompostierung bzw. in die Nachrotte. Nur reife ausgewogene Komposte werden auf 12 mm-Siebung, bei speziellen Kundenwünschen auch auf 10 mm oder 7 mm, fraktioniert. Alle Komposte werden nach dem RAL-Gütezeichen zertifiziert und haben eine sehr hohe Qualität. Die strengen Qualitätskriterien werden immer erfüllt, die Überwachungsverfahren konnten in den letzten 20 Jahren ohne Beanstandungen durchgeführt werden.

Die Störstoffanteile des in Verkehr gebrachten Komposts liegen weit unter den Grenzwerten der Gütesicherung. Hier ist die interne Qualitätssicherung ein wichtiger Hebel, gerade im Vorfeld die Materialien zu sichten und immer zur richtigen Zeit die Absiebungen einzuleiten. Bereits vor der Kompostierung werden Fremdstoffe sowohl maschinell als auch manuell per Hand aussortiert. Auch der Bereich Öffentlichkeitsarbeit wird im Unternehmen ganz großgeschrieben. Dabei wird über Presseartikel, aber auch auf Messen und Ausstellungen, gezielt an die Kunden herangetreten. Aktuell laufen Aktionen

(Erde für die Schule/Baumpflanzaktion/Führungen auf Kompostieranlagen) an Schulen und Kindergärten in der Region. Es wird versucht, schon bei den „Kleinen“ ein Umweltbewusstsein zu schaffen bzw. den Kreislaufgedanken zu schärfen.

Zeitgleich mit der Produktion von Erden und Substraten begann die Inbetriebnahme der Kompostwerke im Jahr 1996. Schon damals war klar, dass Kompost ein wertvoller Torfersatzstoff ist und der Erdenmarkt nach torffreien Produkten fragt. Diese Erden wurden teilweise vom Lehrstuhl für Gemüsebau der TU Weihenstephan entwickelt und werden vom Bodeninstitut Prügl laufend weiterentwickelt und analysiert. Das Produktsortiment umfasst derzeit 22 Produkte und wird laufend an Kundenwünschen angepasst. Hier bedarf es einer großen Flexibilität und schneller Entscheidungsfindung; die richtige Maßnahme bzw. das richtige Produkt zeitnah dem Kunden bereitzustellen.

Abbildung 78: Übersicht für die Produktpalette auf Grüngutbasis

Farbübersicht Produktflyer BBG Stand Januar 2016

Preisliste C 22 M 30 Y 78 k 0	Pflanz-substrat C 35 M 45 Y 80 k 0	Baum-substrat B C 20 M 50 Y 100 k 55	Baum-substrat A C 70 M 70 Y 100 k 40	Garten-kompost C 60 M 100 Y 100 k 20	Sportrasen-tragschicht C 32 M 28 Y 47 k 49	Auffüllerde C 49 M 30 Y 42 k 0
Tierwohl 15 % von Preisliste/ Anlagen	Rinden-mulch C 100 M 0 Y 0 k 0	Dünge-mulch C 5 M 25 Y 45 k 0	Schotter-rasensubstrat C 0 M 40 Y 100 k 0	Pflanz-erde C 10 M 80 Y 100 k 0	Rasen-fit C 0 M 100 Y 100 k 0	Humus-dünger C 75 M 60 Y 50 k 50
Intensiv-substrat C 70 M 70 Y 50 k 0	Dachgarten-substrat C 66 M 100 Y 0 k 0	Hochbeet-erde C 25 M 90 Y 15 k 0	Unterboden-substrat C 35 M 35 Y 0 k 0	Start- & An-zucherde C 0 M 50 Y 0 k 0	Erdreich C 66 M 27 Y 72 k 0	Grab-erde C 100 M 25 Y 100 k 30
Kompost Ldw C 100 M 55 Y 0 k 0	Trocken-stauden C 60 M 20 Y 0 k 0	Rasengitter-substrat C 90 M 5 Y 30 k 0	Oberboden-substrat 0/35 C 20 M 0 Y 10 k 0	Kultur-substrat C 30 M 10 Y 100 k 0	Blumen-erde C 70 M 0 Y 100 k 5	Rasen-substrat C 35 M 0 Y 100 k 55

© BBG Außernzell

Ausgerichtet auf den regionalen Markt hat das BBG schrittweise, quasi ohne externes Know-how, das jetzige Verarbeitungs- und Vermarktungskonzept aufgebaut. Dem BBG ist ein breites Sortiment wichtig, das gezielt auf die Nachfrage auf dem örtlichen Markt ausgerichtet ist. Die Produkte werden als Sack- und Palettenware sowie lose verkauft. Wichtiges Standbein in der Vermarktung sind eigene Einrichtungen im Verbandsgebiet, d. h. die ca. 110 Wertstoffhöfe, die Kompostieranlagen und Grüngutanahmestellen sowie weitere Großkunden des Zweckverbandes. Die Vermarktung der gefertigten Produkte erfolgt über die genannten Anlagen. Ergänzend wurde in den letzten 20 Jahren ein dichtes Netz an Händlern, Betrieben oder Geschäften als Partner gefunden. Die Produkte sind zudem bei EDEKA Südost gelistet.

Abbildung 79: Öffentlichkeitsarbeit – Glücksrad bei Produktpräsentation



© BBG Außernzell

Die Produkte werden laufend weiterentwickelt. Parallel dazu ist eine intensive Öffentlichkeitsarbeit unentbehrlich. So werden intensive Kontakte zu Gartenbauvereinen oder Schulen gepflegt. Dazu erfolgen eine umfassende Beratung der breiten Öffentlichkeit zum richtigen und zeitgerechten Einsatz von Erden und Substraten sowie Aktionen, wie aktuell die Babyboom-Aktion. Hier erhalten Eltern kostenlos 1000 l Kompost, um den berühmten Apfelbaum zur Geburt des Kindes pflanzen zu können. Die Vermarktung liegt in den Händen von 2,25 Arbeitskräften, mit Arbeitszeiten gerade auch an Wochenenden und in den Abendstunden. Eine Gartenhotline ist täglich zwischen 8.00 bis 17.00 Uhr besetzt. Für den Vermarktungserfolg entscheidend sind jedoch die Warenqualität sowie die zugehörige Güteüberwachung.

Von den Werken werden die Komposte kostenneutral übernommen. Die Erlöse aus der Vermarktung liegen in Summe bei 1,5 Mio. € mit steigender Tendenz.

Abbildung 80: Pflanzaktion, Schulklassen am Stand Messe Berlin



© BBG Außernzell

Verarbeitung von Biogut zu Komposten und ihre Weiterverarbeitung

Die Verarbeitung der Bioabfälle aus der Biotonne erfolgt zentral in den Anlagen in Regen und Passau-Hellersberg. Die geschlossene Kompostierung (System Wendelin) der Anlage Passau wurde um eine Vergärungsanlage ergänzt. Die Vergärung erfolgt trocken, in einem liegenden Fermenter, in kontinuierlicher thermophiler Betriebsweise. Das Inputmaterial wird vor der Beschickung auf 100 mm zerkleinert, mit Vergärungsoutput und Wasser gemischt und damit angeimpft. Die Verweilzeit ist mit 14 Tagen auf eine optimale Gasausbeute ausgelegt, sodass der Gärrückstand einen Rottegrad von IV bis V aufweist. Der Gärrückstand gelangt in eine Nachrotte, bzw. wird landwirtschaftlich verwertet.

Aus strategischen Überlegungen heraus, soll auch dieser Kompost in möglichst großen Anteilen außerhalb der Landwirtschaft vermarktet werden. Die Absatzmöglichkeiten sind in der Bayerwald-Region mit hohen Grünlandanteilen eher schwierig. Ausschließlich landwirtschaftlich verwertet wird jedoch der flüssige Gärrückstand aus Passau und Regen. Die Abwärme der Biogas-BHKW wird derzeit für die Trocknung von Klärschlamm der Stadt Passau bzw. zu Heizzwecken von Wohnhäusern genutzt.

Die Vermarktungsstrategie setzt eine hohe Kompostqualität voraus. Der Kompost wird in einem ersten Schritt zunächst auf einen Windsichter (nur in Passau-Hellersberg) gegeben und anschließend über Sternsieb und Trommelsieb auf eine Korngröße von 10 mm abgesiebt. Durch diesen feinen Siebschnitt ist der Kompost augenscheinlich frei von Fremdstoffen. Durch die Vergärung ist der Kompost zudem nahezu geruchsfrei. Übergrößen der 10 mm-Siebung werden nachkompostiert und nach ca. sechs bis acht Wochen nochmals gesiebt, hier können nochmals ca. 30 % Kompost (Agrarkompost) generiert werden.

Das Überkorn wird bei Subunternehmern mittels weiterer Siebtechnik aufbereitet. Die Feinfraktion geht als Kompost in die Landwirtschaft, die Holzfraktion als Rohstoffe in die Rotte zurück, die Steine zur Entsorgung, der übrige Anteil wird als Brennstoff vermarktet. Um den Aufwand in der Aufbereitung zu beschränken und den auszuschleusenden Siebüberlauf zu begrenzen, wird ein besonderes Augenmerk auf die Sammlung bzw. das Trennverhalten der Bürger gelegt.

Die Sammlung der biogenen Abfälle erfolgt per Holsystem, mit einem eigenen Fuhrpark mit über 50 Seitenladern. Hier kann der Fahrer über Kameras den Schüttvorgang kontrollieren und ggf. noch auf vorhandene Fremdstoffe reagieren. Bei der Feststellung von Fremdstoffen bleibt die Tonne stehen oder bei einem leichteren Verstoß werden die Kunden mit einem Infocettel auf die Missstände hingewiesen. Aktuell liegt der Anteil von Störstoffen bei ca. 3 Gew.-%. Für die Reinhaltung der Biotonne

werden der kompostierbare Bio-Beutel (aus Mais- od. Kartoffelstärke) bzw. die Nutzung von Zeitungspapier empfohlen.

Die Vermarktung der Komposte erfolgt zu etwa 60 % über Erdenwerke (eigenes bzw. fremde), diese Komposte dienen zur Produktion von torfreduzierten Erden als Sackware. Die größten Kompostmengen werden inzwischen zur Produktion von Erden und Substraten in loser Form für den Garten- und Landschaftsbau, den Privatbereich, Sportstätten und für öffentliche Aufträge gebraucht. Der Anteil des an die Landwirtschaft vermarkteten Komposts liegt bei nur noch 10 %. Angesichts der hohen Nachfrage gibt es für die Komposte quasi keine Lagerhaltung, sondern lange Vorbestelllisten. Eine wichtige Dienstleistung ist eine zeitnahe Bereitstellung der Flüssigdünger bzw. die Organisation der Einlagerungen in Güllegruben. Hier wird die BBG durch zwei Lohnunternehmer (wegen Einarbeitung und Schnelligkeit) unterstützt.

Die positive Entwicklung und das Modell der intakten Kreislaufwirtschaft (vom Grüngut zur Fertigerde) haben die Akzeptanz gesteigert. Durch gute Preise, kompetente, fachliche Beratung und ein großes Produktsortiment werden breite Käuferschichten angesprochen. Durch gezielte Aktionen, Messeauftritte, Werbeanzeigen und einen ansprechenden Internetauftritt werden die Kunden informiert.

6 Hochwertige Verwertung von Bioabfällen - Empfehlung

Bioabfälle möglichst hochwertig zu verwerten, ist eine wichtige umweltpolitische Aufgabenstellung. Abfallmassen müssen als hochwertige sekundäre Rohstoffe verstanden werden, die es gemäß ihren wertgebenden Eigenschaften möglichst umfassend zu nutzen gilt. Im Ergebnis zeigt sich dasjenige Verfahren am hochwertigsten, das wertvolle Produkte erzeugt, dabei zur Energieversorgung beiträgt und dies verbunden mit möglichst geringen Emissionen oder anderen Umweltlasten.

Wie auch im alten KrWG/AbfG formuliert: "Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung (...)", die unterschiedlichen wertgebenden Eigenschaften und damit Potenziale sind entscheidend für die Bestimmung der hochwertigsten Verwertungslösung. Diejenige Lösung zeigt sich am hochwertigsten, die es versteht, diese spezifischen Potenziale möglichst umfassend bzw. vollständig zu heben. Eine hochwertige Abfallverwertung sieht demnach für Holz oder holzige Abfallbiomassen anders aus als bspw. für Küchenabfälle.

Wie wurde vorgegangen? Zum einen wurden die Abschnitte in einem gesamten Lebenszyklus einer Bioabfallverwertung identifiziert, die wesentlich die Hochwertigkeit einer Verwertungsmaßnahme bestimmen. Zum anderen galt es für diese jeweils die Spielräume zur Optimierung zu erkennen, die vor allem mit einer Minderung des Emissionsniveaus und einer verstärkten Schonung der natürlichen Ressourcen erreichbar sind. Auf diese Weise wurden die zentralen Stellschrauben identifiziert, die eine hochwertige Bioabfallverwertung ermöglichen, und dies nach Biogut und Grüngut getrennt. Die zentralen Eckpunkte wurden in Form von Steckbriefen festgehalten.

Wie man aus der Analyse des derzeit erreichten Status Quo in der Verwertung von Bioabfällen erkennen kann, sind noch deutliche Defizite vorhanden. Dies gilt sowohl für Biogut als auch für Grüngut. Auf dieser Basis werden nachfolgend Maßnahmen abgeleitet, die wesentliche Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung dieser Bioabfallmassen darstellen können.

Die inhaltliche Ableitung der Empfehlungen und Formulierung der Maßnahmen erfolgt nach Biogut und Grüngut getrennt und dies in der Abfolge: Beeinflussung der Inputqualitäten, Optimierung der Behandlungstechnik sowie Nutzung von Biogas, Kompost und Gärrückständen.

6.1 Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von Biogut

Mobilisierung der Abfallbiomassen und Sicherung von fremdstoffarmen Inputströmen

Die Umsetzung der gesetzlichen Vorgabe zu einer flächendeckenden Erfassung von Biogut erfolgt in der Praxis schrittweise. Teilweise müssen die Sammelsysteme auch erst neu eingeführt werden. Die Umstellung der Abfallwirtschaft in Richtung einer Kreislaufwirtschaft und damit getrennten Bereitstellung sowie Sammlung von wertgebenden Abfallbestandteilen als Wertstofffraktionen ging einher mit einer umfassenden Öffentlichkeitsarbeit. In die erstmalige Aufstellung und dann Umsetzung der Abfallwirtschaftskonzepte waren Abfallberater eingebunden, die entsprechend umfassend und auf die einzelnen Zielgruppen zugeschnittenen Beratungsleistungen angeboten haben.

Der Mensch und damit der Abfallerzeuger ist die zentrale Stellschraube, die wesentlich über den Erfolg und damit auch die Hochwertigkeit von Verwertungswegen entscheidet. In den Haushalten erfolgt eine Auftrennung in einzelne Abfallteilfraktionen in einer Form, die durch nachgeschaltete Sortier- und Klassiertechniken nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand in gleichem Maße erfolgen könnte. Alle nachgelagerten Verwertungswege sind auf Inputmassen angewiesen, die auf den intendierten Nutzen schon weitgehend zugeschnitten sind und damit in sich möglichst homogen und frei von Fehlwürfen anfallen. Dies gilt auch für die biogenen Bestandteile des Hausmülls. Eine stoffliche Verwertung und der Einsatz als bspw. Düngemittel ist schadlos nur dann möglich, wenn nicht aus dem gemischten Abfall Müllkomposte hergestellt werden, sondern das Ausgangsmaterial auf die in Küchen und Gärten anfallende Biomassen beschränkt bleibt.

Um diese am Ort der Abfallentstehung notwendige Trennleistung zu erzielen, bedarf es motivierter Abfallerzeuger bzw. Haushalte. Die Motivation kann sich ganz grob charakterisiert aus wirtschaftlichen Anreizen und dem Vermeiden von Sanktionen ergeben. Der wesentliche Treiber sollte aber intrinsisch verankert sein und aus dem Streben erfolgen, mit dem Handeln wesentlich zu einem gesellschaftlich wertvollen Erfolg beizutragen. Im Einzelnen sind folgende Bausteine notwendig: Mit der Ausweitung der Bioguterfassung in ein flächendeckendes Angebot werden gerade auch Strukturen für die Biotonne erschlossen werden müssen, die nicht ganz unproblematisch sind. Gerade in Gebieten mit verdichteter Bebauung, entsprechender Gebäudestruktur und tendenziell auch Sozialstruktur bedarf es umfassender Beratungsleitung. Neben der direkten Haushaltsberatung mittels der verschiedenen Medien (Anschreiben, Hauswurfsendungen, Hausbesuche, Infostände, Bürgerversammlungen, etc.) durch die zuständige Gebietskörperschaft sind eine regionale Pressearbeit und wenn möglich flankierende bundesweite Maßnahmen hilfreich.

Maßnahme 1: Akzeptanz und Öffentlichkeitsarbeit

Um die notwendige Akzeptanz der Getrenntsammlung von Biogut beim Abfallerzeuger zu optimieren und nachhaltig zu etablieren müssen wieder vermehrt entsprechende Impulse in der Öffentlichkeitsarbeit und für eine auf strukturelle Randbedingungen angepasste Abfallberatung gesetzt werden. Dies können Best Practice Beispiele sein, die identifiziert und kommuniziert werden, möglicherweise ergänzt um regelmäßige Wettbewerbe und Auszeichnungen oder ein Einordnen anhand von Benchmarks.

Für die Durchführung stehen grundsätzlich die Kommunen bzw. ÖRE in der Pflicht. Aber auch bundesweite Kampagnen mit einer überregionalen Einbeziehung von weiteren Medien (überregionale Zeitungen, TV) können vom Bund und den Ländern unterstützt werden (wie z.B. die bundesweite Aktion Biotonne Deutschland von Firmen des Lebensmitteleinzelhandels und Umweltverbänden initiiert).

Der Sammelerfolg im Sinne eines hohen Abschöpfungsgrades ist umso höher oder leichter zu erreichen, wenn die Verlagerung der biogenen Abfallmassen in die Biotonne auch mit einem wirtschaftlichen Vorteil verbunden ist. Eine Gebührensatzung, die bezogen auf das Volumen, das Gewicht oder die Entleerung des Gefäßes die Zuordnung des Abfalls zur Biotonne mit einer spürbaren Kostenentlastung verbindet, kann zu einem deutlichen Sammelerfolg beitragen. Diese klassischen Anreize stehen oft im Widerstreit zur Qualität der Getrennterfassung, d.h. einem möglichst niedrigen Anteil an Stör- und Fremdstoffen. Die über die Abfallsatzungen vorgegebenen Standards bedürfen daher auch einer Überwachung, verbunden mit entsprechenden Sanktionsandrohungen.

Wie nicht zuletzt auch der Erfahrungsaustausch im Rahmen des Qualitätsgipfels zeigte, zeigen Abfallanalysen und eine Erhebung der Fehlwurfanteile, dass sich die letztendliche Belastung des Biogutes durch Fremd- und Störstoffe auf das Fehlverhalten weniger Grundstücke oder Haushalte zurückführen lässt. Diese gilt es zu erkennen, um dann gezielt mit Beratung oder auch nachfolgend Sanktionen für Abhilfe sorgen zu können. Hierzu gibt es verschiedene Lösungen wie Techniken zur Identifikation von Biotonnen mit hohen Fehlwurfanteilen oder auch regelmäßige visuelle Kontrollen bspw. im Rahmen der Sammeltouren durch das Personal vor Ort.

Kommunen bzw. öRE, welche vermehrt aber angemessen den Sammelerfolg kontrollieren und entsprechend sanktionieren, bewerten die getroffenen Maßnahmen i.d.R. als Erfolg. Wichtig ist aber, die entsprechenden Maßnahmen und Sanktionen (z.B. als Ordnungswidrigkeit) auch in der Abfallsatzung/Gebührenordnung zweifelsfrei zu verankern.

Maßnahme 2: begleitende organisatorische Maßnahmen

Satzungen und Gebührensysteme sollten im Hinblick auf die Erfassung möglichst fremdstofffreier Biogutqualitäten optimiert werden, flankiert durch angemessene und geeignete Kontroll- und Sanktionsmaßnahmen. Hierzu wurden bereits einzelne Leitfäden und andere Handreichungen zur Beratung der Kommunen bzw. der mit der Sammlung beauftragten Unternehmen erstellt, die durch weitere Erkenntnisse und Best Practice Beispiele aktualisiert werden sollten. Zusätzlich sollte der Informationsaustausch über erfolgreiche Konzepte und Erfahrungen zwischen den öRE intensiviert werden.

Auch in den Gebietskörperschaften, in denen die Biotonne als Sammelsystem eingeführt ist, sind schwierige Bebauungs- und Sozialstrukturen in der Regel aus den Sammelgebieten ausgenommen, obwohl es auch für diese schwierigen Strukturen positive Umsetzungsbeispiele gibt. Es bedarf daher in der Regel Strategien, wie sich diese Strukturen für eine Bioabfallsammlung erschließen lassen, die zunächst erarbeitet werden müssen. Neben einem Erfahrungsaustausch mit den erfolgreichen Praxisbeispielen, lassen sich derartige Strategien nur in der konkreten schrittweisen Umsetzung – quasi in trial and error – herausarbeiten. Der damit verbundene Aufwand dürfte nicht klein sein.

Es bietet sich daher an, unterschiedliche auf verschiedene Strukturtypen zugeschnittene Projekte zur Einführung der Biotonne zu starten, die als Feldversuche und Demonstration auch für andere Gebietskörperschaften herangezogen werden können. Noch ist die Regelung „flächendeckend“ nicht abschließend umgesetzt. Ist damit eine tatsächliche Erschließung aller bebauten Grundstücke gemeint (bis auf begründete Ausnahmefälle), dann stehen die Kommunen und ÖRE vor größeren Herausforderungen.

Maßnahme 3: Anforderung an die flächendeckende Erfassung festlegen

Die flächendeckende Erfassung des Bioguts wird auf Grund verschiedener schwieriger Bebauungs- und Sozialstrukturen teilweise nicht konsequent verfolgt. Die Erarbeitung von übertragbaren Strategien zur Erschließung problematischer Strukturen für die Biotonne, aufbauend auf Feldversuchen, die auf verschiedene typische Randbedingungen hin ausgesucht und konzipiert wurden, würden viele öRE in Ihrer Umsetzung unterstützen. Die Kommunikation von Best Practice Beispielen sowie die praktischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse mit dem Einsatz von Trennhilfen (z.B. Papier- und BAW-Beutel) oder Zusatzservice (z.B. Tonnenreinigung) sollte gefördert werden.

Eine Erkenntnis des Erfahrungsaustausches von Experten im Rahmen des Projektes und dem Qualitätsgipfel ist die Notwendigkeit der vertraglichen Regelung von höchstzulässigen Stör- und Fremdstoffanteilen in den Abfallmassenströmen, die an Bioabfallbehandlungsanlagen zur Verwertung übergeben werden. Liegen die Sammlung des Bioabfalls und dessen Verwertung in getrennten Händen, bedarf es Regelungen, die die Wahrung der Interessen des Anlagenbetreibers und die Sicherstellung einer hochwertigen Verwertung auch im System nach vorne als verbindliche vertragliche Vereinbarungen festschreiben. Die genauen Festlegungen ergeben sich möglicherweise aus den Randbedingungen im Einzelfall. In jedem Fall lenken derartige Vorgaben das Augenmerk auf eine entsprechende Ausgestaltung der Sammelsysteme (s.o.)

Die Regelungen müssen zum einen eine Vorgabe der maximal tolerierten Stör- und Fremdstoffanteile enthalten. Hierbei kann möglicherweise auch differenziert vorgegangen werden, indem zum einen eine absolute Obergrenze verbunden wird mit einem darunter liegenden Range, der eine Belastungssituation beschreibt, die nur mit einem erhöhten Aufwand in den nachfolgenden Behandlungsschritten begegnet werden kann. Dieser Mehraufwand würde demnach mit Pönnen oder anderen Annahmepreisen verbunden werden. Zu klären ist hierbei auch, wie derartige Vertragswerke ausgestaltet werden sollten.

Zum anderen bedarf es aber auch einer praktikablen Methode, im Praxisbetrieb, d.h. schnell aber richtungssicher, den Fremd- und Störstoffanteil zu bestimmen. Grundsätzlich wird dies wahrscheinlich nur über Sichtungen möglich sein und damit möglicherweise sehr stark abhängig von den handelnden Personen. Hier bedarf es der Herausarbeitung einer sinnvollen Handlungsweise und darauf aufbauend entsprechender Schulung. In diesem Zusammenhang sei auf die gegenwärtig von der BGK erarbeitete Methode zur Bestimmung der Sortenreinheit von Biogut (Gebietsanalyse oder Chargenanalyse) verwiesen.

Maßnahme 4: Fremd- und Störstoffgehalte im Input begrenzen

Erarbeitung von Strategien zur Begrenzung von höchstzulässigen Fremd- und Störstoffanteilen im Anlageninput, Formulierung von entsprechenden vertraglichen Regelungen und letztendlich auch Herausarbeitung einer Methode, die eine schnelle und zugleich belastbare Sichtung und Beschreibung des Inputmaterials erlaubt.

Die entsprechenden fachlichen Institutionen und Verbänden (z.B. BGK, VHE, VKU, BDE, u.a.) haben hierzu bereits Vorschläge und die BGK eine Analysemethode erarbeitet, welche noch im Praxistest untersucht wird. Ziel sollte es sein, bundesweit einheitliche Regelungen hierzu abzustimmen.

Auch mit einer optimierten Strategie zur Begrenzung der Fehlwurfanteile in den Biotonnen und / oder Regelungen zur Begrenzung der zugelassenen Fremdstoffanteile im Input von Verwertungsanlagen bedarf es technischer Maßnahme zur Stör- und Fremdstoffentfrachtung in den Verwertungsanlagen selbst. Wie nicht zuletzt der Erfahrungsaustausch mit Experten aus der Praxis im Rahmen des Qualitätsgipfels zeigte, erscheint hierfür eine Kombination von Maßnahmen sinnvoll, die in den ersten Schritten im Anlageninput und in der Konfektionierung der produzierten Komposte ansetzen.

Der Siebüberlauf besteht nicht nur aus Stör- und Fremdstoffen, sondern in erheblichen Anteilen auch aus holzigem und anderem grobem biogenem Material, was durchaus sinnvoll wieder in den Behandlungsprozess rückgeführt werden kann bspw. als strukturgebendes Material für Rotteprozesse. Soll damit keine Stör- und Schadstoffanreicherung verbunden sein, muss das Material vorab in geeignet und ungeeignet aufgetrennt werden. Wie die Diskussion im Qualitätsgipfel zeigte, können hierfür auch automatische Sortiersysteme bspw. über NIR-Technik geeignet sein.

Maßnahme 5: anlagenseitige Fremd- und Störstoffentfrachtung

Neben den organisatorischen Maßnahmen zur Fremd- und Störstoffentfrachtung im Biogut sind weitere technische Maßnahmen anlagenseitig zu optimieren. Entsprechend technische Entwicklungen und die Durchführung von vergleichenden Praxistests auf unterschiedlich konzipierten Anlagen sind förderwürdige Maßnahmen und sollten vermehrt koordiniert, wissenschaftlich begleitet und die Ergebnisse kommuniziert werden. Hier ist in der Regel der einzelne Anlagenbetreiber mit seinen technischen und organisatorischen Möglichkeiten überfordert vergleichende Untersuchungen ausreichend wissenschaftlich durchzuführen.

Kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung über Vergärung zur Biogaserzeugung und anschließende stoffliche Nutzung der Gärreste (Mehrfachnutzung)

Die sowohl energetische als auch stoffliche Nutzung des Biogutes ist ein wichtiger Baustein für eine hochwertige Bioabfallverwertung. In Kombination mit einer hochwertigen Verwertung der Gärrückstände werden bedeutende Substitutionserfolge erzielt. Die energetische Nutzung des so erzeugten Biogases kann einen Baustein zum Klimaschutz beitragen.

Wie man aus der Analyse des Status Quo ersehen kann, werden derzeit etwa 25% des getrennt gesammelten Bioguts einer Vergärung zugeführt. Auch wenn über die letzten Jahre ein kontinuierlicher Zubau von anaeroben Behandlungskapazitäten erreicht wurde, ist die Situation insgesamt nicht zufriedenstellend und das Potenzial bei weitem nicht erschlossen. Unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und technischen Aspekten ist ein weiteres Potenzial von ca. 1 bis 1,5 Mio. Mg Anlagenkapazität für eine anaerobe Vorbehandlung vorhanden. Das entspricht etwa 50 bis 75 neuen Anlagen bzw. Nachrüstungen von bestehenden Kompostierungsanlagen. Unter den derzeitigen rechtlichen Vorgaben und Anreizsystemen werden diese Potenziale nicht gehoben werden können.

Ein Zwang zur Nachrüstung bestehender und TA-Luft konformer Kompostierungsanlagen mit einer Vergärungsstufe wäre vor dem Hintergrund der regional unterschiedlichen Anlagen- und Vermarktungskonzepte (z.B. dezentrale Kompostierungsanlage in einem Flächenlandkreis mit direktem Kompostabsatz im intensiven Gemüseanbau) nicht sinnvoll. Daher sollte man hier strategisch eher auf eine zusätzliche Förderung zum Ausbau der Vergärung setzen.

Die neuen Eckpunkte des EEG 2017, welche auf Wettbewerb und Ausschreibung beruhen, sind allerdings für die öRE wie auch private Entsorger wenig geeignet, den Ausbau der Mehrfachnutzung von Biogut voranzubringen. Durch den Wegfall der Sonderbedingungen im vorherigen EEG 2014 (§27) sind nunmehr auch die kommunalen Betreiber der Bioabfallvergärungsanlagen gezwungen, am Wettbewerb teilzunehmen. Für die Kommunen, Landkreise und öRE ist dieser Vorgang aber im Hinblick auf den politischen Entscheidungsprozess sehr problematisch. Im Prinzip müssen die öRE einen kompletten Planungsprozess anschieben mit einer nicht unerheblichen Investition (Standort und Genehmigungsplanung müssen vorliegen vor einer Bewerbung) und wissen vorab nicht, welche wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Förderhöhe nach EEG) letztendlich anzusetzen sind. Da sich Kommunen bzw. öRE nicht so am Markt bewegen können wie private Unternehmen, besteht durch diese Vorgaben ein ernst zu nehmendes Hemmnis.

Da die Förderung im Wesentlichen die i.d.R. zusätzliche Kostenbelastung bei einer Mehrfachnutzung (Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung) gegenüber einer reinen Kompostierung ausgleichen

soll, könnten auch andere Förderstrukturen als das EEG diesen Ausgleich bewirken. Anreize zur Umsetzung könnten durch eine Investitionsförderung gestaltet werden, wobei die Zuwendungsvoraussetzung die Realisierung einer hochwertigen Anlage mit allen emissionsmindernden Maßnahmen nach dem Stand der Technik beinhalten müsste.

Maßnahme 6: Kostenausgleich bei Mehrfachnutzung mit Vergärung gegenüber Kompostierung

Die hochwertige Behandlung des Biogut mittels einer Vergärung mit anschließender Kompostierung (Mehrfachnutzung) ist i.d.R. kostenintensiver als die alleinige Kompostierung nach dem Stand der Technik. Um den Ausbau der Mehrfachnutzung zu unterstützen oder zu beschleunigen sind entsprechende Fördermaßnahmen wie das EEG oder eine einmalige Investitionsförderung zu optimieren oder zu entwickeln. Das betrifft die Prüfung und ggf. Modifizierung des EEG z.B. mit der Formulierung eines Sonderstatus für öRE anstelle des Wettbewerbsverfahrens oder/und eine parallele Investitionshilfe, welche die ggf. vorhandene wirtschaftliche Unsicherheit ausgleicht.

Auch unter modifizierten Anreizen über das EEG oder auch Investitionsbeihilfen ist die Erweiterung der Kompostierungsanlagen um eine anaerobe Stufe oder auch die Neuerrichtung einer Bioabfallvergärungsanlage mit Investitionen und Betriebskosten verbunden, die sich nur bei entsprechenden Durchsatzleistungen rechnen (Skalierungseffekt). Bezieht man die weiteren Maßnahmen wie hohe Emissionsstandards, optimale Nutzung des erzeugten Biogases (s.u.) mit ein, könnte die zusätzliche Behandlungskapazität mit Mehrfachnutzung zukünftig eher in zentralen größeren Anlagen erfolgen.

Nicht in allen Kreisen und kreisfreien Städten bzw. ÖRE lassen sich auch bei einem flächendeckenden Anschluss Sammelmengen für Biogut erzielen, die derartige Durchsatzleistungen ermöglichen. Dies kann über entsprechende Entsorgungsverträge mit gewerblich betriebenen Verwertungsanlagen gewährleistet werden. Eine Alternative hierzu ist die Bildung von Kooperationen mehrerer Gebietskörperschaften zum gemeinsamen Betrieb oder zur Ausschreibung einer zentralen Verwertungsanlage.

Maßnahme 7: interkommunale Kooperation fördern

Die Gebietskörperschaften sollten zu interkommunalen Kooperationen ermuntert werden. In einem ersten Schritt gilt es für die einzelnen Regionen oder Länder den entsprechenden Bedarf zu ermitteln, ergänzt im zweiten Schritt um den Aufbau entsprechender regionaler Verwertungskonzepte. Darüber hinaus könnten fachliche Gutachten unterstützt werden, die die technischen und rechtlichen Fragen der Ausgestaltung regionaler Kooperationen bearbeiten. Die gebündelten Mengen können dann im Eigenbetrieb behandelt oder als Dienstleistung ausgeschrieben werden.

Eine interkommunale Kooperation meint eine Kooperation über administrative Grenzen hinweg. Die Kooperation bzw. die entsprechenden Anlagen können auch privatwirtschaftlich sein.

Vergärung mit einem optimierten Gasnutzungskonzept

So wie auch bei anderen Verwertungssystemen für andere Abfallmassenströme über Zielvorgaben zu Sortier- und Verwertungsquoten, sollten auch die Systeme der Verwertung der Bioabfälle die wertgebenden Potenziale der Abfallmassen möglichst umfassend nutzen. Eine Verwertung ist nicht per se ökologisch vorteilhaft. Sie muss nutzenoptimiert aufgestellt sein.

Die Verwertungsanlage sollte zu einem möglichst hohen Biogasertrag in der Lage sein. Dies bedeutet, dass das gesamte Biogut oder zumindest ein möglichst großer Teilstrom den Fermentern zugeführt wird und dort durch entsprechende Anmaischung / Animpfung, Temperaturniveaus und längere Verweilzeiten zu einem Gasertrag führt, der z.B. 80% des theoretischen Potenzials (ermittelt aus dem VDI-Gärtest) beträgt.

Berücksichtigt werden müssen dabei aber die Zusammenhänge einer maximalen Gasausbeute mit einer gesicherten und optimalen Nachrotte. Eine hohe Gasausbeute ist häufig die Ursache für eine suboptimale Rotte und einen dadurch erhöhten Wassergehalt im Rotteprodukt, was wiederum zu einem schlechteren Siebergebnis und Fremdstoffabtrennung bei der Konfektionierung führt. Je nach technischer Ausführung der Anlage kann es daher im Einzelfall auch sinnvoller sein, die Gasausbeute entsprechend anzupassen.

Darüber hinaus ist aber auch das Gasnutzungskonzept entscheidend für eine optimale Energieausbeute. Das betrifft nicht nur die sinnvolle und umfassende Verwertung der Abwärme bei einer BHKW-Verstromung auch unter Einbindung des Eigenwärme- und Stromverbrauchs der Anlage. Die Aufbereitung zur Biomethan mit einer nachgeschalteten Einspeisung ins Erdgasnetz oder die Nutzung als Kraftstoff für z.B. Müllfahrzeuge sind bereits in der Praxis realisiert worden und können zudem unabhängig vom EEG wirtschaftlich interessant werden. Darüber hinaus ist grundsätzlich zu prüfen, inwieweit ein flexibler Betrieb und/oder Gasspeicherung und Nutzung im Hinblick auf eine bessere Integration in den Energiemarkt sinnvoll und praktikabel ist.

Maßnahme 8: Biogaserzeugung und Nutzung weiterentwickeln

Die Erfahrungen der mittlerweile fast 100 Biogutvergärungsanlagen im Hinblick auf eine effektive Gasausbeute- und Nutzung sollten besser genutzt und ggf. anhand verschiedener Effizienzparameter bewertet werden - Benchmark. Aufwand und Nutzen der verschiedenen technischen Möglichkeiten sind auch vor dem Hintergrund einer optimalen Systemintegration und der gewünschten hochwertigen Verwertung (z.B. flexibles Gasnutzungskonzept) immer zu prüfen.

Minderung des Emissionsniveaus

Wie aus der Analyse in dem Forschungsprojekt deutlich wurde, entscheidet das Emissionsniveau in der Bioabfallbehandlung wesentlich über die Umweltverträglichkeit und damit auch die Hochwertigkeit der Verwertungssysteme. Dies ist nicht nur auf die Freisetzung von klimaschädlichen Stoffen zurückzuführen. Auch die Stickstoffdynamik und hieraus die Freisetzung von insbesondere Ammoniak tragen deutlich hierzu bei. Die entscheidenden Emissionsquellen sind auf wenige Abschnitte im Behandlungsprozess konzentriert.

Wie aus den Analysen zum Status Quo zu erkennen ist, sind viele Verwertungsanlagen (Kompostierungs-sowie Vergärungsanlagen) nicht ausreichend auf die Erfordernisse der Emissionsminderung ausgerichtet. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, es bedarf noch in großem Stil Nachrüstungen und Modifikationen an den Anlagen.

Im Bereich der baulichen Gestaltung der Fest-/Flüssigtrennung in den bestehenden Vergärungsanlagen gaben nur 67% der befragten Nassvergärungsanlagen bzw. 84% der befragten Pfropfenstromanlagen an, über eine geschlossene Ausführung der Fest-/Flüssigtrennung mit Abluftfassung und -behandlung zu verfügen. Dies ist für diese kritische Behandlungsphase unzureichend, bei Anlagen mit einer Fest-/Flüssigtrennung ohne eine Einhausung und Abluftfassung besteht Handlungsbedarf.

Nur mit einer gezielten Aerobisierung ist es möglich, das Emissionsniveau und hier auch die Freisetzung von Methan deutlich zu reduzieren. Wie die Status Quo-Aufnahme zeigte, verfügen nicht alle Vergärungsanlagen über dieses Modul. Ist es vorhanden, wird es aber in 1/3 der Fälle nicht in geschlossener Form mit Ablufterfassung und -behandlung betrieben. Insbesondere bei vielen Anlagen, die als Boxenvergärung ausgelegt sind, besteht dringender Handlungsbedarf.

Auch die Nachrotte der Gärrückstände verfügt über ein relevantes Emissionspotenzial, dem zum einen mit einer entsprechenden Rotteführung begegnet werden kann. Um diese Prozesse vor Vernässungen aus Niederschlagsereignissen zu schützen, ist zumindest eine Überdachung notwendig. Ist das Emissionspotenzial höher, da der Gärrückstand in die Nachrotte bspw. keinen hohen Reifegrad aufweist,

muss die Nachrottephase eingehaust und in Verbindung mit einer entsprechenden Abluftbehandlung ausgelegt werden. Wie die Status Quo-Aufnahme zeigte, sind in 2/3 der Anlagen die Nachrotte nicht geschlossen ausgeführt und in offener Ausführung verfügt nur die Hälfte der Anlagen über eine Überdachung der Nachrotte.

Die Abluft aus der Aerobisierung mit den entsprechenden Methangehalten muss einer thermischen Behandlung bspw. als Zuluft für die Biogas-BHKW zugeführt oder anderweitig gezielt behandelt werden. Zur Unterstützung der Abreinigungsleistung eines Biofilters ist der Einsatz eines vorgeschalteten Sauren Wäschers zur Minderung der Ammoniakfrachten notwendig. Nur knapp die Hälfte hat den Betrieb eines solchen Moduls vorgesehen und nicht in allen diesen Anlagen ist das Aggregat auch installiert und betrieben.

In manchen Verfahrenskonzepten fallen flüssige Gärrückstände zur Entsorgung an. Diese Gärrückstände sind ebenfalls eine wichtige Quelle für Methan. Trotzdem haben 1/3 der Anlagen keine geschlossenen Gärrückstandslager, wie die Status Quo-Aufnahme zeigte.

In vielen Fällen erfolgt die Verwertung des Bioabfalls mittels aerober Kompostierung. Auch dieser Prozess kann mit einem hohen Emissionspotenzial verbunden sein. Wie die Analyse in diesem Projekt zeigt, kann das Emissionsniveau durch entsprechende Technik und Betriebsweisen deutlich gemindert werden mit entsprechenden Erfolgen in der Umweltverträglichkeit.

Wie die Status Quo-Aufnahme in diesem Projekt zeigte, die durch umfassende Befragungen in vier Bundesländern ergänzt wurde, gibt es sehr eindrückliche regionale Unterschiede und daraus abgeleitet teilweise dringenden Handlungsbedarf.

So sind der Anlieferbereich und daran anschließend die Aufbereitung wohl in den meisten Bioabfallkompostierungsanlagen nicht geschlossen ausgeführt. Selbst der Rotteprozess selbst erfolgt meist offen und damit ohne die Möglichkeit, belastete Abluft zu fassen und einer gezielten Behandlung zuzuführen. Selbst die Intensivrotte und damit die Rottephase mit dem höchsten Emissionspotenzial war im Jahr 2009 zu 2/3 offen ausgeführt. Die aktuelle beispielhafte Erhebung von Anlagen mit >10.000 t/a Jahresdurchsatz in 4 Bundesländern zeigte auch hier erhebliche regionale Unterschiede: in zwei Bundesländern waren alle Anlagen geschlossen ausgeführt, in den beiden anderen Bundesländern nur etwa die Hälfte. Interessanterweise haben nicht alle Kompostierungsanlagen einen Biofilter und nur knapp 10% zudem in Verbindung mit einem Wäscher bzw. sauren Wäscher, eine deutlich unzureichende Situation.

Als Fazit lässt sich festhalten: Es besteht dringender Handlungsbedarf.

Gerade bei der vertiefenden Erhebung exemplarisch in vier Bundesländern wurden gravierende regionale Unterschiede offenbar. Es liegt auf der Hand, für alle Anlagen einheitlich eine gute fachliche Praxis einzufordern und auf die Einhaltung der Emissionsstandards zu dringen, da die Emissionen wesentlich zu negativen Klimafolgen und sonstigen Umweltauswirkungen der Anlagen beitragen. Diese Gefährdungspotenziale wirken in der Regel überörtlich oder gar global (Methanemissionen!). Aus Standortbedingungen abgeleitete geringere Anforderungen an die bauliche Ausführung, Maßnahmen zur Emissionsminderung und Überwachung sind fachlich nicht zu rechtfertigen.

Maßnahme 9: Standards zur Emissionsminderung zwingend einhalten

Wie aus den Analysen zum Status Quo zu erkennen ist, sind viele Verwertungsanlagen (Kompostierungs- sowie Vergärungsanlagen) nicht ausreichend auf die Erfordernisse der Emissionsminderung ausgerichtet. Hier besteht entsprechender Handlungsbedarf zu Nachrüstungen und Modifikationen an den Anlagen.

Die Einhaltung einheitlicher und gesetzlich geforderter Standards (z.B. Einhaltung der Vorgaben der bereits seit langem geltenden TA-Luft) und Maßstäbe muss verstärkt durch die entsprechenden Genehmigungsbehörden dokumentiert, vollzogen und kontrolliert werden.

Ggf. vorhandene Informationsdefizite in diesem Zusammenhang bei den Betreibern, sollte durch regelmäßige Schulungen, einem entsprechenden Qualitätsmanagement („Anlagen-TÜV“) oder Unterweisungen verhindert werden.

Wie die Erhebung und Auswertung der vorhandenen Datensätze in diesem Forschungsprojekt zeigt, wird eine konsequente Umsetzung der gleichen Emissionsstandards und entsprechender baulicher und technischer Maßnahmen an vielen Verwertungsanlagen zu Nachrüstungen und damit Investitionen führen müssen. Sammlung und Verwertung von Bioabfällen über die Biotonne steht derzeit stark in der Diskussion, abgeleitet nicht selten aus wirtschaftlichen Überlegungen und befürchteten Erhöhungen der Abfallgebühren.

In diesem Zusammenhang liegt es auf der Hand zu prüfen, inwieweit über Investitionsbeihilfen oder Förderprogramme die umfangreichen Maßnahmen und die Kostenbelastung zumindest teilweise aufgefangen werden können. Die verschiedenen Verwertungsanlagen stehen im Wettbewerb zueinander. In der Regel sind hier die Kostenvorteile entscheidend, die sich nicht zuletzt aus geringen Investitions- und Betriebskosten ableiten lassen. Dieser relative Wettbewerbsvorteil sollte nicht durch Subventionen fortgeschrieben werden.

Maßnahme 10: Kostenausgleich Emissionsstandards

Wie die Erhebung und Auswertung der vorhandenen Datensätze in diesem Forschungsprojekt zeigt, wird eine konsequente Umsetzung der gleichen Emissionsstandards und entsprechender baulicher und technischer Maßnahmen an vielen Verwertungsanlagen zu Nachrüstungen und damit Investitionen führen müssen. Es gilt zu prüfen, inwieweit und über welche Instrumentarien diese durch Beihilfen und Fördermaßnahmen unterstützt werden können, ohne dass es zu Wettbewerbsverzerrungen kommt.

siehe auch Maßnahme 6

Vermarktung der Komposte und Gärrückstände

Die Verwertung von Biogut zielt vor allem auf die Produktion von Kompost und seine Nutzung ab. Klassisch ist die Verwendung als organische Düngemittel vor allem in der Landwirtschaft. Werden Komposte mit geringem Reifegrad hergestellt, ist auch nur ein Absatz in die Landwirtschaft möglich. Wird ein Reifegrad V erzielt, ist auch eine Weiterverarbeitung zu hochwertigen Erden und Substraten oder auch der Absatz des Kompostes in den Garten- und Landschaftsbau und ähnliche Einsatzbereiche außerhalb der Landwirtschaft möglich. Auch der Absatz in Sonderkulturen oder auch im ökologischen Landbau zielt auf reife Komposte ab. Schon allein aus betriebswirtschaftlichen Gründen sollten die Verwertungsanlagen auf die Herstellung von reifem Kompost ausgelegt sein, was nicht ausschließt, dass bei Überhängen oder auch entsprechender Nachfrage aus der Landwirtschaft Komposte mit geringen Reifegraden abgesetzt werden. Nur mit Fertigkompost kann ein breiterer Absatzmarkt erschlossen werden, was wesentlich positiv zur Erlössituation beitragen kann.

Reife Komposte können sowohl in Kompostierungsanlagen als auch im Rahmen der Nachrotte von festen Vergärungsrückständen hergestellt werden. Die Kombination aus aeroben und anaeroben Prozessen führt tendenziell zu stabileren Humusverbindungen. In den meisten Vergärungsverfahren ist der Kompost zudem ärmer an Nährsalzen, was die Vermarktungsmöglichkeiten in Richtung Erden und Substrate deutlich verbessert.

Die Vermarktung von Komposten erweist sich dann als ökologisch vorteilhaft und hochwertig, wenn Kompost in Konkurrenz zu Torf eingesetzt werden kann, bspw. bei der Herstellung von torffreien oder torfreduzierten Erden.

Wie nicht zuletzt auch die Recherche nach guten Praxisbeispielen zeigte, gibt es mittlerweile einige Kompostierungs- bzw. Vergärungsanlagen für Biogut, die selbst einfache Erden herstellen bzw. die reifen Komposte an Erdenwerke vermarkten, die daraus bspw. Blumenerden als Sackware herstellen und vermarkten. Auch an diesen Standorten werden weiterhin erhebliche Anteile der Komposte über die Landwirtschaft vermarktet. Von diesen Beispielen gilt es für die Praxis zu lernen.

Der bei einigen Vergärungstechniken anfallende flüssige Gärrückstand sollte unbedingt als Dünger sinnvoll genutzt und nicht einer Abwasserklärung zugeführt werden, was in wenigen Fällen noch praktiziert wird. Bei einer ungünstigen landbaulichen Struktur im Umfeld einer Anlage sind Konzepte zur Vermeidung von flüssigen Gärresten (z.B. Teilstromvergärung oder Strukturzumischung) oder einer Aufbereitung (z.B. Eindampfung) zu prüfen.

Grundsätzlich kann die anlagennahe und regionale Verwertung von flüssigen Gärresten oder Frischkompost aber ökologisch gleichwertig zu einer überregionalen Vermarktung von Fertigkompost oder Erden und Substraten sein.

Die Öffnung einiger Erzeugerverbände des ökologischen Landbaus für die Nutzung der Biogutkomposte basiert auf der Erkenntnis, dass der ökologische Landbau eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen und Humus sichern muss und Kreisläufe schließen will. Gerade bei ökologisch wirtschaftenden viehlosen Marktfruchtbetrieben kann die Nutzung von Biogutkomposten eine sinnvolle Alternative darstellen.

Maßnahme 11: Absatzwege Kompost und Gärrückstand fördern

Durch gezielte Fachveranstaltungen und/oder Leitfäden sollte der Erfahrungsaustausch der Verwerter von Biogutkomposten oder Gärrückständen unterstützt werden. Insbesondere die Konfektionierung und Güteüberwachung von (Substrat)Komposten für Absatzwege außerhalb der Landwirtschaft sowie die Erschließung der entsprechenden Vermarktungswege sollte weiter ausgebaut und unterstützt werden. Dies kann durchaus auch in Richtung Optimierung des Absatzes in Sonderkulturen ergänzt werden.

Der Austausch zwischen den Verbänden auf Seiten der Produzenten (Bundesgütegemeinschaft Kompost, VHE etc.) mit den Erzeugerverbänden (Bioland, Naturland etc.) zur Erarbeitung gemeinsamer Strategien zur Entwicklung und Stärkung des Absatzes von Kompost in den Biolandbau sollte ebenfalls weiter ausgebaut werden.

Qualitätssicherung und Güteüberwachung von Anlage und Produkten

Abfallverwertungsanlagen müssen sich zunehmend als Hersteller von hochwertigen Produkten verstehen. Produziert werden hochwertige Güter, für deren Produktion ganz oder in Anteilen auf sekundäre Rohstoffe zurückgegriffen wird. Die Qualität der Güter und deren Eigenschaften sollten den üblichen Standards entsprechen, die an derartige Produkte gestellt werden und dies ganz unabhängig davon, ob primäre oder sekundäre Rohstoffe verwendet werden. Diese Ausrichtung betrifft die gesamte Abfall- oder Kreislaufwirtschaft und damit auch die Verwertung des über die Biotonne gesammelten Biogutes. Für diesen Inputstoff Biogut sind ebenfalls Qualitätsvorgaben mittels einer Definition von tolerierbaren Fremdstoffanteilen und deren Überprüfbarkeit (z.B. Analyseverfahren der BGK) zu definieren. Zu beachten wäre hierbei allerdings die jeweils durchaus unterschiedlichen Behandlungs- und Verwertungskonzepte.

Damit geht zwangsläufig die Frage der Zertifizierung und Güteüberwachung von Produktion und Produkt einher. Nur so kann sichergestellt und vor allem gegenüber dem Kunden kommuniziert werden, dass diese Produkte definierte Zusammensetzungen und Eigenschaften aufweisen, die Produktion gemäß den geforderten Standards erfolgt und das Personal einer regelmäßigen Schulung und Fortbildung unterzogen wird. Zu einer derartigen Gütesicherung sollte auch die Sicherstellung und Einhaltung der Emissionsstandards über die gesamten Anlagen und Prozesse hinweg gelten, unterfüttert durch eine umfassende Eigen- und Fremdüberwachung.

Mit großer Sicherheit müssen die vorhandenen Zertifizierungssysteme auf eine umfassendere Aufgabenstellung hin angepasst werden.

Gerade im Hinblick auf die europäischen Bestrebungen für entsprechende Produkte das Ende der Abfalleigenschaft zu definieren erhöht sich der Druck entsprechende Gütesicherungs- und Zertifizierungssysteme zu etablieren.

Maßnahme 12: Gütesicherungs- und Zertifizierungssystem Biogut weiterentwickeln

Abfallverwertungsanlagen müssen sich zunehmend als Hersteller von hochwertigen Produkten verstehen und sich dadurch auch konsequent einem entsprechenden Gütesicherungs- und Zertifizierungssystem unterstellen. Mit einer bundesweiten Marktstudie sollten die zukünftigen Märkte und Absatzmöglichkeiten regelmäßig untersucht und überprüft werden.

Die Entwicklung einer umfassenden Gütesicherung von Produktion und Produkten im Austausch mit den aktuell bestehenden Zertifizierungssystemen wird in Zukunft vermehrt eine Rolle spielen. Auch der Inputstoff Biogut sollte zukünftig spezifischer definiert und kontrolliert werden.

6.2 Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von Grüngut

Der aus der getrennten Sammlung und Verarbeitung von Garten- und Parkabfällen sowie Abfallmassen aus der Landschaftspflege anfallende Kompost hat ein hohes wertgebendes Potenzial. Grüngut wird in einer Vielzahl von oft recht kleinen Anlagen kompostiert, nicht selten angegliedert an Betriebe aus dem Garten- und Landschaftsbau oder Erwerbsgartenbau, was die Einsatzmöglichkeiten unterstreicht.

Grüngut ist in der Regel deutlich nährstoffärmer als das Biogut, da es sich überwiegend aus Gartenabfällen zusammensetzt. Die erzeugten Komposte sind daher weniger als Nährstoffträger gefragt, sondern als Humusträger. Arm an Nährsalzen sind diese Komposte hervorragende Ausgangsmaterialien für die Produktion von torffreien und torfreduzierten Erden und Substraten. Zudem weisen diese Komposte aufgrund der deutlich anderen Ausgangsbelastung weniger Fremd- und Störstoffanteile auf. Trotz dieser guten Voraussetzungen werden nicht immer ausgereifte Komposte hergestellt und nicht jede Verwertungsanlage hat sich Vermarktungswege auch außerhalb der Landwirtschaft erschlossen.

Wie nicht zuletzt auch Best Practice-Beispiele zeigen, lassen sich eine Vielfalt von Produkten und entsprechende Vermarktungswege entwickeln. Wie die Beispiele aber auch zeigen, musste hier die Produktentwicklung als auch die Erschließung der Vermarktungswege oft durch Eigeninitiative und ohne Rückgriff auf entsprechende Schulungsmöglichkeiten o.ä. erfolgen.

Maßnahme 13: Hochwertige Grüngutkompostnutzung

Grüngut ist in der Regel deutlich nährstoffärmer als das Biogut, da es sich überwiegend aus Gartenabfällen zusammensetzt. Die erzeugten Komposte sind daher weniger als Nährstoffträger gefragt, sondern als Humusträger. Arm an Nährsalzen sind diese Komposte hervorragende Ausgangsmaterialien für die Produktion von torffreien und torfreduzierten Erden und Substraten. Durch einen gezielten und geförderten Erfahrungsaustausch der Verwerter von Grüngutkomposten könnte dieses

Potential noch besser genutzt werden. Wichtig ist hier insbesondere die Konfektionierung und Güteüberwachung von (Substrat)Komposten sowie die Erschließung der entsprechenden Vermarktungswege.

Das Emissionspotenzial von Grüngut liegt grundsätzlich niedriger als das von Biogut. Trotzdem können in der Rotteführung Randbedingungen geschaffen werden, die zu hohen Emissionsraten auch klimaschädlicher Gase führen. Es ist eine Überdachung/Abdeckung der Rotte- bzw. Lagerflächen (in Abhängigkeit vom Niederschlagsprofil) zur kontrollierten Rotteführung und Rotte in Dreiecks- oder Trapezmieten mit einer fachgerechten Mietengeometrie notwendig. Es bedarf einer emissionsarmen Rotteführung, die über technische Maßnahmen und eine gezielte Steuerung der Rotteprozesse erreicht wird.

Auch für Grüngutkompost sollten die Qualitätssicherungssysteme erweitert werden um die Sicherung einer fachgerechten und emissionsarmen Produktion und fachgerechten Betriebsführung. Der Nachweis erfolgt durch ein Zusammenspiel aus umfassender Eigen-, ergänzt um Systeme der Fremdüberwachung. Wie für Biogut bereits dargestellt, müssen die Zertifizierungssysteme entsprechend angepasst werden.

Maßnahme 14: Gütesicherung- und Zertifizierungssystem Grüngut

siehe Maßnahme 12

Biogene Abfallmassen aus der Pflege von Gärten und Grünanlagen haben über die Jahreszeiten hinweg und in Abhängigkeit von der Bepflanzungsstruktur eine Zusammensetzung, die von Holz bzw. holzigen Biomassen bis hin zu Grasschnitt reicht. Um auf die unterschiedlichen Zusammensetzungen und Eigenschaften hin zugeschnittene Verwertungswege einschlagen zu können, macht es durchaus Sinn, das Grüngutauflkommen an den Sammel- und Häckselplätzen aufzutrennen. Ziel der Stoffstromtrennung ist die Abtrennung der holzigen Bestandteile zur weiteren Aufbereitung zu einem güteüberwachten Brennstoff (Hackschnitzel oder Schreddergut) und die Kompostierung des abgesiebten Feinmaterials zu einem hygienisierten und hochwertigen Kompost.

Je nach Sammelstruktur gerade auch mittels Biotonne gelangen Gartenabfälle mit einem Biogaspotenzial als Teil des Grünguts in die Verwertung. Ist die Bioguterfassung so aufgestellt, dass Gartenabfälle möglichst aus dem System ferngehalten werden, kann es sinnvoll sein, Grüngut mit Biogaspotenzial getrennt zu erfassen und einer Bioabfallvergärung zu übergeben.

Eine hochwertige Verwertung von Grüngut bedeutet auch, dass sämtliche Grüngutmassen einer Kompostierung und damit Hygienisierung zugeführt werden. Die direkte Verbringung von Feinmaterial aus der Absiebung auf landwirtschaftliche Flächen sollte daher auch nur nach einer entsprechenden Behandlung praktiziert werden.

Maßnahme 15: stoffspezifische Behandlung Grüngut.

Um auf die unterschiedlichen Zusammensetzungen und Eigenschaften hin zugeschnittene Verwertungswege für Grüngut einschlagen zu können, macht es durchaus Sinn, das Grüngutauflkommen z.B. schon an den Sammel- und Häckselplätzen oder mittels technischer Verfahren stoffspezifisch aufzutrennen. Eine Abtrennung der holzigen Fraktion zur energetischen Nutzung sollte wenn möglich nach dem Rotteprozess erfolgen, um die stoffliche Nutzung (nährstoffarmer Kompost) zu optimieren. Neben der Herstellung von gütegesichertem Kompost und Brennstoff könnte auch eine vergärbare Fraktion abgetrennt werden.

Entsprechend der Erkenntnisse lassen sich dann zugeschnitten auf einzelne Regionen und Anlagen Strategien zur Optimierung der Grüngutverwertung erarbeiten.

6.3 Schritte zu einer hochwertigeren Verwertung von holzigem Grüngut

In der Pflege von Garten- und Parkanlagen bzw. von Grünflächen fallen in gewissem Umfang auch Holz oder holziges Grüngut an, die sich nicht stofflich verwerten lassen. Grundlage für eine hochwertige energetische Verwertung sind qualitativ hochwertige Inputströme. Dies erfordert eine möglichst getrennte Erfassung oder Separierung von grobstückigem holzigem Grüngut entweder im Inputmaterial oder als Teil des Siebüberlaufes der Grüngutkompostierungsanlagen. Gerade letzteres setzt eine Sichtung und Sortierung voraus, die die biogenen holzigen Anteile abtrennt von Fremdstoffen und Feinmaterial. Wobei grundsätzlich die Mitkompostierung der holzigen Bestandteile und eine Abtrennung zur energetischen Verwertung nach dem Rotteprozess im Hinblick auf die Optimierung der stofflichen Nutzung nährstoffarmer Komposte sinnvoll sein können.

Das Aufbereitungsverfahren besteht aus einer Herstellung von Schredderholz bzw. Holzhackschnitzeln, verbunden mit der Absiebung von Böden und Feinmaterial. Die Herstellung und der erzeugte Brennstoff selbst sind einer regelmäßigen Qualitätsprüfung in Orientierung an der DIN EN ISO 17225-2:2014-09 zu unterziehen. Dies dürfte bis dato eher die Ausnahme darstellen. Die Nutzung des Biobrennstoffes könnte direkt in Heizanlagen oder Heizkraftwerken erfolgen, die im Eigentum der öffentlichen Hand stehen. Die Art der energetischen Nutzung und damit auch erzielbare energetische Wirkungsgrade werden letztendlich durch das jeweilige thermische Verfahren sowie das Energienutzungskonzept beeinflusst. Die Art und Qualität der Biobrennstoffe bedingt aber die verschiedenen möglichen Absatzwege. Hohe energetische Wirkungsgrade sind eher über Heiz(kraft)werke erreichbar, die nachfragegesteuert (insbesondere an den Heizwärmebedarf) beschickt werden. Dabei handelt es sich in der Regel um kleine oder mittlere Heizwerke, die höhere Anforderungen an den Brennstoff und seine Eigenschaften stellen. Der aus dem holzigen Grüngut hergestellte Brennstoff sollte trotz der abfallrechtlichen Einordnung einen Einsatz in diesen Feuerungsanlagen erlauben.

Maßnahme 16: stoffspezifische Behandlung holziges Grüngut und abfallrechtliche Klärung des Produktes Hackschnitzel aus Grüngut

In der Pflege von Garten- und Parkanlagen bzw. von Grünflächen fallen in gewissem Umfang auch Holz oder holziges Grüngut an, die sich nicht sinnvoll stofflich als Kompost verwerten lassen. Grundlage für eine hochwertige energetische Verwertung sind qualitativ hochwertige Inputströme

Da es sich bei den Brennstoffen aus Bioabfall (hier Grüngut) definitionsgemäß noch um Abfall handelt, sind einige Verwertungswege genehmigungsrechtlich mit einigen Hemmnissen belegt! Es wäre zu prüfen, ob durch eine entsprechend definierte Aufbereitung und Qualitätsverbesserung (sieben, trocknen, aufbereiten) die Abfalleigenschaften in Frage zu stellen sind und das Produkt eher als naturbelassenes Holz einzustufen wäre. Initiativen in einzelnen Ländern unterstreichen die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme. Der Bund könnte sich hier einsetzen daraus eine europaweite Regelung zu gestalten.

7 Quellenverzeichnis

Cuhls, Carsten et al. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, UBA-Texte 39/2015

Kehres, Bertram (2017), Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., schriftliche Mitteilung zum Kompostaufkommen

Kern, Michael et al., Biogas-Atlas 2014/15. Anlagenhandbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland und Europa, Veröffentlichung des Witzenhausen Institutes, Witzenhausen

Knappe, Florian et al. (2012), Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, Studie des ifeu Heidelberg in Zusammenarbeit mit ahu AG Aachen, UBA-Texte 31/2012

Kranert, Prof. Dr. Martin et al. (2016), Untersuchungen zu klimarelevanten Emissionen bei Anlagen zur Bioabfallbehandlung als Kriterium einer hochwertigen Verwertung; Studie des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Pretz, Prof. Thomas et al. (2017), Innovative Sortier- und Aufbereitungstechnologien für Biogut und Komposte, in: K. Wiemer, M. Kern, T. Raussen (Hrsg.), Bio- und Sekundärrohstoffverwertung XII stofflich-energetisch, S. 135-146

Rettenberger, Prof. Gerhard et al. (2012), Handbuch Bioabfallbehandlung. Erfassung des Anlagenbestandes Bioabfallbehandlung, Studie der Ingenieurgruppe RUK und Dr. Müsken & Partner im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 54/2012

Sieber, Marko (2012), Grundlegende Untersuchungen zu einem neuentwickelten zweistufigen Trocken-Nass-Vergärungsverfahren; Dissertation an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Statistisches Bundesamt 2017. Umwelt, Abfallentsorgung, Fachserie 19, Reihe 1

Turk, Thomas et al. (2015), Bioabfall als Ressource - Optimierung der Nutzung in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs unter effizienter Einbindung des Grünguts, Studie der IGLux und des ifeu Heidelberg im Auftrag der LUBW, Karlsruhe