

# Hochwertige Verwertung von Bioabfällen

Ein Leitfaden



**LU:BW**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Der aktualisierte Leitfaden „Hochwertige  
Verwertung von Bioabfällen“ wurde erstellt in  
Zusammenarbeit mit:



Institut für Energie- und  
Umweltforschung gGmbH, Heidelberg  
Florian Knappe (Projektleitung)  
Regine Vogt



IGLux GmbH, Witzenhausen  
Thomas Turk  
Axel Hüttner

An der Ursprungsfassung haben  
zudem mitgewirkt:



Institut für angewandte Ökologie e. V., Freiburg  
Günter Dehoust



Ressource Abfall GmbH, Elze  
Theo Schneider

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit  
Zustimmung der Herausgeber unter Quellenangabe  
und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

# Inhaltsverzeichnis

KAPITEL		SEITE
<b>I</b>	<b>KURZFASSUNG FÜR ENTSCHEIDUNGSTRÄGER</b>	<b>8</b>
<b>II</b>	<b>HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND LEITFADEN FÜR DIE PRAXIS</b>	<b>13</b>
1	Die optimierte Verwertung von Bio- und Grüngut	13
2	Das System der Bio- und Grüngutverwertung	14
3	Potenziale nutzen: die effiziente Sammlung von Bio- und Grüngut	17
3.1	Das Potenzial an Grüngut	17
3.2	Das Potenzial an Küchenabfällen	18
3.3	Sammelsystem für Grüngut	18
3.4	Sammlung über die Biotonne	20
3.5	Regelungen in der Abfall- und Gebührensatzung	22
4	Stoffstrommanagement und optimales Behandlungskonzept	23
4.1	Verwertung über eine Bioabfallvergärungsanlage	23
4.2	Kombination mit einer Nachrotte	25
4.3	Erweiterung einer bestehenden Kompostierungsanlage	26
4.4	Effiziente Biogasnutzung	27
5	Vermarktung von Kompost und Kompostprodukten	30
6	Leitfaden für die Praxis: So lässt sich die Bio- und Grüngutverwertung Schritt für Schritt optimieren	31
<b>III</b>	<b>FACHINFORMATIONEN</b>	<b>44</b>
1	Hintergrund/Aufgabenstellung	44
1.1	Abfallbiomassen energetisch und stofflich verwerten	44
1.2	Ein optimiertes Verwertungssystem ist notwendig	46
1.3	Aufgabenstellung für den Leitfaden	46
2	Das Konzept der Nutzung von Bio- und Grüngut	48
2.1	Die Einführung der Biotonne aus ökologischer Sicht	51
2.1.1	Vergleich der Entsorgungs- und Verwertungsverfahren	52
2.1.2	Bewertung unter Berücksichtigung des Sammelaufwands und der Verlagerungseffekte	55
2.1.3	Vergleich zu anderen Studien	56
3	Analyse der Nachfragesituation nach Kompost	58
3.1	Vermarktungswege über die Erdenindustrie	59

3.2	Herstellung von Pflanz- und Blumenerden als Mischungen aus Komposten mit mineralischen Bodenmassen	61
3.2.1	Produkte	62
3.2.2	Absatzmöglichkeiten und Anforderungen an den Kompost	63
3.3	Komposte für die Landwirtschaft	64
3.4	Vermarktung von Komposten außerhalb des Ackerbaus	66
3.5	Fazit zum Kompostabsatz	69
4	Verwertung von Grüngut	71
4.1	Aufbereitung der Grüngutbiomasse	71
4.1.1	Aufbereitungsstrategie zur thermischen Nutzung	72
4.1.2	Aufbereitungsstrategie zur Abtrennung einer vergärbaren Fraktion	73
4.2	Randbedingungen für Grüngut als Brennstoff	74
4.3	Randbedingungen für die Kompostierungsfraktion	77
4.4	Randbedingungen für die Gärfraktion	78
4.5	Behandlungspflicht für Grüngut	78
4.6	Randbedingungen für die Einrichtung von Grüngutsammelplätzen	79
5	Verwertung von Biogut	81
5.1	Technische Lösungen der Bioabfallvergärung	82
5.2	Behandlung des Gärrests und des Überschusswassers	89
5.2.1	Entsorgung oder Nutzung des Überschusswassers/flüssigen Gärrests	89
5.2.2	Hygienisierung	90
5.2.3	Emissionsminderung	91
5.2.4	Nachrotte des festen Gärrückstands	92
5.3	Nutzung der Überschussenergie durch Biogasverwertung	92
5.3.1	Verstromung über ein BHKW in Kraft-Wärme-Kopplung	94
5.3.2	Vermarktung von Strom und Überschusswärme	95
5.3.3	Einspeisung in das Erdgasnetz	103
5.4	Fazit zur Verwertung von Bio- und Grüngut	104
6	Erfassung von Bio- und Grüngut	108
6.1	Potenziale	108
6.1.1	Grüngut	109
6.1.2	Nahrungs- und Küchenabfälle	112
6.2	Eigenkompostierung	113
6.3	Sammelsysteme für Grüngut	116
6.3.1	Erfassung über Sammelplätze	117

6.3.2	Sammlung über Container	118
6.3.3	Sammlung auf Abruf	119
6.4	Sammelsysteme für Biogut	119
6.5	Die Einführung der Biotonne aus ökonomischer Sicht	121
6.6	Festlegung in Satzungen	125
6.6.1	Abfallsatzung	125
6.6.2	Gebührensatzung	126
6.7	Fazit: Optimiertes Erfassungssystem für Bio- und Grüngut	126
7	Zusammenfassung	129
7.1	Prüfung des Kompostabsatzes	131
7.2	Prüfung des Energieabsatzes	134
7.3	Hinweis zur Standortfindung von Biogasanlagen	137
7.4	Erfassungssystem	139
8	Abbildungen und Tabellen	141
9	Literatur	144
10	Liste der Abkürzungen	146
11	Impressum	147



Bioabfälle sind eine wertvolle energetische und stoffliche Ressource, die hochwertig und ökologisch sinnvoll genutzt werden muss. Im neuen Abfallwirtschaftsplan des Landes hat das Umweltministerium das Ziel vorgegeben, die Abfälle aus der Biotonne auf jährlich 60 Kilogramm pro Einwohner im Landesmittel zu steigern.

Dass die Zusammenarbeit im Land bei dieser wichtigen Aufgabe funktioniert, zeigt die 2014 von Umweltministerium, Landkreistag und Städtetag unterzeichnete „Gemeinsame Erklärung zur Zukunft der Bioabfallverwertung“. Wir sehen dieses Papier als wichtige Grundlage für eine erfolgreiche Fortentwicklung der Bioabfallverwertung. Gemeinsam wollen wir auf dieser Basis Baden-Württemberg als Kompetenzregion für hochwertige Bioabfallverwertung weiter ausbauen. Mit dem Kompetenzzentrum Bioabfall bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz wollen wir die Kommunen und Behörden im Land dabei unterstützen, die aktuellen Herausforderungen zu meistern.

Richtungsweisende Entscheidungen erfordern zunächst umfassende Informationen. Mit Veranstaltungen wie dem Bioabfallforum oder der Plattform Bioabfall bieten wir allen Beteiligten im Land die Möglichkeit, sich auszutauschen und neueste Erkenntnisse zu erlangen. Außerdem fördert das Umweltministerium den Ausbau der interkommunalen Zusammenarbeit und unterstützt die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger mit Beratungsprojekten. Ich freue mich, dass wir darüber hinaus der Öffentlichkeit den Leitfaden „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ zur Verfügung stellen können. Der Leitfaden soll Hinweise zum Vorge-

hen bei der Planung einer hochwertigen Bioabfallverwertung geben und alle Interessierten bei der Informationsbeschaffung und Entscheidungsfindung unterstützen. Hierzu enthält Teil zwei praktische Hilfestellungen in Form von Handlungsempfehlungen und einer Checkliste für das Vorgehen bei allen wesentlichen Planungsschritten. In Teil drei werden die Fachinformationen vertieft und Teil eins dient als Kurzfassung vor allem der Information von Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern.

Wesentliches Ziel des Leitfadens ist eine praxisgerechte Beratung. Ich freue mich daher, dass die Stadt Mannheim, die Landkreise Alb-Donau-Kreis, Biberach, Breisgau-Hochschwarzwald, Ludwigsburg und Sigmaringen sowie der Landkreistag bereit waren, gemeinsam mit Expertinnen und Experten eine Situationsanalyse zu Bioabfällen – und insbesondere zu Grünputz zu erarbeiten. Die Ergebnisse sind in den vorliegenden Leitfaden eingeflossen. Ich danke allen Beteiligten für ihr Engagement.

Franz Untersteller MdL  
Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
des Landes Baden-Württemberg

Das im Juni 2012 in Kraft getretene Kreislaufwirtschaftsgesetz fordert seit 1. Januar 2015 die getrennte Erfassung und hochwertige Verwertung häuslicher Bioabfälle. Des Weiteren ist mit der Novellierung der Bioabfallverordnung vom 1. Mai 2012 die Hygienisierung von Grünabfällen wie Strauchschnitt, Rasenschnitt oder Laub vor der Ausbringung auf Feldern verpflichtend. Die Umsetzung dieser neuen Anforderungen bringt in den nächsten Jahren umfangreiche fachtechnische und planerische Herausforderungen für Land, Kommunen und öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger mit sich.

Daher wurde in der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg ein „Kompetenzzentrum Bioabfall“ gegründet. Mit diesem Kompetenzzentrum bietet das Land Baden-Württemberg fachtechnische Beratung und Unterstützung in allen Fragen rund um das Thema Bioabfall. Unsere Stärke hierbei ist die neutrale und marktunabhängige Beratung mit unserem Fachwissen in allen Umweltbereichen. Im Kompetenzzentrum Bioabfall bündeln wir das Know-how für eine ökologisch hochwertige Bioabfallverwertung und für die geeignete Anlagentechnik.

Optimal verwertet werden Bioabfälle mit der sogenannten Kaskadenlösung. Hierbei werden aus den Bioabfällen zuerst in einer Vergärungsanlage Biogas als Energieträger für Strom und Wärme und anschließend in einer Kompostierungsanlage Kompostprodukte zur Düngung und Bodenverbesserung erzeugt. Bei dieser Lösung nutzen wir nicht nur die Nährstoffe in den Bioabfällen, sondern auch deren Energieinhalt – ein wertvoller Beitrag zur Nutzung der Ressourcen, die in unseren Abfällen stecken.

Der Leitfaden verdeutlicht, dass Bioabfall nicht als Abfall, sondern als Wertstoff zu sehen ist. Ein wertvoller Bestandteil sind auch die holzigen Anteile des Bioabfalls, die in Form von Holzhackschnitzeln als Brennstoff für die dezentrale Wärmegewinnung genutzt werden können.

Im Jahr 2014 hat die LUBW ein Projekt beauftragt, in dem Potenziale und Konzepte zur Optimierung der Verwertung von Bioabfällen und insbesondere Grüngut in sechs Pilotkreisen Baden-Württembergs erarbeitet und ökobilanziell bewertet wurden. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus diesem Projekt und den Pilotkreisen wurde der im Jahr 2012 veröffentlichte Leitfaden „Optimierung des Systems der Bio- und Grünabfallverwertung“ durch den vorliegenden Leitfaden aktualisiert und überarbeitet.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen allen Kreisen als Basis für ihre individuellen Konzeptionen sowie allen betroffenen Akteuren als Information, Unterstützung und Entscheidungshilfe dienen.



Margareta Barth  
Präsidentin der Landesanstalt für Umwelt,  
Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg



# Bio- und Grüngut – eine wertvolle Ressource, die es zu nutzen gilt



Die Ausschöpfung unserer natürlichen Ressourcen hat heute ein bedenkliches Ausmaß erreicht, denn sie verursacht deutliche Umwelt- und Klimabelastungen. Der landwirtschaftliche Anbau von Biomasse wiederum ist nicht nur aus landschaftsästhetischen Gründen umstritten.

Primäre Ressourcen, Umwelt und Klima können geschont werden, wenn auf Rest- und Abfallbiomassen als wertvolle sekundäre Ressourcen zurückgegriffen wird. Deren Verwertung ist umso effizienter, je umfassender ihr stoffliches und energetisches Potenzial genutzt wird. Das trifft auch auf Bioabfälle zu, die in privaten Haushalten und bei der Pflege von privaten und öffentlichen Grünflächen anfallen.

**DIE VERWERTUNG VON BIOABFÄLLEN IST UMSO EFFIZIENTER, JE UMFASSENDER DAS STOFFLICHE UND ENERGETISCHE POTENZIAL GENUTZT WIRD.**

## WAS VERSTEHT MAN UNTER BIOABFÄLLEN?

Zu den Bioabfällen gehören alle Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können (§ 2 Abs. 1 BioAbfV). Im Detail handelt es sich um Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle, Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushalten und Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben (§ 3 Abs. 7 KrWG)

Zur genaueren Abgrenzung werden Bioabfälle in diesem Leitfaden wie folgt klassifiziert:

**BIOGUT** sind die aus privaten Haushalten und dem Kleingewerbe stammenden biologisch abbaubaren Abfälle, die über eine Biotonne oder einen Biobehälter erfasst werden. Neben Nahrungs- und Küchenabfällen wie Gemüse- und Obstresten, Kaffeesatz,

Brot- und Backwarenresten oder Küchenpapier beinhaltet Biogut auch Gartenabfälle wie Rasenschnitt, Laub und Fallobst.

**GEWERBLICHES BIOGUT** umfasst organische Küchen- und Nahrungsabfälle von Unternehmen (zum Beispiel Kantinenabfälle), die aufgrund ihrer Art, Menge oder Beschaffenheit nicht über die Biotonne entsorgt werden.

**HÄUSLICHES GRÜNGUT** sind alle separat gesammelten Gartenabfälle aus privaten Haushalten, wie zum Beispiel Laub, Baum- und Heckenschnitt, die nicht über die Biotonne erfasst werden.

Zum **KOMMUNALEN UND ÖFFENTLICHEN GRÜNGUT** zählen alle pflanzlichen Abfälle, die bei der Pflege öffentlicher Flächen anfallen wie Park- und Landschaftspflegeabfälle, pflanzliche Materialien





von Verkehrswegebegleitflächen, biologisch abbaubare Abfälle aus öffentlichen Sportanlagen und Kinderspielplätzen, Friedhofsabfälle sowie pflanzliche Abfälle aus der Gewässerunterhaltung.

Zum **GEWERBLICHEN GRÜNGUT** gehören die pflanzlichen Abfälle, die bei der Pflege gewerblich genutzter Flächen entstehen; Beispiele sind Grüngut von Betriebsflächen oder Abfälle aus dem Garten- und Landschaftsbau.

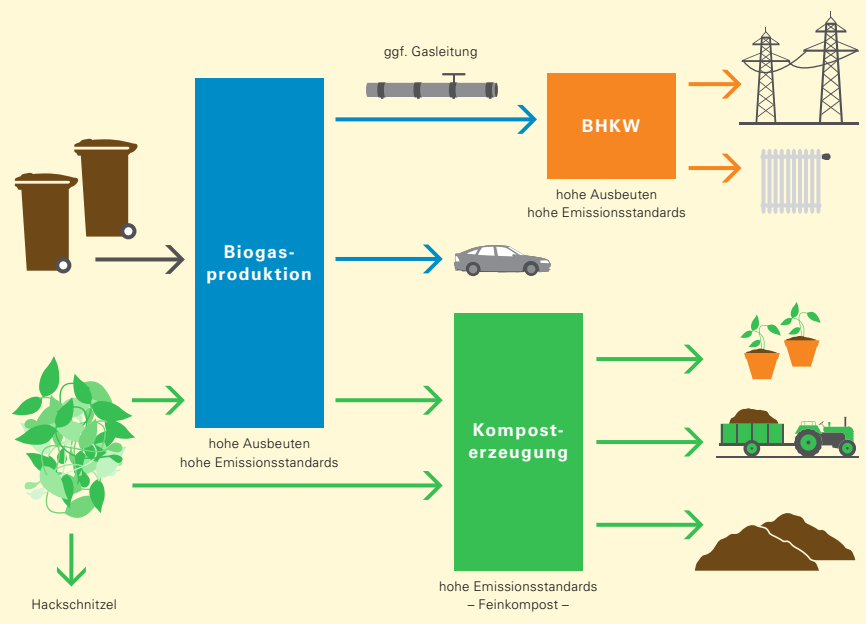
Bio- und Grüngut lassen sich auf verschiedene Weise weiterverwerten (Abb. 1). Derzeit wird beides überwiegend zur Kompostherstellung genutzt. Aus Bioabfällen lässt sich aber über die Biogas-erzeugung auch Energie gewinnen. Dabei anfallende Gär-rückstände können dann wiederum zu hochwertigen Komposten veredelt werden. Diese Kaskadennutzung hat gegenüber einer Entsorgung der Bioabfälle als Teil des Restabfalls zum einen ökologische Vorteile, zum anderen wird sie durch das novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014 gefördert. Die hochwertige Verwertung der Bioabfälle ist somit in aller Regel auch aus ökonomischer Sicht vorteilhafter als deren Entsorgung über die Restmülltonne.

Die holzigen Anteile des Grünguts eignen sich zudem als Biobrennstoff für Biomasseheiz(kraft)werke und sind Ausgangsstoff für hochwertige nährstoffarme Komposte oder Pflanz- und Blumenerden.

Die effiziente stoffliche und energetische Verwertung von Bio- und Grüngut leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz – und damit zum Erreichen umweltpolitischer Ziele.

**WIE KÖNNEN BIO- UND GRÜNGUT OPTIMAL MOBILISIERT WERDEN?**

Zentraler Baustein für die Sammlung der Biomasseabfälle aus privaten Haushaltungen ist das Holsystem Biotonne. Bis auf den Baum- und Strauch-schnitt können damit sämtliche organischen Abfälle erfasst werden, die in privaten Haushaltungen und Gärten anfallen. Sind viele Haushaltungen an das System angeschlossen, ist die Sammellogistik in der Regel kosteneffizient, zudem lassen sich nur so Bio- und Grüngut in hohen Raten mobilisieren. Die Abfallsammlung ist somit umso effizienter und erfolgreicher, je flächendeckender sie erfolgt. In dünn besiedelten Regionen oder Innenstadtlagen können deshalb Ausnahmen oder Alternativen zur Biotonne sinnvoll sein.



**ABB. 1: DAS SYSTEM DER BIO- UND GRÜNGUTBEHANDLUNG IM ÜBERBLICK**



#### DAS SYSTEM BIOTONNE ATTRAKTIV GESTALTEN

Je attraktiver das System ist, umso mehr Erfolg hat es. Attraktiv ist die Biotonne für die Nutzer dann, wenn das System an ihren spezifischen Bedarf angepasst ist. Fallen beispielsweise bei der Pflege von Gartengrundstücken jahreszeitlich bedingt größere Mengen an Laub oder Grasschnitt an, kann es sinnvoll sein, zusätzlich gebührenpflichtige Papiersäcke zur Verfügung zu stellen. In bestimmten Fällen kann es zudem angebracht sein, die Biotonne zeitweise in kürzeren Intervallen zu leeren. In der Regel muss der Abfuhrhythmus im Sommer jedoch nicht verdichtet werden, wie viele Beispiele aus Baden-Württemberg belegen. Die Biotonne sollte außerdem merklich kostengünstiger als die Restabfalltonne sein. Nach dem Landesabfallgesetz können über das Gebührensystem durchaus Anreize für die Nutzung der Biotonne gesetzt werden.

Der Anschluss- und Benutzungszwang ist vor dem Hintergrund der verpflichtenden Erfassung der Bioabfälle nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ein fast unverzichtbares Instrument einer Abfallsatzung. Die Eigenkompostierung sollte auf ein ökologisch sinnvolles Maß beschränkt bleiben und sich nach dem Nährstoffbedarf der Gartenkulturen richten. Werden neben Gartenabfällen auch Küchenabfälle kompostiert, kann dies zu einer Nährstoffübersversorgung des Bodens führen. Deshalb sollte sich die Eigenkompostierung im Wesentlichen auf Grüngut beschränken, während Küchenabfälle über die Biotonne entsorgt werden sollten.

#### SONDERFALL: BAUM- UND STRAUCHSCHNITT

Holzige Gartenabfälle wie Baum- und Strauchschnitt lassen sich nur zu geringen Teilen über die

Biotonne erfassen. Zudem fallen derartige Abfälle auch bei der Pflege öffentlicher Grünflächen sowie im Garten- und Landschaftsbau an.

Um auch in diesem Bereich hohe Mengen weiterverwerten zu können, sollte ein möglichst flächendeckendes Angebot an Übergabepunkten geschaffen werden, also gesonderte Grüngutsammelplätze, Containerstandorte, Wertstoffhöfe oder Abgabemöglichkeiten an Abfallentsorgungsanlagen. Die Sammelstellen sollten nach Möglichkeit das ganze Jahr zugänglich sein. Günstig sind Öffnungszeiten außerhalb der Kernarbeitszeiten, also abends und an Samstagen.

Eine weitere wichtige Randbedingung ist die Gebührenstruktur. Überdurchschnittlich hoch ist die gesammelte Grüngutmenge in Stadt- und Landkreisen, die keine gesonderten Gebühren erheben oder freie Kontingente großzügig bemessen. Bereits heute lassen sich mit holzigem Grüngut Erlöse erzielen, und der positive Marktwert wird sich in Zukunft aufgrund der steigenden Nachfrage der Biomassekraftwerke noch erhöhen. Eine kostenlose Übernahme des Grünguts kann somit auch wirtschaftlich durchaus gerechtfertigt sein.

#### WIE SOLLTE BIO- UND GRÜNGUT OPTIMAL VERWERTET WERDEN?

Bio- und Grüngut haben verschiedene Eigenschaften, die den Weg ihrer Verwertung bestimmen:

#### BIOGASERZEUGUNG ALS BAUSTEIN DER ENERGIEWENDE

Grundsätzlich sollten das gesamte Biogut und das krautige Grüngut zunächst der Biogaserzeugung

**BIOGAS KANN DURCH VERSTROMUNG MITTELS KRAFTWÄRME-KOPPLUNG EFFEKTIV GENUTZT WERDEN.**

dienen. Bei der Planung einer Biogasanlage ist zwingend auf hohe Netto-Energie-Erträge bei zugleich geringem Emissionsniveau zu achten. Durch Verstromung in Blockheizkraftwerken (BHKW) mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann Biogas effektiv genutzt werden. Um eine hohe Energieeffizienz sicherzustellen, muss das BHKW an einem Ort betrieben werden, der die weitgehende Abnahme der Überschusswärme sicherstellt. Ideale Abnehmer können größere Wärmenetze, öffentliche Einrichtungen oder auch Industrie und Gewerbe sein.

Ein geeigneter Standort zur Vermarktung der erzeugten Energie muss allerdings nicht gleichzeitig ein idealer Standort zur Bioabfallbehandlung und zum Absatz des Komposts sein. Räumliche Distanzen lassen sich mit Biogasleitungen (sogenannte Mikrogasleitungen) überwinden, die mit kleinen Querschnitten kostengünstig und einfach verlegt werden können. Bei größeren Anlagen ab rund 20.000 Tonnen Durchsatz pro Jahr und größeren Distanzen kann auch eine Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und dessen Einspeisung in das Gasnetz sinnvoll sein. Mittlerweile sind die Möglichkeiten eines „mobilen“ Wärmetransports oder die Überschusswärmeverstromung mittels einer ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle) zur optimalen Nutzung der erzeugten Wärmeenergie in der Praxis erprobt.

#### KOMPOSTVERWERTUNG ALS BAUSTEIN ZUM NATUR- UND KLIMASCHUTZ

Zur Kompostierung eignen sich einerseits die festen Gärückstände, die bei der Biogaserzeugung anfallen, und andererseits Bio- und Grüngut mit erdigen ligninreichen Anteilen, die bei der Biogas-

erzeugung weniger erwünscht sind. Komposte über weite Strecken zu transportieren ist weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll. Deshalb sollte eine Bioabfallbehandlungsanlage möglichst dort ihren Standort haben, wo Kompost gebraucht und nachgefragt wird – oder das Kompostprodukt muss dem Markt angepasst werden. Früher wurden Komposte bei einer ungünstigen Nachfragesituation oder einer unangemessenen Standortwahl teilweise mit Zuzahlungen „vermarktet“. Dies kann durch gute Planung vermieden werden.

Im Kompost sind Pflanzennährstoffe enthalten. Sein hoher Anteil an stabilisierter organischer Substanz kann zudem wesentlich zur Humusneubildung in Böden beitragen. Komposte lassen sich aber auch zu Erden und Kultursubstraten für den Gartenbau und für Baumschulen oder zu Blumenerden für Privathaushalte veredeln. Gelingt es mit diesen Produkten erfolgreich in Konkurrenz zu Torf oder Torfprodukten zu treten, ist die Kompostverwertung ein wichtiger Baustein im Natur- und Klimaschutz. Denn wenn Torf gewonnen und auf Böden ausgebracht wird, wird der fossile Kohlenstoff veratmet, wodurch sich der Treibhauseffekt verstärkt. Außerdem zerstört der Torfabbau schützenswerte Moore.

Veredelter Kompost lässt sich zudem besser vermarkten. Die Erlöse liegen deutlich über denen von unveredeltem Kompost. In Baden-Württemberg gibt es einige Kompostierungsanlagen, die wirtschaftlich erfolgreich hochwertige Produkte aus Kompost vertreiben.

**EIN BESTEHENDES VERWERTUNGSSYSTEM FÜR BIO- UND GRÜNGUT SOLLTE IMMER AUF OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN GEPRÜFT WERDEN.**

Die Landwirtschaft wird dennoch ein wichtiger Kompostkunde bleiben. Eine hohe Nachfrage besteht vor allem beim Anbau von humuszehrenden Feldfrüchten (Hackfrüchte) oder von Sonderkulturen (beispielsweise Weinbau). Denn mit einer ausreichenden Humusversorgung der Böden lässt sich erfolgreich den negativen Folgen der Klimaänderung begegnen, da die Wasserspeicherfähigkeit der Böden mit dem Humusgehalt zunimmt.

#### VERWERTUNG VON HOLZIGEM GRÜNGUT

Auch Strauch-, Hecken- und Baumschnitte, die überwiegend auf Sammelplätzen erfasst werden (Abb. 2), können als Ausgangsstoff für hochwertige Komposte oder Pflanz- und Blumenerden dienen. Daneben eignet sich Schnittholz zur Aufbereitung als Brennstoff; es kann auf diesem Absatzweg an große Biomassekraftwerke vermarktet werden. Eine Vergärung holziger Biomasse ist dagegen nicht sinnvoll.

#### VERBESSERUNGSMÖGLICHKEITEN PRÜFEN

Die Entwicklung der Bio- und Grüngutverwertung schreitet schnell voran. Die Behandlungstechnik hat sich über die letzten Jahre deutlich verändert, und sie wird auch künftig weiterentwickelt werden. Daraus folgend zielt die Verwertung von Bio- und Grüngut immer ausdifferenzierter auf die Möglichkeiten und Eigenschaften einzelner Teilfraktionen ab.

Ein bestehendes Verwertungssystem für Bio- und Grüngut sollte daher immer auf Optimierungsmöglichkeiten überprüft werden. Dies gilt unabhängig davon, ob die Leistungen an Dritte vergeben werden oder die Verwertung weitgehend in Eigenregie erfolgt.

Die Optimierung der Systeme ist nicht nur aus ökologischer, sondern vor allem auch aus ökonomischer Sicht notwendig. Erfahrungen mit Anlagen zur Biomassenutzung zeigen, dass nur Nutzungskonzepte mit hoher Wertschöpfung konkurrenzfähig bleiben.

Der Leitfaden soll die Auseinandersetzung mit dem Thema Bio- und Grüngut erleichtern. Er liefert entscheidende Kennzahlen, informiert über Optimierungsmöglichkeiten und bietet Hinweise für das Vergabeverfahren. Hierzu enthält Teil II Handlungsempfehlungen und eine Checkliste zum Vorgehen. In Teil III werden die fachlichen Informationen vertieft.



**ABB. 2: REGER BETRIEB AUF DEM GRÜNGUTSAMMELPLATZ**

## II HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND LEITFADEN FÜR DIE PRAXIS

# 1. Die optimierte Verwertung von Bio- und Grüngut

**Sollen Bio- und Grüngut optimal genutzt werden, muss das gesamte Verwertungssystem optimiert werden. Alle Bausteine des Systems sind bestmöglich aufeinander abzustimmen – von der Sammlung und Erfassung über die einzelnen Behandlungs- und Verwertungsschritte bis hin zur Verwertung der erzeugten Energie und des Komposts. Der Leitfaden für die Praxis soll Fachleute und Interessierte in Kreisen und Städten dabei unterstützen, das System der Bio- und Grüngutverwertung zu verstehen und Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen.**

Ressourcen sind unser globales Naturkapital und die Basis allen Wirtschaftens. Allerdings hat die Ressourcennutzung heute ein Ausmaß erreicht, das nicht dauerhaft gehalten werden kann. Denn die stetig steigende Ausbeutung von Rohstoffen verursacht über die gesamte Wertschöpfungskette deutliche Umwelt- und Klimabelastungen. Deshalb gilt es, die Ressourcen nachhaltig zu nutzen und so die natürlichen Lebensgrundlagen in Verantwortung für künftige Generationen zu erhalten und zu schützen.

Primäre Ressourcen lassen sich umso mehr schonen, je umfassender auf sekundäre Ressourcen – insbesondere Rest- und Abfallstoffe – zurückgegriffen wird. Hierzu zählen auch Bio- und Grüngut. Im Gegensatz zu nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo), die in der Landwirtschaft unter Einsatz von Energie und Betriebsmitteln gezielt produziert werden müssen, fallen Bio- und Grüngut bei der Pflege von Grünflächen oder in privaten Haushalten ganz automatisch an und können gemäß ihrer wertgebenden Eigenschaften als sekundäre Ressourcen genutzt werden. Bio- und Grüngut haben einerseits ein hohes stoffliches Potenzial. Wegen ihres Gehalts an Haupt- und Spurennährstoffen für Pflanzen

und ihrer organischen Substanz können sie in Form von Kompost als Düngemittel und zur Humusversorgung von Böden wertvolle Dienste leisten.

Andererseits kann ihr Hauptbestandteil, die organische Substanz, auch energetisch genutzt werden, indem man die Verwertung um eine Vergärungsstufe erweitert und Biogas erzeugt. Die holzigen Anteile des Grünguts eignen sich zudem als Brennstoff für Biomasse(heiz)kraftwerke.

Eine effiziente Nutzung des Bio- und Grünguts ist dann gegeben, wenn sowohl das stoffliche als auch das energetische Potenzial umfassend mit hohen Wirkungsgraden genutzt werden. Bio- und Grüngut können in diesem Fall einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz leisten und einen Baustein zur Abkehr von fossilen Energieträgern bilden. Schließlich wird es nur mit Hilfe vieler einzelner Maßnahmen möglich sein, durch eine Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien und die verstärkte Nutzung von Bioabfall das für Baden-Württemberg formulierte umweltpolitische Ziel einer deutlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen.



**EINE EFFIZIENTE NUTZUNG DES BIO- UND GRÜNGUTS IST GEGEBEN, WENN SOWOHL DAS STOFFLICHE ALS AUCH DAS ENERGETISCHE POTENZIAL UMFASSEND MIT HOHEN WIRKUNGSGRADEN GENUTZT WERDEN.**

## 2. Das System der Bio- und Grüngutverwertung

Die effiziente Nutzung von Bio- und Grüngut erfordert die Optimierung des gesamten Verwertungssystems in allen Systembausteinen (Abb. 3). Voraussetzung ist ein optimales Zusammenspiel dieser Systembausteine – von der Sammlung und Erfassung über die einzelnen Behandlungs- und Verwertungsschritte bis zur optimalen Verwertung der im Überschuss erzeugten Energie und des Komposts.

So gilt es, das erzeugte Biogas mit hohen Wirkungsgraden zu nutzen – idealerweise über KWK in einem BHKW. Hierfür kann es sinnvoll und notwendig sein, das BHKW an einem Ort zu errichten, an dem über das Jahr verteilt ein gleichmäßig hoher Wärmebedarf besteht. Möglicherweise eignet sich dieser Standort jedoch nicht für den Betrieb einer

Bioabfallbehandlungsanlage. Die sich daraus ergebenden räumlichen Distanzen lassen sich mit Biogasleitungen (Mikrogasnetz) überwinden. Bei größeren Anlagen und ausgedehnteren Distanzen kann auch eine Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität (Biomethan) und dessen Einspeisung in das Gasnetz sinnvoll sein.

Es versteht sich, dass bei den Vergärungsanlagen und bei den BHKWs auf effiziente und emissionsarme Techniken mit hohen Biogasausbeuten und energetischen Wirkungsgraden zu achten ist.

Der Vergärungsrückstand (Gärrest) bildet das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Komposten. Sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht sollte Kompost nicht über längere Strecken transportiert werden. Deshalb muss eine Bioabfallbehandlungsanlage möglichst dort lokalisiert sein, wo Komposte weiterverarbeitet beziehungsweise gebraucht werden. Optimal ist ein möglichst großer Nachfrageüberhang.

Eine günstige Vermarktungssituation für Komposte verbessert die Kostenstruktur der Bioabfallbehandlung wesentlich. Es ist daher unabdingbar, die Herstellung von Komposten als Produktionsprozess zu verstehen, der in seiner Spezifikation und seinem Veredelungsgrad möglichst genau auf die Nachfrage des Markts auszurichten ist. Dies stellt einen Absatz mit hohen Erlösen sicher. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist vor allem eine Veredelung zu Erden oder Kultursubstraten sinnvoll.

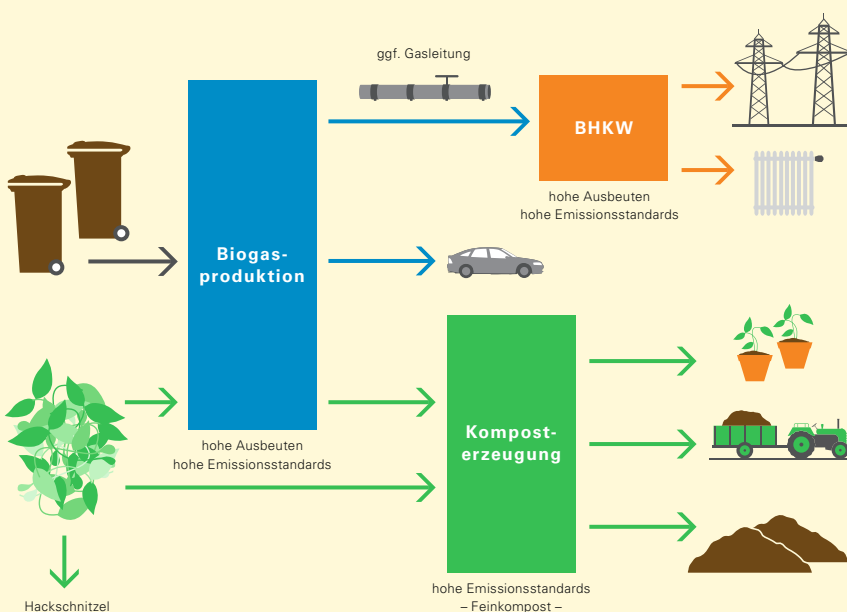


ABB. 3: DAS SYSTEM DER BIO- UND GRÜNGUTBEHANDLUNG IM ÜBERBLICK



Die Systeme der Bio- und Grüngutverwertung haben sich bereits in den letzten Jahren deutlich gewandelt. Sie zielen immer ausdifferenzierter auf die spezifischen wertgebenden Eigenschaften einzelner Teilfraktionen ab – und dies wird künftig noch stärker erforderlich sein. Im Fokus wird immer weniger die Abfallentsorgung und immer stärker die Produktion von Energie und hochwertigen Gütern aus Kompost liegen. Die Entwicklung der Behandlungstechnik richtet sich nach diesen Anforderungen.

Ist die effiziente Nutzung der sekundären Ressourcen Bio- und Grüngut gewährleistet, gilt es, über eine bürger- und damit auch kundenfreundliche Sammlung möglichst große, qualitativ hochwertige Mengen zu erfassen. Hierzu eignet sich eine Kombination aus Biotonne für das Biogut und eine getrennte Sammlung von Grüngut.

Ein derartiges System der Verwertung weist ökologische und vermehrt auch ökonomische Vorteile gegenüber der Entsorgung des Bioabfalls als Teil des Restabfalls auf. Dies zeigt die vergleichende Bewertung einer Studie für das Umweltbundesamt (IFEU/ahu 2012). Die Zusammenfassung der Ergebnisse (Abb. 4) verdeutlicht, dass die Verwertung des Bioabfalls einen hohen Beitrag zur Schonung der Umwelt und zum Ressourcenschutz leistet. Demgegenüber liegen die Beiträge für die anderen Umweltwirkungen auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Doch auch hier hat die Vergärung des Bioabfalls nach Stand der Technik selbst bei durchschnittlicher Nutzung des kompostierten Gärrests gegenüber einem Verzicht auf die Biotonne ökologische Vorteile und dies unabhängig von der Art

**NETTOERGEBNISSE NORMIERT ZU EINWOHNERDURCHSCHNITTSWERTEN (EDW) BERECHNET FÜR 4 MIO. T MAX. ZUSÄTZLICH GETRENNT ERFASSBAREM BIOABFALL**



**ABB. 4: OPTIONEN DER BIOABFALLBEHANDLUNG AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (IFEU/ahu 2012)**

der Restabfallbehandlung („D“ beschreibt die jeweilige Behandlungstechnik wie sie im Durchschnitt in Deutschland gegeben ist).

Die Grafik zeigt die Bewertungsergebnisse für die verschiedenen Umweltwirkungskategorien (in Einwohner-Durchschnittswerten – EDW) im Saldo auf. Das heißt, dass einerseits Lasten wie insbesondere Emissionen aus den Behandlungsanlagen berücksichtigt werden, die mit der Abfallentsorgung

<sup>1</sup> KEA, fossil: kumulierter Energieaufwand für fossile Energieträger;  
<sup>2</sup> PM10-Risiko: Risikopotenzial durch Feinstaub

verbunden sind, und andererseits der Nutzen, der sich durch das Bereitstellen von Kompost und Energie ergibt. Nach oben aufgetragene Werte bedeuten Belastungen (netto), die nach unten aufgetragenen Werte Entlastungen (netto).

Selbst wenn man den Mehraufwand für die Sammlung der Bioabfälle in die Bilanzierung und vergleichende Bewertung miteinbezieht, ändert sich an dieser Aussage nichts. Zwar schlägt sich der Mehraufwand deutlich nieder, mit Einführung der Biotonne werden jedoch auch Bioabfälle für eine Verwertung mobilisiert, die bislang in den häuslichen Gärten verblieben sind. Bei der Eigenkompostierung finden zwar grundsätzlich die gleichen Prozesse

statt wie in einer Kompostierungsanlage – mit in etwa dem gleichen Emissionspotenzial. Da sie aber nicht immer sachgerecht durchgeführt wird, kann das Emissionspotenzial höher liegen. Eine Kompostierungsanlage unterliegt zudem rechtlichen Vorgaben des Immissionsschutzes; belastete Abluft muss gefasst und behandelt werden. Der im eigenen Garten erzeugte Kompost entspricht nicht immer genau dem Bedarf der Böden und Pflanzen; folglich substituiert er auch nicht in jedem Falle den Einsatz von beispielsweise Mineraldüngern. Abbildung 5 zeigt eine den Immissionsschutzvorgaben entsprechende Bioabfallkompostierungsanlage mit vorgeschalteter Vergärung.



**ABB. 5: BIOABFALLVERGÄRUNGSANLAGE DER ABFALLWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT DES REMS-MURRKREISES MBH (AWG) IN BACKNANG-NEUSCHÖNTAL**



### 3. Potenziale nutzen: die effiziente Sammlung von Bio- und Grüngut

Als Bioabfall werden alle Abfälle bezeichnet, die tierischer oder pflanzlicher Herkunft sind und durch Mikroorganismen, Bodenlebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. In diesem Leitfaden werden Bioabfälle in Bio- und Grüngut unterteilt. Bio- und Grüngut sind häusliche Küchen- und Nahrungsabfälle sowie Gartenabfälle, die über die Biotonne erfasst werden. Zum Grüngut zählen separat zur Biotonne erfasste Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle und sonstige pflanzliche Abfälle aus der Pflege öffentlicher Grünflächen. Das Grüngutaufkommen wird stark durch die Größe von Gärten und Grünflächen beeinflusst.

#### 3.1 Das Potenzial an Grüngut

Bislang werden zur Abschätzung und Bewertung der Potenziale die in den Abfallstatistiken dokumentierten Werte herangezogen. Diese Informationen sind jedoch nur bedingt aussagekräftig. So werden die Gewichtsangaben oftmals auf Basis des angelieferten Volumens nur grob geschätzt. Zudem sind in den Erhebungen nicht alle Sammelstellen für Grüngut berücksichtigt. Auch nicht überlassungspflichtiges Grüngut, insbesondere aus der Pflege öffentlicher Grünanlagen, ist kaum in diesen Statistiken erfasst.

Im Rahmen einer aktuellen Studie für die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, die dem Leitfaden zugrunde liegt, wurde eine Methode erarbeitet, die eine belastbare und auf die spezifischen Verhältnisse in den einzelnen Kreisen zugeschnittene Potenzialabschätzung für Baden-Württemberg erlaubt und zugleich einfach umsetzbar sein soll. Dies wird

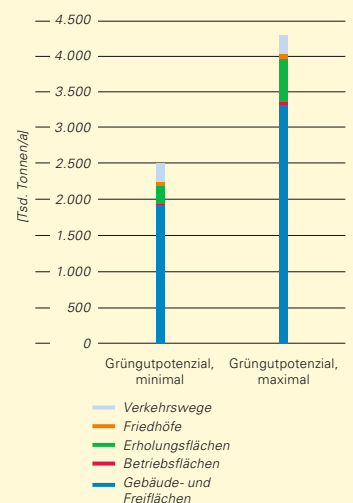
möglich, weil auf Kenngrößen zurückgegriffen werden kann, die andernorts bereits erhoben wurden. In diesem Falle handelt es sich um Angaben zur Flächennutzung, wie sie den Statistischen Landesämtern vorliegen. Für die Flächenkategorien wurden Kennzahlen zum spezifischen Bioabfallaufkommen erarbeitet. Bei der Potenzialabschätzung ging man davon aus, dass das Grüngutpotenzial von zwei wesentlichen Randbedingungen abhängt:

- Der Größe der Grünflächen beziehungsweise der nicht versiegelten Siedlungsflächen.
- Der spezifischen Nutzung der Grünflächen. Ein Schrebergarten wird beispielsweise intensiver bewirtschaftet als Straßenbegleitgrün und erzeugt ein entsprechend höheres Grüngutaufkommen.

Summiert man die Abschätzungen für die verschiedenen Flächen, ergibt sich das gesamte theoretische minimale und maximale Grüngutpotenzial (Abb. 6). Dieses theoretische Potenzial soll aus ökologischen Gründen sinnvollerweise nicht vollständig gehoben werden. Denn der teilweise Verbleib von Grüngutmengen ist durchaus sinnvoll – auch aus Gründen des Artenschutzes.

Dennoch macht ein Vergleich der Hochrechnung mit den heute gesammelten Mengen deutlich, dass im Allgemeinen noch erhebliche Potenziale für eine Optimierung der Grüngutsammlung bestehen. Bei einer Sammelmenge in Baden-Württemberg von 906 Tausend Tonnen im Jahr 2013 werden nur zwischen 22 und 37 Prozent des theoretischen Grüngutpotenzials von mindestens 2,5 Millionen Tonnen und höchstens 4,3 Millionen Tonnen pro Jahr bereits getrennt erfasst.

**DAS GRÜNGUTAUFKOMMEN WIRD STARK DURCH DIE GRÖSSE VON GÄRTEN UND GRÜNFLÄCHEN BEEINFLUSST.**



**ABB. 6: ABSCHÄTZUNG DES THEORETISCHEN GRÜNGUTPOTENZIALS FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG**



### 3.2 Das Potenzial an Küchenabfällen

Zur Abschätzung der Menge der in Haushaltungen anfallenden Nahrungs- und Küchenabfälle liegen zwei umfangreiche Studien vor, die auch der Studie UEC/Gavia 2014 für das Umweltbundesamt zur Frage der verpflichtenden Umsetzung der Getrennsammlung von Bioabfällen zugrunde gelegt wurden. Umfassende Betrachtungen des Aufkommens an Lebensmittelabfällen aus privaten Haushaltungen bieten die Studien von Kranert, 2012 und Rosenbauer, 2011.

Aus den umfangreichen Tagebuchaufzeichnungen von 200 Haushalten (Rosenbauer 2011) lässt sich ablesen, dass rund 21 Prozent der von Privathaushalten gekauften Lebensmittel weggeworfen werden, was einer durchschnittlichen Pro-Kopf-Entsorgung von 82 Kilogramm pro Jahr entspricht. Davon wären 59 Prozent vermeidbar. Diese Abfallmengen werden derzeit mit durchschnittlich 42,7 Kilogramm pro Einwohner und Jahr über die Restmülltonne und 19,1 Kilogramm pro Einwohner und Jahr über die Biotonne entsorgt. Lebensmittelabfälle werden aber auch der Eigenkompostierung (bis zu 18,4 kg/(E\*a)) übergeben, über das Abwasser entsorgt (4–19 kg/(E\*a)) oder in geringem Umfang (3 kg/(E\*a)) an Haustiere verfüttert.

Für bestimmte Bioabfälle stellt die fachgerechte Eigenkompostierung durchaus eine gute und ökologisch sinnvolle Ergänzung zur Biotonne dar. Durch die Verwertung vor Ort erübrigen sich vor allem die Aufwendungen der Sammlung (Leerung der Biotonne, Anlieferung der Gartenabfälle an Sammelplätzen) und des Transports zu den zentra-

len Verwertungsanlagen. Der Umfang der Eigenkompostierung sollte sich jedoch auf die Massen beschränken, die entsprechend dem Nährstoffbedarf der Kulturen den Böden fachgerecht zugeführt werden können. Nahrungs- und Küchenabfälle gehören in der Regel nicht dazu.

### 3.3 Sammelsystem für Grüngut

Neben Biogut, das über die Biotonne oder Biobbeutel erfasst werden kann, fallen in den Kommunen auch Strauch- und Baumschnitte aus privaten und öffentlichen Gärten und Grünanlagen an. Klassisch wird dieses Grüngut im Bringsystem erfasst. Dabei überlässt man die Last der Logistik allerdings weitgehend dem Abfallerzeuger. Um für dieses Erfassungssystem eine hohe Akzeptanz zu erreichen und damit einhergehend hohe Erfassungsmengen zu erzielen, bedarf es eines möglichst guten Angebots. Es besteht insbesondere aus einem ausreichend dichten Netz an Übergabepunkten mit Öffnungszeiten außerhalb der Kernarbeitszeiten, vor allem an Samstagen, die auch für Privatpersonen attraktiv sind. Wie man der Analyse der Verhältnisse in Baden-Württemberg entnehmen kann, werden die größten Erfolge mit einer Netzdichte von weniger als fünf Quadratkilometern Siedlungsfläche, also tatsächlich überbauter Fläche, pro Übergabepunkt erzielt. Eine weitere Kenngröße kann für städtische Räume ein Übergabepunkt pro 10.000 Einwohner sein. Die Sammelstellen sollten grundsätzlich das ganze Jahr über geöffnet sein, Ausnahmen können zum Beispiel schneereiche Höhenlagen bilden.

In einigen Kreisen sind die Sammelplätze nicht eingezäunt. Gartenabfälle können dort somit zu jeder

Zeit abgegeben werden. Nicht immer ist dies mit gutem Erfolg verbunden, denn es kommt nicht selten zu Verunreinigungen, Fehlwürfen oder illegalen Ablagerungen. Dass dies nicht zwangsläufig so sein muss, zeigt das Beispiel des Landkreises Ludwigsburg. Dort wird auf die Sammelplätze nicht gesondert mit Straßenschildern hingewiesen, sodass sie vor allem der örtlichen Bevölkerung bekannt sind. Sie werden von den jeweiligen Kommunen betrieben und betreut. Je gepflegter das Erscheinungsbild ist, umso höher ist die Hemmschwelle für einen Missbrauch. Der Kreis beschäftigt zudem Personen, die sich als Scouts um die Plätze bemühen und die Anlieferer in den Kernzeiten beraten und betreuen.

Die Kostenstruktur für die Grünguterfassung ist umso günstiger, je mehr man auf vorhandene Einrichtungen und Personal zurückgreifen kann. So können Übergabepunkte in abfallwirtschaftlichen Einrichtungen wie Wertstoffhöfen, Abfallbehandlungsanlagen und Deponien, sinnvoll sein. Auch andere öffentliche Einrichtungen wie kommunale Bauhöfe und Kläranlagen bieten sich als Grünguterfassungsstelle an. Ebenso sollten Kooperationen mit Betrieben wie Bauschuttzubereitungsanlagen, Erddeponien, Tiefbauunternehmen oder Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus geprüft werden.

Dass eine einfache Bereitstellung von Containern für Grüngut selbst in Großstädten möglich sein kann, zeigt das Beispiel der Stadt Karlsruhe. Hier wurden mehrere frei zugängliche Containerstandorte eingerichtet, teilweise praktisch im Straßenraum. Die Stadt stellt hochwertigen Grüngutkompost her, der güteüberwacht auch an Erden- und

Substratwerke vermarktet wird. Diese hohe Produktqualität basiert auf einem hochwertigen Ausgangsmaterial, also entsprechend sauberen Gartenabfällen. Die Containerstandorte werden täglich angefahren, die Container gewechselt und die Plätze gepflegt.

Die sich positiv entwickelnde Erlössituation sowie die generelle Problematik einer Kassenführung bei solchen Einrichtungen rechtfertigt es, keine Anliefergebühren zu erheben.

Auch im Garten- und Landschaftsbau fällt in größerem Umfang Grüngut zur Entsorgung an. Da heute die wenigsten Betriebe noch in der Lage sind, das Grüngut auf dem Betriebsgelände zu Komposten und Substraten zu verarbeiten, wird es überwiegend der Abfallverwertung zugeführt. In aller Regel stammt das Grüngut aus der Pflege von Grundstücken, die an die Abfallentsorgung angeschlossen sind. Grüngut aus der Bewirtschaftung öffentlicher Flächen, die von den Gemeinden direkt oder über beauftragte Dritte wie Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus übergeben werden, sind dagegen getrennt zu halten und mit Gebühren zu veranschlagen.

Nicht alle Grundstücksbesitzer sind in der Lage oder willens, das Material selbst zu verladen und abzufahren. Als Ergänzung zu den Dienstleistungen des Garten- und Landschaftsbaus, die vor allem in der Pflege der Flächen liegen, kann es daher sinnvoll sein, Angebote wie Abholung auf Abruf oder Containerbereitstellung gegen Gebühr zu etablieren.

**DIE KOSTENSTRUKTUR FÜR DIE GRÜNGUTERFASSUNG IST UMSO GÜNSTIGER, JE MEHR SICH AUF VORHANDENE EINRICHTUNGEN UND PERSONAL ZURÜCKGREIFEN LÄSST.**



Die Dokumentation des über die Sammelplätze erfassten Grünguts sowie deren Herkunft und Verbleib ist dann umfangreich notwendig, wenn es im Rahmen einer gesonderten Freistellung vor einer Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen nicht hygienisiert werden soll. Bei der klassischen Verwertung über Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen reicht es aus, die Massen zu dokumentieren, die von den Sammelplätzen zu den Verwertungsanlagen gebracht werden.

### 3.4 Sammlung über die Biotonne

Als Sammelgefäß hat sich weitestgehend die braune, meist 120 oder 240 Liter fassende Biotonne durchgesetzt. Ein messbarer Nutzen von Spezialbehältern mit Belüftung oder Geruchsfilter etc. konnte nicht nachgewiesen werden (Kern, Karass 2004). Häufig ist ein Entleerungsrhythmus von 14 Tagen vorgesehen, der im Sommer – zur Verringerung der Geruchsproblematik, und um den höheren Anfall von Gartenabfällen während der Vegetationsperiode aufnehmen zu können – auf eine wöchentliche Leerung umgestellt werden kann. Zusätzlich zur Biotonne sollten Vorsortiergefäße für den Haushalt abgegeben werden.

Um die Akzeptanz der Biogutsammlung zu fördern, ist eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Sie sollte während der Einführungsphase besonders intensiv sein und muss sich an die anzusprechenden Zielgruppen richten. Besonders intensive Sensibilisierungsmaßnahmen sind in Großwohnanlagen erforderlich. Hier bietet sich eine enge Zusammenarbeit mit den Wohnungsgesellschaften an.

Gerade in Großwohnanlagen besteht das Biogut vor allem aus Nahrungs- und Küchenabfällen. Um auch hier die notwendige Akzeptanz für die Biotonne zu schaffen, kann es sinnvoll sein, den Haushalten zur Vorsortierung bioabbaubare Kunststoffbeutel anzubieten. Dadurch bleibt die Biotonne relativ sauber und Maden werden vermieden.

Die ökonomischen Auswirkungen der Einführung oder Optimierung einer Bioabfallfassung – vom Holsystem Biotonne bis zur hochwertigen Behandlung – sind von mehreren Faktoren abhängig. Die erfassten Biogutmengen rekrutieren sich nicht alleine aus dem organischen Anteil des Restabfalls. Je nach Ausgestaltung des Systems muss mit Verlagerungen aus anderen Stoffströmen gerechnet werden, wie der Eigenkompostierung, der illegalen Entsorgung (Verbrennung, Ablagerung) und der Grünguterfassung. Bei der Diskussion und Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen sind diese Stoffstromverschiebungen unbedingt zu berücksichtigen.

Nach aktuellen bundesweiten Analysen stammen in ländlichen Gebieten rund 25 bis 50 Prozent des Bioguts aus dem Restabfall. Die restlichen Mengen sind auf Verlagerungen aus anderen Entsorgungs- oder Verwertungswegen zurückzuführen. In verdichteten Regionen ist der Anteil, der dem Restmüll entzogen werden kann, mit 40 bis 65 Prozent deutlich größer, was auf das geringere Gartenabfallpotenzial (UEC/GAVIA, 2014) und auf die deutlich eingeschränkteren Möglichkeiten der Eigenverwertung im eigenen Garten zurückgeführt werden kann.

**DIE ERFASSTEN BIOGUTMENGEN REKRUTIEREN SICH NICHT ALLEINE AUS DEM ORGANISCHEN ANTEIL DES RESTABFALLS.**

Die erfasste Gesamtmenge hat natürlich einen direkten Einfluss auf die spezifischen Erfassungs- und Behandlungskosten.

Die Behandlungskosten für Restmüll hängen vom Behandlungsverfahren, dem Zeitpunkt des Vertragsabschlusses sowie gegebenenfalls von der kommunalen Eigentümerschaft und Abschreibung der eigenen Anlage ab. Bundesweit liegen sie unter Berücksichtigung der Umschlags- und Transportkosten zwischen 60 und 300 Euro pro Tonne (UEC/GAVIA, 2014). Die Behandlungskosten für Biogut variieren aus denselben Gründen, allerdings nicht in der gleichen Spanne. Grundsätzlich wird hier von Kosten zwischen 75 und 110 Euro pro Tonne (UEC/GAVIA, 2014) ausgegangen, wobei die Kosten einer Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (Kaskadennutzung) nach dem Stand der Technik als Grundlage herangezogen wurden.

Wesentlichen Einfluss auf die Kosten des Gesamtsystems Biotonne hat die getrennte Sammlung des Bioguts. Je nach Ausgestaltung des Systems und Einsparpotenzial bei der Restabfallerfassung liegt der Anteil zwischen 20 und 80 Prozent der Gesamtkosten. Könnte wie zumeist in den 1980er- und 1990er-Jahren, die Bioguterfassung als alternierende Abfuhr mit dem Restmüll (eine Woche Biogut, eine Woche Restmüll) installiert werden, würden die Mehrkosten im Wesentlichen durch die zusätzliche Tonnengestellung verursacht. Bedingt durch mittlerweile zahlreiche weitere Erfassungssysteme und die Einführung gestaffelter Tarife für die Bereitstellung oder für mengenabhängige Identensysteme, ist dies in der Regel heute aber nicht mehr möglich.

Daher werden bei vielen Kostenschätzungen die zusätzlichen Kosten der Bioguterfassung zunächst mit einer Vollkostenberechnung erfasst. Das bedeutet, dass die Kosten der Biogutsammlung komplett getrennt von der Restabfallbehandlung bewertet werden.

Bei einem Vollanschluss an die Biotonne im ländlichen Raum wurden in der aktuellen Studie des Umweltbundesamts (UEC/GAVIA 2014) für die Sammlung inklusive der Tonnengestellung Kosten von 70 bis 150 Euro pro Tonne ermittelt, wobei eine bundesweit durchaus übliche Erfassungsmenge von 120 Kilogramm pro Einwohner und Jahr unterstellt wurde. In städtischen Siedlungsstrukturen wurden tendenziell niedrigere Kosten zwischen 65 und 135 Euro pro Tonne ermittelt, wobei hier eine Erfassungsmenge von 60 Kilogramm pro Einwohner und Jahr angenommen wurde.

Insgesamt kann bei ländlichen Siedlungsstrukturen durch die Einführung einer Biotonne mit einer Ersparnis von rund 6 Euro pro Einwohner und Jahr (oder rund 50 €/Tonne) oder einer Kostenbelastung von bis zu 29 Euro pro Einwohner und Jahr (oder rund 240 €/Tonne) kalkuliert werden. Die große Spanne dieser Werte ist auf die jeweils unterschiedliche Anrechnung der Gutschriften aus der Restabfallbehandlung zurückzuführen. Für städtische Siedlungsstrukturen wurde mit der gleichen Systematik eine Ersparnis von rund 4 Euro pro Einwohner und Jahr (oder rund 30 €/Tonne) im besten Fall und rund 12 Euro pro Einwohner und Jahr (oder rund 100 €/Tonne) Mehrkosten im schlechtesten Fall berechnet.

### 3.5 Regelungen in der Abfall- und Gebührensatzung

Da normalerweise kein Nährstoffeintrag auf privat genutzten Gartenflächen über die Küchenabfälle notwendig ist – eine Ausnahme bilden Nutzgärten –, muss die Sammlung der Küchenabfälle über eine Biotonne grundsätzlich flächendeckend erfolgen. Wie auch andere Abfallerfassungssysteme sollte die Biotonne daher mit einem Anschluss- und Benutzungszwang eingeführt werden. Dies ist auch deshalb von Vorteil, weil die damit verbundenen Kosten dann auf alle Grundstücke umgelegt werden können. Eine hohe Biotonnendichte vermindert zudem die spezifischen Logistikkosten deutlich.

Über die Abfallsatzung sollten aus fachlicher Sicht alle biologisch abbaubaren organischen Abfälle tierischer und pflanzlicher Herkunft aus privaten Haushaltungen in die Sammlung eingeschlossen werden. Bedenken wegen des zu hohen Salzgehalts oder hygienische Vorbehalte bezüglich einiger, vor allem tierischer Essensreste wurden in Untersuchungen nicht bestätigt. Da bei der Behandlung des Bioguts in Verwertungsanlagen nach der Bioabfallverordnung (BioAbfV) die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der Produkte sicherzustellen und nachzuweisen ist, können und sollen in der Biotonne auch mit Krankheitserregern und Schadorganismen befallene Pflanzen erfasst werden.

Darüber hinaus sollten der Ausschluss von Störstoffen für die Biotonne sowie die Trennpflicht von Biogut und Restmüll in der Abfallsatzung geregelt werden. Als Grundlage dienen die Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie und des KrWG. Sinnvoll ist

es zudem, Maßnahmen festzuschreiben, die greifen, wenn die Trennpflicht nicht beachtet wird oder es zu Fehlwürfen kommt. Auch die Überlassungspflicht muss geregelt sein, wenn die eigene Verwertung des Bioabfalls nicht oder nicht schadlos erfolgt.

Die Biogutsammlung sollte wie auch andere Systeme der Abfallverwertung für die Haushalte gegenüber der Restmüllentsorgung merklich kostengünstiger sein. Dies wird durch § 9 des Landesabfallgesetzes unterstützt. Darin wird gefordert, dass die Satzungen wirksame Anreize zur Vermeidung und Verwertung sowie zur Abfalltrennung enthalten. Wie der Überblick zur Situation in Baden-Württemberg zeigt, gibt es einige Gebietskörperschaften, die keine separate oder eine deutlich niedrigere Bioabfallentsorgungsgebühr ausweisen (LUBW/ IFEU 2010). Dies entspricht der Regelung in § 18 Absatz 1 Nr. 1 Kommunalabgabengesetz, wonach die Gebühren so gestaltet werden können, dass sich daraus nachhaltige Anreize zur Vermeidung und Verwertung sowie zur Abfalltrennung ergeben.

## 4. Stoffstrommanagement und optimales Behandlungskonzept

Bio- und Grüngut haben sehr unterschiedliche Eigenschaften. So zeichnen sich Küchenabfälle im Gegensatz zu Holz oder holziger Biomasse durch einen vergleichsweise hohen Gehalt an Pflanzennährstoffen aus. Holz dagegen enthält Kohlenstoff in einer Form, die einer Vergärung schlecht zugänglich ist. Diese beiden Randbedingungen können die Zuordnung von Biomassen zu einzelnen Verwertungswegen wesentlich bestimmen (Abb. 7).

Grundsätzlich ist es sinnvoll, sämtliche Bioabfälle, die über die Biotonne gesammelt werden, sowie krautiges Grüngut einer Bioabfallvergärung zuzuführen. Die Vergärungsrückstände lassen sich dann über eine Nachrotte zu Komposten weiterverarbeiten, die den rein aerob erzeugten Komposten hinsichtlich ihrer Qualität in nichts nachstehen und auch für hochwertige Vermarktungswege geeignet sind. Für die Nachrotte ist eine Zugabe von Grüngut als Strukturmaterial hilfreich.

Besteht im Einzelfall eine große Nachfrage nach nährstoffarmen Ausgangssubstraten, kann es sinnvoll sein, die Grüngutkompostierung von der Biogutbehandlung zu trennen. Dann wäre diesem Verwertungsweg auch ein Teil der eher holzigen Biomassen zuzuordnen, also insbesondere Strauch- und Heckenschnitt.

Schnittholz wird sinnvollerweise zu Brennstoffen aufbereitet. Wird es an große Biomasseheizkraftwerke<sup>3</sup> verkauft, können auch Strauch- und Heckenschnitt vermarktet werden. In jedem Fall sollte das Feinmaterial nach der Zerkleinerung abgetrennt und als Substrat für die Kompostherstellung genutzt werden.

### ABSATZ VORHANDEN FÜR:

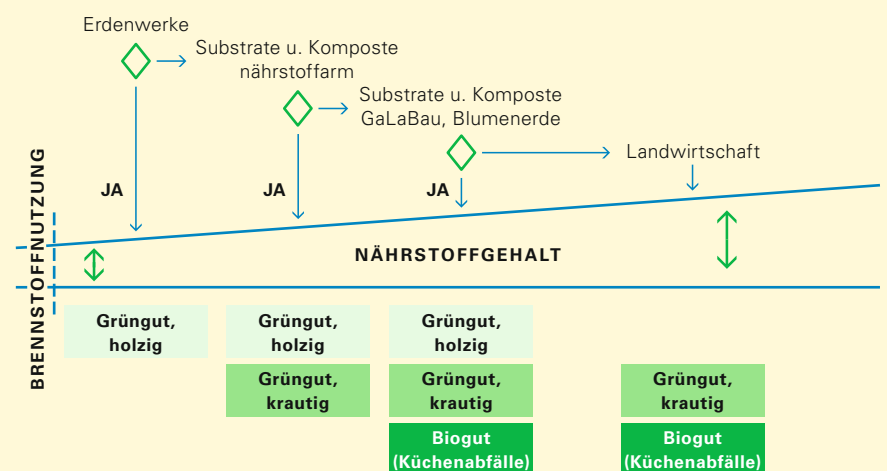


ABB. 7: STOFFSTROMMANAGEMENT – ZUORDNUNG VON BIO- UND GRÜNGUTMASSEN ZU VERWERTUNGSWEGEN FÜR KOMPOST

### 4.1 Verwertung über eine Bioabfallvergärungsanlage

Der aktuelle bundesweite Bestand an Bioabfallvergärungsanlagen liegt bei 113 Anlagen mit mindestens 5.000 Tonnen pro Jahr Input an Bioabfall gemäß BioAbfV (Kern et. al., 2014/15). Davon verarbeiten 75 Anlagen mit 2,4 Millionen Tonnen pro Jahr Durchsatz ausschließlich Bioabfälle aus Haushaltungen. 38 Anlagen mit 1,9 Millionen Tonnen pro Jahr Durchsatz verwerten zusätzlich oder mehrheitlich gewerbliche Bioabfälle wie Speiseabfälle aus Kantinen oder landwirtschaftliche Reststoffe wie Gülle.

Die Herstellung von Kompost in Verbindung mit einer Biogaserzeugung (Kaskadennutzung) wird durch das EEG finanziell gefördert. Doch abgesehen von den aktuellen Fördersätzen für den erzeugten

<sup>3</sup> Auch hier ist auf eine effiziente energetische Nutzung zu achten, d. h. in Anlagen mit KWK und hohen Absatzen für die Überschusswärme.

Strom ist die optimale energetische Einbindung einer Bioabfallverwertungsanlage auch aus ökologischen Gründen sehr wichtig. Neben der Stromerzeugung sollte daher immer die Nutzung der Überschusswärme standortspezifisch optimiert werden. Gleichzeitig ist bei der Auswahl der Anlagentechnik und der Konzeption der Anlage auf hohe Standards zur Emissionsminderung zu achten. Denn sonst werden die ökologischen Vorteile der Vergärung durch freigesetzte klima- oder umweltrele-

vante Abgase gefährdet. Dazu zählen Methan oder Stickstoffverbindungen wie Ammoniak und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Derzeit geltende Emissionsstandards werden mit großer Wahrscheinlichkeit angepasst; eine Biogasanlagenverordnung ist geplant. Daher muss schon heute auf die vollständige Fassung belasteter Abluft und deren gezielter Reinigung geachtet werden. Denn sonst wird unter Umständen eine Nachrüstung der Anlagentechnik notwendig – mit entsprechenden Kosten.

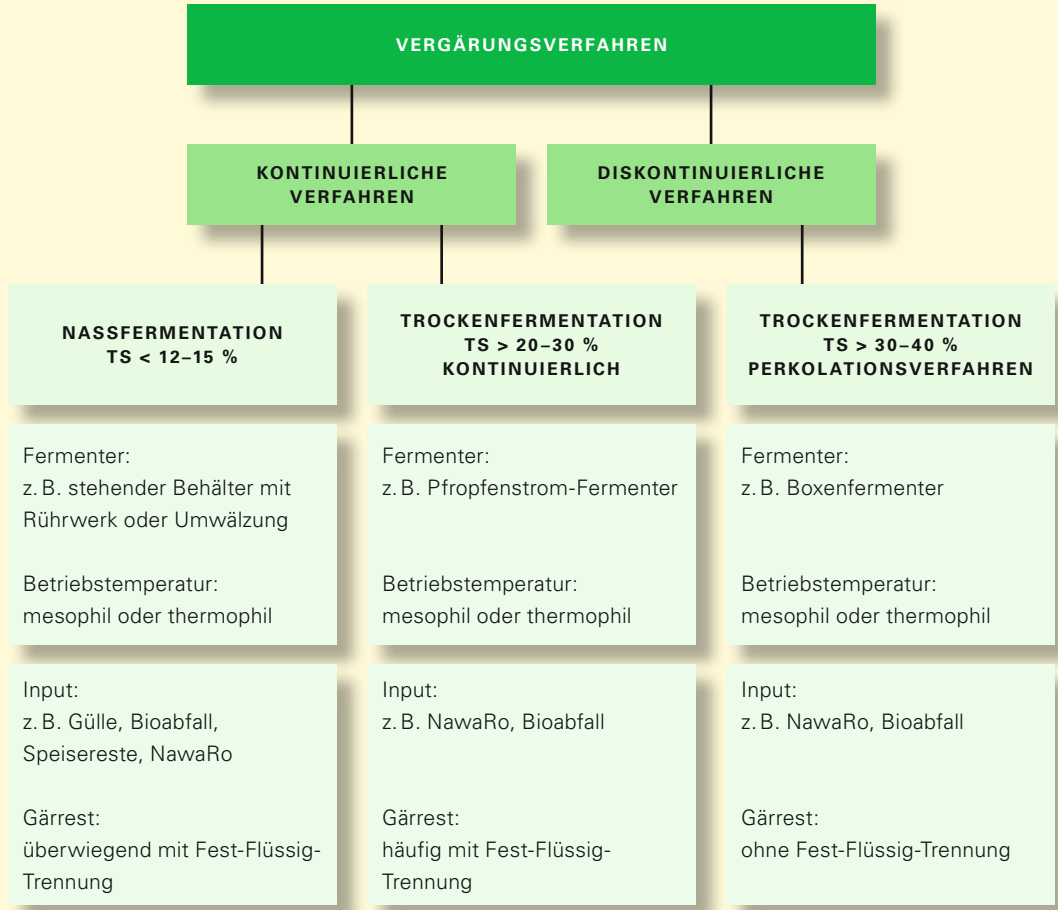


ABB. 8: ÜBERSICHT ÜBER VERSCHIEDENE TECHNISCHE LÖSUNGEN DER BIOMASSE-VERGÄRUNG





Bei der Planung von Vergärungsanlagen ist grundsätzlich auf hohe Netto-Energie-Ausbeuten bei zugleich geringem Emissionsniveau zu achten. Abbildung 8 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Vergärungsverfahren. Die durchschnittliche Biogasausbeute aus einer Tonne Bioabfall liegt bei diskontinuierlichen Trockenverfahren mit etwa 85 bis 100 Normkubikmetern tendenziell unterhalb der bei kontinuierlichen Trockenverfahren erzielbaren Biogasausbeute von rund 110 bis 125 Normkubikmetern. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Produktströme und deren regionale Vermarktbarkeit zu bewerten. Die bei der kontinuierlichen Trockenvergärung in der Regel zusätzlich anfallenden flüssigen Gärreste sind in manchen Regionen nur schwer zu vermarkten; ein weiter Transport würde die höhere Energieausbeute relativieren.

Da der spezifische Platzbedarf bei der Erweiterung einer Kompostanlage eine entscheidende Rolle spielt, kann dieses Kriterium andere überlagern. Es bedarf daher immer einer standortspezifischen Prüfung und gegebenenfalls einer Anpassung an die Rahmenbedingungen.

Sogenannte trockene und diskontinuierliche Vergärungsverfahren, wie beispielsweise Perkulationsverfahren, bieten sich vor allem dann an, wenn über die Biotonne in größerem Umfang auch Gartenabfälle gesammelt werden und die Bioabfälle einen hohen Strukturanteil aufweisen. Wegen der geringeren Wassermengen und damit kleineren Massenströme sind die Aggregatgrößen und damit die Investitionskosten niedriger. Von Vorteil ist zudem das thermophile Temperaturniveau, das die Hygienisierung der Bioabfälle unterstützt. Gegen-

über Verfahrensweisen im mesophilen Temperaturbereich kann ein thermophiler Betrieb außerdem zu höheren spezifischen Gasausbeuten beziehungsweise geringeren Verweilzeiten bei gleichen Gasausbeuten führen.

#### 4.2 Kombination mit einer Nachrotte

Um das Produktionsziel Fertigkompost zu erreichen, muss der Gärückstand für etwa sechs Wochen einer Nachrotte zugeführt werden. Bei einer mesophilen Betriebsweise der Vergärung muss dabei eine Hygienisierung des Materials sicher erreicht werden. Bei der aeroben Nachrotte sind unbedingt die für eine optimale Kompostierung notwendigen Rahmenbedingungen wie ein optimaler Strukturanteil und Wassergehalt einzustellen, gegebenenfalls auch durch Zugabe von Strukturmaterial. Hierbei ist eine erneute Kontamination der Gärreste zu vermeiden.

Im Vergleich zu Kompostprodukten mit Rottegrad II bis III aus der aeroben Intensivrotte weisen Gärreste mit gleichem Rottegrad ein deutlich höheres Geruchsemissionspotenzial auf. Dies ist insbesondere auf das Ammoniak zurückzuführen, das bei der Mineralisierung der organischen Stickstoffverbindungen im Gärmaterial entsteht. Wesentliche Emissionsquelle ist die Überführung der anaeroben Gärprodukte in den aeroben Zustand. Hinzu kommen systemimmanent höhere Methangehalte, da sich offensichtlich nicht gänzlich vermeiden lässt, dass Restmethan in den Poren des Feststoffs verbleibt. Zwischen Fermenter und Nachrotte sollte daher eine optimierte Aerobisierungsstufe vorgesehen sein, bei der gezielt be- und entlüftet wird, die

BEI DER PLANUNG VON VERGÄRUNGSANLAGEN IST AUF HOHE NETTO-ENERGIE-AUSBEUTEN BEI ZUGLEICH GERINGEM EMISSIONSNIVEAU ZU ACHTEN.

beladene Abluft vollständig gefasst und entsprechend behandelt wird. Problematische Emissionen aus der Nachrotte entstehen zudem in der ersten Phase. Daher ist sie geschlossen auszuführen und die Abluft gezielt einer entsprechenden Behandlung zu übergeben.

Bei der Nachrotte muss zudem auf eine sehr gute Sauerstoffversorgung des Materials geachtet werden (Belüftung, Umsetzung).

### 4.3 Erweiterung einer bestehenden Kompostierungsanlage

In aller Regel existieren bereits Systeme der Bioabfallverwertung und damit Kompostierungsanlagen, die um das Modul Biogaszeugung erweitert werden können. Wie dies anlagentechnisch auch bei schwierigen Standortzuschnitten gelöst werden kann, zeigt das Beispiel der Bioabfallbehandlungsanlage ERZ Passau-Hellersdorf (Abb. 9).



ABB. 9: UM EIN VERGÄRUNGSMODUL NACHGERÜSTETE KOMPOSTIERUNGSANLAGE IN PASSAU-HELLERSBERG (BUCHHEIT 2009)

Eine derartige Erweiterung ist immer dann sinnvoll, wenn wesentliche Bauteile weiter genutzt und damit Investitionen erhalten werden können. Dies gilt besonders dann, wenn es sich um geschlossene Kompostierungsanlagen mit entsprechenden Aggregaten zur automatischen Beschickung, Umsetzung sowie Be- und Entlüftung handelt, deren Durchsatzkapazität sich durch ein Vergärungsmodul erhöhen lässt. Dies ist möglich, wenn auch schon bisher Reife- beziehungsweise Fertigkompost produziert wurde. Da Gärrückstände eine deutlich geringere spezifische Rottezeit benötigen als frischer Bioabfall, können die geringeren Verweilzeiten eine Verdopplung der Anlagenkapazität bedeuten. Wobei zu beachten ist, dass für die Nachrotte meist Strukturmaterial zugegeben werden muss.

Die Nachrüstung bestehender Kompostierungsanlagen um Module zur Bioabfallvergärung ist gängige Praxis. Weitere Beispiele:

- Vergärungsanlage Iffezheim der Südbadischen Kompostierungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Kapazität der Vergärung 18.000 Tonnen pro Jahr (Teilstrom Boxen)
- Vergärungsanlage Aiterhofen der AWG Straubing, Kapazität der Vergärung 18.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom Boxen)
- Entsorgungszentrum Bassum der AWG Bassum, Kapazität der Vergärung 18.200 Tonnen pro Jahr (Teilstrom, Boxen)
- Bioabfallvergärungsanlage Braunschweig-Watenbüttel der Alba Niedersachsen-Anhalt, Kapazität der Vergärung 20.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Pfropfenstrom)

- Vergärungs- und Kompostierungsanlage Leppe der AVEA Engelskirchen, Kapazität der Vergärung 30.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Pfpfenstrom)
- Biogasanlage Flörsheim-Wicker der RMD Flörsheim-Wicker, Kapazität der Vergärung 45.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Pfpfenstrom)
- Kompostwerk Pohlsche Heide der GVoA Hille, Kapazität der Vergärung 40.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Boxen)
- Biogas- und Kompostierungsanlage Cyriaxweimar der MEG Marburg, Kapazität der Vergärung 12.000 Tonnen pro Jahr (Teilstrom, Boxen)
- Kompostwerk Warngau der VIVO Warngau, Kapazität der Vergärung 14.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Boxen)
- Kompostwerk Weißenfels der Bio Komp-SAS Weißenfels, Kapazität der Vergärung 30.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Pfpfenstrom)
- Vergärungsanlage Großefehn der MKW Aurich, Kapazität der Vergärung 18.200 Tonnen pro Jahr (Teilstrom, Pfpfenstrom)
- Trockenfermentationsanlage München des AWB München, Kapazität der Vergärung 22.500 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Boxen)
- Humus- und Erdenwerk Ilbenstadt des AWB Wetteraukreis, Kapazität der Vergärung 18.200 Tonnen pro Jahr (Teilstrom, Propfenstrom)
- Kompostwerk Nieheim der Kompotec Marienfeld, Kapazität der Vergärung 24.000 Tonnen pro Jahr (Teilstrom, Boxen)
- Trockenfermentationsanlage Tonnenmoor der AWG Kreis Vechta, Kapazität 10.000 Tonnen pro Jahr (Vollstrom, Boxen)

### 4.4 Effiziente Biogasnutzung

Es ist nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht wichtig, möglichst große Anteile des erzeugten Netto-Energieüberschusses zu vermarkten. Biogas lässt sich unterschiedlich nutzen (Abb. 10).

Aus ökologischer Sicht am vorteilhaftesten ist die Erzeugung elektrischer Energie über ein BHKW mit effizienter Wärmenutzung, also KWK. Da das Biogas rund um die Uhr entsteht, kann die

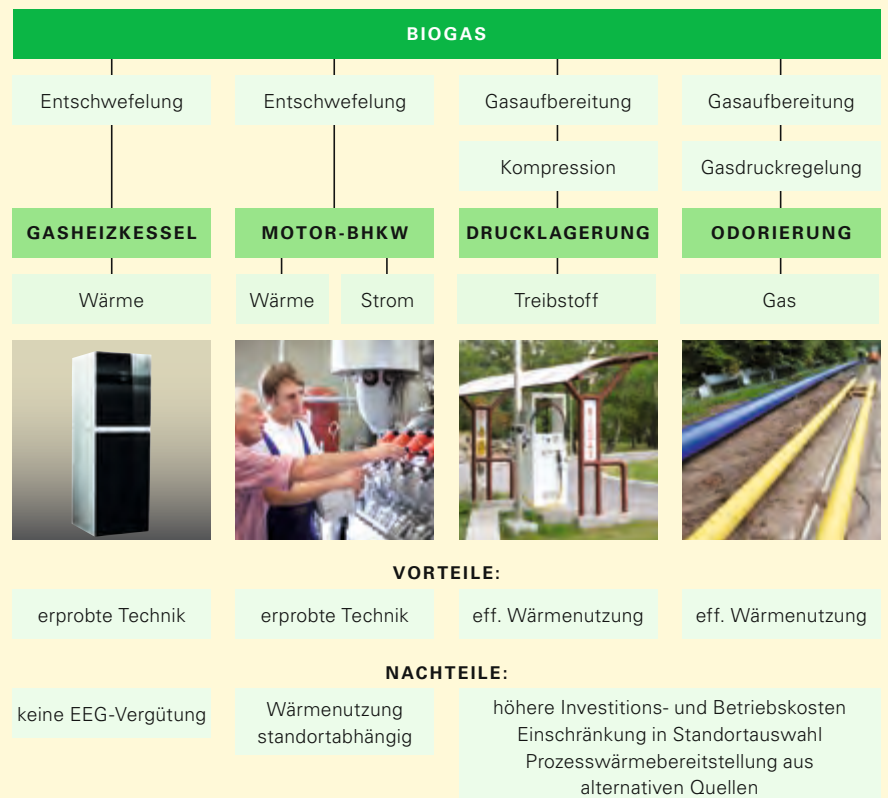


ABB. 10: MÖGLICHKEITEN DER BIOGASNUTZUNG



Verstromung oder Einspeisung klassisch in Grundlast erfolgen – und damit in Konkurrenz zu Kernenergie und Kohle. BKHWS bieten einen elektrischen Wirkungsgrad von etwa 40 Prozent. Wenn auch die Überschusswärme, die bei der Verstromung zwangsläufig verbleibt, umfassend genutzt wird, können sogar noch höhere Gesamtwirkungsgrade erzielt werden. Erreichbar sind dann etwa 85 Prozent; dies ergibt sich aus der Bandbreite der elektrischen und thermischen Einzelwirkungsgrade (38 %<sub>el.</sub>/47 %<sub>th.</sub> bis hin zu 41 %<sub>el.</sub>/44 %<sub>th.</sub>).

Bioabfallbehandlungsanlagen werden – wie die meisten anderen Abfallbehandlungsanlagen – in der Regel relativ weit entfernt von Siedlungsgebieten und damit potenziellen Wärmekunden errichtet. Das Verlegen von Transportleitungen für Wärme

ist jedoch wegen der großen Rohrquerschnitte und des enormen Aufwands für die Dämmung mit hohen Kosten verbunden. Mikrogasnetze sind daher die bessere Alternative. Bei diesem Konzept wird nicht die Wärme, sondern das Biogas zu Standorten transportiert, die über das ganze Jahr einen hohen kontinuierlichen Wärmebedarf versprechen. Fehlender Dämmungsaufwand und kleine Rohrquerschnitte machen diese Option deutlich kostengünstiger. Da auch die Biogasanlage selbst Wärme und Strom benötigt, muss in diesem Fall ein kleiner Anteil des Gases vor Ort in einem BHKW energetisch genutzt werden. Alternativ kann die Wärmeerzeugung über einen Kessel erfolgen, der mit Hackschnitzeln aus Grüngut befeuert wird.

Wie die ökologische Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biogas zeigt (Abb. 11), ist auch eine Aufbereitung auf Erdgasqualität und die Einspeisung in das Gasnetz eine sinnvolle Alternative. Insbesondere dann, wenn das Biogas vor Ort nicht umfassend genutzt werden kann und das Biomethan andernorts zu 100 Prozent in einem BHKW über KWK (100 %ige Nutzung der Überschusswärme; Wirkungsgrad 37,5 %<sub>el.</sub>, 43 %<sub>th.</sub>) oder als Treibstoff genutzt wird. Die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität ist aber mit einem hohen Aufwand verbunden, der sich in der ökologischen Bilanz niederschlägt und zudem aus Kostensicht beachtet werden muss.

Die vorherrschende Expertenmeinung geht von der Wirtschaftlichkeit einer Biomethanaufbereitung ab einer Produktionsleistung von mindestens 250 Normkubikmetern Biogas pro Stunde aus, was bei der Bioabfallvergärung einem Durchsatz

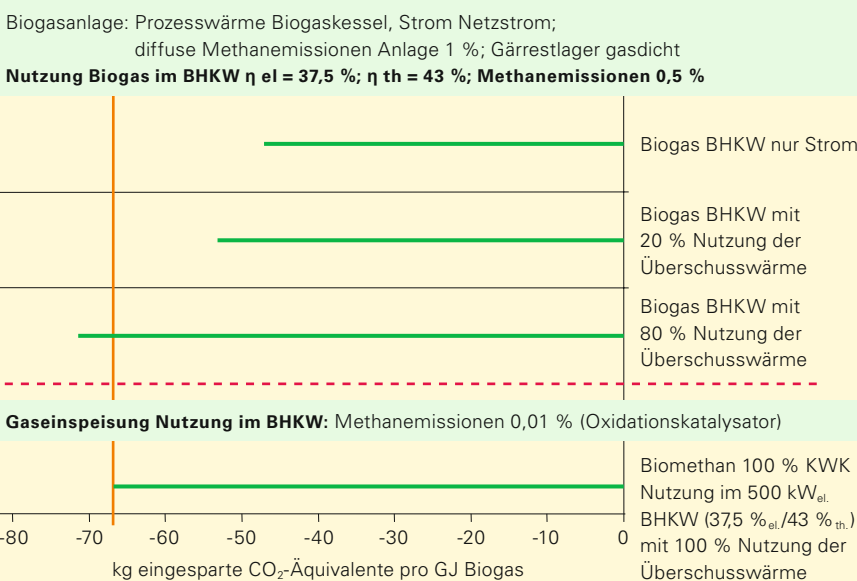


ABB. 11: KONZEPTE ZUR BIOGASNUTZUNG AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (IFEU ET AL. 2008)

von etwa 20.000 Jahrestonnen Bioabfall entspricht (Raussen 2015).

Ohne Installation eines Verteilnetzes kann die Abwärme durch einen mobilen Wärmetransport mittels Latentwärmespeicher genutzt werden, der thermische Energie verlustarm und über längere Zeiträume speichern kann. Die Be- und Entladung ist reversibel – die Zyklen können also wiederholt und der Speicher somit viele Jahre genutzt werden. Die Wärme wird hierbei durch eine chemische Reaktion gespeichert, wie beispielsweise die Aggregatzustandsänderung eines Mediums. Als Speichermedium wird unter anderem Natriumacetat eingesetzt.

Einen anderen Weg zur Nutzung der Abwärme eines BHKW direkt am Standort bieten ORC-Anlagen, die die anfallende Wärmeenergie verstromen. Der ORC-Prozess ist ein Dampfkraftprozess, in dem die Turbine nicht mit Wasser, sondern mittels eines organisch niedrig siedenden Arbeitsmediums angetrieben wird. Bislang wurden ORC-Prozesse für Leistungsbereiche von mehr als 300 kW<sub>el</sub> angeboten, neuerdings werden die Anlagen aber auch für kleine Leistungsgrößen (< 30 kW<sub>el</sub>) konzipiert. In Abbildung 12 ist eine ORC-Anlage zur Wärmeverstromung dargestellt.



ABB. 12: ORC-ANLAGE IN BIETIGHEIM-BISSINGEN (DÜRR CYPLAN LTD. 2015)

# 5. Vermarktung von Kompost und Kompostprodukten

**AUS ÖKOLOGISCHER SICHT IST DIE VERMARKTUNG VON KOMPOST UMSO ERFOLGREICHER, JE GRÖßER DIE MASSENANTEILE SIND, DIE SICH AUSSERHALB DER LANDWIRTSCHAFT VERTREIBEN LASSEN.**

Etwa 50 Prozent der Bio- und Grüngutmassen, die einer Verwertung übergeben werden, bleiben nach der Behandlung und Umsetzung eines Teils der organischen Substanz als Kompost übrig und lassen sich entsprechend vermarkten. Bezogen auf die stoffliche Masse stellt die Herstellung von Kompost demnach das eigentliche Produktionsziel dar. Dessen optimale Vermarktung ist deshalb sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen sehr wichtig.

Aus ökologischer Sicht ist die Vermarktung umso erfolgreicher, je größer die Anteile sind, die sich außerhalb der Landwirtschaft und damit über Erdenwerke als einfache Blumen- und Pflanzerden oder als Kompost im Erwerbsgartenbau sowie im Garten- und Landschaftsbau vertreiben lassen. Denn sie treten in unmittelbare Konkurrenz zu Torf oder Torfprodukten.

Torf entsteht als Vorstufe bei der Bildung von Kohle; er ist aus Kohlenstoff aufgebaut, der der Biosphäre entzogen wurde. Beim Abbau des Torfs wird der Kohlenstoff zu CO<sub>2</sub> veratmet und somit wieder in die Biosphäre freigesetzt. Die Zersetzung von Torf trägt damit analog zu fossilen Energieträgern zum Treibhauseffekt bei. Die Substitution von Torf ist unter Klimaschutzaspekten folglich besonders sinnvoll. Die Entlastungseffekte sind deutlich höher als diejenigen, die sich über die reine Verwendung von Kompost als Düngemittel durch die Substitution mineralischer Düngemittel erzielen lassen. Zudem ist die Substitution von Torf auch in Bezug auf den Naturschutz sinnvoll. Denn Moore sind stark gefährdete Lebensräume von besonderer ökologischer Bedeutung.

Die oben beschriebenen Vermarktungswege haben aber auch ökonomische Konsequenzen. Die Erlöse für derartige Produkte liegen in der Regel deutlich über denen von Kompost für die Landwirtschaft, wobei sich die erzielten Preise von Region zu Region und Anlage zu Anlage unterscheiden. Zudem gestaltet sich die Preisfindung für den Kompost oder die kompostierten Gärrückstände gegenüber Abnehmern aus der Landwirtschaft einfacher, wenn Absatzalternativen bestehen. Die Anlagen müssen daher grundsätzlich so konzipiert werden, dass ausgereifter Kompost hergestellt werden kann. Wie Preislisten von Kompostwerken zeigen, lassen sich für einfache Mischungen aus Boden und Kompost pro Kubikmeter bis zu doppelt so hohe Preise erzielen wie für reinen Kompost. Die Preise für definierte Mischungen, wie zum Beispiel aufgedüngte Blumenerden, liegen etwa um den Faktor 3 höher, immer bezogen auf lose Ware.

Gerade bei größeren Produktionsmengen Kompost wird die Landwirtschaft weiterhin ein wichtiger Abnehmer sein, vor allem für Sonderkulturen oder den Hackfrüchteanbau. Auch für dieses Absatzsegment sollte auf Fertigkompost (Rottegrad IV/V) gesetzt werden, was den Absatz von Frischkompost in Teilmengen nicht ausschließt. Beim Absatz von Fertigkompost ist jedoch die Gefahr der Stickstoff-Immobilisierung deutlich geringer und die Humusreproduktionsleistung höher. Zudem findet der Rotteprozess vollständig in einer Behandlungs- (Kompostierungs-)anlage statt – und nicht wie bei der Frischkompostausbringung auf der Fläche. Emissionen, die aus der Stickstoffdynamik resultieren, lassen sich so fassen und gezielt einer Behandlung zuführen.

# 6. Leitfaden für die Praxis: So lässt sich die Bio- und Grüngutverwertung Schritt für Schritt optimieren

Der nachfolgende Leitfaden soll Fachleute und Interessierte in Kreisen und Städten dabei unterstützen, das System der Bio- und Grüngutverwertung zu verbessern. Die konkrete Umsetzung setzt in der Regel allerdings eine umfassende Analyse sowie eine den spezifischen Gegebenheiten vor Ort angepasste Lösungsstrategie voraus, die der Leitfaden nicht ersetzen kann.

Die Situation vor Ort ist nicht in allen Regionen Baden-Württembergs und entsorgungspflichtigen Körperschaften gleich. Zum einen können strukturelle Gegebenheiten von Fall zu Fall deutlich variieren, insbesondere die Siedlungs-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur. Zum anderen kann sich die abfallwirtschaftliche Situation unterscheiden.

## CHECKLISTE SYSTEM BIOABFÄLLE

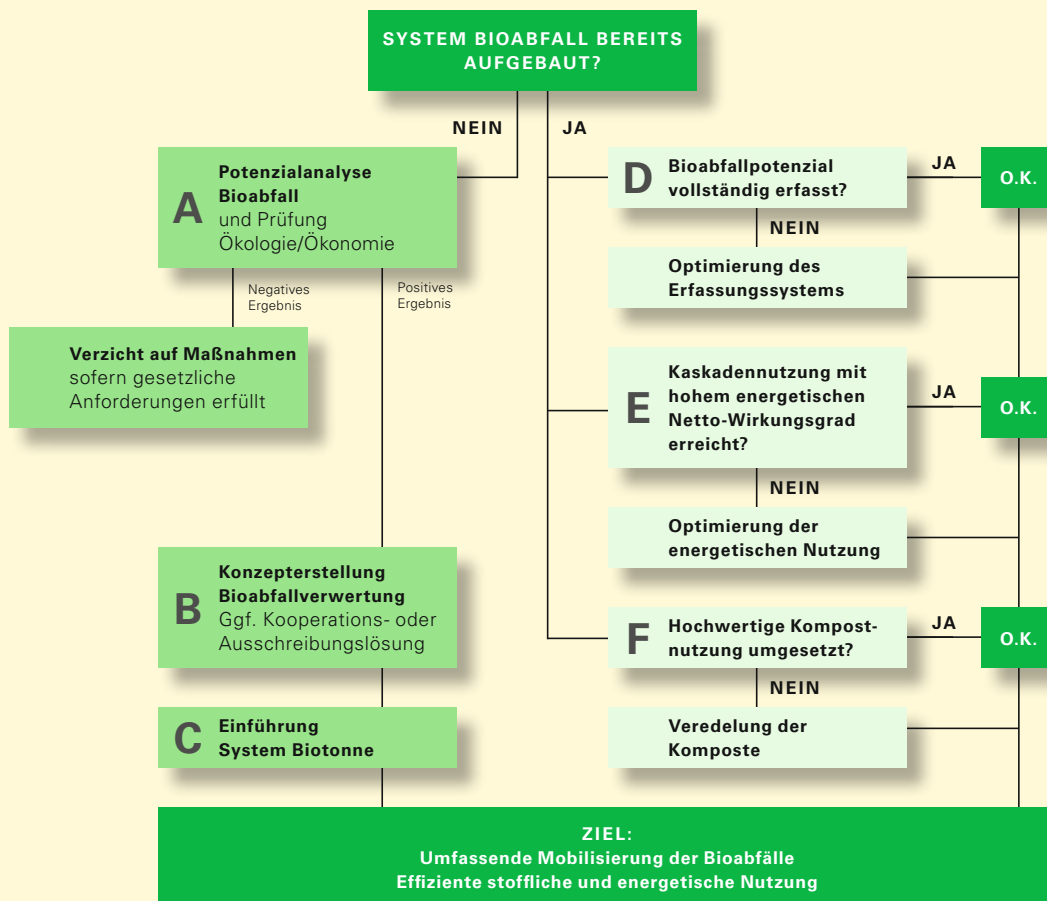


ABB. 13: CHECKLISTE ZUR EINFÜHRUNG DES SYSTEMS BIOTONNE, ERGÄNZT DURCH EINE VERWERTUNG VON KOMMUNALEM GRÜNGUT

Die überwiegende Mehrheit der Gebietskörperschaften in Baden-Württemberg hat bereits seit vielen Jahren die Biotonne und ein umfassendes System zur Erfassung des Grünguts eingeführt. Es gibt aber auch noch Kreise und Städte, die gar nicht oder nicht flächendeckend auf die Biotonne setzen und/oder deren Grüngutsammlung und -verwertung deutlich verbessert werden kann.

In diesem Zusammenhang hat die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz 2014 ein umfassendes Konzept zum Thema „Bioabfall als Ressource – Optimierung der Nutzung in den Städten und Landkreisen Baden-Württembergs unter effizienter Einbindung des Grünguts“ erstellen lassen. In fünf Pilotkreisen und einer Stadt wurde die Erfassung und Verwertung des Bio- und Grünguts umfassend analysiert und das entsprechende Optimierungspotenzial ermittelt.

Die Checkliste (Abb. 13) bietet einen Überblick über die Analyseschritte A bis F, die zu einer verbesserten Bio- und Grüngutnutzung führen. Die einzelnen Schritte werden nachfolgend ausführlicher erklärt:

#### **A** DAS POTENZIAL AN BIOABFALL ANALYSIEREN UND MÖGLICHE ABSATZWEGE PRÜFEN

Gebietskörperschaften, die eine flächendeckende getrennte Sammlung von Biogut über eine Biotonne einführen oder ihre Grüngutsammlung und -verwertung deutlich verbessern möchten, sollten das Konzept idealerweise nach den im Folgenden skizzierten Schritten erarbeiten. Dabei spielt es keine Rolle, ob und in welchem Umfang die Bio- und Grüngutverwertung in eigener Regie oder über Ausschreibungen und Fremdvergaben erfolgen soll. Sind Fremdvergaben geplant, kann das Konzept eine wichtige Basis sein, um zum Beispiel gezielt auf Sachverhalte hinzuweisen und Randbedingungen in Leistungsverzeichnissen zu regeln. Inwieweit dies im Einzelnen vergaberechtlich zulässig ist, muss dann geprüft werden.

Die Potenzialanalyse verfolgt verschiedene Ziele. Zunächst gilt es, das Mengenpotenzial zu erheben, das über die Einführung der Biotonne und die getrennte Erfassung des kommunalen Grünguts gesammelt werden kann. Um zu belastbaren Aussagen zu kommen, sind umfangreiche Erhebungen und Analysen notwendig.



Im Rahmen dieses Schritts sollte zunächst, unterlegt durch Ergebnisse aus Sortieranalysen des Restabfalls, das Potenzial an Küchenabfällen ermittelt werden. Beim Grüngut ist eine Analyse vorhandener Abfallmassenströme nicht möglich. Um Potenziale abzuschätzen, müssen deshalb beispielsweise Flächen erhoben werden, die inner- und außerorts als Grünflächen (Landschaftspflege, Verkehrswegebegleitgrün) bewirtschaftet werden. Denn dort fallen Bioabfälle zur Entsorgung an. Für diese Abschätzung stehen umfangreiche Kennzahlen zur Verfügung.

#### **ANALYSE DER MENGENPOTENZIALE FÜR KOMMUNALES GRÜNGUT:**

- a) Planwerke und Luftbilder zur Gesamtgrünfläche in Kombination mit Kennzahlen zum Massenaufkommen auswerten; Zusammensetzung und Menge übers Jahr hinweg abschätzen
- b) Mit (kommunalen) Akteuren austauschen, um bereits sinnvoll genutzte Massen zu erheben
- c) Sonstige Abnehmer von Grüngut wie Landwirte, Containerdienste, Garten- und Landschaftsbau recherchieren und (konkurrierende) Entsorgungswege bewerten

#### **Ergebnis:**

- Benennen der maximal verbliebenen sinnvoll zu hebenden Potenziale
- Abschätzung von Zusammensetzung und Jahresgang

#### **ANALYSE DER MENGENPOTENZIALE FÜR DIE BIOTONNE:**

- a) Restabfallzusammensetzung getrennt nach den einzelnen Siedlungs- und Bebauungsstrukturen umfassend und repräsentativ analysieren
- b) Status der Eigenkompostierung analysieren und auf ökologische Sinnfälligkeit prüfen
- c) Erkenntnisse des Grüngutaufkommens aus privaten Hausgärten auswerten und den Anteil zuordnen, der sich sinnvoll über die Biotonne erfassen lässt

#### **Ergebnis:**

- Benennen der maximal verbliebenen sinnvoll zu hebenden Potenziale
- Abschätzung von Zusammensetzung und Jahresgang



Um das tatsächlich zur Verfügung stehende Mengenpotenzial an Grüngut zu ermitteln, bedarf es des intensiven Austauschs mit entsprechenden Akteuren in den verschiedenen, meist kommunalen Behörden, die zum Beispiel für den Unterhalt der Grünflächen auf eigenen Liegenschaften zuständig sind, Pflegemaßnahmen vergeben (Landschaftspflege) oder potenzielle Grüngutmassen privater Haushaltungen erfassen. Auch der Baum- und Strauchschnitt aus den Straßenpflegearbeiten kann sinnvoll integriert werden. Unabhängig von der Herkunftsquelle und abfallrechtlichen Andienungspflicht sollte in dieser Phase der Potenzialermittlung das gesamte Grüngut erfasst werden, um Synergieeffekte einer gemeinsamen Erfassung und Verwertung prüfen und berücksichtigen zu können.

Ein wesentlicher Bestandteil der Potenzialermittlung sollte natürlich der Status quo der Verwertung der jeweiligen Stoffströme sein. Werden Teilmengen bereits einer hochwertigen Verwertung zugeführt, ist die Integration in ein umfassendes Konzept nur dann sinnvoll, wenn daraus zusätzliche ökologische oder ökonomische Vorteile entstehen.

Zudem muss der Absatzmarkt erhoben und bewertet werden. Schließlich zielt die Verwertung des Bio- und Grünguts auf einen Nutzen ab: Hergestellt werden können Komposte oder kompostbasierte Produkte sowie Biogas, das energetisch genutzt werden kann. Das Verwertungssystem für Bio- und Grüngut ist somit umso sinnvoller, je stärker diese Produkte vor Ort nachgefragt werden. Dies ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht von großer Bedeutung.

#### ANALYSE KOMPOSTABSATZMARKT:

- a) Nachfragesituation in der Landwirtschaft analysieren
- b) Absatzmöglich- und Aufnahmefähigkeiten von Kompost und der auf Kompostbasis herstellbaren hochwertigen Produkte analysieren
- c) Mögliche Kooperationen mit Erdenindustrie oder dem Garten- und Landschaftsbau prüfen

#### Ergebnis:

- Benennen der Absatzpotenziale für die einzelnen Vermarktungswege für Kompost
- Festlegen einer groben Standortzielregion für die Komposterzeugung (in Nachbarschaft zur Nachfrage)
- Ggf. Entscheidung zum Aufbau einer eigenen Produktionslinie Grüngutkompost; evtl. in Kooperationen

#### ANALYSE ABSATZMÖGLICHKEITEN FÜR WÄRMEENERGIE:

- a) Bedarf an größeren Mengen Wärme in Grundlast für große Wärmenetze oder industrielle Prozesse an gewerblichen Standorten ermitteln
- b) Mögliche Kooperationen mit Stadtwerken beziehungsweise Wärmeabnehmern prüfen
- c) Heizungskataster kommunaler Liegenschaften erstellen und auf abgängige Heizungsanlagen prüfen

**Ergebnis:**

- Benennen der Absatzmöglichkeiten für Überschusswärme im Jahresgang
- Festlegung geeigneter BHKW-Standorte innerhalb obiger Zielregionen
- Ggf. Entscheidung für Biogasnutzung über BHKW in KWK

**GGF. ALTERNATIV ANALYSE DER EINSPEISEMÖGLICHKEITEN IN ERDGASNETZE:**

- a) Gasnetze auf Aufnahmefähigkeit und geeignete Einspeisepunkte inklusive Netzprüfung analysieren
- b) Mögliche Kooperationen mit anderen Biogasanlagen zur gemeinsamen Aufbereitung prüfen
- c) Mögliche Kooperationen mit Stadtwerken beziehungsweise Gaskunden prüfen

**Ergebnis:**

- Festlegung geeigneter Standorte zur Einspeisung innerhalb obiger Standortzielregionen für den Kompostabsatz

Sollten diese Prüfschritte im Hinblick auf die Absatzpotenziale für Komposte, Kompostprodukte sowie die erzeugte Energie in Verbindung mit den ermittelten Mengenpotenzialen zu keinen befriedigenden Ergebnissen führen, muss die Zusammenarbeit mit bestehenden Bioabfallbehandlungsanlagen außerhalb der Gebietskörperschaft angestrebt werden.

Dann geht es darum, die Optionen abzuwägen: Die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der möglichen Verwertungswege für Bio- und Grüngut

innerhalb der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaft und außerhalb in Kooperation mit Körperschaften der Anlagen müssen jeweils geprüft werden.

Aus ökologischer Sicht ist eine getrennte Sammlung der Bioabfälle immer dann vorteilhaft, wenn eine optimierte Verwertung in Form einer Kaskadennutzung mit hohen Wirkungsgraden und ein hochwertiger Absatz der Komposte sichergestellt werden kann.

Die ökonomischen Auswirkungen einer umfangreichen Erfassung und hochwertigen Verwertung von Bioabfällen sind entsprechend den Rahmenbedingungen vor Ort und der Konzeptauslegung jeweils individuell zu ermitteln.

Für den Landkreis Ravensburg wurde im Rahmen einer Studie (RA/Öko-Institut 2011) die Möglichkeit der Einführung einer Biotonne diskutiert und bewertet. Dabei wurden verschiedene Abfuhrvarianten diskutiert. Selbst bei einem in weiten Teilen sehr ländlichen Kreis und damit für ein additives System tendenziell eher ungünstigen Rahmenbedingungen konnte praktisch eine Kostenneutralität ermittelt werden (Tab. 1). Für die Basisvariante ergab sich selbst bei vorsichtiger Kalkulation rechnerisch eine Erhöhung der Kosten um nur weniger als drei Prozent.

Nach Abschluss der Potenzialanalyse und Prüfung der Alternativen steht sowohl der Grundsatzabschluss zur Einführung des Verwertungssystems als auch sein grobes inhaltliches Konzept.



TAB. 1: KOSTENSCHÄTZUNG DER EINFÜHRUNG DES SYSTEMS BIOTONNE AM BEISPIEL DES LANDKREISES RAVENSBURG (RA/ÖKO-INSTITUT 2011)

VERGLEICH DER JAHRESKOSTEN BEI EINFÜHRUNG BIOTONNE		BASISVARIANTE			VARIANTE SOMMER- SERVICE PLUS <sup>4</sup>			VARIANTE SERVICE TOTAL <sup>5</sup>		
Nr.	Gegenstand	[€/a]	[€/(E·a)]	[%]	[€/a]	[€/(E·a)]	[%]	[€/a]	[€/(E·a)]	[%]
[1]	Restabfallsorgung, zukünftig	-1.590.000			-1.590.000			-1.590.000		
[2]	Restabfallsammlung, bisher	-3.016.000	10,91		-3.016.000	10,91		-3.016.000	10,91	
[3]	Restabfallsammlung, zukünftig	1.357.200								
				13,9 %			32,4 %			65,0 %
[4]	Kapitaldienst, neue Behälter	207.207	0,75		207.207	0,75		207.207	0,75	
[5]	Bioabfallsammlung, zukünftig	1.872.000	6,77		2.504.667	9,06		2.357.333	8,53	
[6] = [3]+[4]+[5]	<b>ZWISCHENSUM- ME SAMMLUNG</b>	3.436.407	12,43		3.993.674	14,44		4.977.341	18,00	
[7]	Personalkosten Bioabfallberatung	60.000			60.000			60.000		
[8]	Bioabfallverwertung (Menge an Bioabfall aus Restmüll)	800.000			800.000			800.000		
[9]	Zusatzmengen an vergärbarem Abfall in Biotonne (krautiger Anteil des Grünabfalls)	560.000			560.000			560.000		
[10] = [1]+[2]+ [6]+[7]+[8]+[9]	<b>ÄNDERUNGEN DER JAHRES- KOSTEN</b>	<b>250.407</b>	<b>0,89</b>	<b>&lt; 3 %</b>	<b>807.674</b>	<b>2,88</b>	<b>&lt; 10 %</b>	<b>1.731.341</b>	<b>6,18</b>	<b>&lt; 21 %</b>

<sup>4</sup> Wie bei der Basisvariante erfolgt die Sammlung der Biotonne vierzehntägig, zusätzlich wird in den Sommermonaten eine wöchentlich Leerung angeboten. Der Sammlungsturnus für Restabfall wird wie in der Basisvariante verdoppelt.

<sup>5</sup> Sammlung der Biotonne entsprechend „Variante Sommer-Service Plus“. Jedoch keine Verdopplung des Sammlungsturnus für Restabfall.

## **B** EIN KONZEPT DER BIOABFALLVERWERTUNG ERSTELLEN

Ist der erste Schritt abgeschlossen, geht es darum, auf welche spezifische Marktnachfrage sich die Produktion auf Basis des Bio- und Grünguts ausrichten muss. Ausgehend von den Verwertungseigenschaften der einzelnen Bioabfallmassen sind die Verwertungstechniken so auszulegen, dass aus dem Behandlungsprozess hochwertige Produkte entstehen, die auf die identifizierte Marktnachfrage zugeschnitten sind.

### **ERARBEITUNG EINES STOFFSTROM-MANAGEMENTKONZEPTS:**

Insbesondere das kommunale Grüngut den Verwertungsschienen zuordnen

- a) Produktion von Holzhackschnitteln
- b) Grüngutkompostierung
- c) Nachrotte der Gärreste aus der Bioabfallbehandlung bzw.
- d) Input in die Bioabfallvergärung

#### **Ergebnis:**

- Grobkonzept zur Zuordnung von Teilmengen auf die Verwertungswege, differenziert nach Jahreszeit und ggf. nach der Siedlungsstruktur
- Ggf. Festlegung von Sammel- und Kompostplätzen zum Handling

### **FESTLEGUNG DES GROBKONZEPTES DER BEHANDLUNGSTECHNIK:**

Für jede Verwertungsschiene wird grob festgelegt, welche Technik genutzt werden soll, um eine Behandlung mit hohen Ausbeuten unter Wahrung hoher Emissionsstandards zu gewährleisten.

#### **Ergebnis:**

- Grundsätzliche Festlegungen zur Vergärungstechnologie, Biogasreinigung, -aufbereitung und -nutzung sowie zur Abluftreinigung
- Grundsätzliche Festlegungen zur Kompostkonfektionierung und ggf. Weiterverarbeitung
- Festlegungen zur Herstellung von Holzhackschnitteln

**C** **DAS SYSTEM BIOTONNE IN VERBINDUNG  
MIT DER SAMMLUNG KOMMUNALEN  
GRÜNGUTS**

Auf dieser Basis wiederum lassen sich die Bioabfallmassenströme ermitteln, die künftig für die skizzierten Verwertungswege zur Verfügung stehen. Vor allem aber lassen sich das Konzept der Erfassung und Sammlung sowie Maßnahmen bestimmen, die flankierend ergriffen werden müssen, wie zum Beispiel die Festschreibung der Abfall- und Gebührensatzung. Um die Planungen ausreichend fundiert zu unterlegen, bedarf es einer belastbaren Prognose der zu erwartenden Mengenströme und deren Zusammensetzung (siehe S. 32 ff.).

Für *Grüngut* könnten folgende Prüfschritte sinnvoll sein:

**ERARBEITUNG EINER STRUKTUR  
ZUR ERFASSUNG:**

- a) Vorhandene abfallwirtschaftliche und kommunale Einrichtungen ermitteln, die zur Grüngutannahme und -verwertung sowie zur Kompostvermarktung genutzt werden können
- b) Ggf. weitere Übergabepunkte ergänzen, damit ein möglichst flächendeckendes engmaschiges Netz geschaffen wird
- c) Ein Dienstleistungskonzept erstellen, das unter anderem Öffnungszeiten der Übergabestellen regelt und ggf. auch einen Abholservice beinhaltet – zum Beispiel Abruf gegen Gebühr

**Ergebnis:**

- Festlegung des Netzes an Übergabepunkten und ihrer Verfügbarkeit
- Ggf. Festlegung ergänzender Maßnahmen

**ERARBEITUNG EINES GROBKONZEPTS ZUR  
VORBEHANDLUNG AN DEN ÜBERGABEPUNKTEN:**

Kennt man die Mengenaufkommen und die Zusammensetzung des Grünguts, lässt sich ein Grobkonzept erarbeiten, in dem die Anforderungen an die einzelnen Übergabepunkte definiert und Voraussetzungen beschrieben werden, die insbesondere das Stoffstrommanagement betreffen.

Für *Biogut aus Haushaltungen* könnten folgende Prüfschritte sinnvoll sein:

#### ERARBEITUNG EINES ERFASSUNGSKONZEPTS:

- a) Notwendiges spezifisches Behältervolumen in Liter pro Einwohner und Woche festlegen
- b) Optimierte Logistikkonzept in Ergänzung zur Umstellung der Restabfallfassung erarbeiten; grobe Tourenplanung festlegen
- c) Verbleibendes Restabfallaufkommen abschätzen; Entsorgungseigenschaften (bspw. Heizwert) abschätzen
- d) Flankierende Maßnahmen in Abfall- und Gebührensatzung erarbeiten

#### Ergebnis:

- Festlegung des Systems der Biogutsammlung
- Ggf. Festlegung ergänzender Maßnahmen

#### KOMMUNALPOLITISCHE ABWÄGUNGS- UND ENTSCHEIDUNGSPHASE:

#### Ergebnis:

- Grundsatzbeschlüsse zur Einführung der Biogutsammlung
- Satzungsbeschlüsse zur Biogutsammlung

#### PLANUNGS- UND UMSETZUNGSPHASEN ZUR EINFÜHRUNG DER BIOTONNE

Die in A bis C skizzierten Untersuchungsschritte sollten grundsätzlich umgesetzt werden, unabhängig von der Entscheidung, ob die Sammlung und Behandlung als Dienstleistung komplett oder zum Teil in Eigenregie durchgeführt oder ob sie voll-

ständig ausgeschrieben werden soll. Denn die gewonnenen Erkenntnisse können wichtige Grundlagen für die Ausschreibung und die Formulierung von Leistungsverzeichnissen bilden.

Die Planungs- und Umsetzungsphasen zur Einführung der Biotonne lassen sich – unter Annahme zügiger Abwägungs- und Entscheidungsprozesse – in etwa folgendermaßen darstellen:

#### ABLAUFPLAN BEI DER ERBRINGUNG ALLER DIENSTLEISTUNGEN DURCH DRITTE

Bei einem Gesamtzeitraum von etwa 27 Monaten lässt sich folgender Ablaufplan beschreiben:

1. Interne Vorbereitung des Vergabeverfahrens
2. Durchführung des Vergabeverfahrens mit fachlicher und juristischer Beratung
3. Parallel: Verfahren und Entscheidung zur Änderung der Abfall- und Gebührensatzung
4. Festlegung der Einführungszeit für die Biotonne inklusive der Vorbereitungsphase für den beauftragten Dritten, Benachrichtigung der Grundstückseigentümer, vorbereitende Öffentlichkeitsarbeit etc.

#### ABLAUFPLAN BEI DER ERBRINGUNG DER DIENSTLEISTUNG BIOGUTSAMMLUNG IN EIGENLEISTUNG UND DER BIOGUTVERWERTUNG DURCH DRITTE

1. Erstellung der Tourenplanung; Vergabeverfahren zur Beschaffung von Fahrzeugen
2. Vorbereitung und Durchführung des Vergabeverfahrens mit fachlicher und juristischer Beratung
3. Parallel: Verfahren und Entscheidung zur Änderung der Abfall- und Gebührensatzung



4. Festlegung der Einführungszeit für die Biotonne inklusive der Vorbereitungsphase für den beauftragten Dritten, Benachrichtigung der Grundstückseigentümer, vorbereitende Öffentlichkeitsarbeit etc.

#### ABLAUFPLAN FÜR ERBRINGUNG DER DIENSTLEISTUNG BIOGUTSAMMLUNG UND -VERWERTUNG IN EIGENLEISTUNG

1. Standortsuche und -festlegung in der für die Biogas-Verwertung und den Kompostabsatz optimalen Teilregion
2. Interne Vorbereitung des Vergabeverfahrens zum Bau einer Bioabfallverwertungsanlage einschließlich politischer Vorentscheidung für einen Standort
3. Durchführung des Vergabeverfahrens
4. Genehmigungsverfahren für eine Bioabfallverwertungsanlage
5. Parallel: Erstellung der Tourenplanung; Vergabeverfahren zur Beschaffung von Fahrzeugen
6. Bau der Bioabfallverwertungsanlage
7. Parallel: Verfahren und Entscheidung zur Änderung der Abfall- und Gebührensatzung
8. Parallel: Personalumstellung und -gewinnung
9. Parallel: Festlegung der Einführungszeit Biotonne, Benachrichtigung der Grundstückseigentümer, vorbereitende Öffentlichkeitsarbeit etc.

#### **D** IST DAS BIOABFALLPOTENZIAL VOLLSTÄNDIG ERFASST?

In den meisten Gebietskörperschaften werden Bio- und Grüngut aus privaten Haushaltungen sowie kommunales Grüngut bereits getrennt gesammelt und verwertet. Teilweise weicht der erreichte Status an den Systemmodulen 1. Sammlung und Erfassung, 2. Behandlung oder 3. Vermarktung der Produkte und Überschussenergie mehr oder weniger vom Optimum ab. Die nachfolgende Checkliste (Tab. 2, Tab. 3 und Tab. 4) soll dabei helfen, mögliche Defizite zu erkennen und daraus den entsprechenden Handlungsbedarf abzuleiten.

Genau definierte Vorgaben sind hier weder möglich noch nützlich. Die Ausführungen zu den einzelnen Merkmalen sollten jedoch erste Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen. Natürlich sind immer die spezifischen Verhältnisse vor Ort in die Überlegungen und Abwägungen miteinzubeziehen.

Je seltener die Prüfung des jeweiligen Status quo zum Ergebnis „kein Handlungsbedarf“ führt, umso dringlicher sollte untersucht werden, wie sich das System der Bio- und Grünguterfassung verbessern lässt.



TAB. 2: MOBILISIERUNG VON BIO- UND GRÜNGUT

	KEIN HANDLUNGS- BEDARF	EVENTUELL OPTIMIE- RUNG MÖGLICH	PRÜFUNG NOTWENDIG
Aufkommen an Bio- und Grüngut, jeweils nach den einzelnen Ortsteilen und Bebauungsstrukturen differenziert (inkl. gewerblichen Grünguts)	$\Sigma > 250 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Ein- und Zweifamilienhäusern $\Sigma > 150 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Geschosswohnungsbau $\Sigma > 100 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Innerortslagen bzw. hochverdichtet	$\Sigma > 200 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Ein- und Zweifamilienhäusern $\Sigma > 100 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Geschosswohnungsbau $\Sigma > 50 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Innerortslagen bzw. hochverdichtet	$\Sigma < 150 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Ein- und Zweifamilienhäusern $\Sigma < 100 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Bebauungsstruktur mit Geschosswohnungsbau $\Sigma < 50 \text{ kg}/(\text{E} * \text{a})$ in Innerortslagen bzw. hochverdichtet
Flächendeckende Biogutsammlung	Anschluss- und Benutzungszwang in Abfallsatzung verankert; Befreiungstatbestände festgelegt, Befreiung auf schriftlichen Antrag; Prüfung der Befreiungstatbestände vor Ort; Anschlussgrad der Grundstücke: > 95 % mit Ausnahme hochverdichteter Viertel	Anschlussgrad der Grundstücke: > 80 % mit Ausnahme hochverdichteter Viertel	Kein Anschluss- und Benutzungszwang; Anschlussgrad der Grundstücke an die Biotonne < 80 %
Gebührensatzung	Verursachergerechtes nach Abfallarten ausdifferenziertes Gebührensystem mit deutlichen Anreizen für die getrennte Sammlung	Verursachergerechtes nach Abfallarten ausdifferenziertes Gebührensystem	Kein verursachergerechtes nach Abfallarten ausdifferenziertes Gebührensystem
Grüngutsammlung	Kombination aus Hol- und Bringsystem vorhanden; flächendeckendes engmaschiges Angebot gegeben, ganzjährig mit Öffnungszeiten auch außerhalb der Kernarbeitszeiten; auch für gewerbliche Anlieferer attraktiv	Kombination aus Hol- und Bringsystem vorhanden; flächendeckendes, aber weitmaschiges Angebot, ganzjährig mit Öffnungszeiten auch außerhalb der Kernarbeitszeiten gegeben	Grüngutsammlung über wenige Sammeltage im Herbst und Frühjahr
Vorbild öffentliche Hand	Sämtliche Grüngutmengen aus öffentlichen Flächen sowie aus der Landschaftspflege werden an Verwertungsanlagen übergeben	Sämtlicher Strauch- und Heckenschnitt wird an die Grüngutverwertung übergeben, auch aus der Landschaftspflege	Grüngutmengen werden nur im Einzelfall übergeben
Öffentlichkeitsarbeit	Intensive, regelmäßige Imagekampagnen und Beratungen vor Ort, mehrsprachig	Öffentlichkeitsarbeit über Falblätter; Abfallberatungstelefon	Keine gezielte Öffentlichkeitsarbeit für Bio- und Grüngut

**E KASKADENNUTZUNG MIT HOHEM ENERGETISCHEM NETTO-WIRKUNGSGRAD ERREICHT?**

Die Verwertung von Bio- und Grüngut sollte deren Eigenschaften und damit Ressourcenpotenzial möglichst umfassend nutzen. Dies bedeutet, dass die Verwertung der Bioabfälle möglichst nicht ausschließlich aerob über eine Kompostierung erfolgen und der Kompost nicht überwiegend als Frischkompost vermarktet werden sollte. Derart etablierte Systeme sollten überprüft und in Richtung Kaskadennutzung weiterentwickelt werden.

Erfolgt bereits eine Vergärung von Bioabfällen, sollte diese möglichst effizient und mit hohen Emissionsstandards erfolgen. Auch hier sind feste Vorgaben nicht möglich und hilfreich. Die Ausführungen zu den einzelnen Merkmalen sollten jedoch erste Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen. Natürlich sind immer die spezifischen Verhältnisse vor Ort in die Überlegungen und Abwägungen miteinzubeziehen.

**TAB. 3: VERWERTUNG/BEHANDLUNG VON BIO- UND GRÜNGUT**

	KEIN HANDLUNGS-BEDARF	EVENTUELL OPTIMIERUNG MÖGLICH	PRÜFUNG NOTWENDIG
Bedeutung aerober Kompostierung	Vergärung und Nachkompostierung von Biogut und Anteilen des Grünguts	Biogutvergärung und Kompostierung des gesamten Grünguts	Ausschließlich aerobe Kompostierung und Erzeugung von Frischkompost
Bioabfallverwertung	Bioabfallvergärung, Vollstrom mit Nettostromausbeuten von > 250 kW	Bioabfallvergärung in Teilstrom, bzw. bei einer Biogasausbeute < 80 Nm <sup>3</sup> /t Bioabfallinput gesamt	Ausschließlich Bioabfallkompostierung
Energetischer Wirkungsgrad BHKW	Gesamtwirkungsgrad des BHKW 85 %, mit > 40 % el. Wirkungsgrad	Gesamtwirkungsgrad des BHKW > 80 %, mit > 38 % el. Wirkungsgrad	Gesamtwirkungsgrad des BHKW < 80 %
Verwertung der Überschusswärme im KWK-Prozess (direkt oder nach Einspeisung in das Gasnetz)	Nutzung in KWK; Verwertung der Überschusswärme zu 80 %	Nutzung in KWK; Verwertung der Überschusswärme zu 40 %	Nutzung in KWK; Verwertung der Überschusswärme < 20 %
Emissionsstandards	Vollständige Einhausung des gesamten Prozesses – inklusive des Gärrestaustrags und aller Emissionsquellen mit belasteter Abluft; Abreinigung über Oxidationskatalysator, sauren Wäscher und Biofilter sowie thermische Behandlung der Abluft; Abluftmanagement	Vollständige Einhausung des gesamten Prozesses und Abreinigung über Oxidationskatalysator, sauren Wäscher und Biofilter	Typische und damit zu hohe Emissionswerte insbesondere für CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O und NH <sub>3</sub>

**F WIRD DER KOMPOST HOCHWERTIG  
GENUTZT?**
**TAB. 4: PRODUKTVERMARKTUNG: ABSATZ VON KOMPOST UND ENERGIE**

	KEIN HANDLUNGS- BEDARF	EVENTUELL OPTIMIE- RUNG MÖGLICH	PRÜFUNG NOTWENDIG
Stoffstrommanagement Grüngut	Ausdifferenziertes Handling mit Zuweisung nährstoffarmer Anteile für die hochwertige stoffliche Nutzung	Auftrennung in stofflich und energetisch (rund 30 %) zu nutzende Teilmengen	Gesamter Massenstrom wird zerkleinert und unbehandelt auf Flächen ausgebracht
Kompostabsatzwege	Ausdifferenzierte Absatzwege mit bedeutenden Anteilen Erden und Kultursubstrate	Ausdifferenzierte Absatzwege als Fertigungskompost mit großer Bedeutung der Landwirtschaft	Absatz als Frischkompost ausschließlich in die Landwirtschaft
Qualitätsmanagement	Gütesicherung und Zertifizierung für den gesamten Produktmassenstrom	Gütesicherung und Zertifizierung nur für Teilmassenströme	Keine Gütesicherung und Zertifizierung
Wasserbilanz	Kostenneutrale Verwertung des Überschusswassers	Verwertung des Überschusswassers mit Zuzahlung	Entsorgung des Überschusswassers über Abwasserbehandlung
Vorbild öffentliche Hand	Ausschließlich Einsatz von Kompostprodukten (inkl. Erden und Substrate) auf öffentlichen Grünflächen  Optimale Kooperation mit Stadtwerken zur Versorgung öffentlicher Gebäude über Wärme aus KWK (Hackschnitzel oder Biogas-BHKW) bzw. Einspeisung der Überschusswärme in Wärmenetze zur Grundlastversorgung	Produktneutrale Ausschreibung von Erden und Substraten; keine regionale Eigenverwertung der erzeugten Energieträger	Keine Regelung

# 1. Hintergrund/Aufgabenstellung



Eine Optimierung des Systems der Bio- und Grüngutverwertung muss immer auf das gesamte System abzielen. Der Leitfaden benennt daher Optimierungsmöglichkeiten – von der Sammlung und Erfassung von Bio- und Grüngut über die technischen Möglichkeiten der Behandlung beziehungsweise Verwertung bis zum Absatz und zur Vermarktung der im System erzeugten Produkte, also der Komposte sowie der Energie aus Biogas und Hackschnitzeln. Die Optimierung des gesamten Systems verlangt stets ein aufeinander abgestimmtes Vorgehen über alle genannten Module hinweg. Nur so ist es möglich, den mit der Behandlung der Bioabfälle erzielbaren ökologischen und ökonomischen Gewinn voll umfänglich zu nutzen.

Die Ziele des Klima- und Ressourcenschutzes und die damit verbundene Energiewende werden nur dann erreicht, wenn alle verfügbaren Potenziale ausgeschöpft werden. Dies gilt insbesondere auch

für die Nutzung von Abfällen und den entsprechenden Nebenprodukten.

## 1.1 Abfallbiomassen energetisch und stofflich verwerten

Muss auf nachwachsende Rohstoffe zurückgegriffen werden, ist dies in der Regel mit nicht unbedeutenden Umweltlasten verbunden. Landwirtschaftliche Produktionssysteme erfordern den Einsatz von Energie und Betriebsmitteln und können über Emissionen in Boden, Grundwasser und die Atmosphäre zu signifikanten Umweltlasten führen.

Bio- und Grüngut dagegen sind Bioabfälle, die in bestimmten Zusammenhängen bei der Produktion und beim Konsum als Reststoffe zur Entsorgung anfallen. Werden Grünflächen gepflegt, fällt zwangsläufig Grüngut an. Bei Bioabfällen handelt es sich um alle Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft

oder aus Pilzmaterialien, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Zur genaueren Abgrenzung werden in diesem Leitfaden Bioabfälle folgendermaßen strukturiert: Alle biologisch abbaubaren Abfälle privater Haushalte oder des Kleingewerbes, die über eine Biotonne getrennt erfasst werden (Küchen- und Nahrungsabfälle sowie Gartenabfälle aus Haushaltungen etc.) sind als Biogut definiert. Nicht über die Biotonne erfasste Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle, pflanzliche Materialien von Verkehrswegebegleitflächen etc. werden als Grüngut klassifiziert.

Bioabfälle sind frei von Produktionslasten. Sie müssen nicht gesondert erzeugt werden. Umso wichtiger ist es, sie möglichst umfassend und hochwertig zu nutzen. So lassen sich ökologische Lasten substituieren beziehungsweise vermeiden, die mit der Herstellung der nutzungsgleichen Primärprodukte verbunden wären.

Dieser aus den politischen Zielen und der gegebenen objektiven Notwendigkeit abgeleitete Impetus trifft mittlerweile auf sehr günstige Rahmenbedingungen. In den letzten Jahren haben sie sich deutlich zum Positiven gewandelt. So ist kommunales Grüngut stark nachgefragt und erzielt einen positiven Marktwert. Angesichts der hohen Nachfrage der zahlreichen Biomassekraftwerke nach Holz wird sich dies auch mittelfristig nicht ändern. Im Gegenteil: Es wird sich weiterhin eher positiv auf die Preisentwicklung auswirken. Gerade die Holzanteile kommunalen Grünguts gewinnen immer mehr an Wert.

Doch auch für Komposte hat sich in den letzten Jahren die Nachfrage günstig entwickelt. Wegen der deutlichen Preissteigerungen bei mineralischen Düngemitteln (insbesondere Phosphat) lassen sich inzwischen auch beim Absatz von Komposten an die Landwirtschaft Netto-Erlöse erzielen. Der Humusgehalt der Komposte wird dagegen bislang nur in Marktsegmenten außerhalb der Landwirtschaft angemessen honoriert.

Die Bioabfallverwertung kann mit der Biogaserzeugung zudem zur Energiewende beitragen, denn Kompost kann auch in einer Kombination aus anaerober Vergärung und aerober Rotte erzeugt werden. Aus den ersten Erfahrungen in den 1990er-Jahren heraus haben sich hier mittlerweile technische Lösungen etablieren können, die eine hohe Entsorgungs- und Behandlungssicherheit gewährleisten – und dies zu konkurrenzfähigen Investitionskosten. Die Biogaserzeugung kann deshalb, unterstützt durch die Anreize des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), idealerweise kostenneutral umgesetzt werden. Muss eine bestehende Kompostierungsanlage nur durch ein Vergärungsmodul erweitert werden, kann dies unter bestimmten Rahmenbedingungen auch positive Auswirkungen auf die Entsorgungskosten haben. Die getrennte Sammlung von Bio- und Grüngut mit einer anschließenden hochwertigen Kaskadennutzung (Kombination aus Vergärung und anschließender Kompostierung der Gärreste) ist einer Entsorgung als Teil des Restmülls in einer Müllverbrennungsanlage in der Regel ökonomisch und in jedem Falle ökologisch überlegen. Gelingt es vermehrt, nährstoffarme Komposte als Rohstoff für Humus- und Erdenwerke zu vermarkten, ist dies ein zusätzlicher Erfolg

---

**DIE BIOABFALLVERWERTUNG  
KANN ZUR ENERGIEWENDE  
BEITRAGEN.**



für den Klimaschutz. Denn Kompost tritt hier in Konkurrenz zu Torf und Torfprodukten. Torf ist quasi fossiler Kohlenstoff, der erst durch den anthropogenen Abbau an die Biosphäre gelangt, bei der Nutzung zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) veratmet und damit klimaschädlich wird. Die Substitution von Torf dient zudem dem Naturschutz, da Moore als wertvolle Lebensräume erhalten werden können.

## 1.2 Ein optimiertes Verwertungssystem ist notwendig

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, muss die Bio- und Grüngutverwertung optimal aufgestellt sein. Die wertgebenden Eigenschaften der Ressource Bio- und Grüngut sind effizient und umfassend zu nutzen. Zudem ist auf hohe Emissionsstandards zu achten, um insbesondere klimaschädliche Emissionen zu vermeiden. Wie Erfahrungen in anderen Bereichen der Biomassenutzung zeigen, wird nur ein optimales Verwertungssystem auch mittelfristig erfolgreich sein. Damit wird die Optimierung auch zu einer Frage der Entsorgungssicherheit.

Nur wenn es gelingt, auf die spezifische Marktnachfrage vor Ort mit hochwertigen Produkten zu reagieren, ist ein langfristiger Erfolg gewährleistet, denn nur dann wird die Ressource optimal genutzt. Bei der Analyse und Beschreibung der Systeme sollte man daher vermeintlich „das Pferd von hinten aufzäumen“. Abfallwirtschaft muss als Produktionsprozess verstanden werden, der sich im Vergleich zur konventionellen Produktion nur dadurch unterscheidet, dass auf sekundäre und nicht auf primäre Rohstoffe zurückgegriffen wird.

Zunächst erfolgt daher eine Analyse der Absatzmärkte und zwar sowohl für die Komposte und die auf Kompostbasis herstellbaren Produkte als auch für die Energie. Während Strom und Biomethan immer vermarktet werden können, muss die Abwärmenutzung bei einer direkten Biogasverwertung in einem BHKW genau analysiert und geplant werden.

Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse über spezifische Absatzpotenziale stellt sich dann im zweiten Schritt die Frage, mit welcher Strategie und Technik sich die nachgefragten Produkte in hoher Qualität, bei Wahrung hoher Umweltstandards und mit möglichst geringen beziehungsweise konkurrenzfähigen Produktionskosten herstellen lassen. Berücksichtigt werden müssen die verschiedenen Bioabfallmassen sowie deren Eigenschaften; dies erfordert ein entsprechend ausgelegtes Stoffstrommanagement. Es gilt, einen möglichst großen Anteil des Potenzials der sekundären Ressource Abfall für die Herstellung von Produkten – also Komposte und Erden sowie Energie – zu mobilisieren. Die Rohstoffmobilisierung muss einerseits effektiv, andererseits aber auch kostengünstig sein und zugleich Qualitätsstandards wahren.

## 1.3 Aufgabenstellung für den Leitfaden

Der Leitfaden soll als Unterstützung und Basis für die Optimierung der Bio- und Grüngutverwertung in den einzelnen Stadt- und Landkreisen dienen. Die abfallwirtschaftlichen Verhältnisse unterscheiden sich jedoch von Kreis zu Kreis deutlich. Daher kann der Leitfaden zwar den Rahmen für eine opti-

**NUR WENN ES GELINGT, AUF DIE SPEZIFISCHE MARKTNACHFRAGE VOR ORT MIT HOCHWERTIGEN PRODUKTEN ZU REAGIEREN, IST AUCH LANGFRISTIG EIN ENTSPRECHENDER ERFOLG GEWÄHRLEISTET UND DIE RESSOURCE WIRD OPTIMAL GENUTZT.**

mierte Verwertung von Bio- und Grüngut benennen und entsprechende Anregungen geben, jedoch eine gründliche Analyse der Situation in den einzelnen Gebietskörperschaften und die Entwicklung von Maßnahmenkonzepten, die auf die spezifische Situation zugeschnitten sind, nicht ersetzen.

Die getrennte Sammlung und Verwertung von Bio- und Grüngut ist in den einzelnen Kreisen zudem unterschiedlich intensiv eingeführt. Der Leitfaden soll die Grundzüge benennen, die bei der Neueinführung der Bioabfallverwertungssysteme beachtet werden müssen. Außerdem soll er eine Handreichung darstellen und Hinweise geben, wie bestehende Verwertungssysteme optimiert werden können.

Nicht immer liegt die Zuständigkeit für die gesamten abfallwirtschaftlichen Verwertungs- und Produktionssysteme bei den Kreisen oder den Akteuren der öffentlichen Hand. Teilweise sind alle Module von der Sammlung des Bioabfalls bis zur Verwertung und Vermarktung der Produkte an Dritte vergeben. Im Leitfaden werden die Systeme so beschrieben, dass sie als Basis für diejenigen Gebietskörperschaften dienen, die einige oder alle Module in Eigenregie umsetzen wollen. Die Beschreibungen sollten jedoch auch für die Gebietskörperschaften hilfreich sein, die alle Leistungen an Dritte vergeben wollen. Es werden Vorgaben und Randbedingungen verdeutlicht, die in die Leistungsverzeichnisse aufgenommen werden sollten. Denn auch bei einer vollständigen Vergabe an Dritte sollten die einzuführenden Systeme der Verwertung von Bio- und Grüngut nach umwelt- und ressourcenpolitischen Vorgaben ausgerichtet sein. Die Verwertungssysteme sind dann zukunftssträ-

tig und gewährleisten damit auch eine entsprechend hohe Entsorgungssicherheit.

Die Wirtschaftlichkeit von Verwertungssystemen erfordert meist einen Mindestdurchsatz für die Abfallbehandlungsanlagen. Kann dieser nicht erreicht werden, sollten immer Möglichkeiten der Kooperation geprüft werden. Sie können auch für die Erzeugung und Vermarktung der Produkte Biogas, Biomethan und Kompost sinnvoll sein. So lassen sich Kompetenz und Erfahrungen sowie vorhandene Marktzugänge für die Verwertung von Bio- und Grüngut gemeinsam nutzen.

Das Umweltministerium Baden-Württemberg hat in diesem Zusammenhang das Gutachten „Interkommunale Zusammenarbeit bei der Verwertung von Bioabfall“ veröffentlicht. Es bestätigt, dass die Kommunen bei der Verwertung von Bioabfällen größere Spielräume für die Zusammenarbeit haben als bisher angenommen und zeigt Gestaltungsmöglichkeiten, wie eine solch interkommunale Zusammenarbeit im Detail aussehen könnte (UM-BW 2014). Das Ministerium hat zudem gemeinsam mit dem Landkreis- und Städtetag in der „Gemeinsamen Erklärung zur Bio- und Grüngutverwertung“ vom 15.10.2014 eine gezielte Unterstützung der Kreise vereinbart. So soll das hohe Qualitätsniveau bei der Verwertung von Bio- und Grüngut in Baden-Württemberg gesichert und weiter ausgebaut werden. Gleichzeitig wurde bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz ein Kompetenzzentrum Bioabfall gegründet und so Kapazitäten geschaffen, um die fachtechnische Unterstützung aller Akteure zu gewährleisten.

## 2. Das Konzept der Nutzung von Bio- und Grüngut

Das Aufkommen häuslicher Gartenabfälle wird wesentlich von der vorherrschenden Bebauungs- und Siedlungsstruktur beeinflusst und kann vor allem in Stadtquartieren mit hohen Anteilen an Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in ländlichen Regionen von großer Bedeutung sein. Nicht immer werden die Gartenabfälle gezielt über die Biotonne erfasst. In aller Regel können Gartenabfälle – vor allem holzige – auch an Sammelstellen abgegeben werden. Manchmal werden sie auch über Straßensammlungen direkt an den Grundstücken abgeholt. Die Abbildungen 14 und 15 zeigen typische Jahres-

ganglinien für das Aufkommen von Bio- beziehungsweise Grüngut.

Bio- und Grüngut sind wertvolle Ressourcen. Sie weisen bedeutende Gehalte an Spuren- und Pflanzennährstoffen auf, insbesondere Phosphat und Kalium. Bio- und Grüngut besteht zudem überwiegend aus organischer Substanz beziehungsweise biogenem Kohlenstoff, der nicht nur als Energieträger einen potenziellen Wert darstellt. Wird die organische Substanz dem Boden zugeführt, lässt sich dessen Humusgehalt positiv beeinflussen. Kompost kann somit einen wesentlichen Grundstoff torffreier oder -armer Düngemittel für den privaten oder gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau bilden.

Das zentrale stoffliche Verwertungsziel für Bio- und Grüngut, mit Ausnahme von Holz, ist deshalb die Herstellung von Kompostprodukten. Denn hierbei lassen sich sowohl die Pflanzennährstoffe als auch die Organik umfassend nutzen. Bei einer klassischen Bioabfallkompostierung verbleiben aus dem Input etwa 50 Massenanteile Kompost.

Bio- und Grüngut sollte aber nicht nur zur Produktion von Kompost, sondern auch zur Herstellung von Biogas genutzt werden. Biogas kann wiederum als erneuerbarer Energieträger in Konkurrenz zu fossilen Energieträgern zur Produktion elektrischer und thermischer Energie eingesetzt werden. Zunehmende Bedeutung und Anwendung gewinnt die Nutzung von Biomethan als Fahrzeugtreibstoff.

Bei Holz, als Bestandteil des Bio- und Grünguts, kann die direkte Nutzung als Energieträger sinnvoll

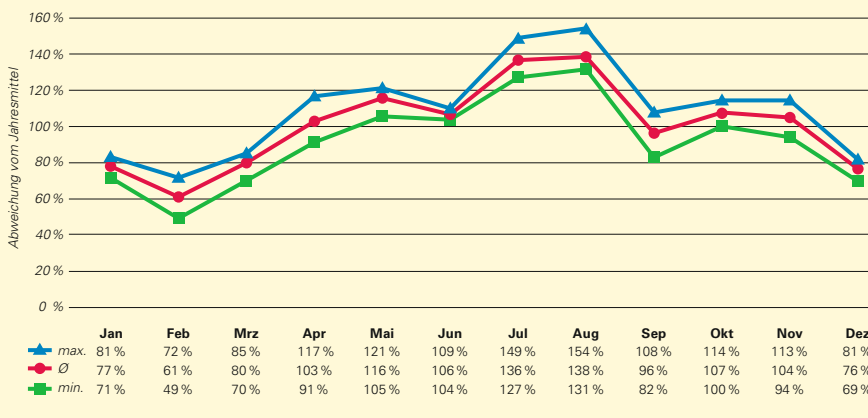


ABB. 14: BEISPIEL EINER JAHRESGANGLINIE DES BIOGUTAUFKOMMENS

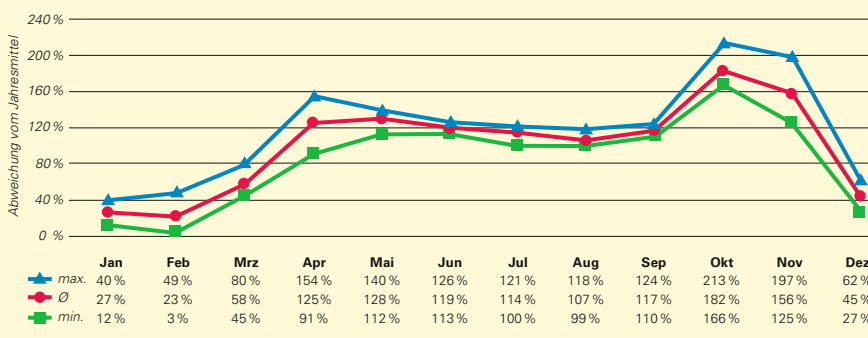


ABB. 15: BEISPIEL EINER JAHRESGANGLINIE DES GRÜNGUTAUFKOMMENS



sein. Hierbei wird jedoch ausschließlich die organische Substanz beziehungsweise der Kohlenstoff als wertgebende Eigenschaft genutzt.

Eine hochwertige Verwertung des Bio- und Grünguts muss auf all diese wertgebenden Eigenschaften abzielen und sie möglichst nutzbringend in Produkte beziehungsweise Anwendungen einfließen lassen.

Das System der getrennten Sammlung von Bio- und Grüngut und deren Verwertung besteht aus mehreren Komponenten. Über die Ausgestaltung der Sammel- und Erfassungssysteme lässt sich Einfluss nehmen, in welchem Umfang die in Küche und Garten anfallenden Massen an Biogut für das Verwertungssystem mobilisiert, über die Restabfalltonne entsorgt oder auf den Gartengrundstücken direkt zu Kompost verarbeitet werden (Eigenkompostierung).

Gleichzeitig lässt sich das Bio- und Grüngut über die Sammel- und Erfassungssysteme unterschiedlichen Behandlungs- und Verwertungswegen zuordnen, je nach dessen spezifischen Eigenschaften sowie den Absatzmöglichkeiten insbesondere für Komposte im Umfeld einer Verwertungsanlage. Diese Auftrennung kann unterstützt werden, wenn man das nicht saftende Grüngut durch mechanische Vorbehandlung zerkleinert und absiebt. Denn dadurch kann der Stoffstrom in Richtung energetischer Nutzung (Holz) und stofflicher Nutzung (Kompost) getrennt werden. Das krautige und saftende Grüngut sollte bereits bei der Anlieferung getrennt vom restlichen Grüngut gehalten und einer Vergärungsanlage übergeben werden.

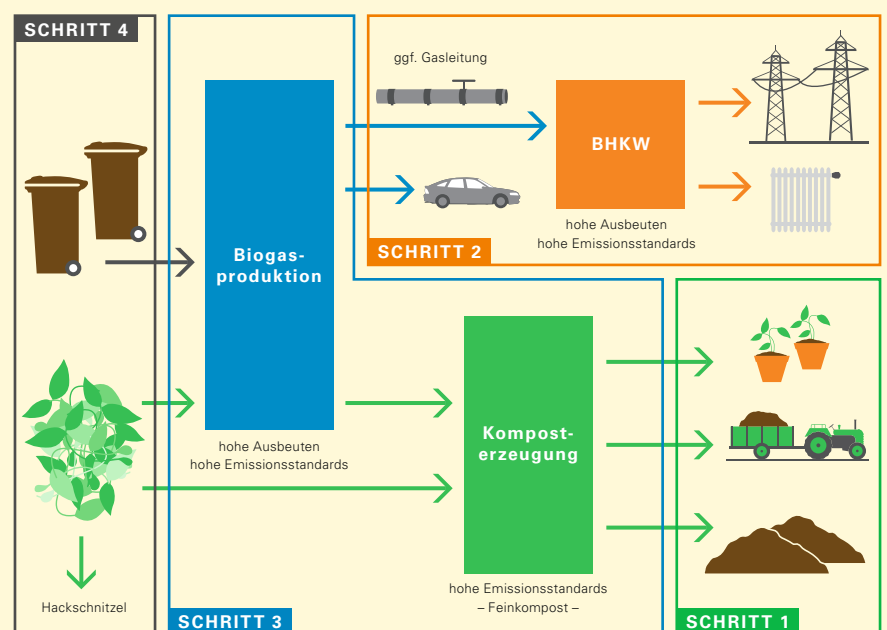


ABB. 16: DAS SYSTEM DER BIO- UND GRÜNGUTVERWERTUNG, ANSATZPUNKTE ZUR OPTIMIERUNG

Die Behandlung von Bio- und Grüngut sollte mit ökologisch optimal konzipierten Anlagen erfolgen. Denn auch bei der Verwertung gilt es auf die Minimierung schädlicher Umwelteinwirkungen zu achten, also auf ein entsprechend niedriges Emissionsniveau. Vergärungsanlagen und Anlagen zur Nutzung des erzeugten Biogases sind mit hoher Effizienz zu betreiben. Durch eine möglichst hohe Gasausbeute im Fermenter, verbunden mit möglichst geringen Verlusten beispielsweise im BHKW, können in großem Umfang konventionelle Energieträger substituiert werden.

Ökologisch und ökonomisch besonders vorteilhaft ist es, die Komposte zumindest in Anteilen nicht direkt auf meist landwirtschaftlich genutzten Böden



auszubringen, sondern sie als Ausgangsprodukt zur Herstellung von Pflanzerden oder Kultursubstraten zu verwenden. Dies gilt aus ökologischer Sicht besonders dann, wenn es gelingt, mit Produkten in Konkurrenz zu treten, die auf Torfbasis hergestellt werden. Dies ist aber nicht immer möglich und sinnvoll.

Das Konzept zur Verwertung von Bio- und Grüngut muss demnach vor allem unter folgenden Gesichtspunkten erstellt werden (Abb. 16):

- **SCHRITT 1:** Um hohe Transportkosten zu vermeiden, muss im Standortumfeld der Absatz der Komposte sichergestellt sein; es muss also einen möglichst deutlichen Nachfrageüberhang geben. Zudem sollte kein Nachfragekartell bestehen. Vielmehr sollte eine Vielzahl potenzieller Abnehmer möglichst die gesamte Bandbreite an Absatzmöglichkeiten sicherstellen.
- **SCHRITT 2:** Das erzeugte Biogas oder Biomethan wird idealerweise über ein BHKW in KWK genutzt. Um hohe Nutzungsgrade sicherzustellen, muss darauf geachtet werden, dass die Überschusswärme möglichst ganzjährig und vollständig vermarktet werden kann. Dies ist bei industriellen oder gewerblichen Kunden oder über die Einspeisung in ein großes Wärmenetz in Grundlast möglich. Um dies zu gewährleisten, muss das BHKW am Standort des Wärmekunden errichtet werden, womöglich deutlich von der Biogasanlage entfernt (Mikro-gasnetz). Eine weitere Verwertungsoption stellt die Nachverstromung der erzeugten Wärmeenergie zu elektrischem Strom dar, zum Beispiel mittels ORC-Anlagen.

- **SCHRITT 3:** Eine Verwertung von Bio- und Grüngut ist vor allem dann ökologisch sinnvoll, wenn beim gesamten Behandlungssystem auf emissionsmindernde Maßnahmen geachtet wird. Insbesondere sollte die Freisetzung klimaschädlicher Gase wie Methan und Lachgas, aber auch von Ammoniak vermieden werden.
- **SCHRITT 4:** Ist das System ökologisch optimiert und stellt die Vermarktung der Überschussenergie und des Komposts einen hohen Nutzungsgrad sicher, kann das Augenmerk auf eine möglichst hohe Sammel- und Erfassungsquote für Bio- und Grüngut gelegt werden.

Während Grüngut aus privaten und öffentlichen Grundstücken bereits getrennt gesammelt wird und der Schwerpunkt hier deshalb auf der Optimierung der Sammlungs- und Verwertungssysteme gelegt werden muss, ist die Biotonne als Erfassungssystem in einigen Kreisen Baden-Württembergs noch nicht oder noch nicht flächendeckend eingeführt.

Küchen- und Nahrungsabfälle fallen in jedem Haushalt an. Die Einführung der Biotonne führt dazu, dass sie nicht mehr zusammen mit dem Restabfall entsorgt werden. Zudem verringert die Einführung der Biotonne die Quote der Eigenkompostierung, vor allem von Gartenabfällen, sowie die illegale Entsorgung über Abwassersysteme oder durch Verbrennung.

Bei der Bilanzierung der ökologischen Effekte und ökonomischen Konsequenzen muss man diese Verlagerungseffekte immer berücksichtigen. Die Einführung der Biotonne führt zunächst zu einem Mehraufwand, die damit verbundene Stoffstrom-

UM HOHE NUTZUNGSRADE SICHERZUSTELLEN, MUSS DARAUF GEACHTET WERDEN, DASS DIE ÜBERSCHUSSWÄRME MÖGLICHST GANZJÄHRIG UND VOLLSTÄNDIG VERMARKTET WERDEN KANN.

verlagerung aber zur Entlastung anderer Verwertungs- und Entsorgungssysteme. Dies ist den Mehraufwendungen gegenüberzustellen.

In einer Studie für das Umweltbundesamt (IFEU/ahu 2012) wurden die ökologischen Auswirkungen der unterschiedlichen Verwertungs- und Beseitigungssysteme von Bioabfällen untersucht und die Modellierung aller Systeme und Prozesse an den neuesten Stand der Erkenntnis und Datenlage angepasst. Mit Hilfe eines Fachbeirats gelang es zudem, die Methode der Ökobilanz für biogene Abfälle zu optimieren und um die Auswirkungen der Kompostausbringung auf landwirtschaftlichen Böden zu erweitern. Die Studie zeigt für Baden-Württemberg anhand konkreter Pilotkreise Möglichkeiten der Einführung der Biotonne auf und analysiert und bewertet sie.

Der konkrete Bezug auf reale Gegebenheiten ermöglicht es, auch die Systeme der Sammlung und Erfassung selbst in die Betrachtung aufzunehmen. Nachfolgend werden die Erkenntnisse aus ökologischer und ökonomischer Sicht ausführlicher erläutert.

## 2.1 Die Einführung der Biotonne aus ökologischer Sicht

Die vergleichende Bewertung verschiedener Optionen erfolgt mittels Ökobilanz. Sie wurde im Rahmen des Normenwerks der DIN ISO 14040 ff standardisiert.

Eine vergleichende Bewertung abfallwirtschaftlicher Systeme ist nur möglich, wenn auf die Nutzengleichheit geachtet wird. Dem Aufwand und der

ökologischen Last, die mit der Sammlung und Verwertung beziehungsweise Entsorgung verbunden sind, steht ein Nutzen gegenüber. Die Produkte und die erzeugte Energie werden vermarktet und substituieren konventionell hergestellte Produkte und Energie, deren Produktion ebenfalls mit ökologischen Lasten verbunden wäre. Dieser Substitutionserfolg wird dem abfallwirtschaftlichen System „gutgeschrieben“.

Im ersten Schritt wird eine Sachbilanz erstellt. Alle Inputs (die Betriebsmittel und der Einsatz von Energieträgern) und Outputs (die Emissionen in Luft, Wasser, Boden und als Abfall) werden bilanziert. Die Vielzahl der bilanzierten Stoffparameter – Beispiele sind Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Erdölverbrauch – werden dann in der Wirkungsabschätzung auf die wesentlichen negativen Umweltwirkungen aggregiert. Die Zuordnung der Sachbilanzwerte zu Wirkungskategorien erfolgt anhand wissenschaftlich abgeleiteter Charakterisierungsfaktoren. Auf diese Weise wird jeweils die Relevanz des Stoffparameters zur Wirkungskategorie ausgedrückt. Die so auf Äquivalenz-Einheiten umgerechneten Stoffparameter lassen sich aufaddieren und die Ergebnisse für die Wirkungskategorie errechnen.

Bei der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen wird Kohlenstoff abgebaut, was je nach Milieu vor allem zur Bildung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) führt. Zudem wird der im Bioabfall organisch gebundene Stickstoff freigesetzt, wodurch unter anderem Lachgas- (N<sub>2</sub>O) oder Ammoniakemissionen (NH<sub>3</sub>) entstehen können. In den Ökobilanzen sind deshalb insbesondere die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung

IN DEN ÖKOBILANZEN SIND INSBESONDERE DIE WIRKUNGSKATEGORIEN TREIBHAUSEFFEKT, VERSAUERUNG UND TERRESTRISCHE EUTROPHIERUNG BEDEUTSAM.

und terrestrische Eutrophierung bedeutsam. Weitere wichtige Wirkungskategorien sind das aquatische Eutrophierungspotenzial sowie die potenzielle humantoxische Wirkung durch Emissionen von Stoffen mit Krebsrisikopotenzial und von Feinstäuben (PM10-Risiko). Indikator für den Verbrauch energetischer Ressourcen ist der kumulierte fossile Energieaufwand; in ihm wird der Energiegehalt der Materialien fossilen Ursprungs aufsummiert.

Das Einsparpotenzial von mineralischen Ressourcen wird zum einen durch Phosphor abgebildet, einen wichtigen im Bioabfall enthaltenen Pflanzennährstoff. Zum anderen lässt sich durch die Verwertung von Bio- und Grüngut Torf einsparen. Da er aus fossilem Kohlenstoff besteht, wird dessen Substitution unter dem Aspekt Klimaschutz ebenfalls in der Ökobilanz abgebildet.

## 2.1.1 Vergleich der Entsorgungs- und Verwertungsverfahren

In Abbildung 17 werden Ergebnisse einer ökologischen Bewertung verschiedener Behandlungsvorgänge für Biogut dargestellt, die im Rahmen einer Studie für das Umweltbundesamt (IFEU/ahu 2012) erarbeitet wurden. Die Lasten, gegliedert durch die Beiträge der verschiedenen Prozessschritte, werden durch den Balken nach oben dargestellt. Die Gutschriften, unterschieden nach substituierten Produkten und Prozessen, sind nach unten aufgetragen. Der blaue Balken zeigt das durch Verrechnung von Lasten und Gutschriften abgeleitete Netto-Ergebnis.

„Komp D“ stellt die für Deutschland typische Situation bei der Bioabfallkompostierung dar; „MVA D“ zeigt die typische Situation bei der Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage. „Verg StdT“ veranschaulicht die Ergebnisse bei der Bioabfallvergärung nach dem Stand der Technik. Die derzeitige Situation bei vorhandener Anlagentechnik wird nicht dargestellt. Denn es wird unterstellt, dass bei der Einführung oder Ausweitung der Bioabfallsammlung mittels Biotonne zusätzliche Kapazitäten benötigt werden, die nach dem derzeitigen Stand der Technik errichtet werden. Wichtige Standards zur Optimierung der Vergärung sind ein gasdichtes Lager für flüssige Gärreste, dessen Kapazität für neun Monate vorreicht, eine Schwachgasverbrennung des hoch belasteten Abluftteilstroms sowie eine geschlossene Nachrotte mit Abluftbehandlung über saure Wäscher und Biofilter.

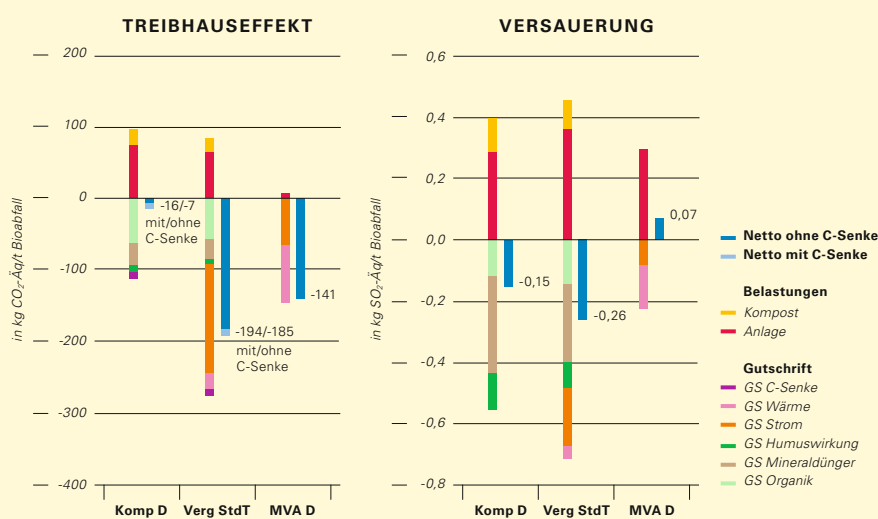


ABB. 17: ERGEBNISSE EINES ÖKOLOGISCHEN VERGLEICHS FÜR DEN TREIBHAUSEFFEKT (LINKS) UND DAS VERSAUERUNGSPOTENZIAL (RECHTS) (IFEU/AHU 2012)

Beim Einsatz von Komposten und kompostierten Gärresten in der Landwirtschaft werden nährstoff-

äquivalente Mengen Mineraldünger, humusreproduktionswirksame Maßnahmen (Strohverbleib auf dem Acker, Zwischenfruchtanbau) und die Aufschüttung von Bodenaushub substituiert. Wird die Strategie verfolgt, Humus aufzubauen anstatt ihn nur zu reproduzieren, wird eine Kohlenstoff-Senke (C-Senke) für die langfristige Speicherung organischen Kohlenstoffs im Boden angerechnet. Im Hobbygarten- sowie im Garten- und Landschaftsbau erfüllt der organische Teil des Komposts die Funktion von Torf und Rindenumus, im Erwerbsgartenbau und Erdenbereich nur die von Torf. Die Substitution von Nährstoffen ist nur im Hobbygartenbau sowie im Garten- und Landschaftsbau umfassend anrechenbar, im Erdenbereich ist dies lediglich in reduziertem Maße möglich.

Lasten verursachen vor allem die Emissionen, die bei der Kompostierung oder Vergärung sowie der Anwendung des Komposts beziehungsweise des kompostierten Gärrests freigesetzt werden. Bei einer optimierten Vergärung fallen sie jedoch relativ niedrig aus. Bei der Verbrennung in der MVA entstehen aufgrund des nativ organischen Charakters des Bioguts nur sehr geringe treibhauswirksame Emissionen.

Bei den Gutschriften zeigen sich die Vorteile einer Kaskadenlösung mit energetischer und stofflicher Nutzung des Bioabfalls. Bei der Vergärung werden nahezu gleich hohe Gutschriften erzielt wie bei der energetischen Nutzung in der MVA und der rein stofflichen Nutzung des Komposts zusammen. Für den Treibhauseffekt hat die Gutschrift für die organische Substanz aufgrund der hochwertigen Torfsubstitution im Anwendungsfeld Erden und Substrate

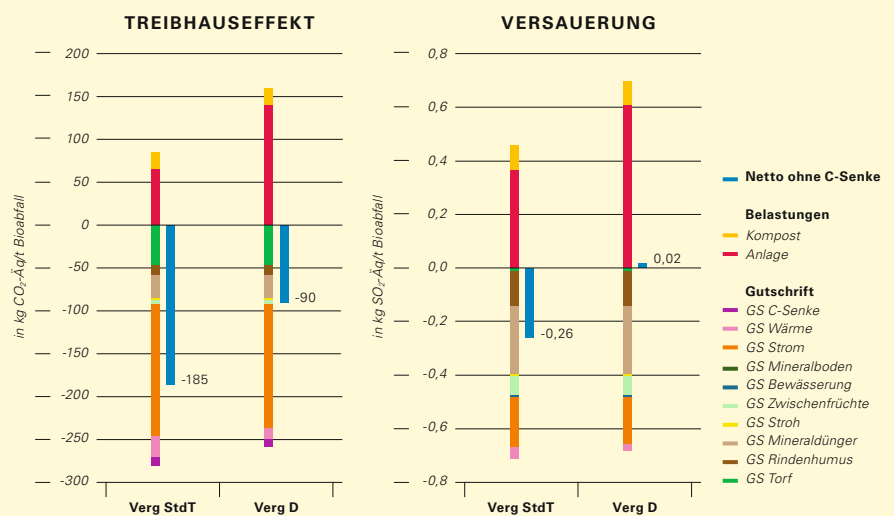


ABB. 18: ERGEBNISSE DES ÖKOLOGISCHEN VERGLEICHS EINER VERGÄRUNG NACH STAND DER TECHNIK (VERG STD T) MIT DER DURCHSCHNITTLICHEN SITUATION DER BIOABFALLVERGÄRUNG IN DEUTSCHLAND (VERG D) (IFEU/AHU 2012)

eine große Bedeutung. Da Torf einem fossilen Kohlenstoff gleichzusetzen ist, der bereits der Biosphäre entzogen war, ist dessen Abbau und Zersetzung mit entsprechend hohen Kohlendioxidemissionen verbunden. Entsprechend groß ist die Gutschrift für die Substitution. Die Anrechnung einer C-Senke in Ackerböden ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Die verfügbaren Daten beruhen auf Feldversuchen mit einer Laufzeit von wenigen Jahrzehnten, die Anrechenbarkeit unter Klimaschutzgesichtspunkten wäre jedoch nur bei einem Erfolg von über 100 Jahren gegeben. Beim Thema Versauerung stehen die Gutschriften für substituierten Stickstoffdünger im Vordergrund.

Wie wichtig eine optimierte Vergärung ist, zeigt Abbildung 18. Untersuchungsprogramme und Messkampagnen haben ergeben, dass bei manchen Ver-

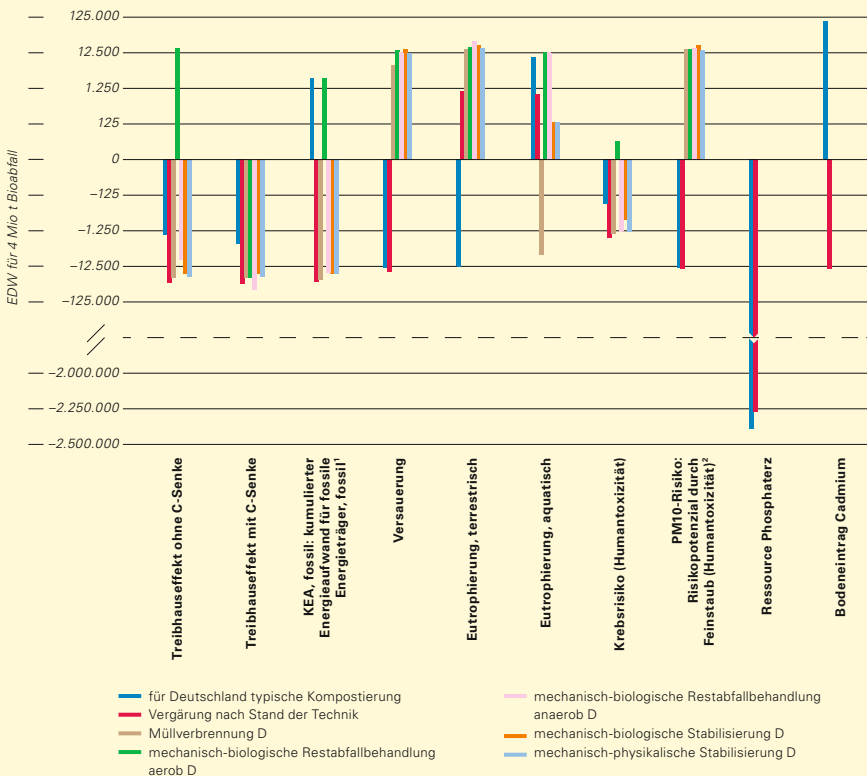


gärungsanlagen Methanemissionen beim Lagern des flüssigen Gärrests entstehen und die Abluft beziehungsweise das Schwachgas nicht ausreichend behandelt werden. Relevante Emissionen an Lachgas und Ammoniak können aber auch bei der Nachrotte der festen Gärrückstände beziehungsweise bei der Überführung der Gärreste von der anaeroben in die aerobe Phase auftreten. Die durchschnittliche Situation der Bioabfallvergärung in Deutschland ist

in Abbildung 18 als „Verg D“ dargestellt. Die gegenüber dem Stand der Technik (Verg StdT) etwas geringeren Energiegutschriften resultieren aus den etwas niedrigeren Wirkungsgraden bei der Energieerzeugung und -vermarktung. Hier sind weitere, über das aufgezeigte Maß hinausgehende Optimierungen möglich. Die Bioabfallverwertung sollte immer in einer Vergärungsanlage durchgeführt werden, die dem Stand der Technik entspricht. Bestehende Anlagen sollten möglichst angepasst werden.

<sup>1</sup> KEA, fossil: kumulierter Energieaufwand für fossile Energieträger;  
<sup>2</sup> PM10-Risiko: Risikopotenzial durch Feinstaub

**NETTOERGEBNISSE NORMIERT ZU EINWOHNERDURCHSCHNITTSWERTEN (EDW)  
 BERECHNET FÜR 4 MIO. T MAX. ZUSÄTZLICH GETRENNT ERFASSBAREM BIOABFALL**



In Abbildung 19 sind die Netto-Ergebnisse der Wirkungskategorien für die verschiedenen Behandlungsverfahren als Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) dargestellt. Sie werden errechnet, indem man die absoluten Werte aus der Bilanzierung mit den jährlichen Pro-Kopf-Lasten eines Einwohners in Beziehung setzt. Bei der Normierung der mineralischen Ressource Phosphaterz ist der Bezug der jährliche Verbrauch von importiertem mineralischen Phosphaterz.

Wie aus den Ergebnissen deutlich wird, leistet die Verwertung des Bioabfalls einen großen Beitrag zur Schonung der Ressource Phosphat. Demgegenüber liegen die Beiträge für die anderen Kategorien auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Außerdem zeigt sich, dass die Vergärung des Bioabfalls nach Stand der Technik mit einer durchschnittlichen Nutzung des kompostierten Gärrests über alle Wirkungskategorien hinweg ökologisch vorteilhafter ist als der Verzicht auf die Biotonne. Dies gilt unabhängig von der Art der Restabfallbehandlung („D“ beschreibt die jeweilige Behandlungstechnik wie sie im Durchschnitt in Deutschland gegeben ist).

**ABB. 19: OPTIONEN DER BIOABFALLBEHANDLUNG AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (IFEU/ahu 2012)**

## 2.1.2 Bewertung unter Berücksichtigung des Sammelaufwands und der Verlagerungseffekte

Stehen nicht die Entsorgungs- und Verwertungsalternativen im Fokus, sondern die Frage inwieweit die Einführung der Biotonne gegenüber dem Status quo ökologisch vorteilhafter ist, muss eine andere Systemgrenze gezogen werden. Dann sind der zusätzliche Aufwand für die Biotonne sowie Verlagerungseffekte bisher nicht oder auf andere Weise behandelten Bio- und Grünguts zu berücksichtigen. Nur so ist eine vollständige Abbildung der ökologischen Auswirkungen der Einführung der Biotonne möglich.

Die Einführung der Biotonne als weiteres Sammelsystem hat einen Mehraufwand für Sammlung und Transport zur Folge. Dies schlägt sich in der ökologischen Bilanzierung und Bewertung nieder, wie aus Abbildung 20 zu ersehen ist. In der Regel verringert sich allerdings das Restabfallaufkommen signifikant, was zur Entlastung des Systems Restmülltonne führt. Dieser Entlastungseffekt der Restabfallsammlung wurde in der dargestellten Bilanzierung vernachlässigt.

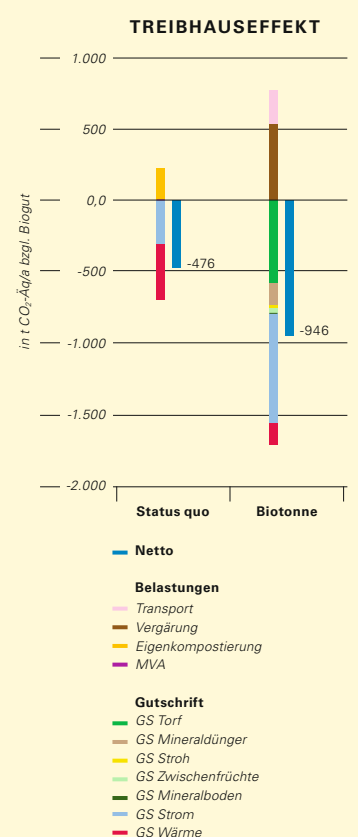
Durch die Mobilisierung bisher eigenkompostierter Küchen- und Gartenabfälle steigt mit Einführung der Biotonne das Gesamtabfallaufkommen. Dadurch entstehen auf der einen Seite merklich zusätzliche Lasten. Andererseits entfallen die Lasten der bisherigen Entsorgung von Bioabfallmassen, zum einen im System Restmüllentsorgung, zum anderen

in den häuslichen Gärten im Rahmen der Eigenkompostierung.

Bei einer Kompostierung der Bioabfälle im häuslichen Garten finden grundsätzlich die gleichen Prozesse statt wie in einer Kompostierungsanlage, sodass mit einem etwa gleichbleibenden Emissionspotenzial zu rechnen ist. Es kann aber auch höher sein, da die Kompostierung im häuslichen Garten nicht immer sachgerecht durchgeführt wird und eine nicht ausreichende Durchlüftung und Vernäsung des Rotteguts Methan- und Lachgasemissionen begünstigt. Eine Kompostierungsanlage unterliegt zudem rechtlichen Vorgaben zum Immissionsschutz; die belastete Abluft muss gefasst und entsprechend behandelt werden.

Für das Ausbringen des Komposts auf landwirtschaftlichen Böden müssen rechtliche Vorgaben insbesondere aus dem Düngerecht beachtet werden. Unter anderem sind die Kompostgaben auf die Mengen zu begrenzen, die dem Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen entsprechen. In den Düngebilanzen der landwirtschaftlichen Betriebe werden diese Nährstofffrachten berücksichtigt und die Ausbringung weiterer Düngemittel reduziert. Die Verwertung der Komposte substituiert demnach die Herstellung und den Einsatz von Mineraldüngern.

Für die im eigenen Garten hergestellten und ausgebrachten Komposte werden keine Düngebilanzen erstellt. Werden alle Gartenabfälle und womöglich auch noch Küchenabfälle kompostiert, liegen die Nährstofffrachten zwangsläufig über dem Bedarf der Böden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die



**ABB. 20: EINFÜHRUNG DER BIOTONNE AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (UNTER KLIMASPEKTEN)**

Komposte nur auf Teilflächen eingesetzt werden, also beispielsweise nur auf Beeten und nicht auch auf Rasenflächen. Bei der ökologischen Bewertung (Abb. 20) wurde deshalb unterstellt, dass der Gartenbesitzer nach Einführung der Biotonne nur so viel Biomasse kompostiert, wie er für das eigene Grundstück tatsächlich benötigt. Der Rest wird in die Biotonne verlagert. Hatte diese Masse vorher keinen Nutzen, kann sie nun Düngemittel und Torf substituieren und einen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten.

In Summe gleichen die eingesparten Netto-Lasten die Lasten aus dem zusätzlichen Sammelaufwand für die Biotonne aus. Die Einführung der Biotonne ist daher aus ökologischer Sicht positiv zu bewerten, vor allem wenn die Behandlung des Bioguts über eine Vergärung nach Stand der Technik erfolgt. Wichtig ist daher, beim Bau neuer Vergärungsanlagen auf hohe ökologische Standards hinsichtlich Emissionsminderung (Gärrestlager, Nachkompostierung etc.) sowie hohe Wirkungsgrade in der Biogasausbeute und -nutzung zu achten. Bei einer Fremdvergabe sollten entsprechende Randbedingungen explizit als Mindeststandards in den Leistungsverzeichnissen der Ausschreibungsunterlagen benannt sein.

### 2.1.3 Vergleich zu anderen Studien

Es gibt Studien, die zum Ergebnis kommen, dass aus ökologischer Sicht keine entscheidenden Unterschiede zwischen einer Verbrennung des Bioguts als Teil des Restabfalls in einer MVA mit optimierter Wärmenutzung und einer optimierten Vergärung bestehen. In Bezug auf den Transport bescheinigen

sie dem System ohne Biotonne einen Vorteil, weil weniger Biogut erfasst und abtransportiert wird. Bei der Bewertung der ökologischen Sinnhaftigkeit der Einführung der Biotonne muss aber der gesamte Stoffstrom berücksichtigt werden – auch der, der durch die Verlagerung aus der Eigenkompostierung entsteht. Die Nettolasten der Eigenkompostierung ohne Biotonne müssen in die Bewertung einfließen. Die teilweise vertretene Meinung, dass die Eigenkompostierung grundsätzlich einen Nutzen erzielt, kann nicht geteilt werden. Sie sollte entsprechend dem Nährstoffbedarf und der Humusbilanz eines Gartens und nicht zur Umgehung der Abfallgebühr erfolgen. Dies ist vor allem im Zusammenspiel von Biotonne und Eigenkompostierung zu erwarten (siehe auch Kern 2013).

In anderen Studien wurde darauf verzichtet, die Einsparung von Phosphaterz zu untersuchen. Wie die normierten Ergebnisse der Studie für das Umweltbundesamt (IFEU/ahu 2012) zeigen, dominiert sie aber den quantitativen Vergleich der untersuchten Szenarien und ist damit ergebnisentscheidend. Kritisiert wird die Normierung mit Bezug auf die jährlichen mineralischen Phosphor-Importe und somit den direkten Verbrauch mineralischen Phosphors in Form von Mineraldüngern. Allerdings geht die stattdessen geforderte Normierung auf die Gesamtphosphor-Importe, also die in allen Produkten enthaltenen Phosphorimporte, die zu kleineren Werten führt, an der Zielstellung der Einsparung mineralischer Phosphor-Ressourcen vorbei. Denn im Falle einer landwirtschaftlichen Betrachtung müssten dann insbesondere die in importierten Futtermitteln enthaltenen Phosphormengen berücksichtigt werden, bei denen zwischen Phosphor

**DIE EINFÜHRUNG DER BIOTONNE IST AUS ÖKOLOGISCHER SICHT POSITIV ZU BEWERTEN, VOR ALLEM WENN DIE BEHANDLUNG DES BIOGUTS ÜBER EINE VERGÄRUNG NACH STAND DER TECHNIK ERFOLGT.**



aus biogenen oder mineralischen Quellen nur schwer unterschieden werden kann. Zudem ist der mineralische Phosphoranteil in Futtermitteln im Vergleich zu Mineraldüngern relativ gering. Durch den Nährstoffgehalt der Komposte und Gärreste kann die Mineraldüngergabe und somit gerade der Verbrauch mineralischen Phosphors entsprechend reduziert werden. Bedeutsam sind nicht die insgesamt in den Produkten enthaltenen Phosphormengen sondern eben die Substitution mineralischer Phosphorprodukte, die am sinnvollsten durch eine Normierung auf den Phosphorverbrauch in Form von Mineraldünger abgebildet wird. Abbildung 21 zeigt die Ausbringung von Mineraldüngern.

Manche Studien gehen davon aus, dass die Vergärung nicht die Methode der Wahl bei der Neueinführung

der Biotonne sein kann, weil die Kompostierung bislang die dominierende Behandlungsart für Biogut darstellt und bestehende Vergärungsanlagen nicht dem Stand der Technik entsprechen. Deshalb wird der ökologische Vorteil einer Biotonne angezweifelt. Bei einer Neueinführung oder Ausweitung auf eine flächendeckende Getrennterfassung muss aber davon ausgegangen werden, dass Vergärungskapazitäten zugebaut und dabei aktuelle technische Standards berücksichtigt werden. Dies lässt sich auch bei einer Fremdvergabe sicherstellen, indem bei der Ausschreibung entsprechende Randbedingungen in das Leistungsverzeichnis aufgenommen werden.



ABB. 21: AUSBRINGUNG VON MINERALDÜNGER

### 3. Analyse der Nachfragesituation nach Kompost

Nimmt man die holzigen Bestandteile von Grün- gut aus, die als Brennstoff vermarktet werden können, endet jede hochwertige Form der Verwertung von Bio- und Grün- gut in der Herstellung von Kom- posten. Deren Vermarktbarkeit und die dabei er- zielbaren Erlöse können den wirtschaftlichen Erfolg dieser Kreislaufwirtschaft wesentlich bestimmen. Dies ist umso wichtiger, weil sich eine Bioabfallver- wertung immer auch an den Kosten der Restabfall- entsorgung messen lassen muss.

Da Kompost bezogen auf sein Volumen kein hoch- preisiges Gut ist, das selbst über lange Distanzen wirtschaftlich transportiert werden könnte, ist es aus ökonomischer wie auch ökologischer Sicht wichtig, dass es im Umfeld der Bioabfallbehand-

lungsanlage einen nachfragestarken Absatzmarkt gibt. Zudem muss man auf eine vielfältige und breite Abnahmestruktur bauen können, damit man nicht einem Nachfragekartell unterworfen ist.

Durch den Konzentrationsprozess der letzten Jahre hat die Zahl landwirtschaftlicher Betriebe und damit auch die der potenziellen Kunden deutlich abgenommen. In vielen Regionen spielen zudem landwirtschaftliche Vergärungsanlagen eine große Rolle, und der Absatz deren Gärrückstände tritt in Konkurrenz zur Kompostvermarktung. Wie Unter- suchungen des VHE (M. Schneider 2014) zeigen, liegen die Marktpreise für Kompostprodukte für die Landwirtschaft ab Anlage im Mittel bei 0,50 Euro pro Tonne, obwohl Erhebungen der BGK regelmä- ßig ergeben, dass der Nährstoff- und Humuswert des Komposts derzeit bis zu 22 Euro pro Tonne entspricht.

Je mehr Absatzalternativen zur Landwirtschaft existieren, umso einfacher gestaltet sich die Preis- findung für den Kompost und den kompostierten Gärrückstand. Die Vermarktung an die Erden- und Substratindustrie oder die eigene Herstellung ein- facher Blumen- und Pflanz- erden stellen eine Vere- delung dar, die sich in den Erlösen widerspiegelt.

Im Rahmen eines Projekts für das Umweltbundes- amt (IFEU/ahu 2012) wurden die verschiedenen Optionen der Verwertung von Fertigkompost im Rahmen einer Ökobilanz bewertet. Die Gegen- überstellung der Ergebnisse (Abb. 22) verdeutlicht, dass Anwendungen außerhalb der Landwirtschaft aus ökologischen Gesichtspunkten deutliche Vor- teile aufweisen. Dies resultiert im Wesentlichen

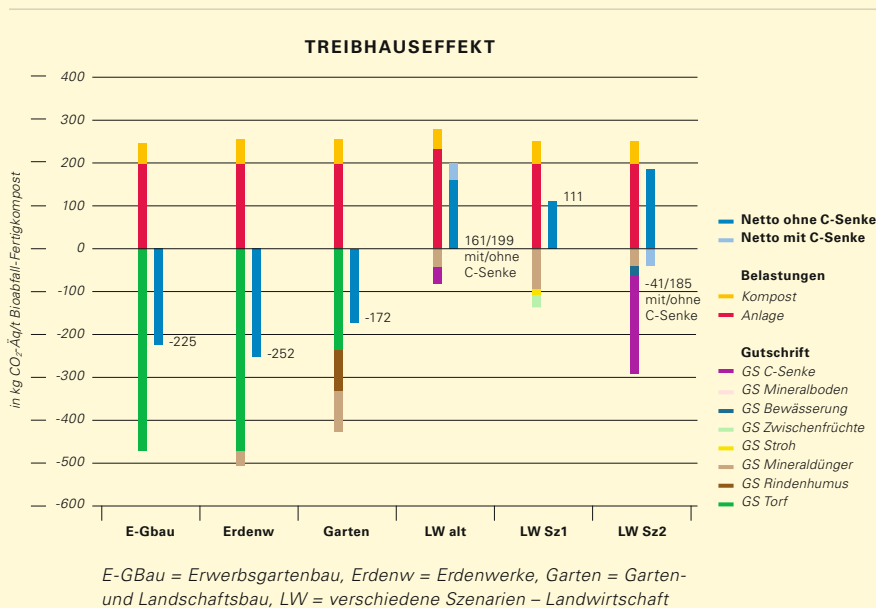


ABB. 22: VERGLEICH DER ABSATZOPTIONEN VON FERTIGKOMPOST AUS ÖKOLOGISCHER SICHT AM BEISPIEL TREIBHAUSEFFEKT (IFEU/AHU 2012)

aus der Substitution von Torf, dessen Produktion und Verwendung mit ähnlich hohen negativen Folgen verbunden ist wie die Verwendung eines fossilen Rohstoffs. Torf enthält Kohlenstoff, der bereits der Biosphäre entzogen wurde. Dessen Verwendung ist somit mit dem Einsatz fossiler Energieträger vergleichbar. Die Substitution von Torf dient zudem dem Naturschutz, weil Moore erhalten werden können.

Die relativen Vorteile bleiben auch dann deutlich, wenn man beim Einsatz der Komposte auf landwirtschaftlichen Ackerflächen eine langfristige Humusanreicherung und damit eine Festlegung von Kohlenstoff unterstellt. Dies ist theoretisch dann möglich, wenn der Kompost über lange Zeiträume auf Ackerböden ausgebracht wird, die deutlich mit Humus unterversorgt sind.

Selbst wenn man die Betrachtung nur auf den Aspekt Klimaschutz beschränkt, bleibt die Optimierung der Kompostvermarktung ähnlich relevant wie eine optimierte Biogasnutzung. Wie Abbildung 22 zeigt, ist die Substitution von Torf durch Kompost mit einer Gutschrift von 480 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äq. pro Tonne verbunden. Für den Treibhauseffekt ergibt sich beim Einsatz von Kompost im Erdenwerk im Vergleich zu landwirtschaftlichen Szenarien ein relativer Vorteil von 200 Kilogramm (LW-Szenario 2 mit Sequestrierung) und 360 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äq. (LW-Szenario 1 bei normal humusversorgten Böden). Umgerechnet auf den Bioabfall liegen die Einsparungswerte bei -100 bis -180 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äq. pro Tonne, setzt man vereinfachend ein Kompostaufkommen von 50 Prozent bezogen auf den Anlageninput voraus. Der Biogasertrag aus

diesem Bioabfall führt bei einer Anlage nach Stand der Technik (Wirkungsgrad BHKW 40 % elektrisch und 43 % thermisch; Nutzungsgrad der Überschusswärme 40 %) zu einer Gutschrift von 275 Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äq. pro Tonne Bioabfall.

Kompost sollte folglich als Fertig- oder Substratkompost in möglichst großen Anteilen für gartenbauliche Anwendungen oder in Konkurrenz zu Torfprodukten vermarktet werden.

### 3.1 Vermarktungswege über die Erdenindustrie

Die Herstellung von Erden und Kultursubstraten erfolgte bis vor knapp 50 Jahren auf Basis von Komposten, die der Gartenbau aus der Vielzahl meist betriebseigener organischer Abfälle und der Pflege von Grünanlagen selbst herstellte. Er war auf dem Gebiet der Verwertung organischer Reststoffe vorbildlich. Die weitere Spezialisierung und der Eintritt in das Torfzeitalter hat die Situation verändert.

Mit Einführung der getrennten Sammlung von Bio- und Grüngut ging die Herstellung von Komposten in die Verantwortung der Abfallwirtschaft über. Die Erdenindustrie musste in den letzten Jahren erst wieder Schritt für Schritt erschlossen werden; mittlerweile stellt sie hoch spezialisierte Kultursubstrate her. Sie weisen genau auf den jeweiligen Einsatzzweck zugeschnittene Eigenschaften auf – und dies reproduzierbar über größere Massenströme. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Ausgangssubstrate und damit auch an den Kompost oder den Bioabfall.



**KULTURSUBSTRATE MÜSSEN AUF DEN JEWEILIGEN EINSATZZWECK ZUGESCHNITTENE UND GENAU DEFINIERTE EIGENSCHAFTEN AUFWEISEN.**

In einem umfangreichen Forschungsvorhaben, dessen Erkenntnisse in einem Handbuch des Zentralverbands Gartenbau (ZVG 2002) veröffentlicht sind, wurden zu Fragen des Komposteinsatzes im Gartenbau und der Verwendung als Zuschlag für verschiedene Substrate wichtige Grundlagen ermittelt. Ergebnisse aus zahlreichen langjährigen Praxisversuchen zur Verwendung von Kompost in den unterschiedlichen gartenbaulichen Einsatzgebieten wurden zusammengestellt und daraus die Anforderungen sowohl an Kompostqualitäten als auch -eigenschaften abgeleitet.

Aus den sich daraus für die Erdenindustrie ergebenden Anforderungen wurde das Produkt Substratkompost entwickelt. Hierfür wurden Qualitätskriterien festgelegt, die im Rahmen der Zertifizierung und über Güterrichtlinien seitens der BGK ([www.kompost.de](http://www.kompost.de)) überwacht werden:

- Um die geforderten Eigenschaften sicher einhalten zu können, muss der Kompost in einem letzten Behandlungsschritt konfektioniert und abgesiebt werden.
- Für Substratkomposte muss der Rottegrad V sicher erreicht werden, was eine entsprechend lange Aufenthaltszeit (> 8 Wochen) in der Rotte bedeutet.
- Die geforderten geringen Nährstoffgehalte setzen ein entsprechend nährstoffarmes Ausgangsmaterial voraus. Grüngut mit wenigen krautigen Anteilen dürfte dies gewährleisten.
- Wie die Praxis zeigt, lassen sich Komposte aus der Verwertung von Biogut aus der Biotonne auch an die Erdenindustrie zur Herstellung von einfachen Blumenerden vermarkten. Gerade

kompostierte Gärrückstände aus einer Trockenfermentation können hierfür geeignet sein, wenn mit der Abtrennung des flüssigen Gärprodukts eine Reduktion der Stickstoffgehalte erfolgt ist.

Es kann daher nicht überraschen, dass mittlerweile sehr gute Praxisbeispiele für eine Weiterverarbeitung und Veredelung von Komposten zu Erden und Substraten existieren. Dies gilt insbesondere dann, wenn eigene Produktlinien entwickelt wurden oder mit Erdenwerken oder Unternehmen aus dem Garten- und Landschaftsbau zusammengearbeitet wird. Ein Musterbeispiel für den Aufbau einer eigenen Produktion und entsprechender Vermarktungswege ist für Süddeutschland sicherlich das Kommunalunternehmen für die Behandlung von Bioabfall und Grüngut des Zweckverbands Donau-Wald (BBG, [www.bbg-bayern.de/de\\_DE/produkte/](http://www.bbg-bayern.de/de_DE/produkte/)). Beispiele sind aber auch in Baden-Württemberg zu finden, so im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald ([www.breisgau-kompost.de/](http://www.breisgau-kompost.de/)). Zudem gibt es Erdenwerke, die gütegesicherte Komposte von Kompostierungsanlagen beziehen oder Bio- und Grüngut selbst zu Komposten verarbeiten.

In der Regel verfügen Erdenwerke über eigene Kompostierungsanlagen, denn so können sie die Homogenität der Fertigung sicher steuern und die für Premiumprodukte geforderten Eigenschaften gewährleisten. Sie dürften für ihren Produktionsprozess Interesse an Frischkomposten oder unbehandeltem Ausgangsmaterial als Ersatz für den bisher eingesetzten Substratkompost haben. Legen die Randbedingungen in entsorgungspflichtigen Ge-

bietskörperschaften eine eigene Grüngutkompostierung nicht nahe, kann also auch die Lieferung des Rohmaterials an die Erdenindustrie eine Verwertungsoption darstellen.

Auch für die Kombination von Vergärung von Biogut aus der Biotonne, Herstellung von Fertigungskompost und Weiterverarbeitung zu Erden gibt es gute Beispiele aus der Praxis. So vermarktet das Kompostwerk im Landkreis Emsland – also in der deutschen Torfabbauregion – den aus Grüngut und Gärrückstand hergestellten Fertigungskompost zu 75 Prozent an Erdenwerke. Auslaufende Abbaugenehmigungen haben hier den Effekt, dass verstärkt auf Alternativen zu Torf zurückgegriffen wird.

Nach Angaben der Gütegemeinschaft Kompost werden heute schon rund 17 Prozent des gütegesicherten Komposts an Erdenwerke verkauft. Angesichts dieser bewährten Praxis und der zunehmenden Nachfrage nach Alternativen zu Torf empfiehlt es sich, verstärkt derartige Absatzwege zu suchen. Bei der Auslegung der Bioabfallbehandlungsanlagen ist daher darauf zu achten, dass ausgereifte Komposte in den geforderten Qualitäten hergestellt werden können. Dies ist nicht nur mit ökologischen Vorteilen verbunden, sondern verspricht auch eine verbesserte Erlössituation.

Empfehlenswert für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger ist die Gewinnung eines Erdenwerks als Abnehmer für zum Beispiel Frisch- oder Fertigungskompost noch vor Einführung oder Ausweitung des Anschlussgrads der Biotonne. Schon bei der Konzeption muss auf die vereinbarten Qualitäts-

standards geachtet werden. So wird der Kompost ökonomisch sinnvoll und garantiert abgesetzt – ein Argument für die Einführung der Biotonne oder den Ausbau der Erfassung – und zudem die Ökobilanz aufgrund der Substitution von Torf oder Torfprodukten optimiert.

Die Recherche nach Abnehmern für Substratkomposte, also die Suche nach entsprechenden Erdenwerken, kann über die Verbände wie die Bundesvereinigung Torf- und Humuswirtschaft (BTH) ([www.bth-online.org](http://www.bth-online.org)), den Verband Humus- und Erdenwirtschaft (VHE) ([www.vhe.de](http://www.vhe.de)) oder die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen ([www.substrate-ev.org](http://www.substrate-ev.org)) erfolgen, über die sich Erdenwerke organisieren.

### 3.2 Herstellung von Pflanz- und Blumenerden als Mischungen aus Komposten mit mineralischen Bodenmassen

Ein einfacher Schritt der Veredelung der erzeugten Komposte liegt in der Abmischung von Blumen- und Pflanzenerden, die sich auch lose vermarkten lassen. Mineralische Bodenmassen und Komposte werden vermengt, gegebenenfalls um Zuschlagstoffe ergänzt und – bei Blumenerden – möglicherweise gezielt mit Pflanzennährstoffdüngern angereichert. Somit liegt es nahe, dass in vielen Bio- und Grüngutbehandlungsanlagen bereits einfache Pflanz- und Blumenerden hergestellt werden.

EIN EINFACHER SCHRITT DER VEREDELUNG DER ERZEUGTEN KOMPOSTE LIEGT IN DER ABMISCHUNG VON BLUMEN- UND PFLANZERDEN.



Klassische Abnehmer sind Privathaushalte, aber auch der Garten- und Landschaftsbau, Grünflächenämter – vor allem kommunale – sowie Baumschulen.

Zudem gibt es inzwischen auch immer mehr Betreiber von Anlagen zur Aufbereitung von Böden und mineralischen Abfällen, die sich diesen Absatzweg erschließen. Zur Herstellung der einfachen Mischungen beziehen sie Komposte aus Bio- und Grüngutbehandlungsanlagen. Hieraus ergibt sich für deren Betreiber ein neuer Absatzweg für Komposte oder ein Ansatzpunkt zur Kooperation.

### 3.2.1 Produkte

#### BLUMENERDEN

Bei der Herstellung von Blumenerden werden nach Angaben des ZVG etwa 20 bis 50 Volumenprozent Kompost zugegeben. In jedem Fall sollte nur qualitativ hochwertiger, reifer und pflanzenverträglicher Kompost verwendet werden, da Blumenerden in der Regel in hohen Mengen direkt in Kontakt mit den Pflanzenwurzeln kommen.

Sind die Blumenerden zum Topfen gedacht, also insbesondere für Balkon- und Kübelpflanzen, besteht meist ein hoher Nährstoffanspruch, sodass relativ hohe Kompostanteile von bis zu 50 Prozent eingebracht werden können. Zur Beimischung eignen sich Gartenerde oder Sand. Blumen- und Pflanzenerden sind somit ohne Torf herstellbar.

#### BAUMSCHULEN

Baumschulen brauchen Substrate für Containerware, die hohe Ansprüche vor allem an das Porenvolumen sowie die Wasserhaltekapazität und die

Strukturstabilität erfüllen. Dementsprechend werden die Substrate meist über die Erdenindustrie bezogen oder in den Baumschulen selbst hergestellt – differenziert nach unterschiedlichen Ansprüchen der Gehölze. Komposthersteller liefern nur die Komponenten, also Fertig- oder Substratkomposte.

Gerade bei Ballenwaren werden in Baumschulen große Mengen an Böden benötigt. Eingesetzt werden entweder extern bezogene Oberböden oder ab Anlage gezielt unter Verwendung von Kompost hergestellte Bodenmischungen. Sie entsprechen im Wesentlichen den Pflanzenerden, die im Garten- und Landschaftsbau in vielen Einsatzbereichen verwendet werden.

#### PFLANZERDEN IM GARTEN- UND LANDSCHAFTSBAU

Im Garten- und Landschaftsbau sowie in öffentlichen Grünanlagen werden Pflanzenerden zum Beispiel als Oberbodenersatz im Rahmen von Rekultivierungen oder bei Neuanlagen von Gärten und Grünanlagen eingesetzt, aber auch auf Flächen, die durch vorausgegangene Baumaßnahmen extrem geschädigte oder humusarme Böden aufweisen.

Der Garten- und Landschaftsbau ist daher prädestiniert für den Absatz von Komposten. Schließlich gibt es nur wenige Standorte, an denen eine Bepflanzung möglich ist, ohne dass die Regeneration gestörter Böden eingeleitet oder unterstützt werden muss. Meist werden mit umfangreichen Maßnahmen geeignete Vegetationstragschichten hergestellt. Dies kann vor Ort durch den Einsatz von Komposten oder bereits vorgemischten Erden erfolgen.

Zur Herstellung von Oberbodenersatz werden nach ZVG (2004) unbelebte und nährstoffarme Böden mit Kompost gemischt – bei schwach bindigen Unterböden (Sand) sind es 20 Volumenprozent, bei bindigen Unterböden (Schluff, Lehm) 30 Volumenprozent und bei stark bindigen Unterböden (Ton) 40 Volumenprozent. Für die mineralischen Komponenten kann auf Bodenaushub zurückgegriffen werden, der bei Baumaßnahmen in großem Umfang als Überschussmasse zur Entsorgung anfällt. Für die organische Komponente nutzt man bevorzugt fein- oder mittelkörnigen Fertigungskompost.

### 3.2.2 Absatzmöglichkeiten und Anforderungen an den Kompost

Wichtigste Abnehmer für vorgemischte einfache Erden sind die Grünflächenämter der Kommunen, Baumschulen, der Garten- und Landschaftsbau sowie vor allem Privathaushalte. Faustzahlen zur Abschätzung des Absatzpotenzials lassen sich nur ansatzweise benennen. Die Transportwürdigkeit der Erden unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der der Komposte. Sie müssen daher vor allem im unmittelbaren Umfeld der Kompostanlagen beziehungsweise Erdenwerke abgesetzt werden.

Es ist nicht sinnvoll, an dieser Stelle einen Überblick über die in Baden-Württemberg existierenden Baumschulen zu liefern, denn es gibt eine Vielzahl und sie haben sich teils stark auf bestimmte Produktionsrichtungen spezialisiert. Absatzmöglichkeiten von Pflanzenerden müssen daher jeweils im Einzelfall überprüft werden.

Greift ein Betrieb des Garten- und Landschaftsbaus zur Herstellung von Vegetationstragschichten als durchwurzelbare Schicht beziehungsweise Oberbodenersatz auf fertige Pflanzenerden zurück, lassen sich je nach Nährstoffgehalt des Komposts und Bodenart in unterschiedlichem Umfang Komposte einsetzen (siehe S. 62 f.). Setzt man einen Kompostanteil von im Mittel 30 Volumenprozent und eine Schichtmächtigkeit der Bodenschicht von 25 Zentimeter an, ergibt sich pro Hektar Rekultivierungsfläche ein Bodenbedarf von 2.500 Kubikmeter, der einen Anteil von 800 Kubikmeter Kompost aufweisen würde. Der Bedarf an Vegetationstragschichten oder vorgemischtem Oberboden hängt von der Bautätigkeit ab. Sie wird sich nach allen Prognosen künftig immer mehr in Richtung Ballungsräume und deren Kernstädte verlagern. Werden dabei innenstadtnahe ehemalige Industrie- und Gewerbestandorte wieder in Wert gesetzt, ergibt sich ein vergleichsweise hoher Bedarf an derartigen Erden.

Das Absatzpotenzial von Erden für den Garten- und Landschaftsbau dürfte tendenziell in städtischen Räumen mit einem hohen Anteil an Gärten und Begleitgrün am höchsten sein.

Die Herstellung und Festlegung der Qualitätsstandards von Pflanzenerden für Kommunen, den Garten- und Landschaftsbau sowie andere Großabnehmer sollte immer in Rücksprache mit ihnen erfolgen, denn die Produktspezifikationen müssen der Nachfrage der Kunden entsprechen. Deshalb sind Kompostierungsanlagen, die Erden und Substrate herstellen und in diesen Absatzweg vermarkten, oft im Besitz von Firmen des Garten- und Landschaftsbaus.

**DIE PRODUKTSPEZIFIKATIONEN FÜR PFLANZERDEN MÜSSEN IMMER DER NACHFRAGE DER KUNDEN ENTSPRECHEN.**



**PFLANZ- UND BLUMENERDEN FÜR DIE PRIVATHAUSHALTE MÜSSEN ENGAGIERT BEWORBEN WERDEN.**

Die regionalen Absatzmöglichkeiten für Pflanz- und Blumenerden an Privathaushalte lassen sich grundsätzlich kaum genau beziffern. Nach Angaben des Industrieverbands Garten e. V. (IVG) werden jährlich 9,5 Mio. Kubikmeter Blumenerden und Kultursubstrate hergestellt und abgesetzt. Nimmt man einen Anteil von 40 Prozent für den Hobbygartenbau an<sup>6</sup>, ergibt sich ein Markt von etwa 4 Mio. Kubikmeter, also pro Einwohner im Schnitt 0,05 Kubikmetern pro Jahr oder 25 Kilogramm, bei einem angenommenen spezifischen Gewicht von 500 Kilogramm pro Kubikmeter.

Die wertgebenden Eigenschaften der Erden müssen jeweils bei den einzelnen Produkten vermerkt werden. Ihre Vermarktung erfolgt idealerweise in loser Form, möglichst direkt ab Anlage und/oder Plätzen, die von potenziellen Kunden frequentiert werden. Dies sind insbesondere Grüngutsammelplätze oder Wertstoffhöfe. Die Produktlagerplätze müssen befestigt und überdacht sein.

Werden die Produkte vor allem an Privathaushalte und in kleinen Mengen vermarktet, kann geprüft werden, ob eine Absackung in Frage kommt. Sie ist grundsätzlich mit relativ hohen Kosten verbunden, nur bei größeren Mengen rentabel und nicht zuletzt auch aus ökologischer Sicht fragwürdig. Einige Anlagenbetreiber bieten alternativ Leihgefäße an.

Wie jedes andere Produkt müssen auch Pflanz- und Blumenerden für Privathaushalte engagiert beworben werden. Dies kann auf die gleiche Weise wie beim Kompostabsatz geschehen und ist dort beschrieben.

### 3.3 Komposte für die Landwirtschaft

Nach Angaben der BGK (Thelen-Jüngling 2011) ist die Landwirtschaft nach wie vor der bedeutendste Abnehmer gütegesicherter Komposte und Gärprodukte. Auch nicht gütegesicherte Kompostmengen dürften vor allem über die Landwirtschaft vermarktet werden. Wegen seiner Gehalte an Phosphat, Kalium und vielen Spurennährstoffen wird der Kompost zum einen als Nährstoffträger eingesetzt. Zum anderen wird den Ackerböden durch Kompost Organik zugeführt, die zur Humusproduktion wichtig ist.

In den letzten Jahren war parallel zur Preisentwicklung für Energieträger und Rohstoffe ein deutlicher Anstieg der Düngemittelpreise zu verzeichnen, wenn auch mit großen Schwankungen. Derzeit gibt die BGK ([www.kompost.de/index.php?id=620](http://www.kompost.de/index.php?id=620)) Nährstoffwerte von 5,80 Euro pro Tonne Feuchtmasse Kompost und von 4,50 Euro pro Tonne Feuchtmasse flüssiger Gärrest an. Sie werden regelmäßig aktualisiert.

Für landwirtschaftliche Betriebe steht bis dato eine ausreichende Nährstoffversorgung der Kulturen im Vordergrund; die ausreichende Humusproduktion der Ackerböden dürfte noch deutlich nachrangig sein. Abnehmende Humusgehalte in Ackerböden machen sich erst spät bemerkbar, schmälern dann aber den Ertrag. Momentan dürfte sich die Landwirtschaft bei der Bewertung des Preis-Leistungs-Verhältnisses von Komposten ausschließlich am Düngewert orientieren. Ihr Stellenwert als Humusträger wird jedoch steigen. Der Rückgang der Vieh-

<sup>6</sup> Nach DESTATIS wurden im Jahr 2010 2,855 Mio. m<sup>3</sup> Blumenerden verpackt erzeugt (Nr. 0892 10 103)



haltung in Verbindung mit einer deutlichen Zunahme der Produktion nachwachsender Rohstoffe führt in der Tendenz zu Humusverlusten im Boden, die durch eine entsprechende Fruchtfolge oder den Einsatz geeigneter organischer Dünger ausgeglichen werden müssen. In vielen Regionen Deutschlands lässt sich zudem Stroh mit hohem Erlös entweder an Pferdehalter, für Sonderkulturen, die Pilzzucht oder als Energieträger vermarkten. Dies wirkt sich ebenfalls zugunsten der Absatzmöglichkeiten von Komposten als Substitut von Stroh aus und wird die Erlössituation der Komposte als Humusträger verbessern.

Die Entwicklung der Nährstoffpreise und die steigende Bedeutung von Humusträgern in der landwirtschaftlichen Produktion haben bereits in den letzten Jahren dazu geführt, dass aus dem Angebots- ein Nachfragemarkt wurde. Die steigende Nachfrage hat sich positiv auf die Erlössituation auch für den Kompostabsatz in der Landwirtschaft niedergeschlagen.

Die Vermarktung von Kompost in der Landwirtschaft ist demnach umso günstiger,

- je größer die Summe an Ackerflächen im Standortumfeld, die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe sowie die Bedeutung des Hackfrucht- und Maisanbaus ist
- je geringer der Viehbesatz und die Bedeutung von NawaRo-Biogasanlagen sind
- und je höher die außerlandwirtschaftlichen Preise für Stroh liegen.

Informationen zur spezifischen Situation vor Ort lassen sich aus den landwirtschaftlichen Statistiken

oder bei den Landwirtschaftsämtern und im Falle der Biogasanlagen bei der Gewerbeaufsicht oder den Immissionsschutzbehörden erfragen, also bei den für die Genehmigung und Überwachung zuständigen Institutionen.

Damit bestimmte Schadstoffgehalte nicht überschritten werden, beschränkt die BioAbfV die Kompostausbringung auf maximal 10 Tonnen Trockensubstanz (TS) pro Hektar und Jahr. Eine weitere Begrenzung ergibt sich aus dem Düngemittelrecht. Die mit der Kompostausbringung verbundenen Nährstofffrachten dürfen nicht über dem Bedarf der Kulturen liegen. Komposte haben vergleichsweise hohe Gehalte an Phosphat und Kalium, so dass diese Parameter in vielen Fällen die Höchstmenge bestimmen. Als Faustzahl lässt sich daher eher ein Wert von 7 Tonnen Komposttrockensubstanz pro Hektar und Jahr angeben.

Um überschlägig das Absatzpotenzial von Komposten in der Landwirtschaft abschätzen zu können, ist folgende Vorgehensweise möglich:

- Ermittlung der Ackerflächen, die rechnerisch zur Versorgung, aber auch zur „Entsorgung“ der landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf NawaRo-Basis benötigt werden; die Faustzahl liegt bei 0,5 Hektar pro Kilowatt installierter elektrischer Leistung der Biogasanlage (Hartmann 2008).
- Ermittlung der landwirtschaftlichen Fläche, die für die Viehwirtschaft benötigt wird; als Faustzahl kann für die konventionelle Landwirtschaft durchschnittlich ein Viehbesatz von zwei Großvieheinheiten pro Hektar angesetzt werden. Sie bezieht sich bei der Flächenermittlung konservativ allein auf die Ackerfläche.

**KOMPOSTE HABEN VERGLEICHSWEISE HOHE GEHALTE AN PHOSPHAT UND KALIUM.**



EIN KLASSISCHER VERMARKTUNGSWEG FÜR KOMPOSTE IST DER EINSATZ IM WEINBAU.

Nimmt man die Ackerflächen im Umfeld einer möglichen Anlage im Radius von zum Beispiel 30 Kilometer und zieht die oben ermittelten Flächenbedarfe ab, ergibt sich überschlägig die Fläche, auf der Kompost ausgebracht werden dürfte. Das Potenzial ergibt sich aus dieser Flächenangabe (in Hektar) verknüpft mit 7 Tonnen Komposttrocken substanz pro Hektar und Jahr, wobei die realen Absatzmöglichkeiten umso höher sind, je geringer der Flächenanteil an Halmfruchtgetreide ist.

Derzeit wird eine Novellierung der Düngeverordnung diskutiert, um erstmals den Gesamtgehalt an Stickstoff in den Komposten bei der Berechnung der zulässigen Höchstmengen heranziehen zu können. Bislang wurde nur der unmittelbar pflanzenverfügbare Anteil berücksichtigt. Es kann also sein, dass die Düngeverordnung künftig die Absatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft einschränkt.

Die Vermarktungssituation zeigt sich umso günstiger, je mehr das Flächenangebot den tatsächlichen Bedarf an Ausbringungsflächen übersteigt. Das Flächenangebot sollte möglichst um den Faktor 10 höher liegen als die Fläche, die rechnerisch zum Absatz der produzierten Kompostmengen tatsächlich benötigt wird.

### 3.4 Vermarktung von Komposten außerhalb des Ackerbaus

Je ausdifferenzierter die Vermarktungswege für Kompost gestaltet werden können und je mehr sich die Produktspezifikationen an den Erfordernissen des regionalen Markts orientieren, umso positiver erweist sich die Absatzsituation.

Ein klassischer Vermarktungsweg ist der *Weinbau*. Dies gilt insbesondere dann, wenn in den Flächen bei Regenschattenlagen auf Unterkulturen zur Begrünung verzichtet werden muss. Dem deutlichen Humusabbau, der daraus erfolgt, kann mit Kompostgaben gegengesteuert werden. Die Anforderungen an die Komposte sind wenig dezidiert, bei den Ausbringungsmengen muss jedoch auf den vergleichsweise geringen Nährstoffbedarf der Kulturen geachtet werden.

Im *Gemüsebau* wird der Boden besonders intensiv und meist mit mehreren Kulturen pro Jahr bearbeitet. Dazu kommt, dass die Flächen häufig befahren werden. Dies erhöht den Humusabbau und führt zu einer Strukturverschlechterung der Böden. Da durch die Ernterückstände nicht ausreichend Dauerhumus aufgebaut wird, besteht ein Bedarf an im Kompost enthaltener, langlebiger organischer Substanz.

Aufgrund des hohen Nährstoffbedarfs der angebauten Kulturen wird die Komposteinsatzmenge nicht durch Nährstofffrachten begrenzt. Dies gilt auch für Phosphat. Der für Kompost typische geringe Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff wirkt sich positiv aus, da so entsprechend dem Bedarf der Kulturen Stickstoffdünger ausgebracht werden kann. Dies ermöglicht eine gezielte Bestandsführung. Besonders positiv niederschlagen können sich gerade im Gemüsebau die mit Kompost verbundene Aktivierung des Bodenlebens und die Unterdrückung von Schadorganismen.

Eingesetzt werden können nur Fertigkomposte, die völlig frei von Stör- und Fremdstoffen sind. Dies ist

zum einen dem Arbeitsschutz geschuldet, denn im Gemüsebau wird viel manuell gearbeitet. Mindestens so wichtig ist allerdings die unmittelbare Kundennähe und damit der Imageschaden für den Betrieb, der mit einer offensichtlichen Verunreinigung der Anbauflächen verbunden wäre. Fertigkomposte müssen deshalb zwingend konfektioniert und von Störstoffen befreit werden.

Der Gemüseanbau konzentriert sich dank der klimatisch günstigen Verhältnisse und der hohen Bodenqualitäten in Baden-Württemberg auf die Großräume Heilbronn, Stuttgart, Oberrheingraben und entlang des Bodensees.

Im *Obstbau* zeigt sich dagegen eine deutlich andere Situation. Insbesondere Gehölze haben einen geringen Bedarf an Nährstoffen, da nur die Früchte dem Kreislaufsystem entnommen werden. Kompost kann sinnvoll als Mulchmaterial eingesetzt werden, aufgetragen in Schichtdicken von etwa 1,5 bis 2 Zentimeter. Somit findet der Kompostabsatz im Obstbau nur eine kleine Marktnische.

Der Zentralverband Gartenbau (ZVG 2002) fordert den Einsatz von Fertigkompost in einer Mittelkörnung (0–20 mm) mit etwa zwei Dritteln Grünschnitt im Ausgangsmaterial, einem C/N-Verhältnis >20:1 sowie folgenden Nährstoffgehalten: N <0,5 bis 1 %, K<sub>2</sub>O 0,5 bis 0,7 %, MgO 0,4 bis 0,5 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,2 bis 0,4 %; Salz <0,5 %.

Auch der Anbau von Beerenobst konzentriert sich auf wenige Regionen in Baden-Württemberg und beschränkt sich auf verhältnismäßig geringe Anbauflächen.

Ein weiterer Absatzweg ist grundsätzlich im *Zierpflanzenbau* zu sehen. Hier werden Komposte allerdings weniger direkt verwendet, sondern eher als Mischkomponenten zur Herstellung von Substraten. Hausmischungen wurden inzwischen durch industriell hergestellte Standardsubstrate unter anderem auf der Basis von Torf, Torf plus Ton oder Rindenhumus nahezu vollständig verdrängt. Sie werden in der Regel als Fertigsubstrate über den Handel bezogen.

Auch in *Baumschulen* können Pflanzerden (siehe S. 62 f.) und Komposte eingesetzt werden. Ein großer Bedarf besteht insbesondere dann, wenn Containerware hergestellt wird und die Baumschulen die dafür benötigten Erden selbst erzeugen. Auf torfreduzierten Substraten lässt sich, mit Ausnahme von Moorbeetkulturen, ein großes Spektrum an Gehölzen ziehen. Der Kompostanteil in den Substraten sollte 30 Volumenprozent nicht übersteigen.

Ausgangssubstrat ist angesichts der geringen Nährstoffbedarfe immer Grüngutkompost, eventuell auch kompostierte Gärrückstände, da sie aufgrund der Entwässerung einen etwas geringeren Gehalt an Nährsalzen aufweisen.

Inwieweit große Baumschulen in der jeweiligen Region vorhanden sind, muss von Fall zu Fall geprüft werden.

Ein sehr wichtiges Absatzpotenzial bieten der *Garten- und Landschaftsbau* und damit zugleich auch die *Garten- und Grünflächenämter* der Kommunen. Nach BGK/ZVG (2004) lassen sich die folgenden Einsatzbereiche identifizieren:



Kompost wird im Rahmen von Rekultivierungen oder auch Maßnahmen zur Bodenverbesserung nach Entsiegelungen eingesetzt, wobei je nach Nährstoffgehalt und Bodenart 20 bis 60 Liter pro Quadratmeter empfohlen werden. Einer Neuanlage von Gärten geht häufig eine Baumaßnahme voraus, die Flächen mit extrem geschädigten Böden hinterlässt. In diesen Fällen, aber auch generell bei der Neuanlage von Rasen- und Beetflächen, wird je nach Randbedingungen eine Kompostgabe zwischen 12 und 40 Litern pro Quadratmeter empfohlen.

Zudem kann Kompost in kleinen Mengen zum Mulchen von Beet- und Rasenflächen, beispielsweise in Parkanlagen eingesetzt werden. Hierfür wird eher grobes Kompostmaterial benötigt. Da der Kompost bei der Konfektionierung gesiebt wird und sich dabei die Störstoffe vor allem in der Grobfraction anreichern, ist er für diesen Zweck nur bedingt geeignet.

Im Garten und Landschaftsbau werden immer Fertigkomposte eingesetzt. Werden zur Organikzufuhr große Mengen benötigt, muss Grüngutkompost verwendet werden. Denn ansonsten müssen die Kompostmengen entsprechend der zulässigen Nährstoffzufuhr variiert werden.

Ein zentrales Marktsegment für den Kompostabsatz sind *Privathaushalte*. Ein optimiertes System der Verwertung von Bio- und Grüngut setzt deshalb eine aktive Zusammenarbeit mit den Bürgern voraus. Die Qualität der Komposte hängt wesentlich von der des zur Verwertung bereitgestellten Bio- und Grünguts ab. Ein hoher Grad an Verunreinigungen kann in den Verfahrensschritten nicht

mehr ausreichend ausgeglichen werden. Verkauft werden können aber nur Fertigkomposte, die gründlich konfektioniert, abgesiebt und damit von Fremdbestandteilen befreit wurden. Der Verkauf sollte möglichst lose erfolgen – eine Absackung ist nur bei größeren Anlagen und Durchsatzmengen sinnvoll.

Das getrennte Sammeln von Bio- und Grüngut ist für die Bürger relativ aufwendig. Umso wichtiger ist es, ihnen dessen abfallwirtschaftlichen und ökologischen Sinn sowie die zentrale Rolle im Wertungssystem zu vermitteln. Dazu können unter anderem die klassischen Instrumente der Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden. Werden die Bürgerinnen und Bürger mit dem Produkt Kompost als dem Ergebnis ihrer Bemühungen unmittelbar konfrontiert, ist der Zusammenhang zwischen notwendigem Aufwand (störstofffreie Bioabfallsammlung) und erzielbarem Nutzen (Kompostqualität) leichter nachvollziehbar. Sie können sich dann einen eigenen Eindruck über die erreichten Qualitäten und den unabwiesbaren Nutzen beispielsweise im Hobbygartenbau verschaffen.

Die Vermarktung der Komposte sollte deshalb auch an Stellen erfolgen, wo ein direkter Kundenkontakt möglich ist. Dies sind vor allem Übergabepunkte wie Grünschnittplätze, Wertstoffhöfe und Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen. Hier können die Kunden auch beraten (Steffen 2002) und über den ökologischen Vorteil und Nutzen von Kompost und Kompostprodukten informiert werden:

- Kompost als nachwachsender Rohstoff
- Schonung der fossilen Ressource Torf und Ver-

meidung aller mit dem Torfabbau verbundenen negativen Umweltfolgen (auch im Naturschutz)

- Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Humusaufbau, Aktivierung des Bodenlebens, Durchlüftung, Pflanzenernährung, Erleichterung der Bodenbearbeitung durch erzielbare feinkrümelige Struktur, Schließung von Stoffkreisläufen
- Qualitätsgeprüft – wie jedes andere Produkt auch

Musterbepflanzungen können augenscheinlich zeigen, dass sich Kompost positiv auf die Pflanzengesundheit und Frohwüchsigkeit der Kulturen auswirkt. Dies trägt zur Vertrauensbildung bei.

Bewährt haben sich Flyer, Hinweisschilder, Plakate, Schautafeln und Preisinformationen (auch im Vergleich zu Konkurrenzprodukten), die mit Praxisbeispielen über die Einsatzbereiche der unterschiedlichen Komposte und Kompostprodukte informieren und über die richtigen Anwendungsmengen und -weisen aufklären. Ein sogenannter Erdstern – ein Gestell mit Fächern, die verschiedene Produkte enthalten – hat den Vorteil, dass man die Produkte befühlen kann.

Dies alles ersetzt jedoch keine persönliche Beratung. Ihr muss im Gegenteil ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. Insbesondere Logistik- und Produktionsmitarbeiter müssen über Fachkenntnisse verfügen, sich mit dem Produkt und ihrem Unternehmen identifizieren sowie kompetent und überzeugend beraten können. Aktionstage wie öffentliche Bepflanzungsaktionen in Zusammenarbeit mit Vereinen, Einrichtungen oder Naturschutzverbänden sind wichtige Elemente der Öffentlich-

keitsarbeit, die auf einer langfristigen Strategie aufbauen muss.

### 3.5 Fazit zum Kompostabsatz

Bei der Konzeption der Bio- und Grüngutverwertung beziehungsweise der Entwicklung eines entsprechenden Stoffstrommanagementsystems sollten die Absatzmöglichkeiten der Komposte und der auf Basis von Komposten herstellbaren Produkte (Abb. 23) Schritt für Schritt geprüft werden, beginnend bei den Optionen, die aus ökologischer und ökonomischer Sicht mit den höchsten Potenzialen verbunden sind:

1. *Gibt es eine Nachfrage nach Substratkomposten?*  
Prüfen der Nachbarschaft zu Erdenwerken ([www.bth-online.org](http://www.bth-online.org); [www.vhe.de](http://www.vhe.de); [www.kompost.de](http://www.kompost.de); [www.substrate-ev.org](http://www.substrate-ev.org)), wenn ja:
  - Getrennte Herstellung eines nährstoffarmen Fertigkomposts
  - Eventuell separate Sammlung und Verwertung von Grüngut und Gartenabfällen
  - Bei Stoffstromtrennung auf ausreichend holzige nährstoffarme Anteile im Ausgangssubstrat achten; entsprechende Abgrenzung zur Holzhackschnitzel-Vermarktung
2. *Gibt es Bedarfe für nährstoffarme Komposte oder einfache Pflanz- und Blumenerden?*  
Prüfen der Absatzmöglichkeiten an Erdenwerke oder den Garten- und Landschaftsbau, an Kommunen, Privathaushalte oder für Sonderkulturen – tendenziell steigen die Absatzmöglichkeiten mit dem wachsenden Siedlungsflächenanteil.

**BEI DER KONZEPTION DER BIO- UND GRÜNGUTVERWERTUNG SOLLTEN DIE ABSATZMÖGLICHKEITEN DER KOMPOSTE UND DER AUF BASIS VON KOMPOSTEN HERSTELLBAREN PRODUKTE SCHRITT FÜR SCHRITT GEPRÜFT WERDEN.**

Wenn ja:

- Separate Kompostierung von eher nährstoffarmem Grüngutmateriale
- In der Regel ist auch die Vergärung des Bioabfalls und die Abtrennung des nährstoffreichen Überschusswassers ausreichend.

### 3. Absatz in der Landwirtschaft

Auch für diesen Markt sollte möglichst Fertigkompost hergestellt und vermarktet werden. Dies erweitert das Absatzspektrum innerhalb der Landwirtschaft und ermöglicht zudem den Absatz von Komposten für andere Anwendungsbereiche, insbesondere in Richtung Privathaushalte.

Da der Rotteprozess in einer Behandlungsanlage abgeschlossen wird und nicht teilweise auf den Ackerböden erfolgt, sind Fertigkomposte zudem mit geringeren Umweltbelastungen verbunden als Frischkomposte.

Handelt es sich eher um ein ländliches Umfeld mit hohem Absatzpotenzial in die Landwirtschaft, schließt dies den Absatz von Frischkomposten nicht aus. Die Anlage wäre in diesem Fall auf Fertigkompost auszurichten, verbunden mit der Möglichkeit, bei saisonal starker Nachfrage aus der Landwirtschaft auch „nicht fertige“ Komposte abgeben zu können. Der Absatz in Richtung Landwirtschaft ist von der Vegetation und Fruchtfolge der zu beliefernden Betriebe abhängig und somit nicht ganzjährig möglich.

Auch für den Absatz klassischer Bioabfallkomposte beziehungsweise kompostierter Gärrückstände sollte der Standort so gewählt werden, dass ein möglichst breites Spektrum an Märkten mit einer möglichst großen Anzahl potenzieller Kunden vorhanden ist, innerhalb und außerhalb der Landwirtschaft. Nachfragekartelle müssen vermieden werden.

#### ABSATZ VORHANDEN FÜR:

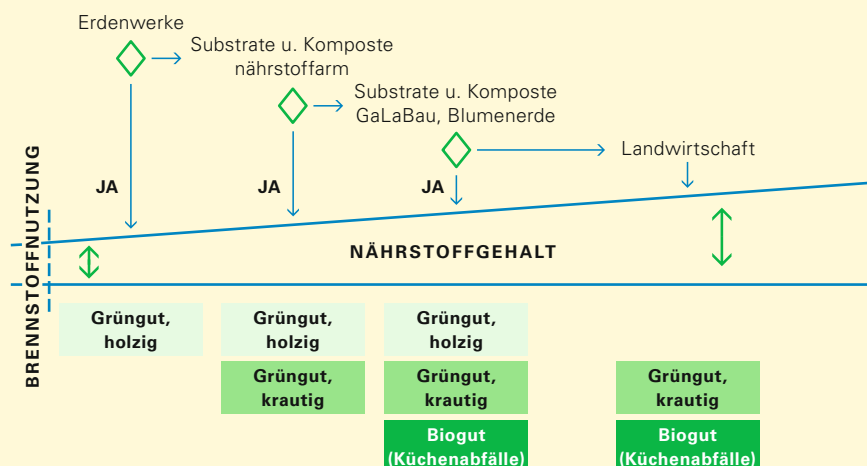


ABB. 23: ENTSCHEIDUNGSBAUM FÜR DIE KOMPOSTVERMARKTUNG

## 4. Verwertung von Grüngut

Als Grüngut werden die Pflanzenabfälle bezeichnet, die von privaten Haushaltungen, Gewerbebetrieben oder der öffentlichen Hand wegen ihrer Beschaffenheit, also ihrer Größe, Sperrigkeit und Masse, getrennt von der Biotonne gesammelt werden. Hierzu zählen Garten- und Park-, Friedhofs- und Landschaftspflegeabfälle sowie Verkehrswegebegleitgrün und Baum-, Strauch- und Rasenschnitt aus privaten Gärten. Grüngut wird häufig in „krautig“ oder „saftend“ und „holzig“ unterteilt. „Krautig“ oder „saftend“ sind zum Beispiel Gras, frische Pflanzenreste und Heckenschnitt. Zur Kategorie „holzig“ zählen Ast- und Strauchwerk.

Aufkommen und Qualität des Grünguts sind saisonal und regional sehr unterschiedlich (Tab. 5). Die größten Mengen entstehen während und zum Ende der Vegetationsperiode bis in den Herbst hinein. Halmartiges und krautiges Material wie Rasenschnitt und Beikräuter fallen relativ konstant über die gesamte Wachstumsperiode an, holziges Material wie Baum- und Strauchschnitt hingegen vor allem im Herbst und Winter. Auch das regionale Klima, die spezifische Größe der Vegetationsflächen und Besonderheiten wie die Lage in Obstbauregionen oder die Siedlungs- und Bebauungsstruktur wirken sich auf die Zusammensetzung, Qualität und Menge des Grünguts aus. Wie viel letztendlich erfassbar ist, hängt natürlich auch vom Erfassungssystem (Hol- und Bringsysteme) sowie der Erreichbarkeit und Anzahl der Grüngutsammelplätze als Übergabemöglichkeit und der Gebührenstruktur ab.

**TAB. 5: CHARAKTERISIERUNG VON GRÜNGUT EINER BEISPIELREGION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER JAHRESZEIT**

	Qualität	Abtrennquote holzig (vom Gesamtinput)	Vorbehandlung	Heizwert
<b>SOMMER</b>	Große Anteile an frischen, strukturarmen Vegetationsabfällen Hoher Wassergehalt	15–25 %	Abtrennung Nassorganik Biologische Trocknung	um 1,6–2,0 kWh/kg
<b>HERBST</b>	Weniger frische Vegetationsabfälle, mehr Laub Erhöhter Wassergehalt	rund 20–30 %	Eventuell biologisch trocknen	um 1,8–2,2 kWh/kg
<b>WINTER</b>	Hoher Anteil an holzhaltigen Bestandteilen Geringerer Wassergehalt	bis 50 %	Eventuell biologisch trocknen	bis über 3,0 kWh/kg
<b>FRÜHLING</b>	Holzige Bestandteile mit zunehmenden Anteilen frischen Vegetationsabfällen	rund 15–30 %	Abtrennung Nassorganik Eventuell biologisch trocknen	um 1,8–2,2 kWh/kg

### 4.1 Aufbereitung der Grüngutbiomasse

Die Verwertung eher holziger Anteile erfolgt vorzugsweise thermisch durch Verbrennung in Feuerungsanlagen. Krautiges Material, Laub und ein notwendiger Anteil an Strauchschnitt als Strukturmaterial eignen sich gut für die aerobe Behandlung, mit dem Ziel, einen hochwertigen Kompost herzustellen. Darüber hinaus sollte sehr saftendes Grüngut, wie zum Beispiel Rasenschnitt, anaerob behandelt werden.

Deshalb werden die verschiedenen Fraktionen des Grünguts im Idealfall bereits getrennt gesammelt. Holsysteme decken in der Regel eher holzige, bün-



delfähige Materialien ab, das Holsystem „Laubsack“ jedoch eher Laub und krautiges Material. Auch bei Bringsystemen ist die separate Sammlung möglich, indem man unterschiedliche Annahmestellen und Container einrichtet oder sich auf holziges Material beschränkt.

Gemischt angeliefertes Grüngut kann gesiebt werden. Bei dieser einfachen und viel praktizierten Art der Vorbehandlung reichert sich das zur thermischen Verwertung geeignete Material im Überkorn an (z. B. größer 80 mm). Deutlich erschwert wird die Siebung, wenn Zusammensetzung und Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsmaterials ständig schwanken. In Abbildung 24 sind die verschiedenen Wege der Grüngutaufbereitung dargestellt.

#### 4.1.1 Aufbereitungsstrategie zur thermischen Nutzung

Aufgrund der Heterogenität der Ausgangsmaterialien unterscheidet sich Grüngut als Brennstoff zwar gravierend von herkömmlichen Holzhackschnitzeln, dennoch ist er qualitativ hochwertig und weist gute Verbrennungseigenschaften auf. Zumindest bei kleineren Verbrennungsanlagen muss das Grüngut allerdings vor der thermischen Verwertung aufbereitet werden.

Feuchtorganische Biomasse wie zum Beispiel Rasenschnitt wird möglichst getrennt erfasst und gelagert und kann ohne vorherige Zerkleinerung der Rotte oder Vergärung zugeführt werden. Grüngut mit holzigen Anteilen sowie reiner Baum- und Strauchschnitt können zusammen gelagert und mit mobilen Geräten wie zum Beispiel Walzenzerkleinerern

aufbereitet werden; in der Regel geschieht dies monatlich. Material, das nicht als Strukturgeber für den Kompostierungs- und Vergärungsprozess oder zur Herstellung von nährstoffarmen Komposten benötigt wird, lässt sich somit als Brennstoff vermarkten.

Das zerkleinerte Grüngut wird dazu für einen Monat zu einer Miete aufgesetzt. Während dieser Zeit werden primär feuchtorganische Bestandteile abgebaut. Dabei wird Wärme freigesetzt, was einen Selbsttrocknungsprozess bewirkt. Dadurch können Feinkorn und Erdanhaftungen leichter abgetrennt werden, wodurch sich der Aschegehalt des Brennstoffs deutlich verringert. Das so vorgetrocknete Material wird dann zum Beispiel mit Hilfe eines Sternsiefs separiert.

Danach wird das Feinkorn gemeinsam mit den bei der Grüngutannahme separat erfassten feuchtorganischen Abfällen, die nicht in die Vergärung gehen, zu Rottemieten aufgesetzt und zu Kompost verarbeitet. Auch die Vermarktung als Frischkompost ist möglich, da das Material während der einmonatigen Konditionierungsphase bei einer Mindesttemperatur von 55 °C hinreichend hygienisiert wird (siehe Kap. 4.5.). Eine separate Weiterbehandlung des Feinkorns zu Fertigkompost ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Analyse der Vermarktungsmöglichkeiten für Kompost (siehe Kap. 3) ein Absatzpotenzial für nährstoffarme Fertigkomposte ergeben hat.

Das Mittelkorn wird als Brennstoff vermarktet. Das Material sollte vor Niederschlag geschützt gelagert werden, denn dadurch steigt der TS-Anteil und damit auch der Heizwert. Das für die thermische

ES KANN EIN QUALITATIV HOCHWERTIGER BRENNSTOFF MIT GUTEN VERBRENNUNGSEIGENSCHAFTEN ERZEUGT WERDEN.



Verwertung noch ungeeignete Überkorn muss ein zweites Mal zerkleinert werden.

Alternativ kann das Feinkorn auch der Biomasse aus der Biotonne zugeführt und insbesondere als Strukturmaterial zur Nachrotte von Gärrückständen genutzt werden.

Je nach Randbedingungen sollte angestrebt werden, die Nassorganik über die Bioabfallvergärung zu verwerten.

#### 4.1.2 Aufbereitungsstrategie zur Abtrennung einer vergärbaren Fraktion

Je nach Erfassungssystem und Jahreszeit ist im Grüngut ein hoher Anteil vergärbare Bestandteile wie Rasenschnitt und krautiges Material enthalten. Analysen in verschiedenen Regionen haben gezeigt, dass in den Sommermonaten ein Massenanteil von 25 bis 50 Prozent für die anaerobe Behandlung abgetrennt werden kann.

In der Regel handelt es sich um die Fraktion zwischen 30 und 80 Millimeter. Die Feinfraktion ist durch einen höheren Aschegehalt (Erden, Sand, Rinden), einen geringen Gehalt an organischer Substanz sowie einen geringen Heizwert charakterisiert. Das Überkorn besteht im Wesentlichen aus holzigem Material mit entsprechend höheren Heizwerten. Tabelle 6 gibt beispielhaft die stofflichen Eigenschaften der verschiedenen aus gemischtem Grüngut gewonnenen Fraktionen wieder.

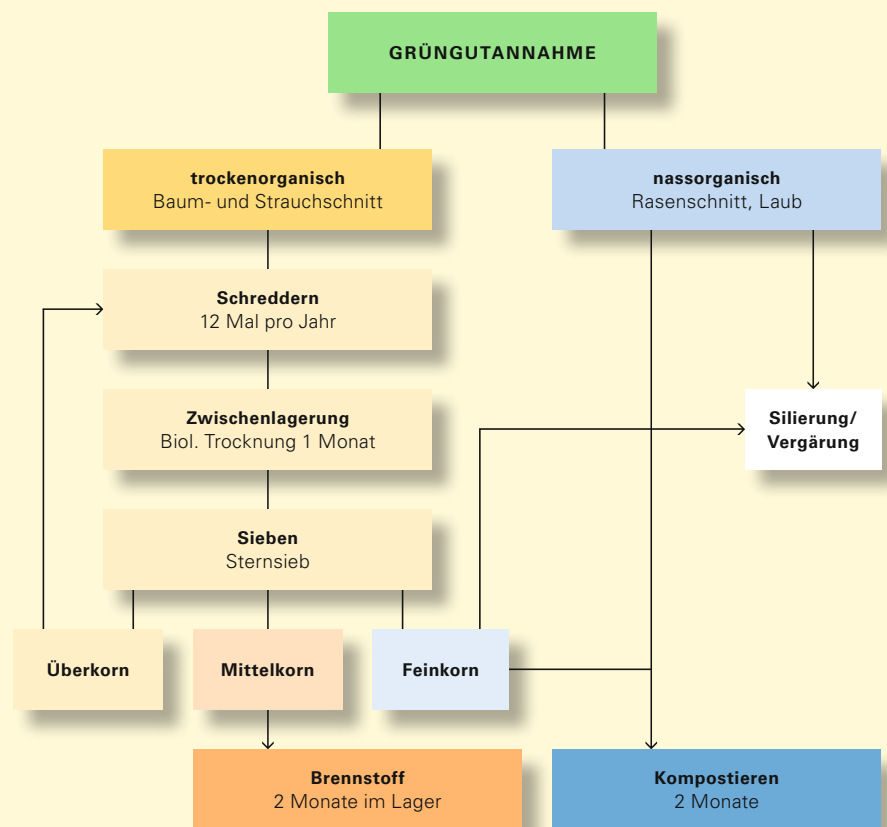


ABB. 24: SCHEMA DER GRÜNGUTAUFBEREITUNG



Trennt man die vergärbare Fraktion ab, muss sie zeitnah aufbereitet – im ersten Arbeitsschritt zum Beispiel mit einem Sternsieb – und der Vergärungsanlage zugeführt werden, da sonst bereits der aerobe Abbau der organischen Substanz beginnt.

Gerade für das krautige Grün­gut aus privaten Haushaltungen dürfte die Bereitstellung von Biotonnen, gebührenpflichtigen Papiersäcken oder Biobeuteln das Mittel der Wahl sein. Während der Vegetationsperiode lassen sich so die Massen zeitnah zusammen mit dem Biogut einer Verwertung zuführen – und dies in einem für den Abfallerzeuger attraktiven System.

Will man größere Mengen krautiges Grün­gut in einer Vergärungsanlage verarbeiten und deren Kapazität optimal ausnutzen, kann das Material vorab siliert werden.

## 4.2 Randbedingungen für Grün­gut als Brennstoff

Seit Januar 2015 gelten für neu errichtete Hackschnitzel- und Pelletheizungen deutlich strengere Emissionsanforderungen (1. BImSchV). Damit diese Grenzwerte nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch bei der wiederkehrenden Überwachung durch den Schornsteinfeger eingehalten werden, müssen Heizungsanlagen und Brennstoffe bestimmte Anforderungen erfüllen.

Unbedingt zu beachten ist, dass je nach Heizung oft nur Hackschnitzel in bestimmter Qualität verwendet werden dürfen. Insbesondere Betreibern kleinerer Hackschnitzelheizungen mit Austragungs- und Fördersystemen, die nicht auf größere Anteile Feinmaterial oder Hackgut mit erheblicher Überlänge ausgelegt sind, kann hier die Klassifizierung der Hackschnitzel über Zertifizierungen eine Orientierung bieten.

Grundsätzlich ist gerade bei automatischen Kleinfeuerungsanlagen für einen ordnungsgemäßen Betrieb eine möglichst gleichbleibende Brennstoffqualität erforderlich. Dies ist mit Hackschnitzeln aus Grün­gut naturgemäß nicht einfach zu gewährleisten. Schließlich sind staubbildende Elemente überwiegend zum Beispiel in Nadeln, Blättern und Rinde enthalten, und deren Anteil ist im Grün­gut höher als im Waldhackgut. Auch ein hoher Anteil Humus und Mineralboden kann zu einem erhöhten Gehalt an Elementen führen, die kritisch für den Verbrennungsablauf und die Emissionen sind, Beispiele sind Stickoxide und Chlor.

**TAB. 6: QUALITÄT VON FRISCHEM GEMISCHTEM GRÜNGUT EINER SOMMERCHARGE (BEISPIELREGION)**

Fraktion	Anteil [%]	TS [%]	H <sub>2</sub> O [%]	OS [%]	Asche [%]	Cl [mg/kgTS]	Hu [kJ/kg]	Hu [kWh/kg]
> 80 mm	2,7	48,0	52,0	38,7	9,3	1.250	6.041	1,7
30–80 mm	24,1	44,8	55,2	34,2	10,6	1.786	4.913	1,4
< 30 mm	73,2	51,1	48,9	19,6	31,5	1.370	2.723	0,8

Daneben sind bei der thermischen Verwertung von aufbereitetem Grüngut folgende stoffliche Eigenschaften zu beachten (Bakowies, 2009):

- Stückigkeit je nach Aufbereitung, in der Regel Korngrößen zwischen 100 und 150 Millimeter mit auffälligen Überlängen bis 300 Millimeter
- Wassergehalt bis 50 Prozent unvorbehandelt; Wassergehalt zwischen 20 und 30 Prozent nach drei bis vier Monaten trockener Lagerung
- Anteil unverbrennbarer Bestandteile – Grüngut enthält neben hohen Rindenanteilen oftmals auch Steine und Schotter

Die Qualität des aus Grüngut gewonnenen Brennstoffs sollte regelmäßig überprüft werden. Von Belang sind insbesondere das Ascheschmelzverhalten, Chlor- und Schwermetallgehalte sowie der Heizwert. Die Überprüfung sollte anhand einer repräsentativen Chargenanzahl erfolgen, die nach Möglichkeit den gesamten Jahresverlauf abdeckt, da sich die verbrennungstechnischen Eigenschaften der Brennstoffe übers Jahr ändern können.

Eine Orientierung im Hinblick auf die Qualitätsmerkmale bietet die seit 2014 gültige Brennstoffnorm DIN EN ISO 17225-4. Sie bezieht sich ausdrücklich auf die Nutzung von Brennstoffen in Kleinf Feuerungsanlagen und spezifiziert im Wesentlichen die Korngrößenverteilung (u. a. Partikelgrößen, Fein- und Grobanteil).

Grundsätzlich ist bei der Nutzung von Hackschnitzeln aus Grüngut darauf zu achten, dass die Feuerungsanlagen speziell für das spezifische Material ausgelegt (Einzug, Lagerung, Ascheabzug etc.) und mit ausreichend emissionsminimierender Technik

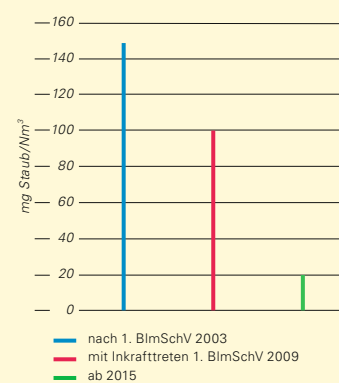
ausgestattet sind (Filtertechnik, Staubabscheider, Abgasführung, Brennraumauslegung etc.).

Inzwischen haben mehrere Anbieter im Leistungsbereich von rund 300 Kilowatt bis 1 Megawatt Feuerungsanlagen mit speziell modifizierten Lagerungs- und Eintragssystemen für aufbereitetes Grüngut im Programm.

Welche Emissionen je nach Feuerungswärmeleistung der Anlage zulässig sind, wird in den Verordnungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) geregelt. Verbrennungsanlagen, in denen grüngutbürtige Brennstoffe eingesetzt werden, sind als Verbrennungsanlagen zur Verwertung von naturbelassenen Hölzern eingestuft. Emissionsgrenzwerte für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung unter 1 Megawatt sind in der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) zu finden; Emissionsgrenzwerte von Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung oberhalb von 1 Megawatt sind in der TA-Luft festgelegt. Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von über 50 Megawatt unterliegen der 13. BImSchV.

Seit 2015 gilt nach Novellierung der 1. BImSchV ein Grenzwert für Staubemissionen von 20 Milligramm pro Normkubikmeter (Abb. 25); dies erfordert die Installation von elektrostatischen Filtersystemen und Gewebefiltern.

Je besser das Holz beziehungsweise das Holzige Grüngut aufbereitet und je höher die Produktqualität ist, umso einfacher stellt sich prinzipiell die Vermarktung dar. Denn dieser emissionsarme Brennstoff kann auch in konventionellen Klein-



**ABB. 25: ENTWICKLUNG DER GRENZWERTE FÜR STAUBEMIS- SIONEN FÜR WÄRMEERZEU- GUNGSANLAGEN MIT EINER FEUERUNGSWÄRMELEISTUNG BIS 1 MEGAWATT**

feuerungsanlagen eingesetzt werden. Derzeit lässt sich ein Preis von 40 bis 60 Euro pro Tonne (frei Anlage) erzielen – also deutlich weniger als für Holzhackschnitzel (100 €/Tonne) und Sägeresthölzer. Abbildung 26 zeigt die Preisentwicklung von verschiedenen Brennstoffen im Vergleich.

Selbst für nicht aufbereitetes oder nur zerkleinertes Grüngut lässt sich derzeit ein Erlös von 10 bis 20 Euro pro Tonne erzielen. Dies zeigt, dass eine hohe Nachfrage besteht. Sie wird künftig eher noch steigen, sodass sich die Erlöse weiter verbessern werden.

#### BEISPIEL EINES KOMMUNALEN VERWERTUNGSKONZEPTS FÜR BRENNSTOFF AUS GRÜNGUT

Beim Aufbau oder der Optimierung eines kommunalen Erfassungs- und Verwertungskonzepts für Grüngut bietet sich die regionale Verwertung der Brennstoffe in eigenen kommunalen Liegenschaften an. Minimierte Transportleistungen und ein

günstiger und langfristig zur Verfügung stehender Brennstoff steigern nicht nur die regionale Wertschöpfung, sondern verbessern auch die ökologischen Randbedingungen.

Im Wesentlichen wird die reine Wärmeerzeugung in Kleinf Feuerungsanlagen bis 1 Megawatt eine Rolle spielen, da in öffentlichen Liegenschaften der Bedarf an Wärme die technische Auslegung einer KWK in der Regel nicht ermöglicht. Wichtig ist, dass die Feuerungsanlagen sowie die Lagerung und Zuführung speziell auf Brennstoffe aus Grüngut ausgelegt sind. Nutzt man sie in konventionellen Waldhackschnitzelanlagen, führt dies oft zu Problemen beim Einzug und Brennverhalten.

Je nach angesetzten Wärmeerlösen können für Hackschnitzel aus Grüngut Deckungsbeiträge zwischen 40 und 80 Euro je Tonne verrechnet werden. Mit diesen Erlösen lassen sich in der Regel wesentliche Aufwendungen bei der Aufbereitung der Hackschnitzel aus Grüngut kompensieren.

#### HACKSCHNITZELHEIZANLAGE IM LANDRATSAMT SIGMARINGEN

Der Landkreis Sigmaringen erfasst große Mengen an Grüngut über viele gemeindenahere Recyclinghöfe und bereitet das holzige Material zu hochwertigen Hackschnitzeln auf. Sie werden getrocknet und zum Beispiel als Brennstoff für eine Hackschnitzelheizung im Landratsamt (Abb. 27) verwertet. Die erzeugte Wärmeenergie deckt rund 75 Prozent des Energieverbrauchs des Landratsamtes, der Kfz-Zulassungsstelle und des Werkstattgebäudes ab. Der Feinanteil aus dem Grüngut wird ordnungsgemäß nach BioAbfV kompostiert und regional verwertet.

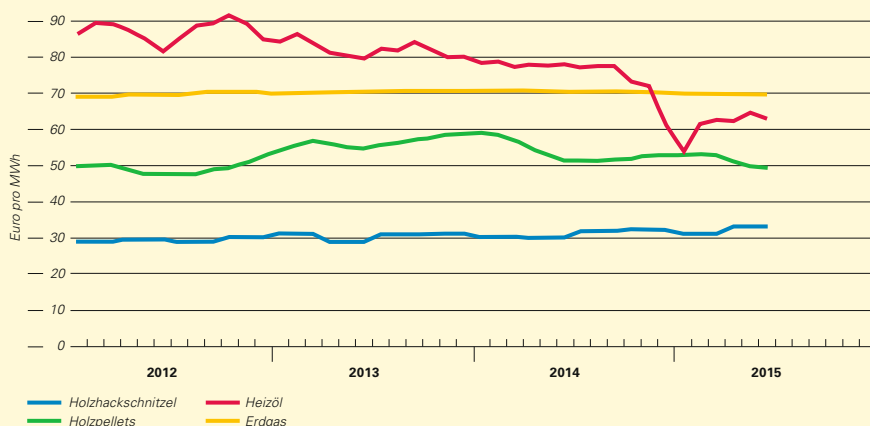


ABB. 26: PREISENTWICKLUNG BEI HOLZHACKSCHNITZELN, HOLZPELLETS, HEIZÖL UND ERDGAS (C.A.R.M.E.N. E. V. 2015)



ABB. 27: AUFBEREITUNG VON GRÜNGUT; HEIZANLAGE IM LANDRATSAMT SIGMARINGEN

### 4.3 Randbedingungen für die Kompostierungsfraktion

Beim vorgestellten Stoffstromkonzept werden das abgetrennte Feinmaterial aus der Grüngutaufbereitung sowie der krautige Anteil – falls er nicht in einer Vergärung verwertbar ist – der Grüngutkompostierung zugeführt. Im Falle eines Siebschnitts von 80 Millimeter können sie ohne Zugabe von Strukturmaterial zu Kompost verarbeitet werden.

Bei einer reinen Grüngutkompostierung, die dezentral im Entsorgungsgebiet und damit für kleinere Massenströme ausgelegt werden kann, lassen sich die Anforderungen an die Behandlungstechnik beschränken. Auf zentralen Rotteplätzen wird das Material zu Mieten aufgesetzt und einer kontrollierten Rotte unterzogen. Um einen optimalen Pro-

zess und eine Hygienisierung zu gewährleisten, werden die Mieten in Intervallen mit einem speziellen Mietenumsetzer umgesetzt. Er kann mit einem Tieflader transportiert und damit auf mehreren Grüngutkompostierungsanlagen sowie bei der Nachrotte der Gärrückstände aus der Bioabfallbehandlung eingesetzt werden. Alternativ kann die aerobe Rotte des Grünguts auch in großtechnischen Kompostierungsanlagen mit aktiver Be- und Entlüftung erfolgen.

Auch der Betrieb kleinerer Kompostierungsanlagen muss fachkundig geführt werden. Schließlich sind, je nach biologischen Prozessen, Maßnahmen zur Sicherung der Emissionsstandards und Produktqualitäten erforderlich. Die Mieten sind auf abgedichteten Flächen zu errichten. Der Grüngutkompost muss einer Gütesicherung unterzogen

werden; angesichts der angestrebten Absatzwege als Fertigungskompost sollte er den Rottegrad V aufweisen. Die Komposte sind aufzubereiten, verlässlich von Fremdstoffen zu befreien und gegebenenfalls konfektioniert zu vermarkten.

Grüngutteilströme, die nicht getrennt kompostiert werden können oder bei denen dies nicht sinnvoll ist – beispielsweise Übermengen bei jahreszeitlichen Schwankungen – können dem Massenstrom des Bioguts und damit der Nachrotte der Vergärungsrückstände zugegeben werden.

#### 4.4 Randbedingungen für die Gärfraktion

In den Frühlings- und Sommermonaten besteht Grüngut zu einem erheblichen Anteil aus krautigem Material, das sich nicht nur direkt zu Kompost verwerten, sondern aus dem sich bevorzugt über eine Vergärungsanlage zunächst Biogas gewinnen lässt – mit anschließender Kompostierung. Das Biogaspotenzial der vergärbaren Fraktion aus dem Grüngut kann je nach Aufbereitung, Siebschnitt und Ausgangsmaterial zwischen 60 und 90 Normkubikmeter pro Tonne betragen (IGLux, 2011).

Eine Abgabe an landwirtschaftliche Biogasanlagen ist nur dann möglich, wenn sie entsprechende Kapazitäten für einen derart diskontinuierlichen, heterogenen Massenstrom bieten und eine abfallrechtliche Zulassung vorweisen können, die eine Hygienisierung gemäß BioAbfV einschließt. Bei vielen landwirtschaftlichen Nassfermentationsanlagen ist der Einsatz von Grüngut daher kaum möglich.

Der einfachere Weg ist die Behandlung zusammen mit dem Biogut aus Haushaltungen in einer abfallrechtlich zugelassenen Trockenfermentationsanlage. Da das diskontinuierlich anfallende vergärbare Grüngut dort sinnig integriert werden sollte, könnte eine vorherige Silierung sinnvoll sein. Das vergärbare Grüngut ist dann konserviert und lagerfähig und kann im Winter, wenn nur geringe Mengen an Biogut anfallen, die Auslastung der Anlage optimieren.

#### 4.5 Behandlungspflicht für Grüngut

Im Rahmen der Novellierung der BioAbfV im Jahr 2012 wurden neue gesetzliche Vorgaben zur Hygienisierung von Grüngut erlassen, die dessen Behandlung und Verwertung bei vielen Kreisen und Kommunen erneut auf den Prüfstand stellen. Bisher wird das Grüngut meist auf kommunaler Ebene über Sammelplätze erfasst, zerkleinert und entweder, ohne die stoffliche Komponente zu berücksichtigen, vollständig als Energieträger vermarktet oder unbehandelt auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Beide Entsorgungs- oder Verwertungswege werden dem wertgebendem Potenzial des Grünguts nicht gerecht.

Will man einen hochwertigen, vermarktbar Kompost erzeugen und der Hygienisierungspflicht nach BioAbfV genügen, muss Material, das nicht zur thermischen Verwertung aufbereitet wird, geordnet kompostiert oder vergärt werden. Es zu zerkleinern und direkt landwirtschaftlich auszubringen, ist heute nach der BioAbfV 2012 für die dort geregelten Anwendungsbereiche nicht mehr erlaubt und



nur in begründeten Einzelfällen mit einer gesonderten Freistellung möglich.

Zum Grüngut, das einer Behandlungs- und Untersuchungspflicht nach den §§ 3 und 4 BioAbfV unterliegt, gehören:

- Garten- und Parkabfälle
- Friedhofsabfälle
- Abfälle von Sportanlagen und Kinderspielplätzen
- Landschaftspflegeabfälle, Straßenbegleitgrün
- Pflanzliche Abfälle aus der Gewässerunterhaltung

Im Wesentlichen geht es um die Hygienisierung des Materials, zum Beispiel durch eine geordnete aerobe Rotte (Kompostierung) oder eine thermophile anaerobe Vergärung. Zu Recht ist eine Qualitätssicherung gefordert – es muss der Nachweis erbracht werden, dass die Komposte frei von keimfähigen Samen sowie seuchen- und phytohygienisch unbedenklich sind. Sie dürfen also die Gesundheit von Mensch und Tier nicht beeinträchtigen und keine Pflanzenkrankheitserreger sowie keimfähige Unkraut- und neophytische Samen enthalten. Somit müssen genehmigte Anlagen für die hygienisierende Behandlung des Grünguts mittels Kompostierung oder Vergärung vorhanden sein oder geschaffen werden.

#### 4.6 Randbedingungen für die Einrichtung von Grüngutsammelplätzen

Grundsätzlich ist zwischen Sammelplätzen sowie Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen zu unterscheiden. Auf Sammelplätzen wird das Grüngut

lediglich angenommen, zwischengelagert und gegebenenfalls vorzerkleinert. Derartige Sammelplätze müssen in der Regel immissionsschutzrechtlich genehmigt werden – je nach Größe entweder gemäß der 4. BImSchV Nummer 8.12.2 (Gesamtlagerung über 100 Tonnen) oder Nummer 8.11.2.2 (Durchsatzkapazität größer als 10 Tonnen je Tag).

Folgende Rahmenbedingungen sind zu beachten:

- Lagerzeitbegrenzung (Vermeidung von Rotteprozessen)
- Zugelassenes Grüngut
- Lagerung von Gras und krautigen Abfällen nur in dichten Containern oder auf abgedichteten Flächen
- Möglichst vor Niederschlägen geschützte Lagerung
- Einhaltung von Immissionswerten (Lärm, Staub)

Auch der Bau und Betrieb von Behandlungs- oder Kompostanlagen erfordert in der Regel eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung und einen baulichen Mindeststandard (Basisabdichtung, Entwässerungssystem, Einzäunung etc.).

**ECKPUNKTE ZUR AUSGESTALTUNG VON GRÜNGUTSAMMELPLÄTZEN SOWIE NACHWEIS- UND DOKUMENTATIONSPFLICHTEN**  
Mit der aktuell geltenden Fassung der Bioabfallverordnung (BioAbfV 2012) wurden die Behandlungs- und Untersuchungspflichten, Vorschriften zu Bodenuntersuchungen sowie Dokumentations- und Nachweispflichten für Bioabfall verschärft.

Das Umweltministerium will sicherstellen, dass die Vorgaben bei der Ausgestaltung von Grüngutsammelplätzen landesweit einheitlich umgesetzt werden.

Aus fachlicher Sicht werden in Anlehnung an das Vorgehen in Rheinland-Pfalz folgende Eckpunkte für sinnvoll gehalten, sofern das auf den bestehenden Grüngutsammelplätzen gesammelte Material unter Beachtung der Regelungen der BioAbfV hygienisiert wird und keine Freistellung gem. § 10 BioAbfV erfolgt ist.

*a) Ausgestaltung des Platzes*

Zur Qualitätsverbesserung werden eine Umzäunung des Platzes, bürgerfreundliche Öffnungszeiten sowie eine entsprechende personelle Ausstattung empfohlen. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

Zur Lagerung des Grünguts genutzte Flächen müssen befahrbar und abgedichtet sein – zum Beispiel mit Beton oder Asphalt. Bei Annahme „saftenden“ Materials und bei längerfristiger Lagerung – bei der davon auszugehen ist, dass das Material vorkompostiert wird – muss die entsprechende Fläche versiegelt werden. Alternativ können auch flüssigkeitsdichte Container eingesetzt werden. Das Grüngut darf bei Starkregen nicht abgeschwemmt werden. Ebenso muss das Abwasser gesammelt und behandelt werden.

*b) Annahmekontrolle*

Falls administrativ realisierbar und im Hinblick auf die ökologische Intention der BioAbfV zielführend, wird zur Qualitätsverbesserung eine Annahmekontrolle empfohlen. Wie das Beispiel des Landkreises Ludwigsburg zeigt, kann sie als Scout-System über Stichproben und gezielte Beratung erfolgen; hierfür müssen die Plätze stets zugänglich sein.

*c) Annahmedokumentationspflicht*

Die Dokumentation einzelner Anlieferungen ist nicht erforderlich.

*d) Dokumentationspflicht bei Abgabe an den Behandler*

Bei der Abgabe der einzelnen Chargen (Lkw-Ladung) an die Behandlungsanlage müssen Art, Menge und Anfallstelle – also der jeweilige Grüngutsammelplatz – dokumentiert werden.



# 5. Verwertung von Biogut

Wie eingangs ausgeführt, sollte das Biogut über das gesamte System hinweg optimal verwertet werden. Damit auch Überschussenergie vermarktet werden kann, sollte die Kompostherstellung deshalb mit einer Vergärungsanlage kombiniert werden.

Hier wird aus Teilen des im Bio- und Grüngut enthaltenen Kohlenstoffs Biogas erzeugt, ein Energieträger, aus dem wiederum direkt Strom und Wärme oder Biomethan hergestellt werden kann. Für diese Produkte gibt es verschiedene Nutzungsmöglichkeiten – nicht alle sind aus ökologischer und ökonomischer Sicht gleich sinnvoll.



ABB. 29: ALLGEMEINER VERFAHRENSABLAUF DER VERGÄRUNG

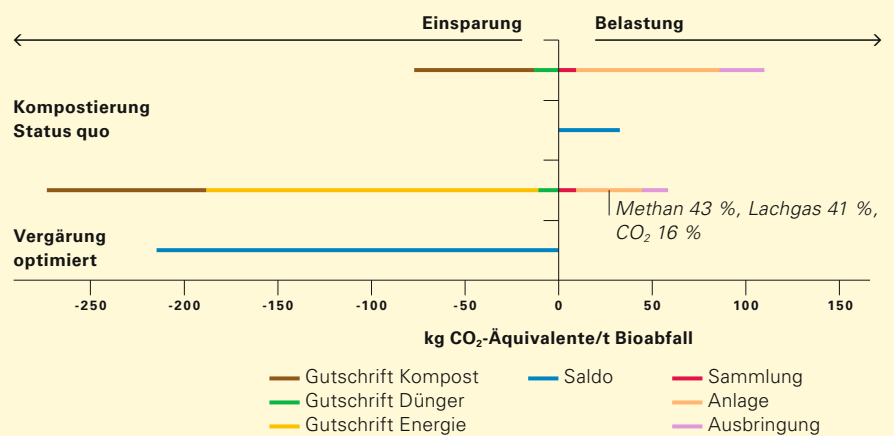


ABB. 28: ALTERNATIVE DER KOMPOSTIERUNG UND VERGÄRUNG VON BIOABFÄLLEN AUS SICHT DES KLIMASCHUTZES (LUBW/IFEU 2010)

Die Forcierung der Energieerzeugung aus regenerativen Quellen hatte zur Folge, dass die Vergärungstechnik in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewann. Sie ist inzwischen marktreif – wie auch die verschiedenen Biogasnutzungskonzepte.

Die Kaskadennutzung auf dem neuesten Stand der Technik (optimierte Vergärung inklusive emissionsminimierender Maßnahmen) ist dem Status quo der großtechnischen Kompostierung mit Abluftfassung und Reinigung bei durchschnittlicher technischer Auslegung der Anlagen und Vermarktung der Komposte ökologisch deutlich überlegen (Abb. 28).

Wichtig ist ein auf die spezifischen Rahmenbedingungen vor Ort optimal abgestimmtes Konzept. Dessen mögliche Systembausteine werden nachfolgend vorgestellt und bewertet. Abbildung 29 stellt einen allgemeinen Verfahrensablauf der Bioabfallvergärung dar.

## 5.1 Technische Lösungen der Bioabfallvergärung

Bioabfälle können mittels verschiedener Verfahren vergärt werden (Abb. 30). Unterschiede zeigen sich vor allem bei den TS-Gehalten des dem Fermenter zugeführten Materials, der Prozesstemperatur und -führung sowie im Stofffluss.

### KONTINUIERLICHE UND DISKONTINUIERLICHE FERMENTATION

Ein wesentliches Merkmal von Vergärungsverfahren ist die Prozessführung.

Bei *kontinuierlichen Verfahren* wird dem Fermenter in regelmäßigen Zeitintervallen Substrat zugeführt und eine entsprechende Menge Gärrest entnommen. So erzielt man eine kontinuierliche Biogas-

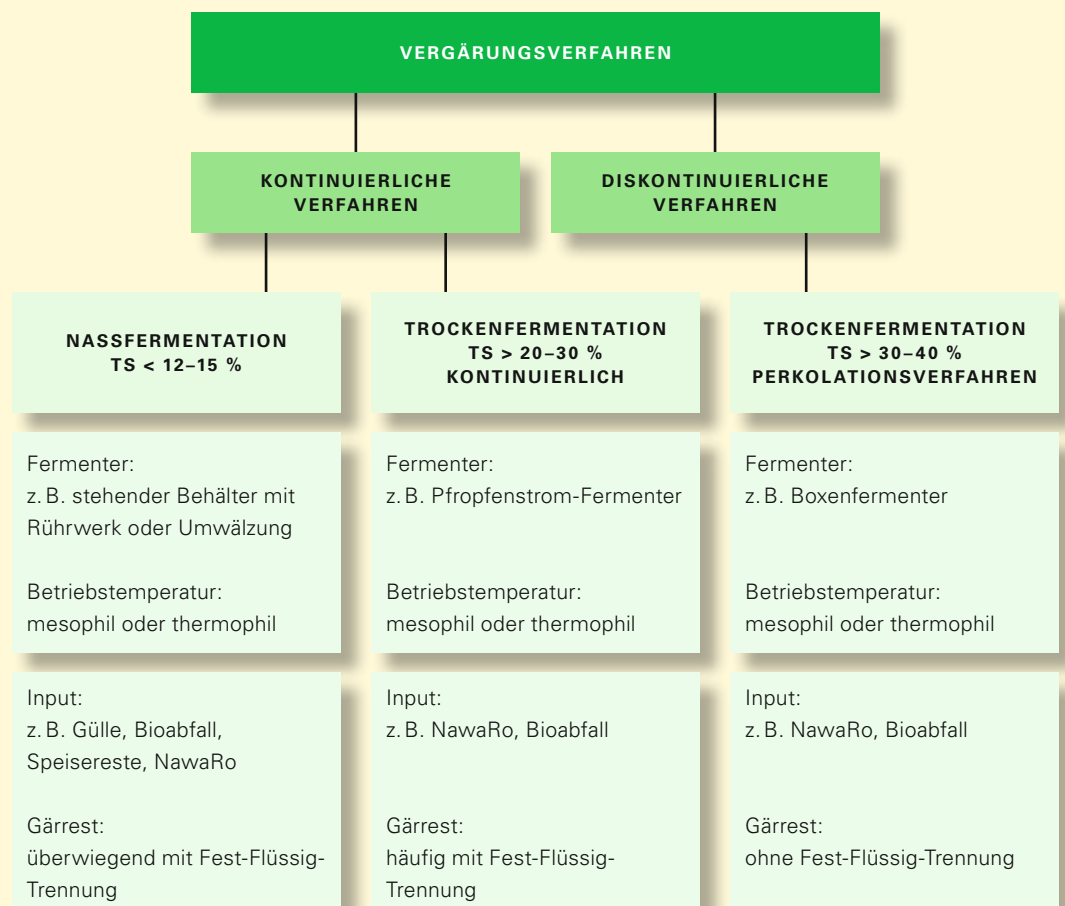


ABB. 30: KONTINUIERLICHE UND DISKONTINUIERLICHE VERGÄRUNGSVERFAHREN (NACH UBA 2010)

produktion mit gleichbleibender Qualität. Der Gärrest wird in der Regel in einen festen und einen flüssigen Teil separiert.

Bei *diskontinuierlichen Verfahren* werden die Fermenter (Boxen oder Container) entweder nur mit Substrat oder mit einem Gemisch aus Substrat und aktivem Material (Rückmischung von bis zu 40 Prozent des Gärrests) gefüllt und anschließend gasdicht verschlossen. Wird kein Gärrest zum „Animpfen“ des Materials beigegeben, wird die aktive Biomasse dem frischen Substrat durch intensive Perkolation zugeführt. Nach mehreren Wochen Verweilzeit werden die Fermenter entleert und neu befüllt. So lässt sich zwar in einem einzelnen Fermenter keine gleichmäßige Biogasproduktion und -qualität erreichen, dies kann jedoch durch mehrere parallel geschaltete Fermenter, die die verschiedenen Phasen zeitversetzt durchlaufen, sowie durch Perkolatspeicher weitgehend kompensiert werden. Bei diskontinuierlichen Vergärungsverfahren muss der Gärrest nicht entwässert werden. In der Regel ist es aber notwendig, nach der Vergärung externes oder aus der Aufbereitung des Fertigungskomposts gewonnenes Strukturmaterial zuzumischen. Einige Betreiber behandeln die Bioabfälle daher auch mittels sogenannter Teilstromvergärung, bei der gezielt Anteile des Grün-guts an der Vergärung vorbeigeschleust werden. Es dient dann bei der Nachrotte als Strukturmaterial.

#### **NASS- UND TROCKENVERFAHREN**

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bildet der TS-Gehalt im Fermenter.

Bei *Nassvergärungsverfahren* (Abb. 31) wird das Substrat durch Zugabe von Flüssigkeit – in der Regel

Presswasser aus der Gärrestaufbereitung, manchmal ergänzt durch Brauchwasser – auf einen TS-Gehalt von bis zu 15 Prozent angemischt, sodass es pump- und rührfähig wird. Gleichzeitig werden Inertstoffe wie Sand und Steine abgeschieden, die im Prozess technische Probleme hervorrufen könnten. Hierdurch erhöht sich der relative organische Anteil. In derartigen Anlagen erfolgt zumeist eine Vollstromvergärung – der gesamte Bioabfall wird angemischt und dem Fermenter zugeführt.

In den letzten Jahren wurden neuartige *zweistufige Vergärungsverfahren* entwickelt, bei denen durch Aufbereitung der Bioabfälle oder Gärreste eine weiter vergärbare Suspension erzeugt wird. Dabei wird der Bioabfall oder Gärrest mittels spezieller Aggregate abgepresst und damit ein flüssiger Teilstrom zur Nachvergärung in einer klassischen Nassvergärung gewonnen. Der verbleibende feste Gärrest kann anschließend aufgrund seines erhöhten TS-Gehalts optimal kompostiert werden. Es muss weniger Strukturmaterial beigegeben werden, weshalb sich die Aufwendungen für die Kompostierung reduzieren.

Besonders bewährt haben sich Nassvergärungsverfahren bei der Verwertung von Speiseabfällen und gewerblichen biogenen Abfallstoffen. Verfahrensbedingt bietet sich die Verarbeitung von pumpfähigen organischen Abfällen mit geringen TS-Gehalten an.

*Kontinuierliche Trockenverfahren* (Abb. 32) arbeiten bei Feststoffgehalten zwischen 20 und 40 Prozent. Liegen sie darüber, wird der Abbau durch den Wassermangel gehemmt. Deshalb wird das Input-

**NASSVERGÄRUNGSVERFAHREN HABEN SICH INSBESONDERE FÜR DIE VERWERTUNG VON SPEISEABFÄLLEN UND GEWERBLICHEN BIOGENEN ABFALLSTOFFEN BEWÄHRT.**

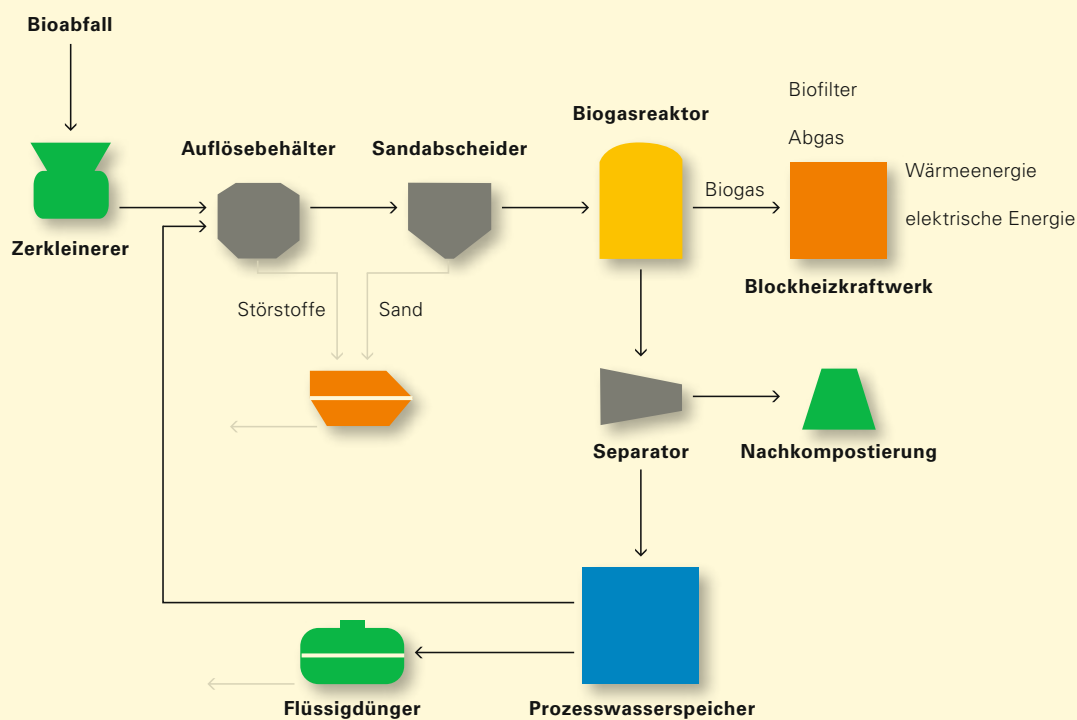


ABB. 31: BEISPIELHAFTES VERFAHRENSSCHEMA DER KONTINUIERLICHEN NASSVERGÄRUNG VON BIOABFÄLLEN (NACH BTA 2015)

TROCKENVERGÄRUNGSVERFAHREN WERDEN IN DEN LETZTEN JAHREN BEVORZUGT BEI DER VERWERTUNG VON FESTEN ABFÄLLEN WIE BIO- UND GRÜNGUT, UND DER ORGANIKFRAKTION AUS RESTABFÄLLEN EINGESETZT.

material mit Presswasser aus der Gärrestaufbereitung zu einer breiartigen Substanz verdünnt. Im Unterschied zu Nassvergärungsverfahren, bei denen die Fermenter voll durchmischte Rührreaktoren sind, werden bei Trockenvergärungsverfahren meist so genannte liegende oder aufrecht stehende Pfropfenstromfermenter eingesetzt, bei denen das Material gleich einem Pfropfen kontinuierlich hindurch transportiert und fermentiert wird.

Bei der *diskontinuierlichen Trockenvergärung* mit so genannten Boxenfermentern wird das stapelfähige Material in abgeschlossenen Boxen mit Perkolat

berieselt, einer biologisch aktiven Prozessflüssigkeit. Das Substrat wird mit einem Radlader in die Boxen eingebracht und verbleibt dort bis zum Ende der vorgegebenen Verweildauer. Häufig werden weder Abfälle zerkleinert noch Störstoffe abgetrennt, und das Substrat im Fermenter wird auch nicht vermischt. Bei dessen biologischem Abbau entwickelt sich in den Boxen Biogas. Da mit dem Perkolat auch Organik ausgewaschen wird, entsteht, je nach Perkolationsweise, auch im Perkolatspeicher eine entsprechende Menge Biogas. Das Perkolat wird im Kreislauf geführt, sodass nur wenig flüssige Reststoffe zu verwerten oder entsorgen

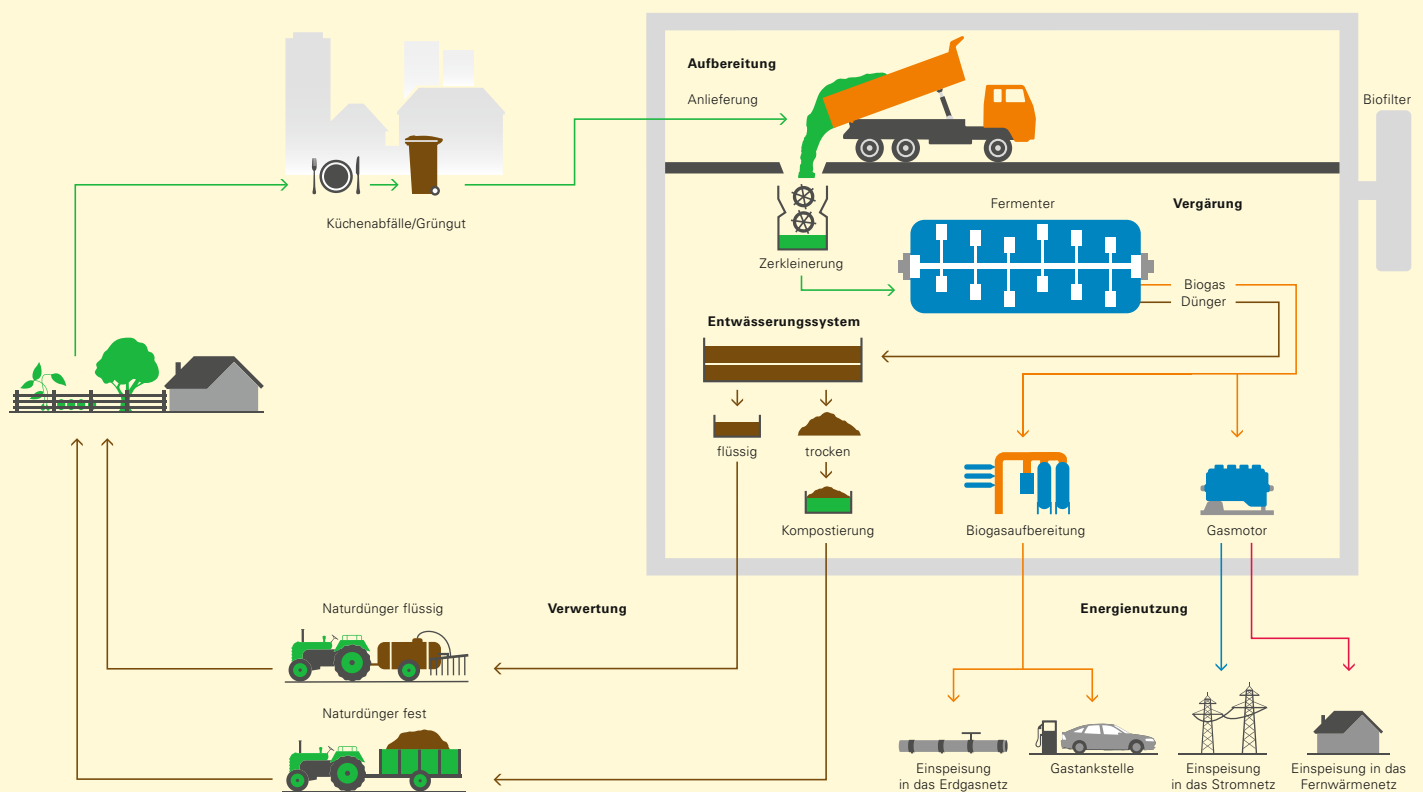


ABB. 32: BEISPIELHAFTES VERFAHRENSSCHEMA EINER KONTINUIERLICHEN TROCKENVERGÄRUNG VON BIOABFÄLLEN (NACH KOMPOGAS UTZENSTORF 2015)

sind. Die am Markt angebotenen Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Art und Weise der Perkolatation (periodisch, stoßweise oder kontinuierlich), der Beheizung der Fermenter (biologische Vorwärmung durch eine Belüftung, Beheizung der Fermenter selbst, Erwärmung des Perkolatwassers) und ihrem Anteil an rückgemischtem festem Gärrest.

Trockenvergärungsverfahren werden inzwischen vor allem zur Verwertung fester Abfälle wie Bio-

und Grüngut und der Organikfraktion aus Restabfällen eingesetzt. Zur Verarbeitung strukturreicher Materialien wie Grüngut bieten sich aufgrund der Verbesserung der Perkulierbarkeit des Haufwerks insbesondere die diskontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren an (Abb. 33). Bei kontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren wird bei der Verwendung von Grüngut hingegen der vergärbare Anteil wie Weichorganik (krautiges Grüngut) abgetrennt und verwertet.

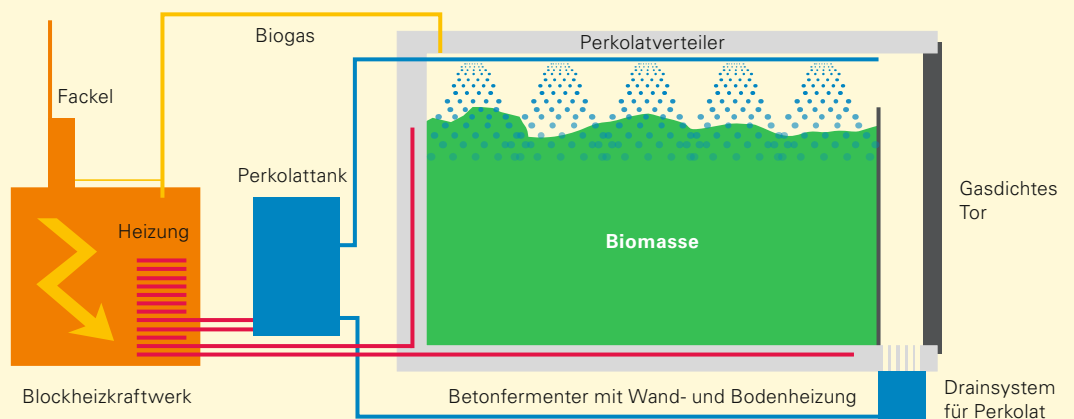


ABB. 33: BEISPIELHAFTES VERFAHRENSSCHEMA EINER DISKONTINUIERLICHEN TROCKENVERGÄRUNG IN BOXENFERMENTERN (NACH BEKON 2015)

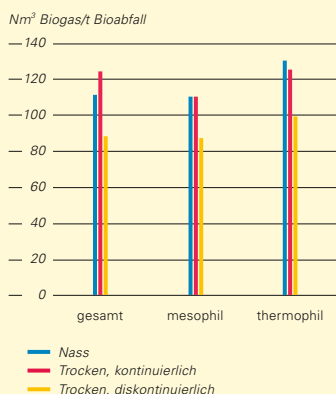


ABB. 34: BIOGASERTRÄGE BEI VERSCHIEDENEN VERGÄRUNGSVERFAHREN VON BIO- UND GRÜNGUT (BEZUG FERMENTER-INPUT) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BETRIEBSTEMPERATUR (FRICKE 2013)

### PROZESSTEMPERATUR

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bei den Vergärungsverfahren ist die Prozesstemperatur. Entweder sie arbeiten im mesophilen Temperaturbereich zwischen 37 und 40 °C oder im thermophilen zwischen 50 und 55 °C. Nach dem kontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren arbeitende Anlagen werden überwiegend im thermophilen Temperaturbereich betrieben, kontinuierliche Nass- und diskontinuierliche Trockenvergärungsanlagen bisher eher mesophil, seit kurzem vermehrt aber auch thermophil, insbesondere zur Sicherstellung einer prozessinternen Hygienisierung.

In der Regel wird der Fermenter entsprechend beheizt und in seltenen Fällen das Gärmaterial erwärmt, bevor es in den Fermenter eingebracht wird. Bei diskontinuierlichen Verfahren kann die benötigte Gärtemperatur aber auch durch Erwärmung des Perkolatwassers erzielt werden. Die thermische

Prozessenergie wird aus der Abwärme gewonnen, die bei der Verstromung des Biogases anfällt. Der Anteil überschüssiger Wärme, der anderweitig genutzt werden kann, ist bei thermophilen Verfahren geringer als bei mesophilen. Die Prozesstemperatur wirkt sich maßgeblich auf die Abbauraten, die Gasausbeuten und die Prozessstabilität aus. Beim thermophilen Betrieb werden höhere Gasausbeuten und Abbauraten erreicht. Dafür ist die mesophile Betriebsweise prozessstabiler.

Einige Anbieter erreichen die gesicherte Hygienisierung im Sinne der aktuellen BioAbfV bereits im Fermentierungsprozess durch eine thermophile Betriebsweise von mindestens 50 °C über die gesamte Verweildauer. In der Regel werden die festen Gärrückstände aber in der nachgeschalteten aeroben Gärrestbehandlung/Kompostierung hygienisiert. Die anfallenden Überschusswässer, aber auch die bei den Boxenverfahren entstehenden Perkolat-

überschüsse, müssen dann bei stofflicher Nutzung, beispielsweise durch eine landwirtschaftliche Verwertung, separat hygienisiert werden.

**BIOGAS-AUSBEUTEN**

Die durchschnittliche Biogasausbeute liegt bei diskontinuierlichen Trockenverfahren bei etwa 85 bis 100 Normkubikmeter pro Tonne Bioabfall. Bei kontinuierlichen Trockenverfahren kann mit einer Ausbeute von 110 bis 125 Normkubikmeter pro Tonne gerechnet werden. Abweichungen ergeben sich schon allein aufgrund der Tatsache, dass der Input „Biogut“ je nach Sammelsystem und Jahreszeit sehr unterschiedlich sein kann. Erfassen Haushaltungen zum Beispiel Nahrungs- und Küchenabfälle nur unzureichend und wird die Biotonne saisonal bedingt verstärkt zur Sammlung von Laub genutzt, hat dies erheblichen Einfluss auf die erzielbare Gasmenge. Bei kontinuierlichen Nassfermentationen ist die Biogasausbeute in etwa gleich hoch wie bei kontinuierlichen Trockenfermentationen, wie eine Erhebung bei über 60 Biogasanlagen im Rahmen eines vom BMU geförderten Projekts zeigt (Abb. 34).

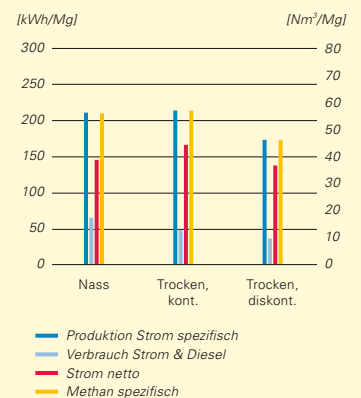
In jüngster Zeit gibt es bei diskontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren Ansätze zur Optimierung der Biogaserträge. Neben einer groben Vorzerkleinerung des Bio- und Grünguts, insbesondere zum Aufreißen von Gebinden und Säcken, wird die homogenere Vermischung der Abfälle mit dem rückgeführten Gärmaterial zum Animpfen des Fermenter-inhalts untersucht.

**EIGENENERGIEBEDARF**

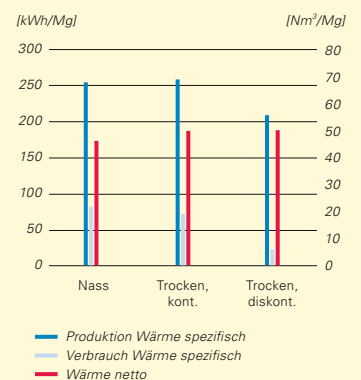
Für den Anlagenbetrieb wird Energie in Form von Wärme und Strom benötigt; sie kann aus der Verwertung des Biogases gewonnen werden. Der Eigenenergiebedarf bei der diskontinuierlichen Trockenfermentation beträgt 3 bis 10 Prozent der erzeugten elektrischen Energie und 10 bis 20 Prozent der erzeugten thermischen Energie. Er ist damit geringer als bei der kontinuierlichen Trocken- und Nassfermentation. Dies ist auf die sehr unterschiedliche Verfahrensgestaltung zurückzuführen (z. B. Durchmischung des Fermenter-inhalts, größere zu erwärmende Prozesswassermenge) (UBA, 2010).

Berücksichtigt man den Eigenenergieverbrauch, stehen bei der Biogasverwertung in einem BHKW die in Abbildung 35 dargestellten Strom- und die in Abbildung 36 dargestellten Wärmeausbeuten für die externe Nutzung beziehungsweise Einspeisung ins Stromnetz zur Verfügung. Bei der Beurteilung der Angaben ist zu berücksichtigen, dass der Eigenenergiebedarf sowohl von der eingesetzten Anlagentechnik abhängt als auch von standort- und genehmigungsspezifischen Gegebenheiten, wie beispielsweise Auflagen zur Einhausung der Anlagentechnik und Reinigung der belasteten Abluft. Auch der elektrische und thermische Wirkungsgrad der eingesetzten BHKW-Module wirkt sich auf die erzielbare Strom- und Wärmemenge aus.

Im Mittel bietet die kontinuierliche Trockenfermentation eine höhere Strom- und Wärmeausbeute. Trotz geringerer Eigenverbräuche erreichen Boxenvergärungsverfahren aufgrund niedrigerer Biogasausbeuten nicht die Netto-Ausbeuten der aufwendigeren Pfropfenstromverfahren.



**ABB. 35: STROMERZEUGUNG UND STROMBEDARF SOWIE NETTO-STROMAUSBEUTE BEZOGEN AUF DEN ANLAGEN-INPUT BEI NASS- UND TROCKEN-VERGÄRUNGSVERFAHREN VON BIO- UND GRÜNGUT (FRICKE 2013)**



**ABB. 36: WÄRMERZEUGUNG UND WÄRMEBEDARF SOWIE NETTO-WÄRMERZEUGUNG BEZOGEN AUF DEN ANLAGEN-INPUT BEI NASS- UND TROCKEN-VERGÄRUNGSVERFAHREN VON BIO- UND GRÜNGUT (FRICKE 2013)**



### WASSERBILANZ

Die Wasserbilanz und die daraus resultierenden Konsequenzen sind ein erheblicher Faktor bei der Prüfung der standortspezifischen Eignung eines Verfahrens.

Bei kontinuierlichen Verfahren fällt bei der Gärrestaufbereitung Presswasser an. Ein Teil davon wird zur Anmischung der Bioabfälle rückgeführt, der überwiegende Rest muss anderweitig verwertet oder entsorgt werden.

Bei der kontinuierlichen Trocken- und Nassfermentation fallen erhebliche Mengen an Überschusswasser an (Abb. 37). Da es anlagenintern in der Regel nicht verbraucht werden kann, muss es anderweitig verwertet oder entsorgt werden. Bei der Entsorgung beispielsweise in kommunalen Kläranlagen kann eine erhebliche weitergehende vorgeschaltete Aufbereitung notwendig sein. Weil dies mit erheblichen ökonomischen und ökologischen Lasten verbunden ist, sollte es möglichst vermieden und die flüssigen und hygienisierten Gärreste vorrangig in der Landwirtschaft verwertet werden. Bei der Anlagenplanung müssen entsprechende Lagerkapazitäten für flüssige Gärreste berücksichtigt werden. Wegen der zeitlichen Ausbringungsbeschränkungen sollten sie für neun Monate reichen.

Auch bei der diskontinuierlichen Trockenfermentation (Batch-Verfahren) fällt Überschusswasser aus der Perkolation an, allerdings nur in einer Größenordnung von 2 bis 6 Prozent des Materialinputs (Abb. 37). In der Regel wird es sukzessive ausgeschleust.

### FAZIT

Die letztendliche Auswahl der Verfahrenstechnik sollte auf Basis der im Rahmen von Ausschreibungen erzielbaren Angebote erfolgen. Die spezifischen Stärken einzelner Verfahrensansätze ergeben sich auch aus den unterschiedlichen Randbedingungen vor Ort.

#### ▪ *Durchsatzmenge*

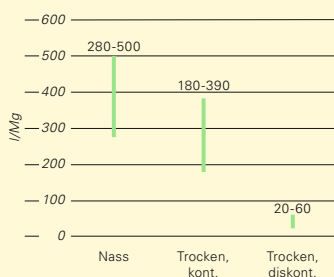
Vorteile der kontinuierlich betriebenen Fermentation im Vergleich zur diskontinuierlichen sind insbesondere die aus höheren spezifischen Gasausbeuten resultierende größere Durchsatzleistung und geringere spezifische Emissionen. Eine kontinuierlich arbeitende Anlage ist tendenziell jedoch erst ab einer Durchsatzmenge von etwa 10.000 bis 15.000 Jahrestonnen sinnvoll.

#### ▪ *Inputzusammensetzung*

Bei der trockenen Fermentation ist das Durchsatzvolumen geringer als bei der nassen. Daraus ergeben sich geringere Bauvolumina und damit auch niedrige Investitionskosten. Die trockene Fermentation ist vor allem dann sinnvoll, wenn das zu vergärende Substrat wie typischer Bioabfall zusammengesetzt ist und relativ wenig Speise- und Fettabfälle sowie gewerbliche Abfallbiomassen enthält.

#### ▪ *Standortgegebenheiten*

Weil die Gärvolumina bei kontinuierlichen Trockenvergärungsverfahren wegen der höheren Raumbelastungen beziehungsweise geringeren hydraulischen Verweilzeiten kleiner sind, bietet es insbesondere bei beengten Platzverhältnissen am Anlagenstandort Vorteile.



**ABB. 37: ÜBERSCHUSSWASSER BEI DER VERGÄRUNG VON BIO- UND GRÜNGUT DIFFERENZIERT NACH VERFAHRENS- UND PROZESSARTEN, BEZOGEN AUF DEN MATERIALINPUT (FRICKE 2013)**



- *Betriebsweise*

Die thermophile Betriebsweise der Fermenter zeichnet sich vor allem in der höheren Gasausbeute pro Zeit aus. Allerdings ist ihr Wärmebedarf etwas höher, sodass man vor allem dann auf sie setzen kann, wenn Überschusswärme im Überfluss zur Verfügung steht.

- *Absatzmöglichkeiten für Überschusswasser*

Die kontinuierliche, insbesondere trockene Betriebsweise ist tendenziell mit einem höheren Wasserüberschuss aus der Gärrestentwässerung verbunden. Weil er relativ nährstoffreich ist, bietet sich das Verfahren eher für Standorte an, bei denen er nicht als Abwasser entsorgt, sondern nach der Pasteurisierung/Hygenisierung flüssig verwertet werden kann. Theoretisch könnte er aufgrund seines Düngewerts vermarktet werden. In der Praxis muss die Abholung jedoch häufig bezahlt werden. Der Nährstoffgehalt im Überschusswasser führt zu entsprechend geringeren Nährstofffrachten im Kompost, was bei hochwertigeren Vermarktungswegen tendenziell von Vorteil sein kann. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht muss der Verwertung des Überschusswassers bereits bei der Planung ein hoher Stellenwert zukommen.

- *Investitionsbedarf*

Wegen der verfahrensbedingt umfangreicheren Technikausstattung (Rührwerke zur kontinuierlichen Durchmischung des Fermenterinhalt etc.) liegt der Investitionsbedarf bei kontinuierlichen Trockenfermentationsanlagen höher als bei diskontinuierlichen Trockenvergärungsanlagen.

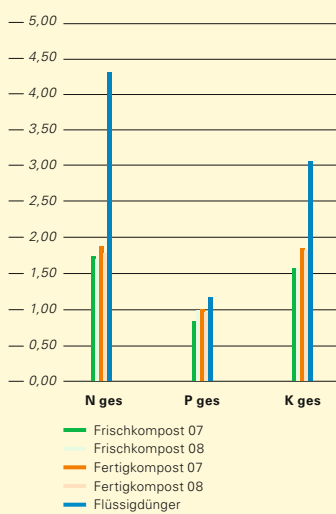
## 5.2 Behandlung des Gärrests und des Überschusswassers

### 5.2.1 Entsorgung oder Nutzung des Überschusswassers/flüssigen Gärrests

Zur mechanischen Entwässerung von Gärresten werden vor allem Pressschneckenseparatoren und Zentrifugen (Dekanter) eingesetzt. Separatoren werden bereits bei den Verfahrenskonzepten der kontinuierlichen Fermentation eingeplant. Ihr Strombedarf kann mit 0,4 Kilowattstunden pro Kubikmeter veranschlagt werden. Insbesondere bei der kontinuierlichen Trockenfermentation werden sie einer Dekanterzentrifuge vorgeschaltet, um zunächst grobfaserige Stoffe abzuscheiden.

Zentrifugen bieten im Vergleich zu Pressschneckenseparatoren eine höhere Abscheiderate, also eine feinere Trennung. Sie werden deshalb zur effizienten Abtrennung von Feststoffen aus dem Gärrest eingesetzt. In der Regel werden Flockungshilfsmittel zugesetzt, damit auch gelöste Feststoffe abgetrennt werden. Dadurch erhöht sich die feste Gärrestmenge, während der TS-Gehalt des flüssigen Gärrests deutlich sinkt. Der spezifische Energieverbrauch eines Dekanters liegt bei etwa 7 Kilowattstunden pro Kubikmeter.

Durch die Fest-Flüssig-Trennung werden auch die Nährstoffe in die flüssige Phase und den festen Gärrest aufgeteilt – je nach Art und Löslichkeit sowie des mit dem Trennaggregat erreichbaren Abscheidegrads. Abbildung 38 zeigt die stofflichen



**ABB. 38: VERGÄRUNG VON BIOGUT MIT ANSCHLIESSENDER FEST-FLÜSSIG-TRENNUNG DES GÄRRESTS – DARSTELLUNG DER NÄHRSTOFFGEHALTE IN PROZENT TROCKENSUBSTANZ FÜR UNTERSCHIEDLICHE MATERIALPROBEN (FRISCHKOMPOST 07 ETC. PP.) (NACH ABFALLWIRTSCHAFTSBETRIEB WETTERAUKREIS)**

Eigenschaften von flüssigem Gärrest und Fertigkompost am Beispiel einer realisierten Anlage (kontinuierliche Trockenfermentation), in der ausschließlich Biogut vergärt und ein geringer Anteil Grünschnitt der Nachkompostierung zugeführt wird.

Die Darstellung zeigt, dass ein erheblicher Teil der Nährstoffe im flüssigen Gärrest verbleibt; insbesondere der während der Vergärung mineralisierte Stickstoff. Phosphate verbleiben in der Regel mit den Feststoffen im Kompost. Insofern kommt der Verwertung der flüssigen Phase besondere Bedeutung zu. Als Flüssigdünger substituiert sie schnell wirkende Mineraldünger, während sie als Abwasser relativ hohe Aufbereitungskosten verursacht.

Für die Vermarktung von flüssigem Gärrest an die Landwirtschaft hat die Akzeptanz der Abnehmer eine hohe Bedeutung; je nach Standort erfordert dies intensive Bemühungen. In Regionen, in denen bereits große Güllemengen aus der Tierhaltung oder Gärreste anderer Biogasanlagen ausgebracht werden, ist die landwirtschaftliche Nutzung schwierig. Andererseits führen stark steigende Kosten für mineralische Dünger zu einem größeren Interesse an Substituten.

Wie der kompostierte Gärrest, kann auch der flüssige Gärrest einer Qualitätskontrolle und Zertifizierung durch die BGK unterzogen werden, wodurch sich die Akzeptanz und damit auch die Vermarktungsmöglichkeiten verbessern sollten.

Typisch ist die kostenlose Abgabe ab Anlage. Die alternative Einleitung in die Abwasserkanalisation ist hingegen mit erheblichen Kosten verbunden.

Auch über die Nutzung flüssiger Gärrückstände in der Landwirtschaft muss ein Flächennachweis geführt werden. Aufgrund der angesprochenen Problematiken muss der optimierten Verwertung flüssiger Gärreste sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen ein hoher Stellenwert zukommen. Aktuell werden hierzu verschiedene Aufbereitungsverfahren wie die Verdampfung, solare Trocknung, Membrantechniken, sowie alternative Verwertungswege geprüft.

## 5.2.2 Hygienisierung

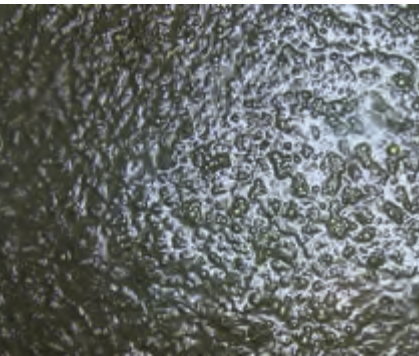
Wie die Prozesse zur Hygienisierung der Bioabfälle durch eine Kompostierung oder Vergärung geführt werden müssen, ist in Anhang 2 der BioAbfV aufgeführt. Zulässig sind demnach:

- die Kompostierung über zwei Wochen bei mindestens 55 °C, über sechs Tage bei 60 °C oder über drei Tage bei 65 °C – jeweils im gesamten Rottematerial
- die Vergärung bei mindestens 50 °C über einen zusammenhängenden Zeitraum von 24 Stunden und einer hydraulischen Verweilzeit von mindestens 20 Tagen

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, kann eine thermische Vorbehandlung des Inputmaterials oder eine Nachbehandlung der Produkte bei einer Temperatur von 70 °C über eine Stunde (Pasteurisierung) erfolgen.

Um die Vorgaben an die Hygienisierung zu erfüllen, werden in aller Regel entweder die thermische Vorbehandlung des Materials oder eine Nachrotte des Gärrückstands durchgeführt. Da die Nachrotte





durch eine fehlerhafte Montage oder Wartung und können jährlich einen Gasverlust von bis zu einem Prozent verursachen. Bei bestehenden Anlagen lassen sie sich durch regelmäßige Kontrollen identifizieren und eliminieren.

#### 5.2.4 Nachrotte des festen Gärrückstands

Zur weitergehenden Konditionierung muss der feste Gärrest einen ausreichenden Strukturanteil und genügend organische Substanz enthalten. Bei Bedarf kann als Strukturmaterial zum Beispiel Grün- gut, Material aus der Landschaftspflege oder Sieb- überlauf aus der Kompostaufbereitung zugegeben werden. Wird der Bioabfall bereits in der Vergä- rungsstufe hygienisiert, muss beim Zumischen von Strukturmaterial darauf geachtet werden, dass der Gärrest nicht wieder kontaminiert wird.

Im Vergleich zu Kompostprodukten mit einem Rottegrad II bis III aus der aeroben Intensivrotte haben Gärreste mit dem gleichem Rottegrad ein deutlich höheres Geruchsemissionspotenzial. Ein Problem ist insbesondere das Ammoniak, das beim Mineralisieren der organischen Stickstoffverbindungen im Gärmaterial entsteht. Neben Ammoniak können aber auch andere Geruchsemissionen sowie klimarelevante Schadstoffe freigesetzt werden, weshalb vor allem zu Beginn der Nachrotte intensiv be- und entlüftet werden sollte. Die Prozessführung in dieser Umstellungsphase ist somit ein sensibler, kritischer Punkt bei der Bioabfallbehandlung.

Bei geschlossenen Kompostierungsverfahren, wie Boxen-, Container-, Tunnel- und Zeilenverfahren, können Geruchsstoffe durch Wäscher und Biofilter gut ausgetrieben werden. Zudem bieten sie den Vorteil, dass sich das Material bei der Nachrotte selbst oder über eine erwärmte Zuluft erhitzt und somit sicher hygienisiert wird.

Bei der Umstellung von der anaeroben auf die aerobe Prozessführung bieten diskontinuierliche Boxenverfahren den prinzipiellen Vorteil, dass sie direkt in der Box erfolgen kann und somit die in dieser Phase auftretenden Emissionen komplett gefasst und einer Behandlung zugeführt werden können.

### 5.3 Nutzung der Überschussenergie durch Biogasverwertung

Aus ökologischer Sicht ist es am vorteilhaftesten, mit Biogas in einem BHKW mit effizienter Wärmenutzung – in KWK – elektrische Energie zu erzeugen. Da es rund um die Uhr entsteht, kann der Strom klassisch in Grundlast eingespeist werden. Die Verstromung von Biogas steht somit in Konkurrenz zu Grundlaststromerzeugungen mit hoher Umweltrelevanz, wie beispielsweise aus Kernenergie oder Kohle. Der Gesetzgeber hat die Vergütungsstruktur für Bioabfälle im EEG 2014 so geändert, dass die spitzenlastorientierte, flexiblere Stromerzeugung begünstigt wird, weil sie im Gegensatz zur Stromerzeugung aus Wind und Sonne bedarfsgerecht erfolgen kann. Dies könnte beim Strom aus Biogas durch das Bereitstellen einer größeren Verstromungskapazität (BHKW), eines großen Biogasspeichers oder das Einbinden der

**DIE BIOGASVERWERTUNG IN EINEM BHKW MIT EFFIZIENTER WÄRMENUTZUNG IST AUS ÖKOLOGISCHER SICHT AM VORTEILHAFTESTEN.**

Anlage in ein virtuelles Kraftwerk erreicht werden. In der Praxis ist dies aber bisher nur bei wenigen Anlagen umgesetzt.

Ein BHKW bietet einen elektrischen Wirkungsgrad von rund 40 Prozent. Höhere Gesamtwirkungsgrade sind zu erreichen, wenn die Überschusswärme möglichst umfassend genutzt wird.

Weil die effiziente Nutzung der im Biogas gespeicherten Energie zur ökologischen und ökonomischen Verbesserung der Gesamtkonzepte beiträgt, kommt ihr – und damit der Wahl des Energieerzeugungsggregats – eine große Bedeutung zu. Die Konzepte (Abb. 39) basieren in der Regel auf der Biogasnutzung in einem BHKW. Welche Lösung wirtschaftlich und ökologisch am attraktivsten ist, hängt von den standortspezifischen Gegebenheiten und den potenziellen Wärmeabnehmern ab. Je nach Wärmenutzungskonzept verursacht die Gaskonditionierung einen unterschiedlich großen Aufwand.

Wie die meisten anderen Abfallbehandlungsanlagen werden auch Anlagen zur Behandlung von Bioabfall meist relativ weit entfernt von Siedlungsgebieten errichtet. Da der Bau von Transportleitungen für Wärme mit hohem finanziellem Aufwand verbunden ist – man benötigt einen vergleichsweise großen Rohrquerschnitt mit guter Wärmedämmung – bilden Mikrogasnetze die sinnvollere Alternative. Hier wird das Biogas über entsprechende Leitungen zu Standorten transportiert, die übers ganze Jahr einen hohen kontinuierlichen Wärmebedarf haben. Da auch die Biogasanlagen selbst Wärme und Strom benötigen, muss ein entsprechender Anteil des Biogases vor Ort in einem BHKW energetisch genutzt

werden. Alternativ kann die Wärme auch mit einem mit Hackschnitzeln aus Grüngut befeuerten Kessel erzeugt werden.

Je nach erzeugter Menge und aktuellen Rahmenbedingungen (z. B. Erdgaspreis und Zumischungsvorgaben) kann es auch wirtschaftlich interessant sein, Biogas auf Erdgasqualität aufzubereiten. Das erzeugte Biomethan wird dann in ein Erdgasnetz eingespeist, rechnerisch an anderer Stelle entnommen und effizient als Treibstoff oder über KWK genutzt. Ökologisch ist dies vor allem dann

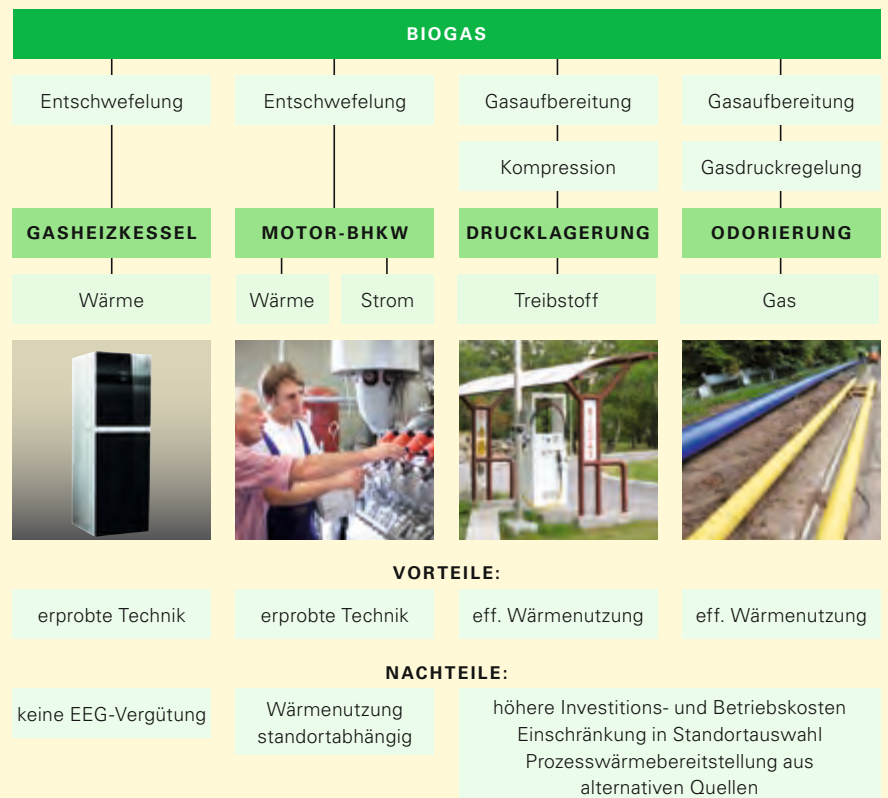


ABB. 39: ÜBERSICHT ÜBER DIE BIOGASNUTZUNGSKONZEPTE

vorteilhaft, wenn das Biomethan über ein BHKW in KWK (Wirkungsgrad 37,5 %<sub>el.</sub>, 43 %<sub>th.</sub>) und die Überschusswärme zu 100 Prozent genutzt werden.

Wie die ökologische Bewertung in Abbildung 40 zeigt, ist die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und seine Einspeisung in ein Erdgasnetz insbesondere dann eine sinnvolle Alternative, wenn es nicht möglich ist, das Biogas beziehungsweise die Abwärme umfassend vor Ort zu nutzen. Da die Aufbereitung mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist, muss jeweils individuell geprüft werden, ob ein wirtschaftlich und ökologisch sinnvoller Betrieb unter den gegebenen Rahmenbedingungen realisierbar ist.

### 5.3.1 Verstromung über ein BHKW in Kraft-Wärme-Kopplung

Meist wird Biogas zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung in BHKWs genutzt, die in unmittelbarer Nähe zur Biogasanlage betrieben werden. Je nach Modulgröße erreichen sie heute in der Praxis elektrische Wirkungsgrade von bis zu 43 und thermische von rund 45 Prozent (Tab. 7).

Für einen wirtschaftlichen Betrieb sollte das BHKW mindestens 8.000 Jahresbetriebsstunden in Vollast laufen; ein Teillastbetrieb oder Stillstandszeiten sollten nur bei Wartungs- und Reparaturarbeiten vorkommen. Ein Teil der erzeugten Wärme wird zum Beheizen der Fermenter benötigt. Wie hoch der Bedarf an Prozesswärme ist, hängt von der Prozessführung ab. Bei der kontinuierlichen Trockenfermentation ist er höher als bei der diskontinuierlichen (siehe Kap. 1.1), insbesondere beim thermophilen Betrieb im Temperaturbereich zwischen 50 und 55 °C. Am höchsten ist der Eigenverbrauch während der Wintermonate, wenn auch die externe Wärmeabnahme groß ist (Abb. 41).

Als Alternative zu BHKWs werden an ersten Praxisanlagen mittlerweile Mikrogasturbinen eingesetzt. Sie bieten zwar einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad (+/-30 %), können aber, je nach Rahmenbedingungen, dennoch Vorteile bieten. Denn bei ihnen entsteht weniger Wartungsaufwand. Zudem kann die Abwärme besser genutzt werden, weil das gesamte Potenzial in einem Wärmestrom mit einem hohen Temperaturniveau von 250 bis 300 °C anfällt.

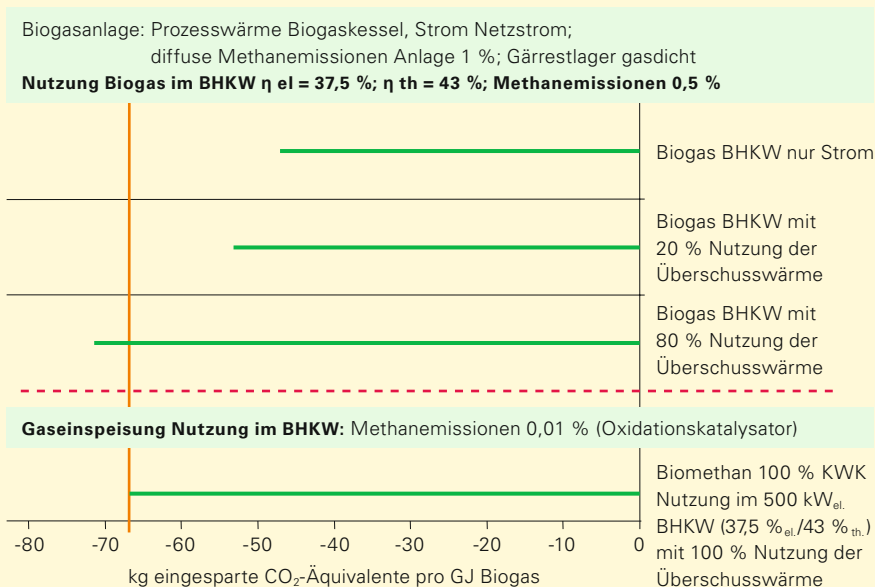


ABB. 40: NUTZUNGSOPTIONEN FÜR BIOGAS AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (IFEU, IE, TU-BERLIN, ÖKO-INSTITUT, FH BERLIN 2008)



Auch die Entwicklung eines angepassten Gesamtkonzepts kann ein Projekt ökologisch und ökonomisch verbessern. Die typischen Standorte von Bioabfallvergärungsanlagen in größerer Entfernung von Wohn- und Gewerbebebauung bieten häufig keine optimalen Voraussetzungen für eine Wärmenutzung, weshalb die erzeugte Wärme meist nur zum Betrieb der Vergärungsanlage selbst beziehungsweise zum Trocknen von Gärresten, Kompost und anderen Substraten eingesetzt werden kann. Seit geraumer Zeit werden aber beispielsweise ORC-Anlagen eingesetzt, bei denen überschüssige Abwärme zur Stromerzeugung genutzt wird.

Gibt es in einem Umkreis von bis zu zehn Kilometer potenzielle Wärmeabnehmer mit gutem ganzjährigem Wärmebedarf, bieten sich Biogasleitungen (Mikrogasnetz) an. Hierbei handelt es sich um PE-Rohrleitungen, die unter Beachtung entsprechender DVGW-Regeln (Deutscher Verein des Gas und Wasserfaches e. V.) frostfrei verlegt werden müssen. Damit das Biogas störungsfrei transportiert werden kann, muss es getrocknet und gegebenenfalls von sonstigen Partikeln befreit werden. Je nach Leitungslänge wird es mit einem ausreichenden Vordruck versehen.

Die Höhe der Investitionskosten hängt von den spezifischen Gegebenheiten vor Ort ab. Liegen die Trassen außerhalb bebauter Gebiete und müssen keine Verkehrsstraßen gequert werden, kann man bei einer grabenlosen Bauweise spezifische Kosten von 30 bis 50 Euro pro Laufmeter ansetzen. Für Abschnitte in Siedlungsgebieten fallen Kosten von über 100 Euro an. Die Betriebsaufwendungen für Verdichtung und Kühlung sind gering. Da am

#### FERMENTERHEIZUNG (JAHRESVERLAUF)

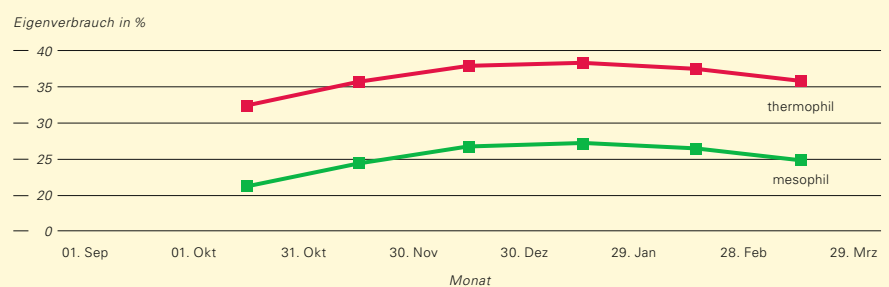


ABB. 41: EXEMPLARISCHER WÄRMEEIGENBEDARF VON VERGÄRUNGSANLAGEN IN DEN WINTERMONATEN (UBA 2010)

Standort der Biogasanlage auch der Fermenter mit Wärme versorgt werden muss, wird in der Regel ein auf den maximalen Wärmebedarf ausgelegtes Biogas-BHKW vor Ort installiert.

Weil Biogas im BHKW nicht vollständig verbrennt, treten Emissionen von Methan auf. Erste Untersuchungen zu deren Quantifizierung und zur Ermittlung der Einflussgrößen wurden bereits durchgeführt. Derzeit geht man davon aus, dass etwa 0,5 Prozent des Methaninputs bei der Verwertung in einem Gasmotor als Emissionen verloren gehen (IFEU & Partner, 2008).

### 5.3.2 Vermarktung von Strom und Überschusswärme

#### GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Die Vermarktung von Strom und Überschusswärme wird stark von den gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Biogas beeinflusst. Zudem werden sie relativ häufig geändert, was bei Planungen beachtet und berücksichtigt werden muss.

**TAB. 7: BEISPIELHAFTE WIRKUNGSGRAD E VERSCHIEDENER BHKW-TYPEN**

Anbieter	Aggregatetyp	Brennstoffleistung	elektrischer Wirkungsgrad	thermischer Wirkungsgrad
2G Bio-Energie-technik GmbH	agenitor 208	2.736 kW	40,0 %	45,0 %
	avus 1000c	745 kW	41,3 %	43,7 %
eneertec-Kraftwerke GmbH	et-150 BG-LH	390 kW	38,5 %	46,9 %
	et-191 BG-MA	495 kW	38,6 %	47,1 %
GE Jenbacher GmbH	JMS208	851 kW	38,7 %	46,2 %
	JMS412	2.025 kW	41,7 %	42,1 %
	JMS612	3.916 kW	41,8 %	43,5 %
	JMS620	6.606 kW	41,8 %	44,0 %
Haase-Energie-technik AG	HET-GBC 366	946 kW	38,7 %	45,9 %
	HET-GBC 1200	2.858 kW	42,0 %	41,5 %
	HET-GBC 1560	3.745 kW	41,7 %	42,1 %
Kuntschar u. Schlüter GmbH	GTK 250 B	657 kW	38,1 %	49,6 %
	GTK 360 B	946 kW	38,4 %	50,0 %
MWM GmbH	TCG 2016 V16C	1.882 kW	42,5 %	43,0 %
	TCG 2020 V12	2.857 kW	42,0 %	43,9 %
	TCG 2032 V16	8.870 kW	42,5 %	43,4 %
Pro2 Anlagen-technik GmbH	BIEM1063	2.606 kW	40,8 %	46,2 %
	BIEM 600	1.413 kW	42,5 %	41,6 %
	BIEM 1200	2.858 W	42,0 %	42,4 %
	BIEM 1560	3.745 kW	41,7 %	42,7 %
	BIEM 104	271 kW	38,4 %	46,9 %
	BIEM 395	936 kW	39,0 %	45,5 %
SEVA Energie AG	SEV-MA 104 BG	271 kW	38,4 %	45,4 %
	SEV-MA 123 BG	339 kW	36,3 %	49,0 %
	SEV-MA 800 BG	1.882 kW	42,5 %	40,7 %

Die letzte, wesentlich überarbeitete Fassung des Gesetzes für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) trat am 1. August 2014 in Kraft. Entsprechend der politischen Vorgabe, bei der Stromerzeugung aus Biomasse künftig verstärkt auf Rest- und Abfallstoffe zu setzen, wurden für die Energieerzeugung aus kommunalen Bioabfällen viele Regelungen beibehalten. Bei neu in Betrieb gehenden Anlagen ab 100 kW elektrischer Leistung werden aber eine flexiblere Stromerzeugung und die Direktvermarktung des Stroms gefordert. Ist dies gegeben, kann annähernd die gleiche Vergütung wie nach dem alten EEG 2012 erreicht werden. Bei nachfragegerechter Stromerzeugung und optimaler Vermarktung sind sogar höhere Erlöse realistisch. Allerdings wird die Stromerzeugung aus in das Erdgasnetz eingespeistem Biomethan nicht mehr direkt und gesondert gefördert, sodass bei dieser Nutzungsvariante künftig die Marktentwicklung über den wirtschaftlichen Erfolg entscheidet.

**REGELUNGEN DES ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZES (EEG 2014)**

Im EEG 2014 wurde die Begrifflichkeit „Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien“ in „Förderanspruch für Strom aus ausschließlich erneuerbaren Energien“ geändert. Aus der Verwertung von Bioabfällen erzeugter Strom wird nach § 45 (anzulegender Wert für die Vergärung von Bioabfällen) wie folgt gefördert (Stand Januar 2015):

- 15,26 Cent pro Kilowattstunde bis zu einer elektrischen installierten Leistung von 500 Kilowatt
- 13,38 Cent pro Kilowattstunde bis zu einer elektrischen installierten Leistung von 20 Megawatt



Die Fördervoraussetzungen – zum Beispiel der Anteil von Abfällen mit den folgenden Abfallschlüsseln der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) 20 02 01, 20 03 01 und 20 03 02 von mindestens 90 Prozent Massenanteil – wurden ebenso beibehalten wie die Anforderung, dass die Vergärung unmittelbar mit einer Einrichtung zur Nachrotte der Gärreste verbunden zu sein hat und die nachgerotteten Gärreste stofflich verwertet werden müssen.

Förderansprüche für die Erzeugung von Strom aus Biomasse (§ 44) und Gülle (§ 46) mit dem Förderanspruch für Strom aus der Verwertung von Bioabfällen zu kombinieren ist weiterhin nicht möglich. Die bislang gewährten Boni zum Beispiel für den Einsatz bestimmter Substrate und die Biogasaufbereitung wurden ersatzlos gestrichen.

Ab einer installierten elektrischen Leistung von 100 Kilowatt muss der erzeugte Strom nun direkt vermarktet werden (§ 19). Hierbei wird zwischen der geförderten und der sonstigen Direktvermarktung unterschieden. Bei der geförderten Direktvermarktung, bei der ein Anspruch auf die Gewährung der Marktprämie besteht, wird der Strom dem Netzbetreiber überlassen. Er erhält damit das Recht, ihn als aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom zu kennzeichnen. Die sonstige Direktvermarktung erfolgt ohne finanzielle Förderung.

Die im EEG 2012 vorgesehene Managementprämie wurde in die Förderung eingepreist, da die Direktvermarktung nun ja nicht mehr optional ist.

In seltenen Fällen besteht auch ohne Direktvermarktung Anspruch auf eine Einspeisevergütung:

- Für Anlagen bis 500 Kilowatt, die vor dem 1. Januar 2016, und für Anlagen unter 100 Kilowatt, die nach dem 31. Dezember 2015 in Betrieb genommen werden (§ 37).
- In Ausnahmefällen wie beispielsweise der Insolvenz des Direktvermarktungsunternehmens oder zu Beginn des Anlagenbetriebs, wenn der Betreiber unter Umständen noch nicht zur Direktvermarktung in der Lage ist (§ 38). Die Einspeisevergütung liegt dann um circa 20 Prozent unter dem eigentlich anzulegenden Wert. Dadurch soll diese Vermarktungsform für den Anlagenbetreiber so unattraktiv sein, dass sie nicht über einen längeren Zeitraum beibehalten wird.

Ein Wechsel zwischen den vier Vermarktungsformen geförderte und sonstige Direktvermarktung sowie Einspeisevergütung nach den §§ 37 und 38 ist möglich. Zudem können sie nun, mit Ausnahme der Vermarktung nach § 38, auch kombiniert werden (§ 20 Abs. 2).

Bei der geförderten Direktvermarktung erfolgt die Förderung über die Marktprämie (MP). Sie wird als Differenz zwischen dem anzulegenden Wert (AW) für die Förderung (für Bioabfälle § 45) und dem Monatsmarktwert (MW) berechnet:  $MP = AW - MW$

Der Monatsmarktwert entspricht dem tatsächlichen Monatsmittelwert der Stundenkontrakte am Spotmarkt der Strombörse EPEX Spot SE in Paris für die Preiszone Deutschland/Österreich. Ist er größer als der anzulegende Wert und die Differenz damit kleiner null, wird keine Marktprämie gezahlt, denn Überschüsse werden nicht rückvergütet.

**BEI NACHFRAGEGERECHTER STROMERZEUGUNG KÖNNEN NACH DEM EEG 2014 HÖHERE ERLÖSE ALS NACH DEM ALTEN EEG 2012 ERREICHT WERDEN.**



**DER JÄHRLICHE BRUTTO-ZUBAU VON ANLAGEN DARF EINE INSTALLIERTE LEISTUNG VON 100 MEGAWATT NICHT ÜBERSCHREITEN.**

Die Absenkung/Degression der Förderung der Erzeugung von Strom aus Biomasse, Bioabfällen und Gülle ist in § 28 festgeschrieben. Ein wesentlicher Punkt ist, dass der Brutto-Zubau von Anlagen eine installierte Leistung von 100 Megawatt jährlich nicht überschreiten darf (§ 3). Zur Überwachung des Zubaus ist die Bundesnetzagentur ermächtigt, ein Anlagenregister zu erstellen und die zugebaute elektrische Leistung zeitnah zu veröffentlichen (§ 6). Der anzulegende Wert wird erst ab dem 1. Januar 2016 gesenkt, weil die Degression für das Jahr 2015 bereits eingerechnet ist. Die Absenkung liegt weiterhin jährlich bei zwei Prozent; die Förderung wird nun aber jeweils zu Beginn eines Quartals (also am 1.1., 1.4., 1.7. und 1.10.) um 0,5 Prozent reduziert.

Werden jährlich mehr als 100 Megawatt zugebaut, wird die Degression pro Quartal auf 1,27 Prozent erhöht. Zur Berechnung des maßgebenden Zubaus wird der Zeitraum nach dem letzten Kalendertag des 18. Monats und vor dem ersten Kalendertag des fünften Monats, der dem Zeitraum vorangeht, herangezogen. Dies bedeutet, dass sich beispielsweise die Festlegung der Degression für den 1. April 2016 auf den Zubau im Zeitraum vom 1. November 2014 bis 31. Oktober 2015 bezieht. Der Bezugszeitraum verschiebt sich quartalsweise um drei Monate. Somit müssen die zugebauten Leistungen im Anlagenregister zeitnah veröffentlicht werden, damit auf Veränderungen reagiert werden kann.

Eine wesentliche Neuerung enthält § 47, in dem gemeinsame Bestimmungen für Strom aus Biomasse und Gasen festgelegt werden. Die Förderung von Strom aus Biogas wird bei Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als 100

Kilowatt auf die Strommenge begrenzt, die einer Bemessungsleistung von 50 Prozent der installierten Leistung entspricht. Bei einer installierten elektrischen Leistung von 500 Kilowatt werden also beispielsweise nur 250 Kilowatt beziehungsweise  $8670 \text{ h/a} * 250 \text{ kW} = 2.190.000 \text{ kWh/a}$  vergütet. Die restliche Stromerzeugung wird bei der geförderten Direktvermarktung nicht mehr unterstützt, bei einer Förderung nach den §§ 37 und 38 nur noch entsprechend dem Monatsmarktwert. Mit dieser Maßnahme soll eine flexible und bedarfsgerechte Stromerzeugung erzwungen werden, was bedeutet, dass die Stromerzeugung in Zeiträume verlagert werden soll, in denen hohe Strompreise erzielt werden. Voraussetzung für die Förderung ist weiterhin das Führen eines Einsatzstoff-Tagebuchs. Die Anforderungen an den Nachweis einer Wärmenutzung wurden hingegen vereinfacht (Wegfall der Positiv- und Negativlisten).

Neben der Förderung für den erzeugten Strom sieht das EEG 2014 weiterhin eine Prämie für eine Erzeugungskapazität vor, die flexibel einsetzbar ist (Tab. 8). Diese Flexibilitätsprämie wird jedoch nur für Energieerzeugungsanlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 100 Kilowatt gewährt; sie beträgt 40 Euro pro Kilowatt installierter elektrischer Leistung und Jahr und wird, wie auch die Förderung für den Strom aus Biomasse, über 20 Jahre gewährt.

Auch die technischen Vorgaben für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus regenerativen Energien nach § 6 EEG 2012 wurden beibehalten. Anlagenbetreiber sind nun gemäß § 9 generell verpflichtet, sie ab einer Größe von 100 Kilowatt installierter elektrischer Leistung technisch so auszurüsten, dass

der Netzbetreiber die Einspeiseleistung bei Netzüberlastungen jederzeit reduzieren und die Ist-Einspeiseleistung abrufen kann. Vorgaben zur Errichtung eines technisch gasdichten Gärrestlagers am Anlagenstandort, der Einhaltung einer hydraulischen Verweilzeit von 150 Tagen im gasdichten und an die Gasverwertung angeschlossenen System sowie die Errichtung einer zusätzlichen Gasverbrauchseinrichtung wurden beibehalten. Im gasdichten System eine hydraulische Verweilzeit von 150 Tagen einzuhalten, ist bei Anlagen zur Verwertung von Bioabfällen nicht erforderlich.

Der Zeitraum der Förderung blieb unverändert bei 20 Jahren ab dem Jahr nach Inbetriebnahme. Im EEG 2014 ist eine Vielzahl von Verstößen gelistet,

die eine Verringerung der Förderung zur Folge haben – insbesondere Verstöße gegen Meldepflichten. So wird die Förderung zum Beispiel gestrichen, wenn die vorgesehene prozentuale Aufteilung bei der Vermarktung des Stroms über die nach § 20 Abs. 1 möglichen Wege (geförderte und sonstige Direktvermarktung, Einspeisevergütung für kleine Anlagen) nicht eingehalten wird. Werden technische Vorgaben (§ 9) nicht erfüllt, der Wechsel zwischen den Vermarktungsformen nicht fristgerecht mitgeteilt oder wird gegen das Doppelvermarktungsgebot verstoßen, wird der anzulegende Wert auf den Monatsmarktwert reduziert. Der neu eingefügte § 24 sieht vor, dass sich die Förderung bei negativen Preisen an der Strombörse EPEX Spot SE in Paris (Preiszone Deutschland/Österreich) verringert. Sind

TAB. 8: VERGLEICH ZWISCHEN EEG 2012 UND EEG 2014

		EEG 2012	EEG 2014	
<b>VERGÜTUNG/FÖRDERUNG</b>		<i>im Jahr 2014</i>	<i>ab 01.08.2014</i>	<i>ab 01.01.2016</i>
Leistungsklassen	≤ 500 kW	15,68 ct/kWh	15,26 ct/kWh	15,18 ct/kWh
	≤ 20 MW	13,72 ct/kWh	13,38 ct/kWh	13,31 ct/kWh
Förderdauer		20 Jahre plus Inbetriebnahmejahr		
Degression		2 % jährlich	ab 1.1.2016 0,5 % zu Quartalsanfang bei Überschreitung des Zubauziels von jährlich 100 MW Degression im Zeitraum der Überschreitung 1,27 %	
Direktvermarktung	ab 31.12.2013 für ≥ 750 kW elektr. inst. Leistung		ab 1.8. 2014 für ≥ 500 kW elektr. inst. Leistung ab 1.1. 2016 für ≥ 100 kW elektr. inst. Leistung Förderung nur für 50 % der Bemessungsleistung	
Managementprämie		0,30 ct/kWh	entfallen	
<b>FLEXIBILITÄTSPRÄMIE</b>				
Förderung		130 €/kW	40 €/kW	
Voraussetzung		0,2-fache der installierten Leistung der Anlage für die bedarfsgerechte Erzeugung von Strom		
Förderdauer		10 Jahre	20 Jahre plus Inbetriebnahmejahr	



die Stundenkontrakte über einen Zeitraum über mindestens sechs aufeinanderfolgenden Stunden negativ, entfällt die Förderung ganz.

Neben dem EEG muss auch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) des Bundes beachtet werden. Es schreibt eine Pflicht zur anteiligen Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung für Neubauten vor, wobei auch Biogas als Energieträger genannt wird. Biogas muss in KWK-Anlagen genutzt werden. Alternativ kann auch Abwärme eingesetzt werden. Die bei einer Neubauquote von rund 0,5 Prozent steigende Nachfrage wird die Vermarktungssituation von Überschusswärme mittelfristig positiv beeinflussen. Nur für Baden-Württemberg ist im Erneuerbare-Wärmegesetz (EWärmeG) des Landes die Nutzungspflichtung auch auf Bestandsgebäude ausgeweitet. Generell müssen bei einem Austausch der Heizungsanlage 15 Prozent der Wärme durch erneuerbare Energien erzeugt werden.

#### **ABNEHMER FÜR ÜBERSCHUSSWÄRME**

Ein Teil der bei der Verstromung anfallenden Wärme wird vor Ort zur Aufrechterhaltung des Gärprozesses der Biogasanlage benötigt. Denn die biologischen Prozesse müssen im meso- oder thermophilen Temperaturbereich gehalten werden, weshalb, je nach Außentemperatur, eine Beheizung notwendig ist. Zudem wird die anfallende Wärme zur Hygienisierung der Gärreste (beispielsweise zur Pasteurisierung des flüssigen Gärrests) genutzt, falls dies nicht schon im Prozess erreicht wird. Somit fällt in den Sommermonaten am meisten und im Winter am wenigsten vermarktbar überschüssige Wärme an.

Aufgrund ihrer Charakteristik erfolgt die Vermarktung in der Regel als Heißwasser und damit in einem relativ geringen Temperaturniveau.

Angesichts dieser Rahmenbedingungen kann die Überschusswärme nur begrenzt klassisch zum Beheizen abgesetzt werden. Der große Wärmeüberhang in den Sommermonaten lässt sich so tendenziell nicht auffangen. Sinnvoll sind deshalb insbesondere Wärmesenken, die über das ganze Jahr einen gleichbleibenden Wärmeabsatz versprechen beziehungsweise idealerweise im Sommer einen steigenden Bedarf haben.

Typische positive Absatzwege sind:

- Aquakulturen
- Frucht- und Gemüsesaftherstellung
- Gewächshäuser
- Nahwärmenetze (Gebäudebeheizungen)
- Trocknungsanlagen
- Wäschereien
- Kältenetze
- ORC-Anlagen

*Aquakulturen* in Kreislaufanlagen zur Züchtung von Süßwasserfischen haben einen nennenswerten Wärmebedarf. Die Fische werden in Produktionsbecken gemästet, in denen natürliche Wachstumsbedingungen simuliert werden. Hierzu gehören optimale Wassertemperaturen. Zudem müssen die Hallen beheizt werden.

Bei der *Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften* wird Wärme zum Waschen der Früchte und Reinigen der Anlage, fürs Entsaften, die Herstellung der Konzentrate sowie zur Pasteurisation gebraucht.

Basis ist meist ein Dampfsystem, aus dem das benötigte Wasser an diversen Stellen entnommen wird. Die verschiedenen thermischen Prozesse erfordern unterschiedliche Temperaturniveaus. Deshalb wird ein Warmwasserkreislauf mit Temperaturen bis 90 °C beschickt, während ein druckbetriebenes Dampfsystem Temperaturen von 120 bis 200 °C liefert. Letzteres kann über einen Wärmetauscher mit Abgas aus Biogas-BHKW gespeist werden. Allerdings benötigen die Saffhersteller nicht das ganze Jahr über gleich viel Wärme, denn vor allem kleinere Betriebe arbeiten nur saisonal.

Auch zur *Beheizung von Gewächshäusern* ist Überschusswärme durchaus üblich. Ideal sind größere Betriebe, bei denen mit Überschusswärme aus dem BHKW die Grundlast abgedeckt werden kann. In Deutschland werden Gewächshäuser in der Regel von Oktober bis März beheizt. Mit Ausnahme des Sommers kann es, je nach regionalen klimatischen Bedingungen vorkommen, dass in kälteren Nachtstunden geheizt werden muss.

Die *Kälteerzeugung* aus Überschusswärme erfolgt mittels Absorptionskältemaschinen. Typische Bedarfe bestehen bei der Lagerung von Lebensmitteln, in Krankenhäusern, Laborgebäuden, Molkereien und Brauereien, aber auch zur Kühlung zum Beispiel von Bürogebäuden oder Einkaufszentren im Sommer. Hierfür muss ein Wärmenetz aufgebaut werden. Die Kälteerzeugung erfolgt dann jeweils bei den Kunden vor Ort. Ist die Einspeisung in ein größeres Wärmenetz nicht möglich, ist der Aufbau derartiger Abnahmestrukturen mit hohen Investitionskosten verbunden.

Über *Nahwärmenetze* wird meist Wärme an einzelne Gebäude zur Raumbeheizung und Warmwassererzeugung verteilt. Wärmeträger ist etwa 80 °C heißes Wasser. Das Netz wird nur wenige Stunden im Jahr ausgelastet. Die Überschusswärme aus dem BHKW wird zur Deckung der Grundlast geliefert. Der Spitzenbedarf und die Reserveheizung müssen über weitere Systeme abgedeckt werden. Ein entsprechender Bedarf besteht bei Schwimmbädern, mehrgeschossigen Wohn- oder Bürogebäuden, Wohnheimen, Schulen, kommunalen Einrichtungen, Krankenhäusern, Schlachthöfen, Molkereien, Holz Trocknungsanlagen, Wäschereien sowie Industrie- und Gewerbebetrieben, die Wärmeenergie als Prozessenergie benötigen.

Nahwärmenetze können an einem in der Biogasanlage lokalisierten BHKW ansetzen – dann muss in der unmittelbaren Nachbarschaft ein ausreichender Bedarf an Wärme bestehen. Sinnvoller kann es sein, das aufbereitete Biogas über Mikrogasnetze an Orte zu leiten, an denen ein hoher und übers Jahr gleichbleibender Bedarf an Wärme besteht. In diesem Fall wird dort das BHKW zur Verstromung errichtet und die anfallende Überschussenergie genutzt. Derartige Konzepte sind energetisch meist wesentlich effektiver, wobei der Eigenbedarf der Biogasanlage an Wärme und Strom zu beachten ist.

Auch in einer *ORC-Anlage* ist die Nutzung der Abwärme eines BHKW möglich. Der ORC-Prozess ist ein Dampfkraftprozess, bei dem die Turbine nicht mit Wasser, sondern mit einem organisch niedrig siedenden Arbeitsmedium angetrieben wird (Abb. 42). ORC-Prozesse wurden bislang nur für Leistungsbereiche von mehr als 300 Kilowatt elek-

AUCH IN EINER ORC-ANLAGE  
IST DIE NUTZUNG DER BHKW-  
ABWÄRME MÖGLICH.

trischer Leistung angeboten; seit einiger Zeit gibt es aber auch Anlagen, die für kleinere Leistungsgrößen von bis zu 30 Kilowatt elektrischer Leistung konzipiert wurden. Die maximale Prozesstemperatur liegt bei diesen Anlagen bei 300 und 85 °C, sodass für ihren Betrieb neben der Abgasabwärme auch das Motorkühlwasser genutzt werden kann. Die erforderliche Wärmeleistung zum Betrieb von ORC-Anlagen liegt zwischen etwa 200 und 700 Kilowatt, somit können derartige Anlagen auch in einer Bioabfallverwertungsanlage eingesetzt werden. Ihr elektrischer Wirkungsgrad beträgt rund acht Prozent bei der Wärmezufuhr über das Motorkühlwasser und etwa 18 Prozent bei einer Wärmezufuhr über das Motorabgas. ORC-Anlagen werden in der Regel vorgefertigt in standardisierten Containern geliefert, sodass sie ohne größeren Aufwand in bestehende Anlagen integriert werden können.

Latentwärmespeicher ermöglichen die Nutzung von Abwärme ohne Installation eines Verteilnetzes. Sie können thermische Energie verlustarm und über längere Zeiträume speichern – die Be- und Entladung ist reversibel; die Zyklen können also langjährig wiederholt werden. Die Wärme wird hier über eine chemische Reaktion, beispielsweise eine Aggregatzustandsänderung, gespeichert. Als Speichermedium wird unter anderem Natriumacetat eingesetzt.

Der Transport der mobilen Latentwärmespeicher (Abb. 43) zwischen dem Wärmeanfall- und den Wärmebedarfsorten erfolgt mit Hakenlift-Fahrzeugen. Dieses System stößt in letzter Zeit auf größeres Interesse. So wird zum Beispiel im Landkreis Aichach Friedberg ein Schulzentrum per mobilem Wärmetransport versorgt.

ORC (Organic Rankine Cycle) – Prozessprinzip

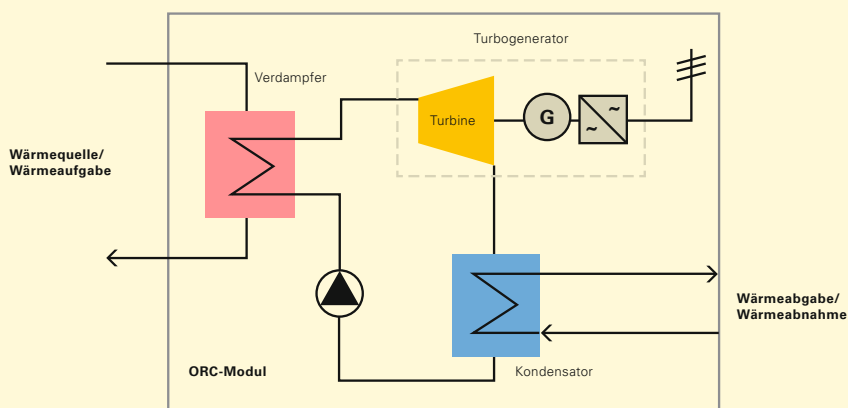


ABB. 42: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES ORC-PROZESSES (FRAUNHOFER UMSICHT 2015)



ABB. 43: LATENTWÄRMESPEICHER FÜR DEN MOBILLEN WÄRMETRANSPORT (AVA AUGSBURG 2015)

#### RECHERCHE NACH VERMARKTUNGSMÖGLICHKEITEN VON ÜBERSCHUSSENERGIE

Vermarktungsmöglichkeiten für Wärme zu recherchieren ist schwierig. Zwar sind die Branchen mit Wärmebedarf ansatzweise bekannt, ihre betriebliche Ausrichtung ist jedoch so stark differenziert, dass pauschale Angaben zum Energiebedarf beispielsweise in Abhängigkeit zur Beschäftigtenzahl oder der Produktionsleistung in der Regel nicht möglich sind.

Eine Studie für die Bundesministerien für Wirtschaft und Umwelt (Schloman 2009) liefert eine gute Übersicht über den Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und dies auch für Wärme- und Brennstoffverbräuche pro Bezugseinheit, also pro Beschäftigte beziehungsweise für Krankenhäuser pro Planbett. Mit diesen Kennzahlen und Wirtschaftsinformationen für Teilregionen lassen sich Energieverbrauchszahlen hochrechnen. Die Studie bestätigt, dass Bäder (Raumheizung, Warmwasserbereitung), Bäckereien (Backöfen), Wäschereien (Waschen, Trocknen, Mangeln), der Gartenbau (Gewächshäuser, Kühlung), die Landwirtschaft (Kühlung, Trocknung), Metzgereien (Kühlung), Beherbergungsbetriebe (Klimatisierung, Sauna) und Krankenhäuser (Klimatisierung) einen hohen spezifischen Wärme- und Kältebedarf haben.

Im Idealfall wissen die Gewerbeaufsicht und andere mit dem Immissionsschutz beauftragte Institutionen, an welchen Betriebsstandorten in welchem Umfang Wärmeenergie benötigt wird. Kommunale Energieberichte oder Klimaschutzkonzepte in denen Informationen zum Wärmebedarf abgelegt sind,

können ebenfalls herangezogen werden. Letztendlich muss man bei der Recherche nach Vermarktungsmöglichkeiten mit den in Frage kommenden Unternehmen gerade aus dem produzierenden Gewerbe direkt Kontakt aufnehmen.

Strom- und Gasnetzbetreiber sind gesetzlich zur umfassenden Veröffentlichung von Informationen verpflichtet. In einem von der Bundesnetzagentur herausgegebenen Leitfaden zu Internet-Veröffentlichungspflichten der Stromnetzbetreiber sind die Sachverhalte und Daten aufgeführt, die über einen Netzzugang veröffentlicht werden müssen. Allerdings kommen die Unternehmen diesen Pflichten bislang nur unzureichend nach oder die Informationen sind sehr schwer auffindbar.

Wärmenetze werden meist von Stadtwerken betrieben – ob große regionale Netze oder kleine Inselösungen beispielsweise zur Versorgung einzelner kommunaler Einrichtungen. Inwieweit es sinnvoll ist, diese Netze auszubauen oder die Wärmeerzeugung auf Biogas umzustellen, kann nur direkt beim jeweiligen Netzbetreiber ermittelt werden.

### 5.3.3 Einspeisung in das Erdgasnetz

Das EEG 2014 sieht keine Zusatzvergütung für die Gaseinspeisung mehr vor. Die Wirtschaftlichkeit des Gasnutzungskonzepts muss somit künftig anhand der aktuellen Rahmenbedingungen (Gaspreis, Zumischungsregelungen) analysiert werden. Grundsätzlich ist das Verfahren nur bei größeren Anlagen sinnvoll, wenn vor Ort keine Überschusswärme gebraucht wird.



Über die Bundesnetzagentur kann eine Liste mit bundesweit tätigen Gasnetzbetreibern bezogen werden. Wie bei den Stromnetzbetreibern ist jedoch auch hier die Informationslage eher dürftig. Regionale und lokale Situationen waren bis zum 1. Januar 2011 über frei verfügbare Karten einsehbar, nun sind sie unter [www.gasnetzbetreiber.de/kartefuergis.php](http://www.gasnetzbetreiber.de/kartefuergis.php) oder [www.energiemarktdaten.de/Gas\\_EMD\\_6.aspx](http://www.energiemarktdaten.de/Gas_EMD_6.aspx) beziehungsweise [www.vge.de/Katalog/GasD.html](http://www.vge.de/Katalog/GasD.html) zu finden. Auf den Internetseiten bundesweit tätiger Gasnetzbetreiber lassen sich Informationen beispielsweise zu nachgelagerten Gasnetzen recherchieren. Die Netzbetreiber können dann abschließend die Konditionen zur Einspeisung von Biomethan liefern.

Gibt es in einem Umkreis von bis zu zehn Kilometern um die Biogasanlage eine geeignete Einspeisemöglichkeit, kann es interessant sein, das Biogas auf Erdgasqualität aufzubereiten. Dies kommt jedoch meist nur für größere Vergärungsanlagen in Frage.

Zur Aufbereitung müssen im Wesentlichen das Kohlenstoffdioxid sowie störende Begleitgase wie Schwefelwasserstoff und Wasserdampf abgetrennt und der Brennwert des Biogases angehoben werden. Zudem sind die in den DVGW-Arbeitsblättern G260 und G262 aufgeführten Vorgaben einzuhalten. In der Regel muss vor dem Einspeisen der Brennwert des aufbereiteten Biogases durch Zudosieren von Flüssiggas auf Erdgasqualität angehoben werden. Zur Biogasaufbereitung nutzt man derzeit vorwiegend drei Verfahren:

- Druckwechseladsorption (PSA=Pressure Switch Adsorption)
- Druckwasserwäsche (DWW)

- Aminwäsche (MEA = Mono-Ethanol-Amin, DEA = Di-Ethanol-Amin)

Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über Methoden zur Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität.

Noch relativ jung sind die Membranverfahren; sie wurden in großtechnischen Anlagen vor allem in den Niederlanden, Frankreich und Österreich für die Gastrennung erprobt. In Deutschland wurde die erste Anlage 2010 errichtet.

## 5.4 Fazit zur Verwertung von Bio- und Grüngut

Wie die vorangegangenen Ausführungen verdeutlicht haben, gibt es eine Reihe guter technischer und organisatorischer Lösungen, die es ermöglichen, ein abfallwirtschaftlich, ökologisch und ökonomisch optimales Verwertungskonzept für einzelne Gebietskörperschaften zu entwickeln, das gezielt auf die spezifischen Verhältnisse vor Ort zugeschnitten ist.

### 1. ERMITTLUNG DER STOFFSTRÖME UND VERWERTUNGSEIGENSCHAFTEN

In einem ersten Schritt müssen die Stoffströme und deren Verwertbarkeit im Status quo eruiert werden. Dazu bedarf es einer Analyse der jeweiligen materialspezifischen Eigenschaften (TS, OS, Heizwert, Asche, Gaspotential). Da sich Mengen und Eigenschaften im Jahresverlauf ändern, sollte sie sich über einen größeren Zeitraum erstrecken.

Die stoffliche Zusammensetzung des Bio- und Grünguts unterscheidet sich in den verschiedenen



TAB. 9: ÜBERSICHT ÜBER VERFAHREN DER BIOGASAUFBEREITUNG

	1	2	3	4	5	6
<b>Verfahrensprinzip</b>	Trockenreinigung (Adsorption)	Wäsche (physikalische Absorption)	Chemische Wäsche (Absorption)	Chemische Wäsche (Absorption)	Membranverfahren (Adsorption)	Physikalische Wäsche (Absorption)
<b>Verfahrensvariante</b>	PSA mit Kohlenstoffmolekularsieb	DWW	MEA	DEA	Polymermembran	Genosorb®
<b>Trenneffekt</b>	Bindung des Gases an Feststoff	Lösen von Gasen in einer Flüssigkeit	Lösen von Gasen in einer Flüssigkeit	Lösen von Gasen in einer Flüssigkeit	Unterschiedliche Durchlässigkeit	Lösen von Gasen in einer Flüssigkeit
	Bei erhöhtem Druck adsorbiert CO <sub>2</sub> am Kohlenstoffmolekularsieb besser und schneller als CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> physikalisch in Wasser gelöst	Chemische Reaktion	Chemische Reaktion	Unter hohem Druck ist eine Polymermembran für CO <sub>2</sub> durchgängiger als für CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> physikalisch in Waschlösung gelöst
<b>Vorreinigung erforderlich</b>	ja	nein	ja	ja	ja	nein
<b>Arbeitsdruck</b>	4–7 bar	4–7 bar	drucklos	drucklos	8–10 bar	4–7 bar
<b>Methanverlust</b>	< 3–10 %	< 1–2 %	< 0,1 %	< 0,1 %	5 %	2–4 %
<b>Abgasbehandlung</b>	ja	ja	nein	nein	ja	ja
<b>spez. Stromverbrauch</b>	0,25 kWh/Nm <sup>3</sup>	< 0,25 kWh/Nm <sup>3</sup>	< 0,15 kWh/Nm <sup>3</sup>	< 0,15 kWh/Nm <sup>3</sup>	0,35 kWh/Nm <sup>3</sup>	0,25–0,33 kWh/Nm <sup>3</sup>
<b>Wärmebedarf</b>	nein	nein	160 °C	160 °C	nein	55–80 °C
<b>Regelbarkeit</b>	± 10–15 %	50–100 %	50–100 %	50–100 %	k. A.	50–100 %
<b>Referenzen</b>	>20	>20	3	2	2	2

Gebietskörperschaften entsprechend der jeweiligen strukturellen Rahmenbedingungen. Dies hat Einfluss auf die Entsorgungs- und Verwertungseigenschaften.

Auch wenn die Erfassungsquote für Bio- und Grüngut erhöht werden soll, was sich auch auf die Qualität auswirken kann, lassen sich aus dem Status quo hinreichend sichere Aussagen ableiten. Die abfallwirtschaftlichen Verhältnisse in einer Gebietskörperschaft und deren einzelnen Siedlungsstrukturen sind nie einheitlich und homogen. Es wird immer Orte, Teilgebiete, Straßenzüge oder Abfallanfall-

stellen geben, die der Zielsetzung nahe kommen und die angestrebten Mengenflüsse (und damit auch Zusammensetzungen) bereits aufweisen. Diese Gegebenheiten sind bei der Ermittlung der Stoffströme und der Verwertungseigenschaften für Gesamtgebiete zu beachten.

Bei der Ausgestaltung der Erfassungssysteme für Bio- und Grüngut ist immer zu berücksichtigen, dass sie sich gegenseitig beeinflussen. Wird die Sammlung über die Biotonne gezielt optimiert, kann sich dies auf die Grünguterfassung auswirken und umgekehrt.

## **2. ERMITTLUNG DES ENERGIEPOTENZIALS UND DES NUTZWERTS EINZELNER VERWERTUNGSLÖSUNGEN**

Aus den ermittelten Kennzahlen zu den Entsorgungs- und Verwertungseigenschaften der einzelnen Stoffströme lassen sich die potenziellen Erfolge aus deren Verwertung ermitteln. Dabei sollten die grundsätzlich möglichen Verwertungsansätze miteinander verglichen werden.

Beim Grüngut lassen sich aus den ermittelten Kennzahlen und Materialeigenschaften unterschiedliche Lösungen bezüglich der Zuordnung von Teilströmen auf die Verwertungswege Holzhackschnitzel, Bioabfallvergärung und Kompostierung diskutieren. Beim Bioabfall sind die vorhandenen Energiepotenziale sowie die erzielbaren Kompostmengen und -qualitäten von zentraler Bedeutung.

## **3. ERMITTLUNG EINES OPTIMALEN KONZEPTS**

Um aus den so entwickelten Potenzialen und den damit verbundenen technischen Behandlungs- und Verwertungslösungen ein ideales abfallwirtschaftliches Konzept für die jeweilige Gebietskörperschaft entwickeln zu können, müssen nun die Absatzmöglichkeiten insbesondere für die Überschussenergie geprüft werden. Das ideale Konzept bietet nicht nur die auf die Entsorgungseigenschaften zugeschnittene technische Lösung, sondern setzt auch die damit verbundenen Nutzenpotenziale möglichst umfassend in Wert.

Damit die Ressourcen möglichst optimal ausgeschöpft werden, sollte das über die Bioabfallverwertung erzeugte Biogas möglichst in KWK genutzt werden, wobei nicht nur auf hohe Netto-Ausbeuten

für elektrische Energie zu achten ist, sondern vor allem auch auf den Absatz der Überschusswärme. Da Strom nahezu überall ins Netz eingespeist werden kann, ergibt sich die energetische Effizienz vor allem durch die Wahl des optimalen Standorts für das BHKW. Es sollte in Nachbarschaft zu einem Kunden liegen, der die Wärme unabhängig von der Jahreszeit möglichst vollständig nutzen kann. Dies können neben kommunalen Liegenschaften auch gewerbliche und industrielle Abnehmer sein. Handelt es sich um ein größeres Wärmenetz, kann die aus dem BHKW einzuspeisende Wärme in Grundlast auch in Zeiträumen mit schwacher Nachfrage aufgenommen werden. Bei kleinen Wärmenetzen oder bei bedarfsgerechter Stromerzeugung durch das BHKW muss hingegen ein ausreichend großer Pufferspeicher eingeplant werden. Die Wahl des geeigneten Standorts für das BHKW und entsprechende Absatzmöglichkeiten bestimmen entscheidend die ökologische und ökonomische Sinnhaftigkeit der Bioabfallverwertung. Die Standorte der Bioabfallbehandlungsanlage und des BHKWs müssen nicht identisch sein. Die Distanz lässt sich mit einer Biogasleitung überbrücken.

Idealerweise wird die Bioabfallvergärungsanlage am Standort eines bestehenden Kompostwerks errichtet. Es kann dann weiterhin für die Nachrotte der Gärrückstände genutzt werden. Zudem profitiert man von den Einrichtungen der Peripherie.

Lässt sich das Biogas nicht über ein BHKW und mit den gewünschten Erfolgen nutzen, kann es auf Erdgasqualität aufbereitet und in ein Erdgasnetz eingespeist werden. Netze und mögliche Einspeisepunkte sind in der Regel vorhanden. Dies ist jedoch

mit einem größeren technischen und finanziellen Aufwand verbunden, sodass hierfür Mengenschwellen zu beachten sind.<sup>7</sup> Allerdings muss das Biogas nicht unbedingt ausschließlich aus der Bioabfallbehandlungsanlage stammen. Es kann sich auch eine Kooperation mit zum Beispiel landwirtschaftlichen Biogasanlagen anbieten, die in der Regel selbst keine optimalen Energienutzungskonzepte haben.

Die so ermittelte Vermarktungssituation bestimmt dann zusammen mit den Vermarktungsmöglichkeiten für die Komposte die Technikauswahl sowie das Stoffstrommanagement, also die Zuordnung von Teilmengenströmen zu unterschiedlichen Aufbereitungsschritten. Bei der abschließenden Wahl der Behandlungstechnik muss die Absatzsituation für nährstoffreiches Überschusswasser (flüssiger Gärrest) beachtet werden.

Bringt die Analyse der Absatzpotenziale gerade für die Überschussenergie kein befriedigendes Ergebnis, sollten Kooperationen mit benachbarten Gebietskörperschaften geprüft werden.

Ist mit diesem Schritt ein ideales auf die spezifischen Verhältnisse vor Ort angepasstes Verwertungskonzept erarbeitet worden, gilt es nun, Maßnahmen zu ergreifen, um auch die entsprechenden Mengen an Bio- und Grüngut als Ressourcen zu mobilisieren.

<sup>7</sup> Angesichts des erkannten Problems gibt es derzeit Bestrebungen, kostengünstige technische Lösungen auch für kleinere Mengenströme zu entwickeln.

# 6. Erfassung von Bio- und Grüngut

Biogut sind Küchen- und Gartenabfälle, die in der Biotonne getrennt gesammelt werden. Zum Grüngut zählen über sonstige Systeme getrennt erfasste Gartenabfälle aus privaten Haushaltungen wie Laub, Baum- und Heckenschnitt, Park- und Landschaftspflegeabfälle aus dem kommunalen Bereich und Abfälle aus der Pflege öffentlicher Grünflächen. Auf gewerbliches Grüngut wird in diesem Kapitel nur kurz eingegangen.

Bio- und Grüngut aus Haushaltungen wird

- in der Biotonne oder weiteren Erfassungssystemen getrennt erfasst,
- nach Eigenkompostierung auf eigenen Flächen genutzt,
- ohne Kompostierung in der Landschaft entsorgt oder
- der Restmülltonne zugeführt.

## 6.1 Potenziale

Nach Henssen (2009) fallen je Einwohner und Jahr in Deutschland 50 bis 80 Kilogramm Küchenabfälle und je nach Siedlungsstruktur 30 bis 300 Kilogramm private Gartenabfälle an. Das ergibt 80 bis 380 Kilogramm Bioabfall je Einwohner und Jahr.

Beim Biotonnensystem fallen die höchsten Mengen an Biogut – bis zu über 200 Kilogramm pro Einwohner und Jahr – in Gebieten mit einer Siedlungsdichte von weniger als 1.000 Einwohnern pro Quadratkilometer an. In verdichteten Gebieten mit über 2.000 Einwohnern pro Quadratkilometer, werden derzeit nicht mehr als 50 Kilogramm pro Einwohner und Jahr getrennt erfasst (Henssen 2009).

Die bundesweit gesammelte durchschnittliche Grüngutmenge liegt bei 54 Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Die Ländermittel schwanken zwischen 6 und 267 Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Eine exakte Abgrenzung zwischen Haushalten und Gewerbe beziehungsweise öffentlichen Grünflächen ist nicht möglich (Henssen 2009).

Wie groß das Potenzial an Gartenabfällen ist, hängt nach Fricke et al. (1994) von der Art der Gartennutzung ab; es liegt zwischen 0,5 und 4 Kilogramm pro Quadratmeter Gartenfläche. Einfluss auf die Mengen, die zusätzlich erfasst werden könnten, hat zudem der Anteil der Eigenkompostierung (siehe Kap. 6.2). Um das Bioabfallpotenzial eines Kreises oder einer Stadt genauer abschätzen zu können, bedarf es demnach einer detaillierten Erhebung der aus der Siedlungs- und Bebauungsstruktur der jeweiligen Kommunen resultierenden spezifischen Gegebenheiten. Hierzu sollte die Größe der Gärten zumindest überschlägig ermittelt werden. Dies ist auf Basis der Informationen möglich, die zur Ermittlung spezifischer Abwassergebühren gesammelt werden.

Wie bei anderen Wertstofffassungssystemen sollte auch bei Grüngut eine Abschöpfung von mindestens 60 bis 70 Prozent des Potenzials angestrebt werden – inklusive der Mengen, die die Haushaltungen bereits als kommunales Grüngut direkt der Verwertung übergeben.

### 6.1.1 Grüngut

Bislang werden zur Abschätzung und Bewertung der Potenziale die in Abfallstatistiken dokumentierten Werte herangezogen. Sie werden auf Basis der Mengen erstellt, die die Kreise und öffentlichen Entsorgungsträger in einem Jahreszeitraum erfassen und an das Land Baden-Württemberg berichten. Bis dato wurden die Potenziale durch einen Quervergleich abgeschätzt und die berichteten Mengen grob den Kreisen entsprechend ihrer Siedlungsstrukturen zugeordnet. Somit sind die Statistiken nur bedingt aussagekräftig. So werden die Gewichtsangaben selten aus tatsächlichen Wiegeprotokollen abgelesen. Meist handelt es sich um eine grobe Abschätzung auf Basis des angelieferten Volumens, wobei das spezifische Gewicht ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) je nach Charakter des Grünguts und Jahreszeit deutlich schwanken kann. Zudem sind für manche Sammelstellen die Gemeinden zuständig. Mengen, die hier direkt einer Verwertung übergeben werden, sind in den Erhebungen der Kreise eher nicht erfasst. In manchen Kreisen ist das geringe spezifische Aufkommen an Grüngut wesentlich auf diesen Sachverhalt zurückzuführen. Auch nicht-überlassungspflichtiges Grüngut, insbesondere aus der Pflege öffentlicher Grünanlagen, ist kaum in den Statistiken erfasst.

Es liegt auf der Hand, dass die erfassten Mengen immer nur eine Teilmenge des Gesamtaufkommens darstellen. Ob die bereits erzielte Sammelquote befriedigend ist oder angesichts der Zielsetzung der Abfallgesetzgebung optimiert werden muss, lässt sich nur aus der Gegenüberstellung des Gesamtaufkommens und des Potenzials beurteilen. Wie aber

kann man das Potenzial in den einzelnen Kreisen abschätzen?

Im Rahmen der Studie, die dem Leitfaden zugrunde liegt, wurde hierzu eine Methode entwickelt. Sie ermöglicht eine belastbare und auf die spezifischen Verhältnisse in den einzelnen Kreisen zugeschnittene Potenzialabschätzung, die zugleich einfach umsetzbar ist, weil auf Kenngrößen zurückgegriffen wird, die bereits bekannt sind. In diesem Fall handelt es sich um Angaben zur Flächennutzung, wie sie von den Statistischen Landesämtern erhoben werden.

Mit dieser Methode ist eine erste Abschätzung möglich, die als Basis für Grüngutsammel- und -verwertungskonzepte dienen kann. Vor deren konkreter Ausformulierung sollte eine Erhebung im Detail erfolgen, gegebenenfalls im direkten Austausch mit den zahlreichen Akteuren im Bereich Grüngut.

#### METHODE

Bei der Potenzialabschätzung geht man davon aus, dass das Grüngutpotenzial wesentlich von der Größe der Grünflächen beziehungsweise der nicht versiegelten Siedlungsflächen sowie ihrer spezifischen Nutzung abhängt. Ein Schrebergarten dürfte beispielsweise intensiver bewirtschaftet werden als Straßenbegleitgrün und ein entsprechend höheres Grüngutaufkommen erzeugen.

Diesem Ansatz folgend kann man für jede Gemeinde und jeden Kreis bekannte Angaben zur Flächennutzung als Grundlage nehmen und sie mit Kennzahlen zum jeweiligen Grüngutaufkommen kombi-

---

**DAS GRÜNGUTPOTENZIAL HÄNGT WESENTLICH VON DER GRÖSSE DER GRÜNFLÄCHEN UND DER SPEZIFISCHEN NUTZUNG AB.**



**WOHN- UND FREIFLÄCHEN LIEFERN IM ALLGEMEINEN EINEN HOHEN BIS SEHR HOHEN ANTEIL AM GESAMTEN GRÜNGUTPOTENZIAL**

nieren. Zur Abschätzung des Grüngutaufkommens sind dabei die Wohn- und Freiflächen sowie die Betriebs-, Erholungs-, Friedhofs- und Verkehrsflächen zu betrachten. Spezifische Kennzahlen wurden im Rahmen der Studie anhand der Fallbeispiele für die Stadt Mannheim und den Landkreis Ludwigsburg ermittelt. Sie werden im Folgenden für die einzelnen Flächennutzungskategorien vorgestellt. Genannt werden jeweils Kennzahlen für das minimale und das maximale Aufkommen. Die Flächennutzungskategorien entsprechen der Systematik der Statistischen Landesämter. Auch die Flächengrößen lassen sich für jeden Kreis und jede Kommune den

Veröffentlichungen der Statistischen Landesämter entnehmen. Für Baden-Württemberg sei beispielhaft auf [www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/home.asp?H=BevoelkGebiet](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/home.asp?H=BevoelkGebiet) verwiesen.

**WOHN- UND FREIFLÄCHEN**

Wohn- und Freiflächen liefern im Allgemeinen, je nach Besiedlungsdichte, einen hohen bis sehr hohen Anteil am gesamten Grüngutpotenzial. Zum einen sind die Gartenflächen von Wohnhäusern in ländlicheren Räumen meist größer als in dicht besiedelten städtischen Gebieten, weil die Grundstückspreise niedriger sind. Zum anderen werden die Gärten in ländlicheren Räumen meist intensiver bewirtschaftet als in Städten. Hier wird die Bewirtschaftung, insbesondere bei Großwohnanlagen, oftmals nach ökonomischen Aspekten an Unternehmen vergeben, weshalb die Pflege eher extensiv ausfällt.

**TAB. 10: KENNZAHLEN ZUM GRÜNGUTAUFKOMMEN AUF DEN WOHN- UND FREIFLÄCHEN**

	HOCHVERDICHTETE STADT- UND LANDKREISE	VERDICHTETE LANDKREISE	LÄNDLICHE LANDKREISE
Abgrenzungskriterium	>1.000 E/km <sup>2</sup>	300–1.000 E/km <sup>2</sup>	< 300 E/km <sup>2</sup>
Annahmen für Minimalabschätzung	Freifläche beträgt rund 40 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 11 t/ha*a	Freifläche beträgt rund 50 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 13 t/ha*a	Freifläche beträgt rund 60 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 13 t/ha*a
Annahmen für Maximalabschätzung	Freifläche von 50 %, Grüngutaufkommen von 18 t/ha*a	Freifläche von 50 %, Grüngutaufkommen von 22 t/ha*a	Freifläche von 60 %, Grüngutaufkommen von 22 t/ha*a

Das bedeutet, dass man zunächst den Anteil der unbebauten Freifläche abschätzen muss. Dieser Wert wird dann mit der entsprechenden Kennzahl multipliziert (Tab. 10).

**TAB. 11: GRÜNGUTAUFKOMMEN AUF BETRIEBSFLÄCHEN**

	HOCHVERDICHTETE STADT- UND LANDKREISE	VERDICHTETE LANDKREISE	LÄNDLICHE LANDKREISE
Abgrenzungskriterium	>1.000 E/km <sup>2</sup>	300–1.000 E/km <sup>2</sup>	< 300 E/km <sup>2</sup>
Annahmen für Minimalabschätzung	Freifläche beträgt rund 10 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 7 t/ha*a	Freifläche beträgt rund 30 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 7 t/ha*a	Freifläche beträgt rund 30 %; minimaler Faktor für das Grüngutaufkommen 7 t/ha*a
Annahmen für Maximalabschätzung	Freifläche von 50 %, Grüngutaufkommen von 16 t/ha*a	Freifläche von 50 %, Grüngutaufkommen von 16 t/ha*a	Freifläche von 50 %, Grüngutaufkommen von 16 t/ha*a

**BETRIEBSFLÄCHEN**

Auch das Grüngutaufkommen der Betriebsflächen hängt von der Besiedlungsdichte ab. In hochverdichteten Räumen ist der mit Vegetation bedeckte Anteil der Betriebsfläche oftmals geringer als in weniger verdichteten ländlichen Gebieten (Tab. 11).

**ERHOLUNGSFLÄCHEN**

Erholungsflächen sind Sportflächen, Grünanlagen und Campingplätze. Hier hängt das Grüngutauflkommen weniger von der Besiedlungsdichte, sondern eher von der Bewirtschaftungsart ab (Tab. 12).

**FRIEDHÖFE**

Die Teilstudien zu Mannheim und Ludwigsburg zeigten, dass das Grüngutauflkommen auf Friedhöfen in hochverdichteten städtischen Räumen höher ist als in weniger verdichteten. Dies könnte daran liegen, dass Friedhöfe in Städten enger belegt sind und/oder intensiver bewirtschaftet werden. Tabelle 13 gibt die wesentlichen Ergebnisse wieder.

**VERKEHRSWEGE**

Zu den Verkehrswegen zählen Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen, Gemeindestraßen und Wirtschaftswege sowie Schienen und Wasserwege. Das potenzielle Aufkommen von Grüngut in Häfen, Flughäfen und rund um Binnenseen kann vernachlässigt werden, da es gering ist und/oder vollständig auf der Fläche verbleibt. Bei Straßenbegleitgrün hängt es insbesondere davon ab, ob sie außer- oder innerorts liegen. Innerorts ist das Straßenbegleitgrün aufgrund der beengteren Verhältnisse deutlich geringer. Grasschnitt verbleibt derzeit überwiegend auf den Flächen und wird im Folgenden deswegen separat ausgewiesen (Tab. 14). Die Faktoren zum spezifischen Biomasseaufkommen wurden in der Regel einer Studie (LfULG 2012) entnommen, in der der Kenntnisstand aus vorliegenden Untersuchungen zusammengetragen wurde.

**TAB. 12: GRÜNGUTAUFKOMMEN AUF ERHOLUNGSFLÄCHEN**

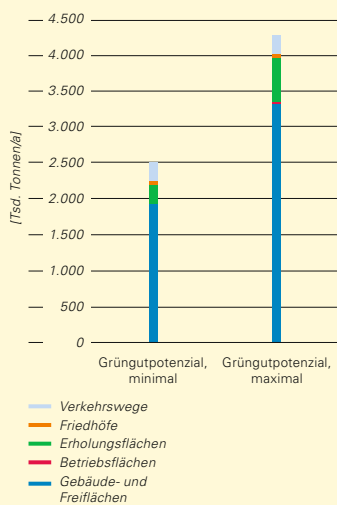
	SPORTFLÄCHEN	GRÜNLANLAGEN	CAMPINGPLÄTZE
Annahmen für Minimalabschätzung	Freifläche beträgt rund 50 %; minimaler Faktor für das Grüngutauflkommen 6 t/ha*a	Freifläche beträgt 100 %; minimaler Faktor für das Grüngutauflkommen 13 t/ha*a	Freifläche beträgt 100 %; minimaler Faktor für das Grüngutauflkommen 16 t/ha*a
Annahmen für Maximalabschätzung	Freifläche von 100 %, Grüngutauflkommen von 16 t/ha*a	Freifläche von 100 %, Grüngutauflkommen von 22,3 t/ha*a	Wie Minimalabschätzung

**TAB. 13: GRÜNGUTAUFKOMMEN AUF FRIEDHÖFEN**

	HOCHVERDICHTETE STADT- UND LANDKREISE	VERDICHTETE UND LÄNDLICHE LANDKREISE
Abgrenzungskriterium	>1.000 E/km <sup>2</sup>	< 1000 E/km <sup>2</sup>
Annahmen für Minimalabschätzung	Freifläche beträgt 100 %; minimaler Faktor für das Grüngutauflkommen 25 t/ha*a	Freifläche beträgt 100 %; minimaler Faktor für das Grüngutauflkommen 19 t/ha*a
Annahmen für Maximalabschätzung	Freifläche von 100 %, Grüngutauflkommen von 31 t/ha*a	Freifläche von 100 %, Grüngutauflkommen von 22 t/ha*a

**TAB. 14: GRÜNGUTAUFKOMMEN BEI VERKEHRSWEGEN**

	FAKTOREN (AUSSERORTS)	FAKTOREN (INNERORTS)
Bundesautobahnen	3,5 t/km*a holzig + 18,3 t/km*a Grasschnitt	
Bundesstraßen	1,5 t/km*a holzig + 6,2 t/km*a Grasschnitt	Annahme: wie Gemeindestraßen
Landesstraßen	1,5 t/km*a holzig + 6,2 t/km*a Grasschnitt	Annahme: wie Gemeindestraßen
Kreisstraßen	1,5 t/km*a holzig + 6,2 t/km*a Grasschnitt	Annahme: wie Gemeindestraßen
Gemeindestraßen		1 t/km*a holzig, Grasschnitt und krautiges Material verbleibt und wird nicht berechnet
Wirtschaftswege		Annahme: wie Gemeindestraßen
Schienen	3,5 t/km * a holzig	
Wasserwege	4,5 t/km * a Grasschnitt 0,9 t/km * a holzig	



**ABB 44: MINIMALES UND MAXIMALES THEORETISCHES JÄHRLICHES GRÜNGUTPOTENZIAL IN BADEN-WÜRTTEMBERG**

## ERGEBNISSE

Summiert man das Grüngutpotenzial der verschiedenen Flächen, ergibt sich das Gesamtpotenzial. Zu beachten ist, dass es sich um ein theoretisches Potenzial handelt, das sinnigerweise nicht vollständig gehoben werden sollte. Denn aus ökologischen Gründen sollte ein Teil des Grünguts auf den Flächen verbleiben, nicht zuletzt zum Artenschutz.

Auf diese Weise lässt sich das Grüngutpotenzial aller Kreise Baden-Württembergs einzeln berechnen. Aufsummiert ergibt sich für das Land ein jährliches Grüngutpotenzial von mindestens 2,5 und höchstens 4,26 Millionen Tonnen (Abb. 44). Angesichts dessen, dass 2013 nur 906.000 Tonnen gesammelt wurden, lässt sich schlussfolgern, dass gegenwärtig gerade einmal 22 bis 37 Prozent des Grüngutpotenzials getrennt erfasst werden.

Das mit Abstand größte Potenzial bieten Wohn- und Freiflächen, zu gleichen Teilen gefolgt von Erholungsflächen und Verkehrswegen. Bei Betriebsflächen liegt es bei unter einem Prozent.

In einer Studie für das Umweltbundesamt (UEC/Gavia 2014) wurde das Grüngutpotenzial mit Hilfe der Faustzahl 1,9 Kilogramm pro Quadratmeter Gartenfläche geschätzt. Dies ergab ein spezifisches Aufkommen von 177 Kilogramm pro Einwohner und Jahr, das somit unter den hier ermittelten Grüngutpotenzialen liegt. Die Gartenfläche wurde anhand statistisch erfasster Grundstücksgrößen unter Abzug der bebauten Fläche berechnet. Die oben aufgezeigten Mengen entsprechen einem theoretischen Potenzial von 238 bis 405 Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Unterstellt wurden zum

einen größere Gartenanteile an den bebauten Grundstücken, zum anderen wurden weitere Siedlungsflächen einbezogen.

Bei den Abschätzungen des Grüngutaufkommens der einzelnen Kreise in Baden-Württemberg wirken sich nicht nur die unterschiedliche Besiedlungsdichte, sondern auch die unterschiedlichen Kreisgrößen aus. Besonders hohe Potenziale an Grüngutaufkommen sind im Ortenaukreis, Ostalbkreis und Rhein-Neckar-Kreis zu erwarten (Abb. 45).

## 6.1.2 Nahrungs- und Küchenabfälle

Zur Abschätzung des in den Haushalten selbst anfallenden Bioguts, also im Wesentlichen der in Küchen anfallenden biogenen Abfälle, liegen zwei umfangreiche Studien vor, die auch der Studie für das Umweltbundesamt (UEC/Gavia 2014) zur Frage der verpflichtenden Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen zugrunde gelegt wurden. Umfassende Untersuchungen des Aufkommens bieten zudem die Studien Kranert 2012 und Rosenbauer 2011.

In umfangreichen Tagebuchaufzeichnungen von 200 Haushalten (Rosenbauer 2011) lässt sich ableiten, dass in Privathaushalten rund 21 Prozent der gekauften Lebensmittel weggeworfen werden, das sind pro Kopf durchschnittlich 82 Kilogramm pro Jahr. Davon wären 59 Prozent vermeidbar.

Die Studie von Kranert (2012) basiert auf Abfallanalysen, die die Entsorgungswege über die einzelnen abfallwirtschaftlichen Systeme nachvollziehbar machen. Danach entsorgt jeder Einwohner jährlich



durchschnittlich 42,7 Kilogramm über die Restabfalltonne und 19,1 Kilogramm über die Biotonne. Bis zu 18,4 Kilogramm werden selbst kompostiert, 4 bis 19 Kilogramm über das Abwasser entsorgt und 3 Kilogramm an Haustiere verfüttert.

### 6.2 Eigenkompostierung

Beschränkt man sich bei den Kompostmengen auf den tatsächlichen Nährstoffbedarf des Bodens, stellt die Eigenkompostierung für bestimmte Bioabfälle eine ökologisch sinnvolle Ergänzung der Biotonne dar. Durch die Verwertung vor Ort entfallen vor allem die Aufwendungen für die Sammlung und den Transport zu zentralen Verwertungsanlagen.

Hauptnutzen ist die Zufuhr organischer Masse und damit die Verbesserung der biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der Böden. Die Bodenfruchtbarkeit wird gesteigert, und der Kompost kann andere Bodenverbesserer, insbesondere Torfprodukte, ersetzen. Je nach kompostierten Ausgangsmaterialien enthalten Komposte zudem Pflanzennährstoffe – bei Küchenabfällen sind es mehr als bei reinen Gartenabfallkomposten, insbesondere dann, wenn nicht nur krautige Massen verwertet werden.

In der Landwirtschaft wird die Zufuhr von Pflanzennährstoffen auf landwirtschaftlich genutzte Böden über § 3 der Düngeverordnung geregelt; „Vor der Aufbringung von wesentlichen Nährstoffmengen an Stickstoff oder Phosphat mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln ist der Düngebedarf der Kultur sachgerecht festzustellen. (...) Die Düngebedarfsermittlung

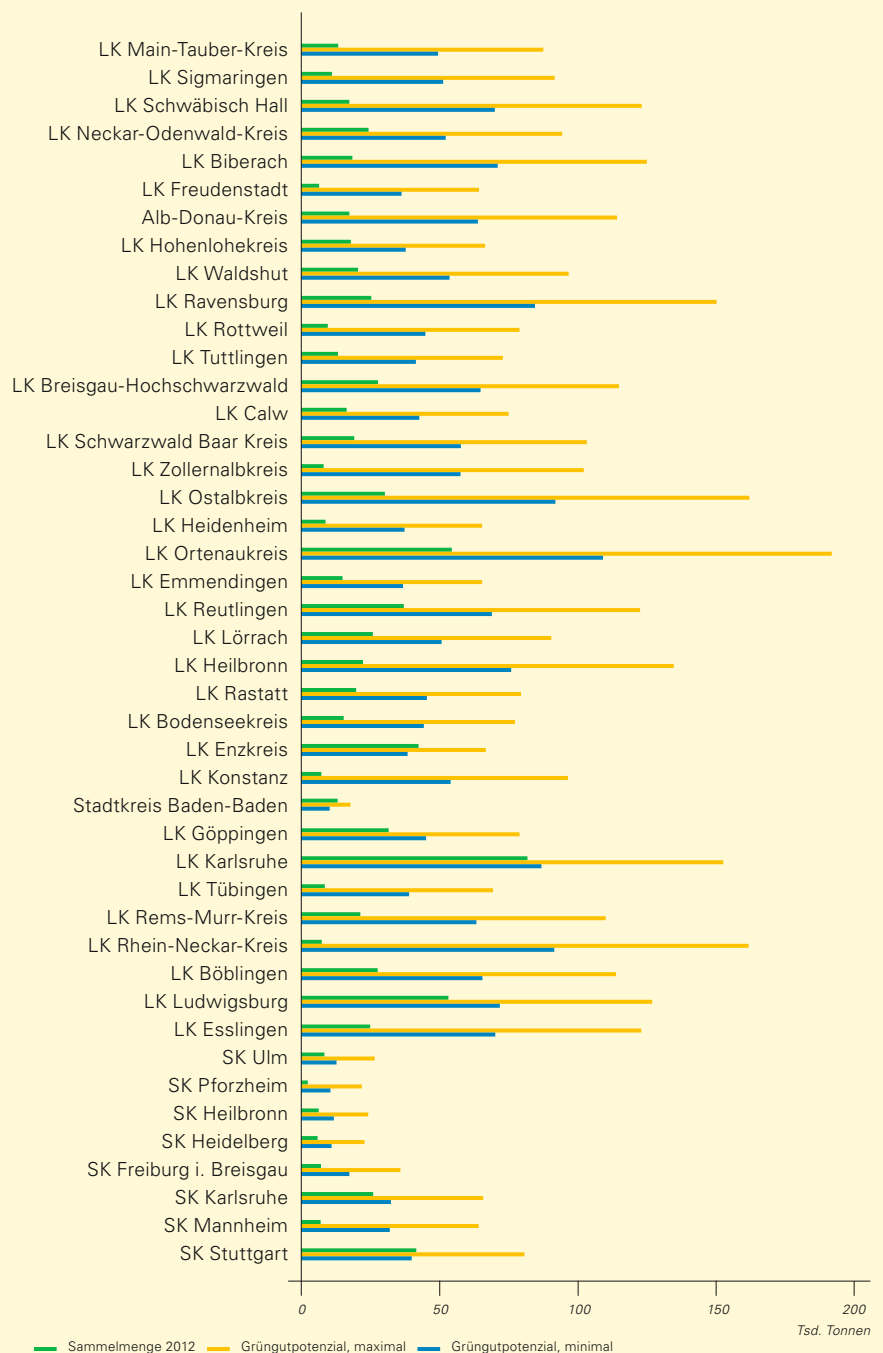


ABB. 45: MINIMALES UND MAXIMALES THEORETISCHES JÄHRLICHES GRÜNGUTPOTENZIAL NACH KREISEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG



TAB. 15: MENGENANGABEN ZUR ORIENTIERUNG (VHE 2013)

BEWUCHS	KOMPOSTGABE
<b>Nutzgartenflächen</b>	
Hoher Nährstoffbedarf (z. B. Tomaten, Wirsing, Porree, Kürbis)	rund 3 l/m <sup>2</sup> ,a
Mittlerer Nährstoffbedarf (z. B. Gurke, Möhre, Zwiebel)	rund 2 l/m <sup>2</sup> ,a
Geringer Nährstoffbedarf (z. B. Bohne, Paprika, Erbse, Kopfsalat)	rund 1 l/m <sup>2</sup> ,a
Obstgehölze	rund 1 l/m <sup>2</sup> ,a
<b>Ziergartenflächen</b>	
Ziergehölze	rund 1 l/m <sup>2</sup> ,a
Stauden: schwachwüchsig	rund 1 l/m <sup>2</sup> ,a
Stauden: starkwüchsig	rund 2 l/m <sup>2</sup> ,a
Rasen	rund 2 l/m <sup>2</sup> ,a

muss so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.“ Diese Vorgaben sollen sicherstellen, dass es zu keiner Eutrophierung der Böden und nachfolgend von Stickstoffeinträgen in das Grundwasser kommt.

Das Ziel des Boden- und Grundwasserschutzes muss aber auch für privat genutzte Gärten gelten. Bodenproben haben ergeben, dass sie oft deutlich mit Pflanzennährstoffen übersorgt sind. Düngemittelgaben müssen also auch hier deutlich besser an den tatsächlichen Bedarf der Pflanzen ausgerichtet werden. Zierpflanzen, Rasenflächen sowie Gehölze und Stauden haben in aller Regel einen geringen Bedarf an Pflanzennährstoffen. Damit der Boden nicht überdüngt wird oder sich Schadstoffe anreichern, muss Kompost also mit Augenmaß ausgebracht werden.

Für die Landwirtschaft wird in § 6 Abs. 1 BioAbfV folgende Obergrenze der Kompostausbringung formuliert: Die maximale Kompostgabe soll rund

1,1 kg Frischmasse pro Quadratmeter und Jahr betragen und dies im Pflanzenbau mit erheblich höheren Nährstoffbedarfen. Für Privatgärten (Tab. 15) werden je nach Bewuchs unterschiedliche Kompostmengen empfohlen – zum Teil liegen sie über den in der BioAbfV festgelegten Mengen. Werden Gärten neu angelegt, kann es zum Beispiel notwendig sein, höhere Kompostmengen auszubringen, um den Böden die notwendigen Nährstoffe zuzuführen. Häufig werden Komposte nur auf bestimmten Teilflächen ausgebracht, obwohl Kompostanwendungen auf nahezu allen Beet- und Grünflächen möglich und sinnvoll sind. Bei korrekter Dosierung tragen sie auf Rasenflächen, bei Obst- und Ziergehölzen sowie Sträuchern und Hecken zur Bodenverbesserung bei.

Legt man folgende Kennwerte zugrunde,

- 81 kg/Jahr Küchenabfälle pro Person im Haushalt
- 2 kg/Jahr Gartenabfall pro Quadratmeter Garten
- 50 % Rotteverlust
- 0,65 kg/l Kompost
- 2 l/m<sup>2</sup> Kompost pro Jahr

ist für eine langfristige, vollständige und sachgerechte Verwertung aller organischen Abfälle je nach Haushaltsgröße die in Tabelle 16 dargestellte Gartenfläche erforderlich.

Unterstellt wird ein Bewuchs mit mittlerem Nährstoffbedarf, also zum Beispiel der Anbau von Gemüse. Außerdem ist der Berechnung zugrunde gelegt, dass die Komposte auf der gesamten Gartenfläche ausgebracht werden. In der Praxis werden Rasenflächen oft ausgenommen und nur einige Beete mit Kompost versorgt. Ein klassischer Hausgarten müsste also deutlich größer sein als in der

TAB. 16: RECHNERISCH NOTWENDIGE MINDESTGARTENGRÖSSE

Personen im Haushalt	Rechnerisch erforderliche begrünte Gartenfläche ca. [in m <sup>2</sup> ]
1	130
2	260
3	400
4	540
5	700
6	840
7	950
8	1.100

Tabelle dargestellt. Dies gilt umso mehr, wenn Komposte nicht auf der gesamten Gartenfläche ausgebracht werden.

Nicht alle organischen Abfälle eignen sich gleichermaßen zur Eigenkompostierung. Zu beachten ist insbesondere, dass Holzasche im Kompost zu Zinkanreicherungen und außerhalb der EU produzierte Schnittblumen sowie konserviertes Obst und Gemüse zu Pestizid- und Schadstoffeinschleppungen führen können. Tabelle 17 bietet Orientierung.

Zudem ist bei der Eigenkompostierung der Aspekt der Hygiene zu beachten. Im Idealfall werden Küchen- und Gartenabfälle in drei Phasen zu wertvollem Kompost zersetzt: Abbau, Umbau und Aufbau (Reifung). In der ersten Phase, der Abbau- oder Heißrottephase, entstehen im Hausgartenkomposter durch mikrobielle Stoffwechselprozesse Temperaturen von bis zu 50 °C – die in der BioAbfV geforderten 55 °C über zwei Wochen werden also kaum erreicht. Kranke Pflanzenteile oder auch Unkrautsamen, vor allem aber Nahrungsabfälle sollten deshalb nicht im eigenen Garten, sondern in entsprechend ausgelegten zentralen Bioabfallverwertungsanlagen verwertet werden.

*Die sichere Abtötung von Krankheitserregern und phytopathogenen Keimen ist im Rahmen der Eigenkompostierung nicht immer gewährleistet. Nahrungsabfälle oder kranke Pflanzenteile sind deshalb für die Eigenverwertung nicht geeignet.*

Abfallbehandlungsanlagen müssen Immissionschutzgesetze erfüllen und entsprechend genehmigt werden. Sie werden emissionsmindernd betrieben

**TAB. 17: EIGNUNG ORGANISCHER ABFÄLLE FÜR DIE EIGENKOMPOSTIERUNG (VHE 2013)**

GUT GEEIGNET	WENIGER GUT GEEIGNET	NICHT GEEIGNET
Obstabfälle	Zitrusfrüchte	Kranke Pflanzenteile
Gemüseabfälle	Biol. abbaubare Kleintierstreu, Heu, Stroh	Fischreste und -gräten
Brotreste	Zellstofftücher, Zeitungspapier, Küchenkrepp	Fleisch- und Knochenreste
Eierschalen (am besten zerdrückt)	Haare, Federn	Käsereste (inkl. Naturrinde)
Nicht gekochte Essensreste		Milchproduktreste
Schnittblumen, Topfpflanzen		Gekochte oder verdorbene Speisereste
Strauch-, Hecken- und Baumschnitt (zerkleinert)		
Alte Blumenerden aus Kübeln und Beeten		
Laub, Nadeln, Reisig, Moos		
Gras, Rasenschnitt, (Un-)Kräuter		
Nusschalen		
Kaffeersatz, Filtertüten, Teebeutel		

– und dabei geht es nicht nur um Luftschadstoffe, sondern auch um Gerüche. Verbleibende belastete Abluft wird gefasst und gereinigt.

Bei der Eigenkompostierung laufen prinzipiell dieselben biologischen und chemischen Prozesse ab wie bei der Kompostierung in Anlagen, allerdings kann sie deutlich schlechter gesteuert werden. Erfolgt sie technisch nicht einwandfrei, kann dies zum Vernässen führen. Dies wiederum hat zur Folge, dass in anaeroben Zonen Methan- und Lachgas-Emissionen mit entsprechend klimaschädlichen Auswirkungen entstehen. Lockert man regelmäßig auf und setzt um, reduzieren sich die sauerstoffarmen Bereiche. Grünschnitt als Strukturmaterial

schafft Hohlräume und verbessert die Belüftung. Zudem sollte der Komposter abgedeckt werden, denn dies verhindert übermäßige Feuchte durch Niederschläge und verringert die Gefahr der Nährstoffauswaschung.

Demzufolge sollte die Eigenkompostierung nur unter Auflagen zu einer Freistellung von der Biotonne führen. Sie sollten einfach kontrollierbar sein und gewährleisten, dass

- zur Verwertung des Komposts eine ausreichende Gartenfläche zur Verfügung steht,
- die Art der Gartennutzung eine hohe Nährstoffzufuhr erfordert, der Kompost somit sinnvoll eingesetzt werden kann – und dass dies auch erfolgt,
- die Kompostierung so durchgeführt wird, dass möglichst wenig Emissionen entstehen.

In aller Regel bildet die Eigenkompostierung eine sinnvolle Ergänzung der Biotonne. Gartenbesitzer, die sich von der Biotonne freistellen lassen wollen, müssen einen Antrag stellen und entsprechende Nachweise liefern. Ob die entsprechenden Auflagen der jeweiligen Abfallsatzung eingehalten werden, kann in besonderen Fällen durch Grundstücksbehörden und die Kontrolle des Restmülls geprüft werden. Eine umfassende Beratung und Betreuung von Eigenkompostierern ist erforderlich (Fricke, Turk 2011; Henssen 2009).

### 6.3 Sammelsysteme für Grüngut

Neben Biogut, das über die Biotonne gesammelt werden kann, fallen in den Kommunen auch Strauch- und Baumschnitte aus privaten und öffentlichen Gärten sowie Grünanlagen an. Klassisch wird dieses Grüngut im Bringsystem erfasst und dies meist über Sammelplätze. In Städten mit wenig kostengünstigen Flächen können auch Container eingesetzt werden, die entweder auf Recyclinghöfen oder im Straßenraum bereitgestellt werden. Ein derartiges Erfassungssystem überlässt die Last der Logistik weitgehend dem Abfallerzeuger. Um eine hohe Akzeptanz zu erreichen und damit hohe Erfassungsmengen und -qualitäten zu erzielen, bedarf es eines möglichst guten Angebots. Oft wird es durch ein Holsystem ergänzt; manchmal ist die Abholung auf Anforderung gebührenpflichtig. Weihnachtsbäume werden in der Regel kostenlos eingesammelt, nicht selten durch Vereine.

Das über Sammelplätze erfasste Grüngut sowie dessen Herkunft und Verbleib umfänglich zu dokumentieren ist dann notwendig, wenn es im Rahmen einer gesonderten Genehmigung (§ 10 BioAbfV) vor der Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen nicht hygienisiert werden soll. Bei der klassischen Verwertung über Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen, in denen hygienisiert wird, ist die Dokumentation der Massen ausreichend, die von den Sammelplätzen zu den Verwertungsanlagen gehen.

**DIE EIGENKOMPOSTIERUNG  
KANN EINE SINNVOLLE  
ERGÄNZUNG DER BIOTONNE  
DARSTELLEN.**



### 6.3.1 Erfassung über Sammelplätze

#### VERFÜGBARKEIT

Für ein gutes System zur Erfassung von Grüngut ist vor allem ein ausreichend dichtes Netz an Übergabepunkten notwendig. Wie die Analyse der Verhältnisse in Baden-Württemberg zeigt, werden die größten Erfolge mit einer Netzdichte von weniger als fünf Quadratkilometern Siedlungsfläche, das heißt tatsächlich überbauter Fläche, pro Übergabepunkt erzielt. Eine weitere Kenngröße kann ein Übergabepunkt pro 10.000 Einwohner sein. Übergabepunkte sollten grundsätzlich das ganze Jahr über zur Verfügung stehen, außer zum Beispiel in schneereichen Höhenlagen. Je geringer die Distanz zwischen den Grünflächen/Gärten und den Übergabepunkten ist, umso größer ist die Menge an Grüngut, die zur Verwertung übergeben wird. (LUBW/IFEU 2010)

Neben einer möglichst geringen Distanz ist die zeitliche Verfügbarkeit der Übergabepunkte sehr bedeutend für den Erfolg. Handelt es sich um umzäunte Plätze, sind Öffnungszeiten auch außerhalb der Kernarbeitszeiten wichtig, damit sie auch für Privatpersonen attraktiv sind. Auf jeden Fall sollten Samstagnachmittage einbezogen sein.

In einigen Kreisen sind die Sammelplätze nicht eingezäunt. Gartenabfälle können dann ohne zeitliche Restriktion abgegeben werden. Dies ist aber nicht immer mit Erfolg verbunden, denn oft werden zwar große Mengen erfasst, aber der Grad an Verunreinigungen, Fehlwürfen und illegalen Ablagerungen ist hoch. Dass dies nicht zwangsläufig der Fall sein muss, zeigt das Beispiel des Landkreises

Ludwigsburg. Hier ist der Weg zu den Sammelplätzen nicht beschildert, sodass sie vor allem von der Ortsbevölkerung genutzt werden. Sie werden von den Kommunen des Landkreises betrieben und betreut. Je gepflegter das Erscheinungsbild, umso höher ist die Hemmschwelle, sie beispielsweise für illegale Ablagerungen zu missbrauchen. Deshalb bemühen sich Scouts um die Plätze; sie beraten und betreuen in den Kernzeiten die Anlieferer.

#### GEBÜHRENERHEBUNG

Die Kostenstruktur für die Grünguterfassung ist umso günstiger, je mehr man auf vorhandene Einrichtungen und Personal zurückgreifen kann. So können ergänzende Übergabepunkte in abfallwirtschaftlichen Einrichtungen wie Wertstoffhöfen, Abfallbehandlungsanlagen und Deponien sinnvoll sein. Auch öffentliche Einrichtungen wie kommunale Bauhöfe oder Kläranlagen bieten sich an. Zudem sollten Kooperationen mit Bauschutt aufbereitungsanlagen, Erddeponien, Tiefbau- oder Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus geprüft werden. Der Untergrund der Übergabepunkte muss befestigt sein.

Da sich die Erlössituation positiv entwickelt und die Kassenführung Aufwand verursacht, kann darauf verzichtet werden, Gebühren für die Anlieferung zu erheben.

Auch im Garten- und Landschaftsbau fällt in größerem Umfang Grüngut zur Entsorgung an. Da die wenigsten Betriebe noch in der Lage sind, es auf dem Betriebsgelände zu Komposten und Substraten zu verarbeiten, wird es meist der Abfallverwertung übergeben. In aller Regel stammt es aus der Pflege

AN SAMMELPLÄTZEN WERDEN VOR ALLEM HOLZIGE GARTEN-ABFÄLLE SOWIE STRAUCH-SCHNITT ANGELIEFERT.

von Grundstücken, die an die Abfallentsorgung angeschlossen sind und für die somit bereits Abfallentsorgungsgebühren entrichtet werden.

Massen, die aus der Bewirtschaftung öffentlicher Flächen stammen und von den Gemeinden direkt oder durch beauftragte Dritte, wie Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus, übergeben werden, können bei Bedarf getrennt gehalten und mit Gebühren veranschlagt werden. Eine andere Lösung ist die Kooperation zwischen Kommunen und Kreis. Im Kreis Ludwigsburg stellen die Kommunen die Flächen für die Sammelplätze und sind für deren Betreuung und technische Ausstattung verantwortlich. Im Gegenzug wird Grüngut aus der Pflege öffentlichen Grüns ohne gesonderte Kostenberechnung in das System übernommen.

#### STOFFSTROMMANAGEMENT

An Sammelplätzen werden vor allem holzige Gartenabfälle sowie Strauchschnitt angeliefert, aber auch krautiges Grüngut. Da sie unterschiedliche stoffliche Eigenschaften und Nutzungspotenziale haben, sollten sie über ein angepasstes Stoffstrommanagement getrennt erfasst, aufbereitet und den Verwertungswegen zugeführt werden.

Eher krautiges Grüngut sollte man vom Hauptmassenstrom trennen. Es weist ein anderes Emissionspotenzial auf als die anderen angelieferten Gartenabfälle und sollte auch anders verarbeitet und vermarktet werden. Sinnvollerweise sollte es in Anteilen dem System der Biogutverwertung zugeführt werden. Um jahreszeitliche Spitzen abzufangen, kann es sinnvoll sein, kostenpflichtige Papiersäcke bereitzustellen. Sind die Sammelplätze unzurei-

chend befestigt und damit nicht ausreichend abgedichtet, ist das krautige Material in flüssigkeitsdichten Containern zu erfassen.

Beim Strauchschnitt und holzigen Grüngut ist der erste Aufbereitungsschritt das Häckseln. Dies kann zentral erfolgen, beispielsweise an den Standorten der Kompostierungsanlagen. Zur Minimierung der Logistikkosten werden mobile Häckselzüge eingesetzt. Siebt man das Häckselgut mit einem entsprechenden Siebschnitt, erhält man Teilströme, die andernorts zu Hackschnitzeln oder Kompost weiterverarbeitet werden. Das Transportvolumen des gehäckselten Grünguts ist gegenüber dem unzerkleinerten Ausgangsmaterial deutlich geringer.

Nicht alle Grundstücksbesitzer sind in der Lage oder willens, das Material selbst zu verladen und abzufahren. Es kann daher sinnvoll sein, die Abholung auf Abruf zu etablieren oder Container bereitzustellen.

### 6.3.2 Sammlung über Container

In vielen Städten und Kreisen kann Grüngut auch in Wertstoffhöfen abgegeben werden. Meist wird es wegen der begrenzten Flächen in Containern oder Presscontainern gesammelt. Privathaushalte können ihre Kleinmengen hier bequem anliefern, oft geben sie auch gleich andere Abfälle beziehungsweise Wertstoffe ab.

Kleingartenanlagen spielen beim Aufkommen von Gartenabfällen in vielen Städten eine große Rolle. In der Stadt Mannheim zum Beispiel nehmen sie einen erheblichen Teil der Stadtfläche ein. Als Er-

gänzung zur Eigenkompostierung und Alternative zur Verbrennung stellt die Stadt in Zusammenarbeit mit den Kleingartenvereinen Container bereit. Sie können jeweils wenige Tage ohne gesonderte Gebühr genutzt werden.

In Absprache mit den Kleingartenvereinen können derartige Containerstandorte für die direkte Nachbarschaft geöffnet werden. Wie beim Scout-System des Kreises Ludwigsburg werden die Vereine dann für ihren Betreuungsaufwand entschädigt. Für Städte wie Mannheim wäre dies eine Möglichkeit, das Angebot an Übergabepunkten deutlich und vergleichsweise kostengünstig auszuweiten.

Dass eine Bereitstellung von Containern für Grüngut auch ohne Betreuung selbst in Großstädten möglich ist, zeigt das Beispiel der Stadt Karlsruhe. Hier wurden mehrere frei zugängliche Containerstandorte eingerichtet, zum Teil praktisch im Straßenraum. Die Stadt Karlsruhe stellt hochwertigen Grüngutkompost her, der güteüberwacht auch an Erden- und Substratwerke vermarktet wird. Die hohe Produktqualität basiert auf einer guten Inputqualität, also entsprechend sauberen Gartenabfällen als Ausgangsmaterial. Die Containerstandorte werden täglich angefahren, die Container gewechselt und die Plätze gepflegt. Dies ist auch deshalb notwendig, weil das System von seinem eigenen Erfolg quasi überrollt wird. Es werden so viele Gartenabfälle abgegeben, dass selbst bei täglicher Abholung an Werktagen Gartenabfälle in Säcken neben die Container gestellt werden, weil sie voll sind. Dies gilt insbesondere für Wochenenden in Monaten mit hohem Gartenabfallaufkommen.

### 6.3.3 Sammlung auf Abruf

Selbst wenn flächendeckend Übergabepunkte eingerichtet sind, die ohne zeitliche Einschränkung genutzt werden können, gibt es für manche Menschen immer noch Hemmnisse, das Angebot wahrzunehmen. So verfügt nicht jede Haushaltung über ein Fahrzeug, das für den Transport von Grüngut geeignet wäre.

Die klassische Lösung dieses Problems besteht darin, Unternehmen aus den Bereichen Garten- und Landschaftsbau oder Hausmeisterservices mit der Abholung zu beauftragen. Da in diesem Fall nachgewiesen werden kann, dass das Material aus Privatgrundstücken und damit aus an die Abfallentsorgung angeschlossenen Grundstücken stammt, müssen keine gesonderten Gebühren erhoben werden.

Ergänzend holen einige Kreise Grüngut an festgelegten Tagen gegen gesonderte Berechnung auf Abruf ab. Wie beispielsweise in Baden-Baden kann dieser Service auch das Bereitstellen entsprechender Container umfassen.

### 6.4 Sammelsysteme für Biogut

Als Sammelgefäß hat sich weitestgehend die braune, meist 120 oder 240 Liter fassende Biotonne durchgesetzt. Der Nutzen von Spezialbehältern mit Belüftung und Geruchsfilter ist nicht nachweisbar (Kern, Karass 2004). Manchmal wird das Behältervolumen einwohnerspezifisch festgelegt (siehe Kap. 6.7), dann werden auch Behälter mit einem Volumen von 60 oder 80 Litern angeboten. In Großwohnanlagen kommen bis zu 550 Liter fassende

**DIE BEREITSTELLUNG VON CONTAINERN FÜR GRÜNGUT IST AUCH OHNE BETREUUNG SELBST IN GROSSSTÄDTEN MÖGLICH.**



Biotonnen zum Einsatz. Das spezifische Volumen einer Biotonne sollte 20 Liter pro Einwohner und Woche nicht unterschreiten (Henssen 2009).

Häufig werden die Tonnen alle 14 Tage geleert. Im Sommer kann der Rhythmus dann wegen der potenziellen Geruchsproblematik und dem höheren Aufkommen von Gartenabfällen auf wöchentlich umgestellt werden. Zusätzlich zur Biotonne sollte ein Vorsortiergefäß für die Wohnung ausgegeben werden.

Um die Akzeptanz der Biogutsammlung zu fördern, ist eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Während der Einführungsphase sollte sie besonders intensiv sein und danach begleitend weitergeführt werden. Ausschlaggebend für den Erfolg der getrennten Erfassung des Bioguts ist ein schlüssiges Gesamtkonzept, das die Öffentlichkeitsarbeit, Vorgaben zu Befreiungsmöglichkeiten aufgrund Eigenkompostierung (siehe Kap. 6.6.1) inklusive der entsprechenden Kontrolle, angemessene Behältergrößen, die fachgerechte Abfuhr und ein stimmiges Gebührensystem (siehe Kap. 6.6.2) umfasst. Für die Öffentlichkeitsarbeit können Instrumente wie Briefe an die Einwohner, Beratungsangebote, Broschüren, Plakate und Anzeigen genutzt werden. Wichtig ist, dass die Einwohner erfahren, welche Produkte aus ihrem Bio- und Grüngut hergestellt werden – zum Beispiel durch Tage der Offenen Tür im Kompostwerk oder Anwenderschulungen in Gartenbauvereinen.

Die Öffentlichkeitsarbeit muss auf die Zielgruppen abgestimmt sein. Besonders umfassende Maßnahmen sind in Großwohnanlagen erforderlich. Hier

bietet sich eine intensive Zusammenarbeit mit Wohnungsgesellschaften an. Mit einer guten Beratung und Müllschleusen bei den Restmüllbehältern können die Biogutpotenziale auch dort mit akzeptabler Qualität abgeschöpft werden (ATUS 2007, Kern et al. 2007). Auf entsprechend positive Erfahrungen kann in diesem Bereich zum Beispiel München verweisen (Kern et al. 2009).

Gerade in Großwohnanlagen besteht das Biogutaufkommen vor allem aus Nahrungs- und Küchenabfällen. Um hier die notwendige Akzeptanz für die Biotonne zu schaffen, kann es notwendig sein, Angebote zu machen, die zu weniger Hygieneproblemen und Geruchsbelästigung führen. Werden in der Biotonne fast ausschließlich Nahrungs- und Küchenabfälle gesammelt, fehlen die strukturgebenden Gartenabfälle, die den Feuchtigkeitsgehalt in den Tonnen regulieren und damit die Bildung von Geruchsemissionen mindern. Damit man deshalb den Abfuhrturnus nicht deutlich verkürzen muss, kann man diesen Haushaltungen gezielt biologisch abbaubare Kunststoffbeutel zur Vorsortierung anbieten. Dadurch bleibt die Biotonne sauberer und das Aufkommen von Maden wird unterdrückt. Eine klassische Alternative ist das Einwickeln der Küchenabfälle in altes Papier oder Küchenpapier, was auch den Feuchtehaushalt in den Biotonnen und damit das Geruchspotenzial positiv beeinflusst (Henssen 2009). Die Herstellung der Beutel aus vor allem landwirtschaftlichen Rohstoffen und deren Verarbeitung zu Kunststoffen sind allerdings mit deutlichen Umweltlasten verbunden. Ihr Einsatz sollte deshalb auf Großwohnanlagen oder Innenstadtlagen beschränkt bleiben. Stellt man die biologisch abbaubaren Kunststoffbeutel den Haushalten



zur Verfügung, ist gewährleistet, dass geeignete Produkte verwendet werden.

Henssen (2009) gibt folgende Tipps zum Umgang mit der Biotonne:

- Einige Zweige, etwas Pappe oder einige Lagen zerknülltes Zeitungspapier auf den Boden der Gefäße geben
- Strukturmaterialien zugeben, einschließlich Zeitungspapier und Küchenpapier
- Feuchte oder nasse Abfälle möglichst locker in Zeitungspapier gewickelt in die Tonne füllen
- Den Inhalt der Gefäße nie zusammenpressen
- Dicht schließende und damit ratten- und fliegensichere Abfallgefäße verwenden, und den Deckel der Biotonne stets geschlossen halten
- Verschmutzte Abfall- und Sammelgefäße reinigen
- Vorsortiergefäße in der Wohnung häufig leeren
- Die Biotonne nicht in Wohn- und Aufenthaltsräumen aufstellen
- Einen schattigen und zugleich frostsicheren Standplatz für die Biotonne wählen

## 6.5 Die Einführung der Biotonne aus ökonomischer Sicht

Die ökonomischen Auswirkungen der Einführung oder Optimierung der Bioguterfassung über das Holsystem Biotonne inklusive der hochwertigen Behandlung des Materials hängen von mehreren Faktoren ab. Zu berücksichtigen sind insbesondere Wechselwirkungen zwischen verschiedenen abfallwirtschaftlichen Leistungsbereichen der öffentlichen Entsorgungsträger, wie zum Beispiel die Auswirkungen auf das System der Restabfallbehandlung.

Deutlichen Einfluss auf die Kosten haben unter anderem das Gebührenmodell, das zur Verfügung gestellte Behältervolumen, der Abfuhrhythmus und Anschlussgrad, die Sammelmenge sowie die Biogut- und Restabfallbehandlung.

Zur Kalkulation sind folgende Punkte und spezifischen Rahmenbedingungen von Relevanz:

### ERFASSTE BIOABFALLMENGEN UND VERLAGERUNGEN AUS DER STOFFSTROMUMLENKUNG

In Deutschland liegen die durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger über die Biotonne erfassten Biogutmengen bei 2 bis 224 Kilogramm pro Einwohner und Jahr (UEC/Gavia, 2014) – eine Spanne, die erklärungsbedürftig ist. Korrelationen bei der Auswertung zahlreicher Analysen zeigen deutlich den Einfluss des Behältervolumens und des Anschlussgrads der Biotonne. Je höher das Volumen und der Anschlussgrad, desto höher das Aufkommen an Biogut. Darüber hinaus wirken sich natürlich auch Faktoren wie die Gebührengestaltung und die begleitende Öffentlichkeitsarbeit aus. Ihr Einfluss kann aber nicht so eindeutig gemessen werden.

Die erfassten Biogutmengen stammen nicht alleine aus dem organischen Anteil des Restabfalls. Je nach Ausgestaltung des Systems der Getrenntsammlung ist auch mit Verlagerungen aus anderen Stoffströmen (Abb. 46) wie der Eigenkompostierung, der illegalen Entsorgung (Verbrennung, Ablagerung) und der Grünguterfassung zu kalkulieren. Will man die wirtschaftlichen Auswirkungen der Einführung der Biotonne bewerten, sind diese Stoffstromverschiebungen wesentlich.

**JE HÖHER DAS VOLUMEN UND DER ANSCHLUSSGRAD DER BIOTONNE, DESTO HÖHER DAS BIOGUTAUFKOMMEN**

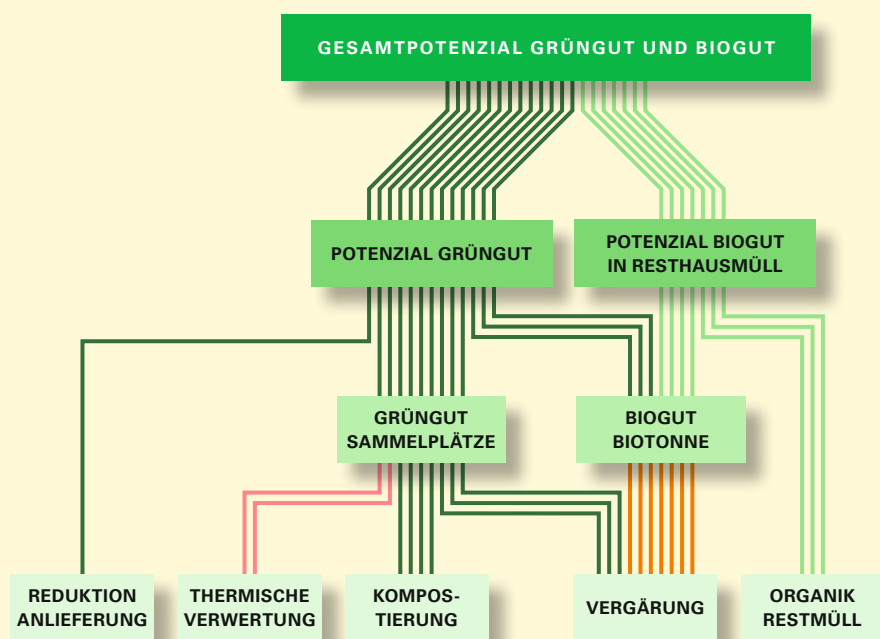


ABB. 46: STOFFSTROMVERSCHIEBUNG ZWISCHEN BIO- UND GRÜNGUT

Wesentlichen Einfluss auf die Stoffstromverschiebung haben das Behältervolumen und die Gebührengestaltung. Stellt man nur ein geringes Behältervolumen zur Verfügung und schließt die Entsorgung von Strauchwerk und holzigen Bestandteilen über die Biotonne aus, halten sich die erfassbaren Mengen in Grenzen. Diese Lenkungsmöglichkeit ist wichtig, will man etablierte Erfassungssysteme, wie ein erfolgreiches Bringsystem für Grün- und Restmüll, nicht gefährden.

Je nach Ausgestaltung der Sammelplätze zur Grün- und Restmüll-Erfassung kann es aber auch von Vorteil sein, dass feuchtes oder saftendes Grün- und Restmüll, wie krautiges Material oder Rasenschnitt, in die Biotonne

kommt. Denn Voraussetzung für die Genehmigung von Sammelplätzen, an denen derartige Material angenommen wird, sind künftig eine Basisabdichtung oder dichte Container. Die wirtschaftliche Abwägung kann deshalb ergeben, dass es sinnvoll ist, auch dieses für die Vergärung geeignete Grün- und Restmüll über die Biotonne zu sammeln. Die Übernahme an Sammelplätzen wäre dann ein ergänzendes Serviceangebot.

Auch die Verlagerung aus der Eigenkompostierung in das System Biotonne kann von Vorteil sein, wenn es sich um ungeeignete Bioabfälle wie Nahrungs- und Küchenabfälle oder Rasenschnitt handelt. In einer hochwertigen Anlage zur Bioabfallvergärung mit anschließender Kompostierung bieten diese energiereichen organischen Abfälle einen deutlichen Beitrag zur optimalen Energiegewinnung sowie zur Humus- und Nährstoffbereitstellung (Torf- und Mineraldüngersubstitution). Bei der Eigenkompostierung stellen sie dagegen im Hinblick auf die Hygiene und den Nährstoffgehalt eher ein Problem dar (siehe Kap. 6.2).

Bundesweite Analysen zeigen, dass in ländlichen Gebieten 25 bis 50 Prozent des erfassten Bioguts der Organikfraktion zuzurechnen ist, die ursprünglich über die Restabfalltonne entsorgt wurde. Der Rest stammt aus Verlagerungen aus anderen Entsorgungs- und Verwertungswegen wie beispielsweise der Eigenkompostierung. In verdichteten Regionen ist der dem Restmüll entzogene Anteil mit 40 bis 65 Prozent deutlich größer, was auf das geringere Potenzial an Gartenabfällen (UEC/GAVIA, 2014) sowie auf deutlich eingeschränkte Möglichkeiten der Eigenverwertung zurückzuführen ist.

**RESTMÜLL- UND BIOGUTBEHANDLUNGSKOSTEN**

Welche Kosten für die Behandlung des Restmülls entstehen, hängt vom Verfahren, dem Zeitpunkt des Vertragsabschlusses sowie der gegebenenfalls kommunalen Eigentümerschaft und Abschreibung der eigenen Anlage ab. Bundesweit variieren die Restabfallbehandlungskosten inklusive der Umschlags- und Transportkosten zwischen 60 und 300 Euro pro Tonne (UEC/GAVIA, 2014).

Aus den gleichen Gründen variieren auch die Behandlungskosten für Biogut, allerdings nicht in der gleichen Spanne. Grundsätzlich kann man bei einer Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (Kaskadennutzung) nach dem Stand der Technik von Kosten zwischen 75 und 110 Euro pro Tonne (UEC/GAVIA, 2014) ausgehen. Erreichte Ausschreibungsergebnisse von 20 bis 40 Euro pro Tonne für die rein aerobe Behandlung in teilweise abgeschriebenen offenen Kompostanlagen werden hier nicht weiter bewertet, weil sie ökologisch nicht gleichwertig sind.

Den Kosten für die Biogutbehandlung können vermiedene Kosten für die Restabfallbehandlung gegengerechnet werden – entscheidend ist, in welchem Umfang. Betreibt der öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger eine eigene Restabfallbehandlungsanlage mit entsprechendem Auslastungsrisiko und können keine Restabfallmengen zur Kompensation akquiriert werden, kommt die Gutschrift nur bedingt zum Tragen. Bei Behandlungsverträgen mit Dritten sind die Inhalte entscheidend. Bei einem „Bring-or-pay-Vertrag“ entstehen durch die Verminderung der Restabfallmenge in der Regel keine Einspareffekte. Bedacht werden muss dabei allerdings,

dass es bei der Etablierung des Systems Biotonne um einen Planungs- und Betriebszeitraum von 20 und mehr Jahren geht.

**BIOGUTSAMMLUNG**

Ein wesentlicher Kostenfaktor ist die Sammlung des Bioguts. Je nach Ausgestaltung und Einsparung bei der Restabfallfassung kann er 20 bis 80 Prozent der Gesamtkosten ausmachen. Wird, wie zumeist in den 1980er- und 1990er-Jahren, das Biogut alterierend mit dem Restmüll abgeholt (eine Woche Biogut, eine Woche Restmüll), entstehen Mehrkosten im Wesentlichen durch die zusätzliche Tonnengestellung. Dieses Verfahren ist heute in der Regel nicht mehr möglich, weil mittlerweile zahlreiche weitere Erfassungssysteme sowie die Einführung gestaffelter Tarife und mengenabhängiger Identensysteme beim Restabfall eingeführt wurden. Deshalb wird bei der Einführung der Bioguterfassung oft vorab mit einer Vollkostenberechnung kalkuliert; die Kosten der Biogutsammlung werden also komplett getrennt von der Restabfallbehandlung bewertet.

Die Grenzkosten, die sich aus den durch die Stromverschiebung reduzierten Kosten für die Abfuhr des Restmülls ergeben, müssen differenziert betrachtet werden. So können die reduzierte Schüttdichte und die geänderte Bereitstellung der Gefäße (z. B. geringe Anzahl der Mindestentleerungen) eine Optimierung der Restabfallfassung bewirken. Die spezifischen Kosten der Bioguterfassung werden im Wesentlichen durch die erfasste Menge und den Anschlussgrad (Anzahl der Schüttungen pro Abfuhr) beeinflusst. Der logistische Aufwand für das Abfahren der Touren ist auch bei einer geringen

Anschlussquote der Haushalte erforderlich, lediglich die Schüttungen sind variabel.

Die Anschlussquoten sind bundesweit sehr unterschiedlich, da die gesetzlichen Vorgaben bisher nur bedingt einen Anschluss- und Benutzungszwang vorschreiben. Doch selbst bei einem Anschluss- und Benutzungszwang wurden Freistellungstatbestände, zum Beispiel für Eigenkompostierer, teils sehr großzügig bemessen, sodass faktisch nur Anschlussgrade von 25 bis 50 Prozent erreicht wurden. Über eine fachgerechte und gegebenenfalls restriktive Bewertung der Eigenkompostierung sollte ein Anschlussgrad von mindestens 80 Prozent erreicht werden.

In der aktuellen Studie des Umweltbundesamts (UEC/GAVIA 2014) wurden bei einem Vollanschluss an die Biotonne im ländlichen Raum Kosten für die Sammlung inklusive der Tonnengestellung von 70 bis 150 Euro pro Tonne ermittelt, wobei eine bundesweit durchaus übliche Erfassungsmenge von 120 Kilogramm pro Einwohner und Jahr unterstellt wurde. In städtischen Siedlungsstrukturen wurden tendenziell niedrigere Kosten zwischen 65 und 135

Euro pro Tonne ermittelt, wobei hier eine Erfassungsmenge von 60 Kilogramm pro Einwohner und Jahr unterstellt wurde.

Eine Kostenoptimierung kann zum Beispiel durch die Bewerbung und gebührentechnische Begünstigung von Nachbarschaftstonnen erreicht werden. Erfasst man mit einem Schüttvorgang die Mengen mehrerer Haushaltungen, wirkt sich das natürlich auf die spezifischen Kosten aus. Auch der Einsatz von Mehrkammerfahrzeugen (Abb. 47) kann eine interessante Option sein, die von einigen Gebietskörperschaften bereits praktiziert wird.

In der Studie des Umweltbundesamts (UEC/GAVIA 2014) werden unter Berücksichtigung der Restabfallfassung- und -behandlung auch die Kosten der Bioguterfassung- und -behandlung abgeschätzt. Vier Szenarien (Best bis Worst Case) ergaben für die ländliche Siedlungsstruktur eine Ersparnis von rund sechs Euro pro Einwohner und Jahr (rund 50 €/Tonne) und eine Kostenbelastung von 29 Euro pro Einwohner und Jahr (rund 240 €/Tonne). Die Szenarien unterschieden sich unter anderem durch die verschiedene Anrechnung der Gutschriften aus der Restabfallbehandlung.

Für städtische Siedlungsstrukturen ergab sich mit der gleichen Systematik eine Ersparnis von rund vier Euro pro Einwohner und Jahr (rund 30 €/Tonne) im Best Case und eine Kostenbelastung von rund zwölf Euro pro Einwohner und Jahr (rund 100 €/Tonne) im Worst Case.

Bei geringeren Erfassungsmengen erhöhen sich die Kosten linear.



ABB. 47: MEHRKAMMERFAHRZEUG DES ZOLLERNALBKREISES



## 6.6 Festlegung in Satzungen

### 6.6.1 Abfallsatzung

Die über die Bioabfallsammlung erfassbaren Bio- und Grüngutfraktionen werden in der Abfallsatzung definiert. Aus fachlicher Sicht bietet sich der weitgehende Einschluss aller biologisch abbaubaren organischen Abfälle tierischer und pflanzlicher Herkunft aus dem privaten Bereich an, da sie alle verwertbar sind. Dies gilt auch für Fleisch- und gekochte Essensreste oder Zitrusfrüchte. Bedenken wegen eines zu hohen Salzgehalts oder hygienische Vorbehalte haben sich in Untersuchungen nicht bestätigt. Dies gilt auch für Papierservietten, Taschentücher und Haushaltstücher sowie Zeitungspapier in kleineren Mengen (Fricke et al. 1994).

Da bei der Behandlung des Bioabfalls in Verwertungsanlagen nach der BioAbfV die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der hergestellten Produkte sicherzustellen und nachzuweisen ist, sollten in der Biotonne auch mit Krankheitserregern und Schadorganismen befallene Pflanzen erfasst und anschließend sicher behandelt werden.

In der Abfallsatzung sollen der Ausschluss von Störstoffen und die Trennpflicht, also das Verbot der Entsorgung von Biogut über die Restmülltonne, inklusive entsprechender Sanktionen bei Nichtbeachtung geregelt werden. Um Störstoffanteile zu minimieren, ist grundsätzlich eine Qualitätskontrolle vorzusehen (Henssen 2009). Selbst wenn sie in der Praxis nur im Einzelfall – bei offensichtlichem Missbrauch der Biotonne – durchgeführt werden

soll, muss sie in der Abfallsatzung verankert werden, um eine Handhabe zu haben.

Die verpflichtende Einführung einer Biotonne schließt eine ergänzende Eigenkompostierung nicht aus. Sie kann sogar ökologisch sinnvoll sein. In diesen Fällen kann eine Befreiung auf begründeten Antrag vorgesehen werden. Der Anschluss- und Benutzungszwang bietet die Handhabe, die Einhaltung bei Bedarf kontrollieren zu können. Die Befreiung sollte strenger als heute geregelt und die Befreiungstatbestände sollten besser dokumentiert werden. Mit dem Antrag eingereichte Unterlagen müssen eine fachliche Beurteilung ermöglichen. In der Regel sollte empfohlen werden, ergänzend zur Eigenverwertung für die Küchen- und Nahrungsabfälle eine Biotonne vorzusehen.

Untersuchungen in Baden-Württemberg haben ergeben, dass sich der flächendeckende Anschluss- und Benutzungszwang maßgeblich auf die getrennt erfassten Mengen auswirkt. In Kreisen mit grundsätzlichem Anschluss- und Benutzungszwang werden im Mittel 60 Kilogramm pro Einwohner und Jahr erfasst, in denen ohne sind es mit 40 Kilogramm pro Einwohner und Jahr deutlich weniger (LUBW, IFEU 2010).

Garten- oder sonstige pflanzliche Abfälle sollten nicht verbrannt werden. Brauchtumsfeuer wie beispielsweise Osterfeuer sollten deutlich beschränkt bleiben. Ausnahmen sind im Einzelfall zu beantragen und bedürfen einer gesonderten Genehmigung.

**IN DER ABFALLSATZUNG SOLLEN DER AUSSCHLUSS VON STÖRSTOFFEN UND DAS VERBOT DER ENTSORGUNG VON BIOGUT ÜBER DIE RESTMÜLLTONNE GEREGLT WERDEN.**

Speiseabfälle aus dem Gewerbe sind in speziellen Systemen zu sammeln. Ihre Erfassung in der Biotonne ist aufgrund rechtlicher Vorgaben nicht möglich (Henssen 2009) und zudem nicht sinnvoll.

## 6.6.2 Gebührensatzung

Gebührenfestlegungen können die Effektivität der Biogutsammlung maßgeblich fördern, aber auch behindern. In Kreisen, in denen keine oder geringe Gebühren für die Biotonne anfallen, werden größere Mengen erfasst als in Kreisen, die eigenständige Gebühren erheben. Die Auswertung hat zudem ergeben, dass in städtischen Strukturen eine geringere Menge getrennt erfassten Bioguts mit einer größeren Restmüllmenge einhergeht. Die höchsten Biogutmengen werden in ländlichen Kreisen erfasst (LUBW, IFEU 2010). Von konkreten, nachzuweisenden Ausnahmetatbeständen bei Eigenkompostierung abgesehen, sollte die Aufstellung der Biotonne somit verbindlich und nicht mit zusätzlichen Kosten verbunden sein.

Eine leistungsbezogene Restmüllgebühr kann die Trennbereitschaft in Haushaltungen erheblich steigern. Dies ist allerdings mit einer vermehrten Gefahr von Fehlwürfen in die Biotonne verbunden, der dann durch intensive Sensibilisierungsmaßnahmen und Kontrollen entgegengewirkt werden muss (Kern et al. 2009). Wird für Biogut eine Sammelgebühr erhoben, sollte sie um mindestens 20 Prozent unter der für Restmüll liegen. Auch hier kann eine leistungsbezogene Komponente sinnvoll sein, denn dies fördert die Stoffstromverschiebung, ohne Fehlwürfe zu provozieren. Rechtliche Probleme bei der Abrechnung der Biotonne ausschließlich über die

Grundgebühr sind dann zu erwarten, wenn sie nicht flächendeckend eingeführt wird (Henssen 2009).

Angesichts des Mengenpotenzials und der Nachfragesituation sollte insbesondere holziges Grünut möglichst gebührenfrei über Sammelplätze erfasst werden. Die Kosten können in die Grund- oder Restabfallgebühr einbezogen werden. In diesem Fall muss die gewerbliche Anlieferung von Grünutmassen geregelt werden, die nicht aus der Pflege von Grundstücken stammen, die in das Abfallgebührensistem einbezogen sind.

Konkrete Vorgaben zur Gebührenregelung im Landesabfallgesetz tragen zur Rechtssicherheit bei.

## 6.7 Fazit: Optimiertes Erfassungssystem für Bio- und Grünut

Bei der genauen Festlegung eines Systems müssen stets die spezifischen Verhältnisse und Rahmenbedingungen in den jeweiligen Kreisen und Städten beachtet werden. Zusammengefasst kann ein optimiertes Erfassungssystem für Bio- und Grünut grundsätzlich wie folgt konzipiert werden:

1. *Grundsätzlicher Anschluss- und Benutzungszwang für die Biotonne bei angemessener Handhabung im Einzelfall*
  - Angestrebter Anschlussgrad über 80 Prozent
  - Gebot zur getrennten Erfassung
  - Verbot der Nutzung der Restmülltonne für Bio- und Grünut
  - Befreiung bei Eigenkompostierung nur im Einzelfall bei entsprechenden Vorgaben und Nachweisen

- Gemeinsame Nutzung einer Tonne durch mehrere Haushaltungen (Nachbarschaftstonne)
  - Spezielle Erfassungskonzepte für Geschoss-Wohnbereiche (z. B. Müllschleusen)
  - Abfallrechtliche Regelung für die Gartenabfallverbrennung und Brauchtumsfeuer (AbfR BW 2.3.1)
  - Erfassung möglichst aller organischen Reststoffe aus privaten Haushaltungen (auch Fleischabfälle)
2. *Sammelgefäße*
- Biotonnenvolumen von mindestens 20 Liter pro Einwohner und Woche
  - 14-tägiger Entleerungsrhythmus, gegebenenfalls mit Anpassung in den Sommermonaten
  - Bereitstellung von Grüngutsäcken
  - Vorsortiergefäße für die Wohnung, bei Großwohnanlagen und in Innenstadtlagen gegebenenfalls ergänzt um Beutel aus Biokunststoff
  - Bei Eigenkompostierung Bereitstellung kleiner Tonnen zur Erfassung hochwertiger Nahrungs- und Küchenabfälle
3. *Sammlung von Grüngut als kombiniertes Bring- und Holsystem*
- Annahmestellen an Kompostplätzen, Betriebshöfen und Recyclinghöfen, gegebenenfalls ergänzt um dezentrale Annahmestellen, tendenziell ganzjährige und bürgerfreundliche Öffnungszeiten (auch abends und an Samstagen) oder unbeschränkt zugänglich
  - Eingezäunte und befestigte Sammelstellen
  - Kostenlose Annahme aller Gartenabfälle aus Grundstücken, die an die Abfallentsorgung angeschlossen sind
  - Preisgünstige oder sogar kostenlose Annahme von gewerblichem und kommunalem Grüngut
  - Erweiterung um kostenpflichtige Dienstleistungsangebote wie beispielsweise das Bereitstellen von Containern
  - Mehrmals jährlich Haushaltssammlungen für holziges Grüngut
4. *Gebühren*
- Aufstellung der Biotonne in der Grundgebühr enthalten
  - Merklich günstigere Leerungsgebühren als bei der Restmülltonne
5. *Öffentlichkeitsarbeit*
- Intensiviert während der Einführungs- und Etablierungsphase
  - Laufend begleitende Beratungsmaßnahmen
  - Einfaches und logisches Bild- und Grafikmaterial
  - Leicht verständliche und klare Trennvorgaben (möglichst landesweite Abstimmung)
  - Intensive, zielgruppenorientierte Information und Beratung bei Einführung der Biotonne und Grüngutsammlung
  - Bezug zum Produkt vermitteln (Tag der Offenen Tür auf dem Kompostplatz, Beratung in Gartenbauvereinen, Ausgabe von Kompostgutscheinen, Durchführung von Wettbewerben)
  - Spezielle Beratungsangebote für Gewerbebetriebe
  - Spezielle Beratungen für Geschosswohnanlagen unter Einbeziehung der Hausverwaltungen und Hausmeister; Beratungsangebote in mehreren Sprachen

- Gewinnung, Beratung und Schulung von Multiplikatoren (Schulen, Vereine, Politik, ehrenamtliche Berater)
- Vorbildfunktion der öffentlichen Verwaltung

#### 6. Erfolgskontrolle

- Regelmäßige Bestimmung der getrennt erfassten Bio- und Grüngutmengen und Zuordnung zu den verschiedenen Sammelsystemen und Anliefergruppen (private Haushaltungen, Gewerbe, öffentlicher Bereich)
- Bestimmung des Bio- und Grüngutanteils in der Restmülltonne (getrennt nach Biotonnenutzern und Eigenkompostierern) und im Sperrmüll
- Kontrolle des Verschmutzungsgrads beziehungsweise des Fehlwurfanteils
- Kontrolle der Freistellungsmerkmale aufgrund einer Eigenkompostierung
- Exakte Buchführung des Kompostabsatzes beziehungsweise Vorlage entsprechender Dokumentationen durch beauftragte Dritte

Die Erfassungsquoten sollten sich an den Vorgaben für andere Wertstofffraktionen orientieren. Wünschenswert wären 80 Prozent der erfassbaren Gesamtorganik, die nicht sinnvollerweise eigenkompostiert wird.



## 7. Zusammenfassung

Der Umfang der Ressourcennutzung und die Klimaveränderung haben ein bedenkliches Ausmaß erreicht. Um den daraus folgenden Klimaschutzzielen zum nachhaltigen Umgang mit primären Ressourcen gerecht zu werden, ist es wichtig, verstärkt sekundäre Ressourcen möglichst umfassend zu mobilisieren und effizient zu nutzen. Dazu müssen alle Massenströme, die an den verschiedenen Stellen einer Wertschöpfungskette zur Entsorgung anfallen, auf ihre wertgebenden Eigenschaften untersucht und möglichst umfassend genutzt werden.

Dies gilt auch für die verschiedenen Bioabfälle. Sie weisen tendenziell die gleichen Eigenschaften wie die Biomassen auf, die in land- oder forstwirtschaftlichen Systemen gezielt hergestellt werden müssen. Die Nutzung von Bioabfällen kann demnach die Umweltlasten substituieren, die mit der gezielten Biomasseproduktion verbunden sind.

Bio- und Grüngut sollten folglich möglichst umfassend erfasst und mit hoher Effizienz sowie hohem Wirkungsgrad entsprechend ihrer Eigenschaften genutzt werden.

Grüngut weist erhebliche Mengenpotenziale auf, die bislang in der Regel nur in geringen Anteilen erfasst werden. Erfolgt die Übergabe an Einrichtungen, die vor allem andere abfallwirtschaftliche Aufgaben erfüllen, wie beispielsweise Erddeponien, Wertstoffhöfe, Abfallentsorgungsanlagen oder kommunale Bauhöfe, halten sich die mit der Sammlung verbundenen Kosten deutlich in Grenzen. Oft werden kommunale Sammelpunkte auch von freiwilligen Helfern betreut. Dem hierfür notwendigen Aufwand stehen beträchtliche Erlöse gegenüber, die angesichts der

Nachfrage nach holzigen Biomassen in Zukunft eher noch weiter ansteigen werden.

Um möglichst viel Grüngut verwerten zu können, ist ein engmaschiges flächendeckendes Netz an Sammelstellen notwendig, die auch am Wochenende oder abends geöffnet sind. Dennoch sollte ein Teil des Grünguts auf den Flächen verbleiben, beispielsweise in Form von für den Naturschutz wichtigen kleinen Moderhaufen oder zur Eigenkompostierung, um die Gärten angepasst an deren geringen Bedarf mit organischer Masse und Pflanzennährstoffen versorgen zu können. In kommunalen Satzungen festgelegte Brennverbote sollten jedoch sicherstellen, dass Grüngut auf den Grundstücken nicht ungenutzt mit entsprechenden Emissionen entsorgt wird. Als Ergänzung zur Eigenkompostierung und Alternative zur Verbrennung stellt beispielsweise die Stadt Mannheim in Zusammenarbeit mit den Kleingartenvereinen für einige Tage kostenlos Container zur Grünguterfassung bereit. In Zusammenarbeit mit den Kleingartenvereinen lassen sich derartige Containerstandorte weiterentwickeln. Sie können für die direkte Nachbarschaft geöffnet werden. So wird das Angebot an Übergabepunkten vergleichsweise kostengünstig deutlich in die Flächen hinein ausgeweitet.

Dass eine Grüngutsammlung über Container auch ohne intensive Betreuung selbst in Großstädten möglich ist, zeigt das in Teil III Kapitel 6.3.2 vorgestellte Beispiel der Stadt Karlsruhe mit seinen frei zugänglichen Containerstandorten im Straßenraum. Das System wird von seinem eigenen Erfolg überrollt und die Container müssen täglich gewechselt werden. Dies gilt insbesondere an Wochenenden



und in Monaten mit einem hohen Gartenabfallaufkommen.

Da klassisches Biogut, also zum Beispiel Küchenabfälle, nicht Teil des Nährstoffkreislaufs eines Gartengrundstücks ist, sollte es nur in begründeten Ausnahmefällen auf privaten Grundstücken kompostiert und ausgebracht werden dürfen. Biogut hat

ein bedeutendes wertgebendes Potenzial, das sich aus dem Gehalt an Pflanzennährstoffen und dem Humusreproduktions- oder Torfsubstitutionspotenzial der organischen Masse ergibt. Zudem sollte die Herstellung von Kompost mit einer vorgeschalteten anaeroben Vergärung zur Erzeugung von energiereichem Biogas kombiniert werden. Gelingt eine solche Kaskadennutzung, ist das System der Biogutsammlung und -verwertung nicht nur aus ökologischer Sicht vorteilhaft.

<sup>1</sup> KEA, fossil: kumulierter Energieaufwand für fossile Energieträger;  
<sup>2</sup> PM10-Risiko: Risikopotenzial durch Feinstaub

**NETTOERGEBNISSE NORMIERT ZU EINWOHNERDURCHSCHNITTSWERTEN (EDW)  
 BERECHNET FÜR 4 MIO. T MAX. ZUSÄTZLICH GETRENNT ERFASSBAREM BIOABFALL**



Die Bereitstellung von Biogas, Hackschnitzeln und Kompost in definierter Qualität, der auch außerhalb der Landwirtschaft eingesetzt werden kann, ist mit Erträgen verbunden, die den finanziellen Aufwand der getrennten Sammlung und Verwertung kompensieren können. Mit einer optimierten Biogutsammlung und einem entsprechenden technischen Behandlungskonzept lassen sich die Kosten so beschränken, dass sich im Vergleich zur Entsorgung des Bioguts über den Restabfall ökonomische Vorteile ergeben. Zudem leistet die hochwertige Verwertung von Bioabfall einen großen Beitrag zur Ressourcenschonung – vor allem von Phosphat. Unabhängig von der Art der Restabfallbehandlung („D“ beschreibt die jeweilige Behandlungstechnik wie sie im Durchschnitt in Deutschland gegeben ist) bietet die Vergärung von Bioabfall nach dem Stand der Technik, mit einer durchschnittlichen Anwendung des kompostierten Gärrests, immer auch einen ökologischen Vorteil.

Dass eine durch eine Vergärung und effiziente Nutzung der Überschussenergie optimierte Biogutverwertung im Regelfall sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht Vorteile gegenüber

**ABB. 48: OPTIONEN DER BIOABFALLBEHANDLUNG AUS ÖKOLOGISCHER SICHT (IFEU/ahu 2012)**

der Entsorgung des Bioguts mit dem Restabfall aufweist, zeigen die Ergebnisse einer vergleichenden Bewertung, die in Abbildung 48 zusammengefasst sind. Es wurden verschiedene Optionen geprüft:

- Die für Deutschland typische Situation der Bioabfallkompostierung
- Die Vergärung in einer Biogasanlage nach Stand der Technik mit anschließender Kompostierung
- Die Entsorgung in einer typischen Müllverbrennungsanlage
- Die Entsorgung in einer typischen mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlage
- Die Verwertung in einer typischen mechanisch-biologischen Stabilisierungsanlage
- Die Behandlung in einer typischen mechanisch-physikalischen Stabilisierungsanlage

Die Balken zeigen die Bewertungsergebnisse für die verschiedenen Umweltwirkungskategorien in Einwohner-Durchschnittswerten (EDW) im Saldo auf. Das heißt, den Lasten, die mit der Abfallentsorgung verbunden sind, insbesondere Emissionen aus den Behandlungsanlagen, wird der Nutzen gegenübergestellt, der sich durch die Bereitstellung von Kompost und Energie ergibt. Balken nach oben bedeuten Belastungen (netto), Balken nach unten Entlastungen (netto).

## 7.1 Prüfung des Kompostabsatzes

Bei der Konzeption der Bio- und Grüngutverwertung und der Entwicklung des entsprechenden Stoffstrommanagementsystems sollten die Absatzmöglichkeiten der Komposte und der hieraus herstellbaren Produkte Schritt für Schritt geprüft werden, beginnend bei den Optionen, die aus öko-

logischer und ökonomischer Sicht mit den höchsten Potenzialen verbunden sind.

### 1. Gibt es eine Nachfrage nach Substratkomposten?

Prüfen der Nachbarschaft zu Erdenwerken ([www.bth-online.org](http://www.bth-online.org); [www.vhe.de](http://www.vhe.de); [www.kompost.de](http://www.kompost.de); [www.substrate-ev.org](http://www.substrate-ev.org)). Wenn ja:

- Getrennte Herstellung eines nährstoffarmen Fertigkomposts
- Eventuell separate Sammlung und Verwertung von Grüngut notwendig
- Bei Stoffstromtrennung: auf ausreichend holzige nährstoffarme Anteile im Ausgangssubstrat achten; entsprechende Abgrenzung zur Holzhack-schnitzel-Vermarktung

### 2. Gibt es Bedarfe für nährstoffarme Komposte oder einfache Pflanz- und Blumenerden?

Prüfen der Absatzmöglichkeiten an Erdenwerke, Kommunen, Privathaushalte, Betriebe für Sonderkulturen, Baumschulen sowie den Garten- und Landschaftsbau. Tendenziell steigen die Absatzmöglichkeiten mit dem wachsenden Siedlungsflächenanteil. Wenn ja:

- Separate Kompostierung von eher nährstoffarmem Grüngutmaterial
- Häufig ist auch eine Vergärung der Bioabfälle und Abtrennung des nährstoffreichen Überschusswassers ausreichend.

### 3. Absatz in der Landwirtschaft

Auch an die Zielgruppe Landwirtschaft sollte möglichst Fertigkompost vermarktet werden. Dies erweitert das Absatzspektrum innerhalb der Landwirtschaft und erschließt zudem weitere Anwendungsbereiche, insbesondere bei Privathaushalten.



Für den Absatz klassischer Bioabfallkomposte oder kompostierter Gärrückstände sollte der Standort so gewählt werden, dass ein möglichst breites Spektrum an Absatzmärkten mit möglichst vielen potenziellen Kunden, auch innerhalb der Landwirtschaft, vorhanden ist. Nachfragekartelle müssen vermieden werden. Will man das Absatzpotenzial von Komposten in der Landwirtschaft überschlägig abschätzen, kann man folgendermaßen vorgehen:

- Ermittlung der Ackerflächen, die rechnerisch zur Versorgung (aber auch zur „Entsorgung“) der landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf NawaRo-Basis benötigt werden. Die Faustzahl liegt bei 0,5 Hektar je Kilowatt installierter elektrischer Leistung der Biogasanlage (Hartmann 2008).
- Ermittlung der landwirtschaftlichen Fläche, die für die Viehwirtschaft benötigt wird. Als Faustzahl für die konventionelle Landwirtschaft kann ein durchschnittlicher Viehbesatz von zwei Großvieheinheiten je Hektar angesetzt werden. Die Flächenermittlung sollte sich konservativ allein auf die Ackerfläche beziehen.

Nimmt man die Ackerflächen im Umfeld einer möglichen Anlage im Radius von beispielsweise 30 Kilometern und zieht die oben ermittelten Flächenbedarfe ab, ergibt sich überschlägig die Fläche, auf der Kompost ausgebracht werden dürfte. Die realen Absatzmöglichkeiten sind umso höher, je geringer der Flächenanteil an Halmfruchtgetreide ist.

Die Vermarktungssituation zeigt sich umso günstiger, je mehr das Flächenangebot den tatsächlichen Bedarf an Ausbringungsflächen übersteigt. Das

Flächenangebot sollte möglichst um den Faktor zehn höher liegen als die Fläche, die zum Absatz der produzierten Kompostmengen rechnerisch tatsächlich benötigt wird.

#### **PRÜFUNG VON OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN**

Besteht bereits ein System der Komposterzeugung und Vermarktung, so kann auf Basis der oben ausgeführten Hinweise geprüft werden, ob es optimiert werden kann.

Handlungsbedarf zeigt sich tendenziell dann, wenn die Komposte als Frischkompost hergestellt und nahezu ausschließlich an die Landwirtschaft vermarktet werden. Diese ökologisch eher ungünstige Situation geht in der Regel mit entsprechend geringen oder gar fehlenden Erlösen einher. In einem ersten Schritt gilt es daher zu prüfen, ob Fertigkompost produziert werden kann. Ist es nicht möglich, eine neue Anlage zu errichten oder die Verweilzeiten und damit die Anlagenkapazität zu erweitern, sollte analysiert werden, welche Möglichkeiten des Stoffstrommanagements für Grüngut bestehen, zum Beispiel eine eigene dezentrale Grüngutkompostierung. Weitere zu prüfende Alternativen sind Kooperationen mit benachbarten Bio- und Grüngutbehandlungsanlagen.

Zudem sollte immer dann an die Optimierung des Kompostabsatzes gedacht werden, wenn weniger als 50 Prozent der Komposte als Erden und Substrate vermarktet werden. Basis hierfür ist eine umfassende Marktanalyse zur Ermittlung der Nachfragepotenziale und zentralen Akteure. Im zweiten Schritt kann das Produktionssystem (Konfektionierung der Komposte, Veredelung über Produktmischungen)

dann gezielt auf die Nachfragesituation ausgerichtet werden.

Der Absatz von Komposten, aber auch von Erden und Substraten an Privathaushalte hat hohe Bedeutung – nicht nur wegen des Absatzpotenzials, sondern vor allem, weil die direkte Vermarktung des Komposts direkten Kundenkontakt schafft. So wird den Bürgern der unmittelbare Zusammenhang von Bioabfall- und Kompostqualität bewusst: Je weniger Fremd- und Störstoffe im Bio- und Grüngut, umso besser die Kompostqualität. Zudem wird der Nutzen des Systems Bio- und Grüngutverwertung erfahrbar und damit der finanzielle und logistische Aufwand für die einzelnen Haushaltungen nachvollziehbar. Der Aufwand, sich den Bürgern optimal zu präsentieren, ist deshalb immer gerechtfertigt. Die Abgabe der Fertigkomposte sollte möglichst dezentral erfolgen, eventuell verbunden mit Serviceleistungen, wie beispielsweise der Anlieferung von Erdenprodukten ab einer bestimmten Mindestabnahmemenge. Schließlich verfügen relativ wenig Privathaushalte über ein Auto, das den Transport derartiger Mengen erlauben würde.

Sollen neue Kompostierungsanlagen in Eigenregie betrieben werden, sollten die oben ausgeführten Sachverhalte berücksichtigt werden. Der Standort der Anlage zur Kompostproduktion sollte sorgfältig gewählt werden. Hierbei spielen zum einen Gegebenheiten wie ein ausreichender Immissionsschutz für benachbarte Siedlungsbereiche oder eine gute Anbindung und Nähe zum Schwerpunkt des Abfallaufkommens eine Rolle. Wesentlich ist aber die Lage in einem Umfeld, das eine stetig hohe Nachfrage nach hochwertigem Kompost oder Kompost-

produkten verspricht. Bei der Entscheidung über den Standort muss zudem das Prüfergebnis der Vermarktungsmöglichkeiten für Überschussenergie (siehe Kap. 7.2) einbezogen werden.

Ist kein Betrieb in Eigenregie, sondern eine Vergabe beabsichtigt, sollten in das Leistungsverzeichnis bestimmte Sachverhalte als Randbedingungen aufgenommen werden. Dies ist zum einen die Herstellung von ausschließlich Fertigkompost. Zum anderen sollten die Bieter wegen des Aspekts einer ausreichenden Entsorgungssicherheit angehalten werden, ein Vermarktungskonzept vorzulegen, das nachweislich auf einer fundierten Marktanalyse beruht und in größeren Anteilen eine Vermarktung außerhalb der Landwirtschaft vorsieht.



## 7.2 Prüfung des Energieabsatzes

Damit Überschussenergie vermarktet werden kann, sollte die Kompostherstellung mit der Biogaserzeugung in einer Vergärungsanlage kombiniert werden (Kaskadennutzung). Bei der Nutzung des erzeugten Biogases in Kraft-Wärme-Kopplung kann elektrische und thermische Energie vermarktet werden.

Möglichkeiten zur Einspeisung von Strom sind nahezu überall gegeben. Der Netzbetreiber ist zur Übernahme verpflichtet, die Fördersätze sind geregelt.

Als problematisch erweist sich oft die Vermarktung der Überschusswärme. Ein Teil wird vor Ort für den Gärprozess der Biogasanlage benötigt, da die Fermenter, je nach Außentemperaturen, beheizt werden müssen. Demnach fällt in den Sommermonaten am meisten und in den Wintermonaten am wenigsten vermarktbar überschüssige Wärme an. Sie lässt sich in der Regel als Heißwasser vermarkten, also mit einem relativ niedrigen Temperaturniveau.

Die klassische Nutzung der Überschusswärme zur Beheizung von Räumen verspricht angesichts der oben genannten Randbedingungen nur begrenzte Absatzmöglichkeiten. Der große Wärmeüberhang in den Sommermonaten lässt sich so kaum auffangen, es sei denn, es handelt sich um ein sehr großes Wärmenetz. Sinnvoll sind deshalb insbesondere Wärmesenken, die über das ganze Jahr verteilt einen gleichmäßigen Wärmeabsatz versprechen oder idealerweise im Sommer einen steigenden Bedarf aufweisen.

Mögliche beziehungsweise typische Absatzwege sind:

- Aquakulturen
- Frucht- und Gemüsesafthersteller
- Gewächshausbeheizung
- Nahwärmenetze; Gebäudebeheizungen
- Trocknungsanlagen
- Wäschereien
- Kältenetze
- Backgewerbe
- ORC-Anlagen

Eine Studie für die Bundesministerien für Wirtschaft und Umwelt (Schloman 2009) liefert eine gute Übersicht über den Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) auch für Wärme- beziehungsweise Brennstoffverbräuche pro Bezugseinheit, also pro Beschäftigte oder bei Krankenhäusern pro Planbett. Mit diesen Kennzahlen in Verbindung mit Wirtschaftsdaten für Teilregionen lassen sich Energieverbrauchsdaten hochrechnen. Die Analyse zeigt, dass Bäder (Raumheizung, Warmwasserbereitung), das Backgewerbe (Backöfen), Wäschereien (Waschen, Trocknen, Mangeln), der Gartenbau (Gewächshäuser, Kühlung), die Landwirtschaft (Kühlung, Trocknung), Metzgereien (Kühlung), Beherbergungsbetriebe (Klimatisierung, Sauna) und Krankenhäuser (Klimatisierung) einen besonders hohen spezifischen Wärme- und Kältebedarf haben.

Im Idealfall sind die Gewerbeaufsicht oder andere mit dem Immissionsschutz beauftragte Institutionen darüber informiert, an welchen Betriebsstand-

orten in welchem Umfang Wärmeenergie benötigt wird. Gegebenenfalls können die Informationen auch in kommunalen Energieberichten oder Klimaschutzkonzepten enthalten sein. Letztendlich muss man bei der Recherche mit den jeweiligen Firmen direkt Kontakt aufnehmen.

Wärmenetze werden meist von Energieversorgern betrieben. Es kann sich dabei sowohl um große regionale Netze als auch kleine Insellösungen zur Versorgung einzelner kommunaler Einrichtungen handeln. Inwieweit für diese Netze Ausbaupotenziale bestehen oder die Wärmeerzeugung auf Biogas umgestellt werden könnte, kann nur im direkten Kontakt mit dem jeweiligen Netzbetreiber ermittelt werden.

Bei Wärmesenken in weiterer Entfernung zur Anlage kann es vorteilhaft sein, das Biogas über eine Mikrogasleitung zu einem Satelliten-BHKW in der Nähe der Wärmesenke zu führen. So lassen sich Kosten für teure Wärmeleitungen und Wärmeverluste vermeiden.

Zudem werden vermehrt mobile Latentwärmespeicher eingesetzt, um weitere Entfernungen zu einem Wärmeabnehmer zu überbrücken. Sie können mittels Hakenlift-Fahrzeugen transportiert werden.

Sollte die Wärme nicht angemessen abgesetzt werden können, bleibt die Möglichkeit der Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und dessen Einspeisung in ein Erdgasnetz. Da es nach dem aktuellen EEG 2014 keine Zusatzvergütung für die Gaseinspeisung mehr gibt, hängt die Wirtschaftlich-

keit dieses Gasnutzungskonzepts von Rahmenbedingungen wie dem Gaspreis oder Zumischungsregelungen ab. In der Regel ist dieses Verfahren erst bei größeren Anlagendurchsätzen und einer Einspeisemöglichkeit im Umkreis von maximal zehn Kilometern sinnvoll und wirtschaftlich.

Bei der Bundesnetzagentur kann eine Liste der bundesweit tätigen Gasnetzbetreiber bezogen werden. Bis zum Inkrafttreten der Gasnetzzugangsverordnung am 1. Januar 2011 konnte die regionale und lokale Situation in frei verfügbaren Karten eingesehen werden. Seitdem sind diese Informationen nur noch kommerziell zu erhalten. Weitere Informationen beispielsweise zu nachgelagerten Gasnetzen lassen sich über die Internetauftritte der bundesweit tätigen Gasnetzbetreiber ermitteln.

Im konkreten Planungsfall kann beim zuständigen Gasnetzbetreiber eine in der Regel kostenpflichtige Gasnetzprüfung zur Einspeisung des Biomethans angefordert werden.

Eine weitergehende Nutzung der Abwärme eines BHKW ist auch durch den Einsatz einer ORC-Anlage möglich. Hierbei wird Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt, wodurch der elektrische Gesamtwirkungsgrad der Anlage deutlich steigt.

#### **PRÜFUNG AUF OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN IN DER PRAXIS**

Besteht in einer Gebietskörperschaft bereits eine Biogasanlage zur Verwertung von Bioabfall, kann die Prüfung auf Optimierungsmöglichkeiten erfolgen.



Keine wesentlichen Optimierungsbedarfe ergeben sich bei:

- Aufbereitung des Biogases und Einspeisung in ein Erdgasnetz. Es verbleibt die Prüfung der Emissionen (Messungen) und gegebenenfalls eine Nachrüstung der Abluftanlage mit einer Kombination von Kreislaufführung, Wäscher, Biofilter und gegebenenfalls einer Schwachgasfackel, die auch zur Reinigung der beladenen Abluft aus dem Fermenteraustrag genutzt werden kann.
- Nutzung des Biogases über Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Gesamtwirkungsgrad des BHKW von mehr als 80 Prozent sowie umfassender Nutzung der im Überschuss anfallenden Abwärme (mehr als 60 Prozent). Es verbleibt die Prüfung der Emissionen (Messungen) und gegebenenfalls eine Nachrüstung der Anlage mit einer Schwachgasfackel (siehe oben).

In der Regel wird die Nutzung der im Überschuss anfallenden Abwärme noch deutliche Defizite aufweisen. Die Prüfung nach Optimierungsmöglichkeiten könnte in diesen Fällen in folgenden Schritten erfolgen:

- Analyse der Absatzmöglichkeiten in einem Radius von bis zu maximal 15 Kilometern um den Standort der Vergärungsanlage inklusive der Einspeisemöglichkeiten in ein Fernwärmenetz.
- Prüfung der Absatzmöglichkeiten im unmittelbaren Standortumfeld inklusive der gezielten Ansiedlung von entsprechendem Gewerbe beziehungsweise Umstellung der Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen auf Intensivkulturen mit Wärmebedarf.

Mit den bei der Analyse ermittelten Kosten lassen sich Aufwand und Nutzen abwägen. Ist der ökologische Nutzen unstrittig, dann ist beispielsweise der finanzielle Aufwand für den Neubau eines BHKWs nahe einer ausreichenden Wärmesenke vor allem dann angemessen, wenn das bestehende BHKW bereits weitgehend abgeschrieben ist.

Diese Stufe der Prüfung auf Optimierungsmöglichkeiten muss immer unter Beachtung lokaler Gegebenheiten erfolgen. Dabei sollten auch Kooperationsmöglichkeiten mit Stadtwerken oder industriellen/gewerblichen Abnehmern im Sinne einer gemeinsamen Betreibergesellschaft geprüft werden.

Die Umrüstung einer Anlage zur Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität ist angesichts der Investitionskosten nur bei einer Anlage ab einem Durchsatz von mindestens 250 Normkubikmetern pro Stunde sinnvoll, das entspricht etwa 20.000 Jahrestonnen Bioabfall (Raussen 2015). Diese Menge dürfte an bestehenden Vergärungsanlagen nicht immer erreicht werden.

Es sollten aber auch Kooperationsmöglichkeiten mit landwirtschaftlichen Biogasanlagen geprüft werden. Auch sie vermarkten ihre Überschusswärme häufig nicht befriedigend, sodass sich bei einer relativ engen Nachbarschaft eine gemeinsame zentrale Aufbereitungsanlage und Einspeisung anbieten würde.

In jedem Fall empfiehlt es sich, die Konditionen der Vergütung mit den Energieversorgern oder Händlern im Detail auszuhandeln, da es durchaus Spielräume gibt. Mögliche Verhandlungspartner



sind dabei nicht nur regionale Unternehmen, sondern auch Abnehmer an irgendeiner Stelle des bundesdeutschen Gasnetzes, die den Nachweis führen können, rechnerisch das eingespeiste Biomethan nutzen zu können.

### 7.3 Hinweis zur Standortfindung von Biogasanlagen

#### A NEUANLAGEN IN EIGENREGIE

Soll eine Vergärungsanlage zur Verwertung des Bioabfalls errichtet werden, muss ein besonderes Augenmerk auf die Wahl eines geeigneten Standorts gelegt werden. Ideal ist die direkte Nachbarschaft zu einer großen Wärmesenke und zu Abnehmern für Komposte, da dann der ausreichende Absatz im näheren Umfeld sichergestellt ist.

Erweist sich in der jeweiligen Stadt oder dem Kreis die Verwertungssituation für die direkte Nutzung des Biogases oder die Einspeisung in ein Erdgasnetz als schwierig, sollte geprüft werden, ob in Kooperation mit benachbarten Gebietskörperschaften eine bestehende Anlage erweitert oder eine neue gemeinsam errichtet werden kann.

Im Idealfall wird die Bioabfallvergärungsanlage an einem bestehenden Kompostwerk errichtet, da dann zum einen die Anlage weiterhin für die Nachrotte der Gärückstände und zum anderen die Einrichtungen der Peripherie genutzt werden können.

#### B ANLAGEN IM RAHMEN VON AUSSCHREIBUNGEN

Wird die Verwertung von Bio- und Grüngut ausgeschrieben, sollten wegen der mittel- und langfristigen Entsorgungssicherheit ausreichende ökologische Standards sichergestellt werden. Deshalb sollte in Ausschreibungen folgendes vorgegeben werden:

- Einzuhaltende Emissionsstandards; Fassung beladener Abluft, Methanschlupf und Behandlung über eine Schwachgasfackel
- Wirkungsgrad des BHKWs von 85 Prozent und Nutzung der Überschusswärme möglichst zu 80 Prozent
- Darlegung der geplanten Vermarktung der Überschussenergie und des Komposts beziehungsweise der entsprechenden Verträge zur Prüfung auf ausreichende Entsorgungssicherheit
- Bewertungssystem zur Berücksichtigung ökologischer Kriterien im Rahmen der Gesamtbewertung des wirtschaftlichsten Angebots

#### PRÜFUNG AUF OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN IN DER PRAXIS

Wird Bio- und Grüngut in einem Kreis oder einer Stadt getrennt gesammelt und erfolgt die Verwertung in einer Kompostierungsanlage oder bereits in einer Vergärungsanlage in Eigenregie, sind folgende Prüfschritte zur Optimierung denkbar:

- Welche Mengen stehen für eine Vergärung aus den Stoffströmen Bio- und Grüngut zur Verfügung, und gibt es entsprechende Potenzialuntersuchungen (beispielsweise Gärpotenzial, Materialzusammensetzung des Grünguts)?
- Die Investition in eine Bioabfallvergärungsanlage kann je nach spezifischen Rahmenbedingungen als Erweiterung einer bestehenden Kompostierungsanlage bereits ab einer Durch-



satzleistung von etwa 10.000 Jahrestonnen sinnvoll sein.

- Welche bestehenden Einrichtungen einer Kompostierungsanlage wie die Grobaufbereitung des Anlageninputs, die Rottesysteme oder alle peripheren Nebeneinrichtungen können für die Aufbereitung und Nachrotte der Gärreste oder die Bioabfallannahme sinnvoll genutzt werden?
- Im Hinblick auf die erhöhten emissionstechnischen Anforderungen bei der Nachrotte der Gärreste muss überprüft werden, ob das bestehende Rottesystem und das vorhandene oder neu zu planende Vergärungssystem die neuen Ansprüche (Methanschluß, Abluftbehandlung) erfüllen.
- Die neue Gesamtanlage sollte zur Herstellung von Fertigungskompost geeignet sein.
- Es muss geprüft werden, ob sich der Standort für das Energienutzungskonzept, eine hochwertige Kompostvermarktung und gegebenenfalls eine Überschusswasserentsorgung eignet.
- Das Stoffstrommanagement des Grünguts muss so ausgelegt sein, dass ausreichend Strukturmaterial für die Nachrotte der Gärreste vorhanden ist (eventuell Teilstromvergärung).

Ergibt diese Prüfung der Randbedingungen kein durchgängig positives Ergebnis, empfiehlt sich die Prüfung von Standortalternativen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Investitionen in die bestehende Kompostierungsanlage bereits weitgehend abgeschlossen sind oder eine Erweiterungsmöglichkeit aus Platzgründen problematisch ist.

Dieser Schritt sollte auch die Prüfung von Kooperationsmöglichkeiten, insbesondere mit anderen

Gebietskörperschaften, beinhalten. Dies gilt umso mehr, wenn der für den wirtschaftlichen Betrieb einer Vergärungsanlage notwendige Anlagendurchsatz durch das eigene Bioabfallaufkommen auch nach einer Ausweitung der Bio- und Grüngüterfassung nicht gewährleistet werden kann.

Sollte eine Bioabfallbehandlung in Eigenregie neu aufgebaut werden, sind bei der Planung neben den Fragen des Absatzes der Überschussenergie insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Welche Mengen stehen für eine Vergärung aus den Stoffströmen Bio- und Grüngut zur Verfügung, und gibt es entsprechende Potenzialuntersuchungen (beispielsweise Gärpotenzial, Materialzusammensetzung Grüngut)?
- Erstellung eines Vermarktungskonzepts für kompostierte Gärreste, Grüngutkompost und gegebenenfalls Überschusswasser.
- Aufbau eines Verwertungskonzepts für die nach der Optimierung verbleibenden Grüngutteilströme mit Brennstoffherzeugung und Grüngutkompostierungsplätzen.
- Standortsuche unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Marktstudien (Kompost-/Überschussenergieverwertung) und der Abfallschwerpunkte „Sammlung“.
- Entscheidung für den Eigenbetrieb, Betreiberkonzepte und Anlageninvestitionen.
- Neukonzeption der Bio- und Grüngutbehandlung – Randbedingungen einer Ausschreibung.

Falls eine Realisierung der Bio- und Grüngutverwertung im Eigenbetrieb politisch und organisatorisch nicht umsetzbar ist, können die Leistungen auch ausgeschrieben werden (VOL Vergabe- und

Vertragsordnung für Leistungen, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen). Eine garantierte regionale Lösung mit entsprechender Wertschöpfung vor Ort im kommunalen Einzugsgebiet ist aber in der Regel nur durch die Vorgabe eines Standorts oder eines Gebiets gewährleistet. Eine Dienstleistungsausschreibung ohne entsprechend bindende Vorgaben bevorzugt oft Anbieter mit bereits bestehenden und zum Beispiel abgedruckten Einrichtungen außerhalb des kommunalen Einzugsgebiets.

## 7.4 Erfassungssystem

### A EINFÜHRUNG DES SYSTEMS DER BIO- UND GRÜNGUTERFASSUNG

Vor der Einführung einer Biotonne und der Grünguterfassung bieten sich folgende Untersuchungsschritte an:

1. Sortieranalyse Restabfall
2. Erhebung des Stands der Eigenkompostierung und dessen Bewertung
3. Erhebung der Potenziale aus der Analyse der Siedlungs- und Bebauungsstruktur und der privat genutzten Hausgärten

Auf dieser Basis sollte ein erster grober Überblick über die Potenziale entstehen, die bei einer flächendeckend eingeführten Biotonne mit Anschluss- und Benutzungszwang und restriktiver Handhabung der Befreiung zu erschließen sind. Dann kann eine erste System-Festlegung erfolgen und ein erstes Grundkonzept für die Anpassung an saisonale Mengenschwankungen (beispielsweise ergänzende Papiersäcke) unter Berücksichtigung der gewünschten Bioabfallzusammensetzungen erstellt werden.

Auf dieser Basis lässt sich ein ergänzendes Konzept für die Grüngutsammlung erarbeiten. Hierfür bieten sich folgende Untersuchungsschritte an:

1. Zusammenstellung der aus der Analyse der privaten Grünflächenstruktur zu erwartenden Grüngutmengen (siehe S. 109 ff)
2. Intensiver Austausch mit Ämtern und Behörden, die unmittelbar und mittelbar das Grüngutaufkommen bestimmen, weil sie selbst Abfallerzeuger sind oder Dritte mit der Pflege von Grünflächen beauftragen und im Fall der Landschaftspflege die Bezuschussung an Auflagen zu Anfall und Verbleib knüpfen können. Dies sind kommunale Sport- und Grünflächenämter, Friedhofsverwaltungen, städtische Dienste, Wohnungsgesellschaften, medizinische und andere öffentliche Einrichtungen, Schloss- und Parkverwaltungen, Tierparks, Straßenverwaltungen und ähnliche Einrichtungen.
3. Austausch mit Garten- und Landschaftsbau sowie anderen Unternehmen über Anfall und Verbleib
4. Analyse vorhandener öffentlicher und privater Strukturen, an die sich das System der Grünguterfassung anlehnen könnte

Auf dieser Basis lässt sich das System der Übergabestellen näher skizzieren und das Aufkommen pro Übergabepunkt im Jahresgang grob beziffern.

Bei der Einführung des neuen Systems der Bio- und Grünguterfassung ist – wie für alle neuen Systeme, wie zum Beispiel die Papier- oder Wertstofftonne – eine intensive Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Bei den Übergabepunkten sind Anforderungen an die technische Mindestausstattung zu beachten.



## **B OPTIMIERUNG EINES BESTEHENDEN SYSTEMS DER BIO- UND GRÜNGUTERFASSUNG**

Die Prüfung auf Optimierungsmöglichkeiten der Erfassung von Bio- und Grüngut könnte nach folgenden Schritten erfolgen:

Liegt das in den Statistiken verbuchte Aufkommen an Grüngut aus Haushaltungen, kommunalen Pflegearbeiten und Pflege sonstiger öffentlicher Flächen nicht deutlich über 150 Kilogramm je Einwohner und Jahr, sollten zunächst die aktuellen Mengenströme erhoben werden, um die Grüngutmassen zu identifizieren, die an der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaft vorbei bereits an Verwertungsanlagen abgegeben werden. Dazu sollte man mit den entsprechenden kommunalen Stellen sprechen.

Auf Basis der identifizierten Defizite lassen sich Optimierungsansätze entwickeln und umsetzen. Letztendlich muss insbesondere der politische Wille vorhanden sein, der sich dann in entsprechenden Erlassen oder Ordnern niederschlägt.

Für den Bereich des Grünguts, das aus der Bewirtschaftung oder Pflege privater Grundstücke stammt, sollten folgende Punkte abgearbeitet werden:

1. Überschlägige Prüfung der Mengenpotenziale auf Basis der Grünflächenausstattung sowie der Abschöpfung über die Eigenkompostierung
2. Prüfung der Pull-Faktoren: Ausgelegt als Bringsystem hängt der Erfolg des Sammel-systems insbesondere davon ab, ob die Randbedingungen zur Nutzung anreizen oder sie zumindest erleichtern. Zu prüfen ist die Dichte des Netzes an Übergabepunkten (möglichst unter fünf Quadratkilometern Siedlungsfläche beziehungs-

weise 10.000 Einwohner pro Übergabepunkt), die zeitliche Verfügbarkeit (täglich, auch samstags, ganzjährig) sowie die Gebührenstruktur (tendenziell Gebühren nur in Ausnahmefällen) und das Annahmespektrum (nicht nur holziges Material).

3. Prüfung der Push-Faktoren: Zur Optimierung des Systems braucht man Randbedingungen, die sicherstellen, dass von den Abfallerzeugern nur alternative Entsorgungswege eingeschlagen werden können, die aus ökologischer Sicht toleriert werden können.

Zur Prüfung des Optimierungsbedarfs des Systems Biotonne stehen folgende Aufgaben an:

1. Prüfung der Anschlussgrade der Grundstücke an die Biotonne in den einzelnen Siedlungs- und Bebauungsstrukturen für jede einzelne Stadt oder Gemeinde (Zielgröße mehr als 80 % Anschlussquote); Identifikation der Straßenzüge, Quartiere und Stadtviertel mit geringen Anschlussquoten.
2. Analyse der Siedlungsbereiche mit Defiziten durch Sortieranalysen des Restmülls, Prüfung der Eigenkompostierungspraxis, ergänzt durch Befragungen und Gespräche mit ausgewählten Akteuren.

# 8. Abbildungen und Tabellen

ABBILDUNGEN	SEITE
Abbildung 1: Das System der Bio- und Grüngutbehandlung im Überblick	9
Abbildung 2: Reger Betrieb auf dem Grüngutsammelplatz (Abfallberatung Unterfranken Harald Heinritz/abfallbild.de)	12
Abbildung 3: Das System der Bio- und Grüngutbehandlung im Überblick	14
Abbildung 4: Optionen der Bioabfallbehandlung aus ökologischer Sicht (IFEU/ahu 2012)	15
Abbildung 5: Bioabfallvergärungsanlage der Abfallwirtschaftsgesellschaft des Rems-Murr-Kreises mbH (AWG) in Backnang-Neuschöntal	16
Abbildung 6: Abschätzung des theoretischen Grüngutpotenzials für Baden-Württemberg	17
Abbildung 7: Stoffstrommanagement – Zuordnung von Bio- und Grüngutmassen zu Verwertungswegen für Kompost	23
Abbildung 8: Übersicht über verschiedene technische Lösungen der Biomasse-Vergärung	24
Abbildung 9: Um ein Vergärungsmodul nachgerüstete Kompostierungsanlage in Passau-Hellersberg (Buchheit 2009)	26
Abbildung 10: Möglichkeiten der Biogasnutzung	27
Abbildung 11: Konzepte zur Biogasnutzung aus ökologischer Sicht (IFEU et al. 2008)	28
Abbildung 12: ORC-Anlage in Bietigheim-Bissingen (Dürr Cyplan Ltd. 2015)	29
Abbildung 13: Checkliste zur Einführung des Systems Biotonne, Ergänzt durch eine Verwertung von kommunalem Grüngut	31
Abbildung 14: Beispiel einer Jahresganglinie des Biogutaufkommens	48
Abbildung 15: Beispiel einer Jahresganglinie des Grüngutaufkommens	48
Abbildung 16: Das System der Bio- und Grüngutverwertung, Ansatzpunkte zur Optimierung	49
Abbildung 17: Ergebnisse eines ökologischen Vergleichs für den Treibhauseffekt und das Versauerungspotential (IFEU/ahu 2012)	52
Abbildung 18: Ergebnisse des ökologischen Vergleichs einer Vergärung nach Stand der Technik (Verg StdT) mit der durchschnittlichen Situation der Bioabfallvergärung in Deutschland (Verg D) (IFEU/ahu 2012)	53
Abbildung 19: Optionen der Bioabfallbehandlung aus ökologischer Sicht (IFEU/ahu 2012)	54
Abbildung 20: Einführung der Biotonne aus ökologischer Sicht (Unter Klimaaspekten)	55
Abbildung 21: Ausbringung von Mineraldünger (fotolia/countrypixel)	57
Abbildung 22: Vergleich der Absatzoptionen von Fertigkompost aus ökologischer Sicht am Beispiel Treibhauseffekt (IFEU/ahu 2012)	58
Abbildung 23: Entscheidungsbaum für die Kompostvermarktung	70
Abbildung 24: Schema der Grüngutaufbereitung	73

Abbildung 25:	Entwicklung der Grenzwerte für Staubemissionen für Wärmeerzeugungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung bis 1 Megawatt	75
Abbildung 26:	Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas (C.A.R.M.E.N. e. V. 2015)	76
Abbildung 27:	Aufbereitung von Grüngut; Heizanlage im Landratsamt Sigmaringen (LRA Sigmaringen)	77
Abbildung 28:	Alternative der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen aus Sicht des Klimaschutzes (LUBW/IFEU 2010)	81
Abbildung 29:	Allgemeiner Verfahrensablauf der Vergärung	81
Abbildung 30:	Kontinuierliche und diskontinuierliche Vergärungsverfahren (nach UBA 2010)	82
Abbildung 31:	Beispielhaftes Verfahrensschema der kontinuierlichen Nassvergärung (nach BTA 2015)	84
Abbildung 32:	Beispielhaftes Verfahrensschema einer kontinuierlichen Trockenvergärung von Bioabfällen (nach Kompogas Utzenstorf 2015)	85
Abbildung 33:	Beispielhaftes Verfahrensschema einer diskontinuierlichen Trockenvergärung in Boxenfermentern (nach BEKON 2015)	86
Abbildung 34:	Biogaserträge bei verschiedenen Vergärungsverfahren von Bio- und Grüngut (Bezug Fermenterinput) in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur (Fricke 2013)	86
Abbildung 35:	Stromerzeugung und Strombedarf sowie Netto-Stromausbeute bezogen auf den Anlageninput bei Nass- und Trockenvergärungsverfahren von Bio- und Grüngut (Fricke 2013)	87
Abbildung 36:	Wärmeerzeugung und Wärmebedarf sowie Netto-Wärmeerzeugung bezogen auf den Anlageninput bei Nass- und Trockenvergärungsverfahren von Bio- und Grüngut (Fricke 2013)	87
Abbildung 37:	Überschusswasser bei der Vergärung von Bio- und Grüngut differenziert nach Verfahrens- und Prozessarten, bezogen auf den Materialinput (Fricke 2013)	88
Abbildung 38:	Vergärung von Biogut mit anschließender Fest-Flüssig-Trennung des Gärrests – Darstellung der Nährstoffgehalte in Prozent Trockensubstanz für unterschiedliche Materialproben (Frischkompost 07 etc. pp) (nach Abfallwirtschaftsbetrieb Wetteraukreis)	90
Abbildung 39:	Übersicht über die Biogasnutzungskonzepte	93
Abbildung 40:	Nutzungsoptionen für Biogas aus ökologischer Sicht (IFEU, IE, TU Berlin, Öko-Institut, FH Berlin 2008)	94
Abbildung 41:	Exemplarischer Wärmeeigenbedarf von Vergärungsanlagen in den Wintermonaten (UBA 2010)	95
Abbildung 42:	Schematische Darstellung des ORC-Prozesses (Fraunhofer UMSICHT 2015)	102

Abbildung 43:	Latentwärmespeicher für den mobilen Wärmetransport (AVA Augsburg 2015)	102
Abbildung 44:	Minimales und maximales theoretisches jährliches Grüngutpotenzial in Baden-Württemberg	112
Abbildung 45:	Minimales und maximales theoretisches jährliches Grüngutpotenzial nach Kreisen in Baden-Württemberg	113
Abbildung 46:	Stoffstromverschiebung zwischen Bio- und Grüngut	122
Abbildung 47:	Mehrkammerfahrzeug des Zollernalbkreises (Abfallwirtschaft Zollernalbkreis)	124
Abbildung 48:	Optionen der Bioabfallbehandlung aus ökologischer Sicht (IFEU/ahu 2012)	130

TABELLEN		SEITE
Tabelle 1:	Kostenschätzung der Einführung des Systems Biotonne am Beispiel des Landkreises Ravensburg (RA/Öko-Institut 2011)	36
Tabelle 2:	Mobilisierung von Bio- und Grüngut	41
Tabelle 3:	Verwertung/Behandlung von Bio- und Grüngut	42
Tabelle 4:	Produktvermarktung: Absatz von Kompost und Energie	43
Tabelle 5:	Charakterisierung von Grüngut einer Beispielregion in Abhängigkeit von der Jahreszeit	71
Tabelle 6:	Qualität von frischem gemischtem Grüngut einer Sommercharge (Beispielregion)	74
Tabelle 7:	Beispielhafte Wirkungsgrade verschiedener BHKW-Typen	96
Tabelle 8:	Vergleich zwischen EEG 2012 und EEG 2014	99
Tabelle 9:	Übersicht über Verfahren der Biogasaufbereitung	105
Tabelle 10:	Kennzahlen zum Grüngutaufkommen auf den Wohn- und Freiflächen	110
Tabelle 11:	Grüngutaufkommen auf Betriebsflächen	110
Tabelle 12:	Grüngutaufkommen auf Erholungsflächen	111
Tabelle 13:	Grüngutaufkommen auf Friedhöfen	111
Tabelle 14:	Grüngutaufkommen bei Verkehrswegen	111
Tabelle 15:	Mengenangaben zur Orientierung (VHE 2013)	114
Tabelle 16:	Rechnerisch notwendige Mindestgartengröße	114
Tabelle 17:	Eignung organischer Abfälle für die Eigenkompostierung (VHE 2013)	115

# 9. Literatur

- A** Abfallwirtschaftsbetrieb Wetteraukreis, 2. Biomasseforum Witzenhausen, Vortrag Jürgen Roth
- ATUS GmbH, Müllschleusen in Hamburg; Endbericht im Auftrag von Innotec, Hamburg, Juli 2007
  - AVA Augsburg: AVA Abfallverwertung Augsburg GmbH, Wärmetransportcontainer, 2015; [www.ava-augsburg.de/energie/mobiler-waermetransport/](http://www.ava-augsburg.de/energie/mobiler-waermetransport/), letzter Zugriff 10.09.2015
- B** Babcock, B. A.: Overview of the FAPRI modelling system; Vortrag am RSB LUC Workshop Sao Paulo, 20. 21. November 2008
- Bakowies, Verbrennung von aufbereiteten Grünabfall, HERO-Schriftenreihe Band 5, 2009
  - BEKON: BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG, Waste to Energy Prozess-Schema, 2015; [www.bekon.eu/waste-to-energy.html](http://www.bekon.eu/waste-to-energy.html), letzter Zugriff am 08.09.2015
  - BGK, ZVG (Hg.), Verfüllen von Pflanzlöchern bei der Gehölzpflanzung. Kompost Anwendungsempfehlungen, Köln 2004
  - BTA: BTA International GmbH, Der BTA Prozess, 2015; [www.bta-international.de/fileadmin/redaktion/BTA\\_Prozess/BTA\\_Prozess/BTA\\_prozess\\_grafik\\_de\\_01.jpg](http://www.bta-international.de/fileadmin/redaktion/BTA_Prozess/BTA_Prozess/BTA_prozess_grafik_de_01.jpg), letzter Zugriff am 08.09.2015
  - Buchheit, M., Kopplung von Energie- und Komposterzeugung, Vortrag auf der Tagung: des VKS Baden-Württemberg und des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Abfall als Ressource, Ludwigsburg Juli 2009
- C** C.A.R.M.E.N. e. V.: Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e. V., Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln – der Energieholz-Index, 2015; [www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel](http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel), letzter Zugriff am 08.09.2015
- D** Dürr Cyplan LTD.: Dürr AG - Dürr Cyplan Ltd., Stromerzeugung aus Abwärme, 2015; [www.durr-cyplan.com/fileadmin/user\\_upload/ees/20140822\\_Broschueren\\_Flyer/141118\\_Du\\_CTS\\_ORC-Cyplan\\_de\\_lowres.pdf](http://www.durr-cyplan.com/fileadmin/user_upload/ees/20140822_Broschueren_Flyer/141118_Du_CTS_ORC-Cyplan_de_lowres.pdf), letzter Zugriff am 10.09.2015
- F** Fraunhofer UMSICHT: Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Das Prozess-Prinzip des Organic Rankine Cycle (ORC), 2015; [www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/2012/orc-floersheim.html](http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/2012/orc-floersheim.html), letzter Zugriff am 10.09.2015
- Fricke et al., Die Sammlung von Bioabfällen. Fricke, K., Turk, T., Vogtmann, H., In: Hösel, G, Schenkel, W., Schnurer, H. (Hrsg): Müll-Handbuch. Berlin 1964 ff. KZ 2882. Berlin 1994
  - Fricke, K., Turk, T., Flächendeckende Einführung der getrennten Bioabfallsammlung. Was ist zumutbar und wirtschaftlich vertretbar?, Technische Universität Braunschweig, Juni 2011
  - Fricke K., et al., Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe, Endbericht zum Förderprojekt 03KB022, gefördert durch Die BMU Klimaschutzinitiative, Energetische Biomassenutzung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2013
- G** Gewitra Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH (2014): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Abschlussbericht.
- H** Häring, G., Sonnleitner, M., Zörner, Prof. Dr. W., Brüggling, E., Bücken, Ch., Wetter, Prof. Dr. Ch., Vogt, R., Handreichung zur Optimierung von Biogasanlagen, 2010
- Hartmann, Dr. A., Wie viel Fläche wird für Biogas benötigt?, in: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 07/2008, S. 40-42
  - Henssen, D., Einführung und Optimierung der getrennten Sammlung zur Nutzbarmachung von Bioabfällen, Handbuch für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, Abfallbehörden, Entscheidungsträger, Planer und Entsorgungsunternehmer, gab Designer und Ingenieure GmbH, Herausgeber: Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V. und Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Aachen, Mai 2009
- I** IFEU, ahu AG, Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3709 33 340), Heidelberg / Aachen, 2012
- IFEU, IE-Institut für Energetik und Umwelt Leipzig, FH für Wirtschaft Berlin, Öko-Institut Freiburg e.V., Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung der TU Berlin, Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, Studie im Auftrag des Bundesumweltministeriums (FKZ 0327544), Heidelberg / Leipzig / Berlin / Darmstadt 2008
  - IFEU, Knappe, F., Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen



- mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, in 68. Informationsgespräch des ANS e.V., Kosten- und Ressourceneffizienz in der Abfallwirtschaft, Braunschweig 2007
- IGLux, interne unveröffentlichte Studie
  - INFA, Kostenbetrachtung für die separate Bioabfallsammlung und -behandlung im Vergleich zur gemeinsamen Entsorgung mit dem Restabfall, Studie im Auftrag des VHE Verband Humus- und Erdenwirtschaft e.V., 2007
  - K** Kern, M., Karas, R.-R.: Keim- und Geruchsemissionen unterschiedlicher Sammelbehälter für Bioabfälle; In: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung VIII. Witzenhausen 2004
  - Kern, M. et al., Wissenschaftliche Begleitung der Einführung von Müllschleusen in der Stadt Erfurt; Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Abschlussbericht im Auftrag von Innotec, Witzenhausen, September 2007
  - Kern, M. et al.; Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, Anregungen für kommunale Entscheidungsträger, BMU-Broschüre, Berlin, September 2009
  - Kern, M. et al., Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2010 (UBA-Texte 43/2010)
  - Kern, M. et al., Biogasatlas 2011/12, Witzenhausen 2011
  - Kern, M. et al., Biogasatlas 2014/15, Witzenhausen 2014
  - Kern M., Biotonne versus Eigenkompostierung – Stand und Perspektiven, Müll und Abfall, Heft 3, 2013
  - Kompogas Utzenstorf: Kompogas Utzenstorf AG, Kompogas-Kompakt-Schema, 2015; [www.kompogas-utzenstorf.ch/pdf/kreislauf.pdf](http://www.kompogas-utzenstorf.ch/pdf/kreislauf.pdf), letzter Zugriff am 08.09.2015
  - Kranert, M. et al., Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland, Studie des Institutes für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart und dem Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien, im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Stuttgart / Wien 2012
  - L** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU), Bio- und Grünabfälle, Optimierung der Erfassung und Verwertung von Bio- und Grünabfällen in Baden-Württemberg; Karlsruhe, Mai 2010
  - LfULG (Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie), Wagner, J. et al., Potenzial biogener Abfälle im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe des LfULG, Heft 10, 2012
  - M** Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Abfallbilanz Nordrhein-Westfalen für Siedlungsabfälle 2007; Düsseldorf, September 2008
  - Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (UVM), Abfallbilanz 2009, Stuttgart 2009
  - O** Öko-Institut, Dehoust, G. et al., Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes – Abfallwirtschaft und Klimaschutz; Öko-Institut e.V., Ingenieursgemeinschaft Witzenhausen, FH Mainz, Darmstadt, Witzenhausen, Mainz, September 2008
  - R** Raussen, T., Das Pferd von hinten aufzäumen, RECYCLING magazin, Heft 11, 2015
  - Ressource Abfall, Öko-Institut Freiburg, Optimierung des Systems der Bio- und Grünabfallverwertung im Landkreis Ravensburg, Teilstudie im Rahmen des Projektes IFEU, IGLux, Öko-Institut, Ressource Abfall, Optimierung des Systems der Bio- und Grünabfallverwertung für Baden-Württemberg, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Heidelberg / Witzenhausen / Berlin / Elze 2011
  - Rosenbauer, J., Save Food Studie, Das Wegwerfen von Lebensmitteln – Einstellungen und Verhaltensmuster – Quantitative Studie in deutschen Privathaushalten, Ergebnisse Deutschland, Studie von Cofresco im Rahmen von SAVE FOOD – eine Initiative von Toppits; März 2011
  - S** Schlomann, B. et al., Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006, Studie des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsfor-

# 10. Liste der Abkürzungen

<p>schung ISI, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München, GfK Marketing Services GmbH, im Auftrag des BMWi und BMU, Karlsruhe / München / Nürnberg 2009</p> <p>– Schneider, M., Novelle der Düngeverordnung und Konsequenzen für die Verwertung von Gärresten und Komposten, Vortrag auf dem 26. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, April 2014</p> <p>– Schultz, R. et al., Optimierung der marktnahen Förderung von Biogas / Biomethan unter Berücksichtigung der Umwelt- und Klimabilanz, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit, Verbundstudie im Auftrag des Biogasrates e.V., 2011</p> <p>– Steffen, K., Verkauf und Kundenberatung, in: ZVG Zentralverband Gartenbau e.V. (Hg), Handbuch Kompost im Gartenbau, Bonn 2002, S. 317-326</p> <p><b>T</b> Thelen-Jüngling, M., BGK-Statistik 2010. Kompost und Gärprodukte, in: H&amp;K aktuell 05/2011, S. 1-3</p> <p>– Tier-NebV, Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung – TierNebV vom 27.07.2006</p> <p><b>U</b> UEC / Gavia, Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen, im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 371233328), Berlin UBA-Texte 84/2014</p> <p>– UM-BW (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg), Gaßner, H. et al., Interkommunale Zusammenarbeit bei der Verwertung von Bioabfall – Gutachten, Stuttgart, 2014</p> <p><b>V</b> VHE, Positionspapier Eigenkompostierung, 2013</p> <p><b>W</b> Witzenhausen-Institut / Pöyry, Biomassepotenzialstudie Hessen – Stand und Perspektiven der energetischen Biomassenutzung in Hessen. Bericht unveröffentlicht, 2009</p> <p><b>Z</b> ZVG Zentralverband Gartenbau e.V. (Hg), Handbuch Kompost im Gartenbau, Bonn 2002</p>	<p>AWB</p> <p>AWG</p> <p>BHKW</p> <p>BGK</p> <p>BioAbfV</p> <p>BImSchV</p> <p>C-Senke</p> <p>CO<sub>2</sub>-Äq.</p> <p>DEA</p> <p>DVGW</p> <p>DWW</p> <p>EDW</p> <p>EEG</p> <p>eff.</p> <p>el.</p> <p>KEA</p> <p>Komp</p> <p>KrWG</p> <p>KWK</p> <p>MEA</p> <p>MVA</p> <p>NawaRo</p> <p>ORC</p> <p>OS</p> <p>PSA</p> <p>StdT</p> <p>th.</p> <p>TS</p> <p>Verg</p> <p>VHE</p> <p>ZVG</p>	<p>Abfallwirtschaftsbetrieb</p> <p>Abfallwirtschaftsgesellschaft</p> <p>Blockheizkraftwerk</p> <p>Bundesgütegemeinschaft Kompost</p> <p>Bioabfallverordnung</p> <p>Bundesimmissionsschutzverordnung</p> <p>Kohlenstoff-Senke</p> <p>Kohlendioxid-Äquivalent</p> <p>Di-Ethanol-Amin</p> <p>Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches</p> <p>Druckwasserwäsche</p> <p>Einwohner-Durchschnittswerte</p> <p>Erneuerbare-Energien-Gesetz</p> <p>effizient</p> <p>elektrisch</p> <p>kumulierter Energieaufwand</p> <p>Kompostierung</p> <p>Kreislaufwirtschaftsgesetz</p> <p>Kraft-Wärme-Kopplung</p> <p>Mono-Ethanol-Amin,</p> <p>Müllverbrennungsanlage</p> <p>Nachwachsende Rohstoffe</p> <p>Organic Rankine Cycle</p> <p>Organische Substanz</p> <p>Pressure Switch Adsorption (Druckwechseladsorption)</p> <p>Stand der Technik</p> <p>thermisch</p> <p>Trockensubstanz</p> <p>Vergärung</p> <p>Verband der Humus- und Erdenwirtschaft</p> <p>Zentralverband Gartenbau</p>
---	---	--

# 11. Impressum

## HERAUSGEBER

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg

Hausanschrift Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart  
Postanschrift Postfach 103439, 70029 Stuttgart  
Telefon +49 (0) 711 / 126-0  
E-Mail Poststelle@um.bwl.de  
Internet www.um.baden-wuerttemberg.de

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg, Kompetenzzentrum Bioabfall

Hausanschrift Griesbach Str. 1, 76185 Karlsruhe  
Postanschrift Postfach 100163, 76231 Karlsruhe  
Telefon +49 (0) 721 / 5600-0  
E-Mail Bioabfall@lubw.bwl.de  
Internet www.lubw.baden-wuerttemberg.de

## GESTALTUNG UND REALISIERUNG

freelance project GmbH  
Silberburgstraße 112, 70176 Stuttgart  
Telefon +49 (0) 711 / 993386-0, www.freelance-project.de

## DRUCK

SchwaGe-Druck, Günter, Marc & Timo Schwarz GdBR  
Kutschenweg 2, 76287 Rheinstetten  
Telefon: +49 (0) 721 / 51212, www.schwagedruck.de

## STAND

Oktober 2015 (1. veränderte Auflage)

## AUFLAGE

Aktualisierte Auflage des Leitfadens „Optimierung des Systems  
der Bio- und Grünabfallverwertung“ (2012)

Klimaneutral gedruckt auf 100 % Recyclingpapier. Das Papier erfüllt  
die Kriterien des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“ nach RAL-UZ 14.

## BILDNACHWEIS

**ABFALLBERATUNG UNTERFRANKEN / ABFALLBILD.DE:** Seite/n 9, 12, 15, 18, 20, 20, 34, 44, 79, 79, 110, 114, 114, 120, 136, 138 Harald Heinritz; 40, 95 Reinhard Weikert; 54 Jochen Zellner, Lk Neustadt/Aisch-Bad Windsheim; 117 team orange, Kommunalunternehmen Lk Würzburg; 18, 117 Monika Böhm-Weniger, Landratsamt Schweinfurt; 120 Alexandra Schuster, FABION Markt+Medien, Landratsamt Schweinfurt **ABFALLWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT DES REMS-MURR-KREISES MBH (AWG):** Seiten 1, 16, 28, 28, 50, 88, 88, 125, 125, 130 **BMF HAASE ENERGIETECHNIK GMBH:** Seiten 15, 25, 46 **DIGITALSTOCK:** Seite 8 M. Dietrich; 10 D. Suhr; 100 F. Aumüller; 140 Kzenon; 134 H. Kollinger **FOTOLIA:** Seite/n 9 Lichtbildnerin; 13 Smileus; 57 countrypixel; 60 Carmen Steiner; 60 fotolia womue; 62, 132 Stefan Körber; 68 kaspar-art; 72 abcmedia; 72 goldbany; 98 thanh lam; 134 corepics; 138 ArTo; 140 mirpic **LUBW:** Seite/n 1 Harry Hohl; 7, 34, 36, 40, 54, 95, 132 **PIXELIO:** Seite 10 mundm; 68 Peter Gagstaedter; 74 Stihl024; 74 Thorben\_Wengert; 90 Rainer Sturm; 98 Andreas Morlok; 100 Paul-Georg Meister **SERVICEBETRIEB BAU & STADTGRÜN, STADT SCHWEINFURT:** Seite 18, Ludwig Paul; 110 Detlef Horn **WEITERE:** Seite/n 1 Kompost-Service Fernekeß; 6 Umweltministerium Baden-Württemberg, KD Busch; 29 Dürr Cyplan Ltd.; 25, 92 Green Value; 36, 130 Hubert Willibald GmbH; 46 istockphoto, Jeannot Olivet; 50, 64 stock exchange, Darryl Smith; 62 Stuttgart Marketing; 64 Umweltpartner Vogel; 66 Obst vom Bodensee Marketinggesellschaft mbH; 66 Tourismus Baden-Württemberg; 77 Landratsamt Sigmaringen; 90, 92 Wikipedia, Florian Gerlach; 104 freeimagefinder, Matthiashn; 104 MT-Energie GmbH, Martin Bockhacker; 124 Landratsamt Zollernalbkreis, Abfallwirtschaft; 136 solarkomplex AG **IN GRAFIKEN:** Seiten 27, 93 Bosch Thermosystems GmbH, Rolls-Royce Power Systems AG, Hartwig Bambey, Österreichischer Biomasse-Verband

**LU:W**



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT