

Optimierte stoffliche und energetische Bioabfallverwertung

Michael Kern, Thomas Raussen

1 Einleitung

Die getrennte Erfassung von Bio- und Grünabfällen hat in Deutschland ein hohes Niveau erreicht. Allerdings ist der Anteil der daraus gewonnenen Energie noch vergleichsweise gering. Während die Kompostierung je nach Verfahren zwischen 20 und 100 kWh Energie je Mg Input benötigt, gibt es bei der Vergärung einen deutlichen Energieüberschuss von 180 bis 250 kWh Strom je Mg Input zuzüglich vermarktbarer Wärme. Gerade vor dem Hintergrund, dass gegenwärtig Energiepflanzen in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln großflächig angebaut werden, muss die Frage gestellt werden, ob die kombinierte stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse nicht zielführender ist als die reine Kompostierung.

Nachhaltiges Management biogener Stoffströme optimiert stoffliche und energetische Verwertungswege mit dem Ziel eines idealen Zusammenwirkens von Nährstoff- und Kohlenstoff-Recycling, Energiebereitstellung (Strom, Wärme und ggf. Kraftstoff), CO₂-Reduzierung durch Substitution fossiler Energieträger sowie günstiger Behandlungskosten bei erweiterter regionaler Wertschöpfung.

Wie eine optimierte Erfassung und Verwertung von nativ-organischen Abfällen aussehen soll bzw. wie eine entsprechende Umsetzung erreicht werden kann, welche zusätzlich erschließbaren Potenziale vorhanden sind, welcher Aufwand erforderlich ist und wie sich der Nutzen in Relation zum Aufwand darstellt, sind zentrale Fragen der Abfallwirtschaft geworden.

Gerade dem bisher nicht erschlossenen Bioabfallpotenzial im Hausmüll, das je nach Struktur 30 bis zu 50 % des gesamten Hausmüllaufkommens ausmachen kann, sollte zukünftig mehr Beachtung geschenkt werden.

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) wurde die Vergärung von Bioabfällen bei stofflicher Nutzung des festen Gärrestes in besonderer Weise privilegiert, sodass eine deutliche Zunahme der Vergärungsanlagen, entweder als Vorschaltanlagen vor der Kompostierung oder als eigenständige Anlagen, zu erwarten ist.

Bei den Grünabfällen hat der Markt bereits in das Stoffstrommanagement eingegriffen. In vielen Kompostierungsanlagen werden holzige Grünabfälle bereits abgetrennt und in Biomassekraftwerken oder Heizwerken der energetischen Verwertung zugeführt.

2 Stoffströme zur stofflichen und energetischen Verwertung

2.1 Getrennt erfasste Bio- und Grünabfälle

Die Entwicklung des bundesweiten Aufkommens nativ-organischer Abfälle von 1990 bis 2007 spiegelt sich in Abbildung 1 wider. Nach Auswertung der Abfallbilanzen der Länder erbrachte die getrennte Erfassung von Bio- und Grünabfällen im Jahr 2007 eine Gesamtmenge von 8,77 Mio. Mg, wobei das Aufkommen der beiden Stoffströme jeweils ca. 50 % ausmachen.

Entwicklung des bundesweiten Bio- und Grünabfallaufkommens
1990-2006

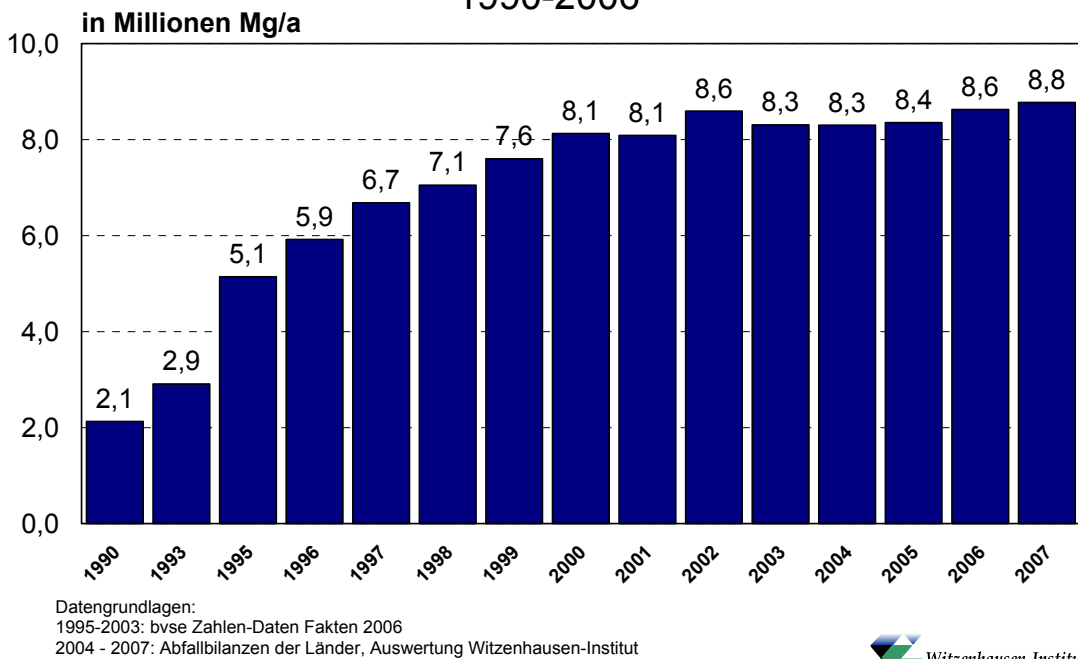
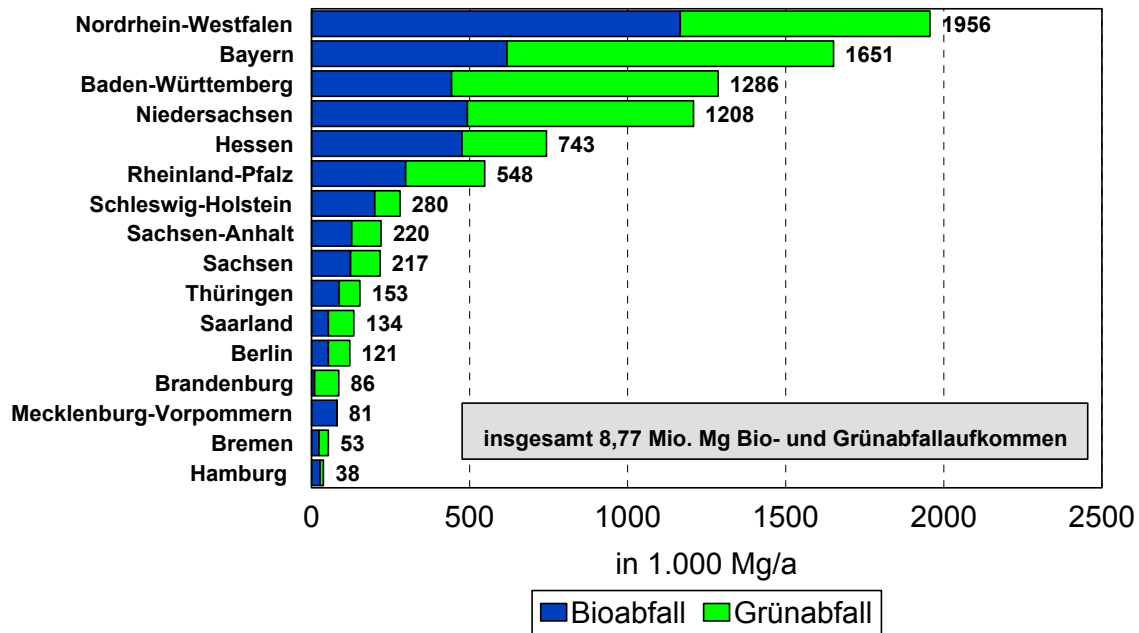


Abb. 1: Entwicklung des Bio- und Grünabfallaufkommens 1990–2006

Diese Entwicklung verdeutlicht, dass sich die Getrenntsammlung im Bereich Bio- und Grünabfälle in der Bundesrepublik etabliert hat, wenngleich es noch deutliche Unterschiede in den verschiedenen Bundesländern gibt. Eine Differenzierung des absoluten Aufkommens zeigt, dass in der Regel die höchsten Mengen in den einwohnerstarken Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen oder Bayern erfasst werden, während das Aufkommen in dünn besiedelten Flächenländern wie Brandenburg oder Mecklenburg-Vorpommern eher gering ist (Abbildung 2).

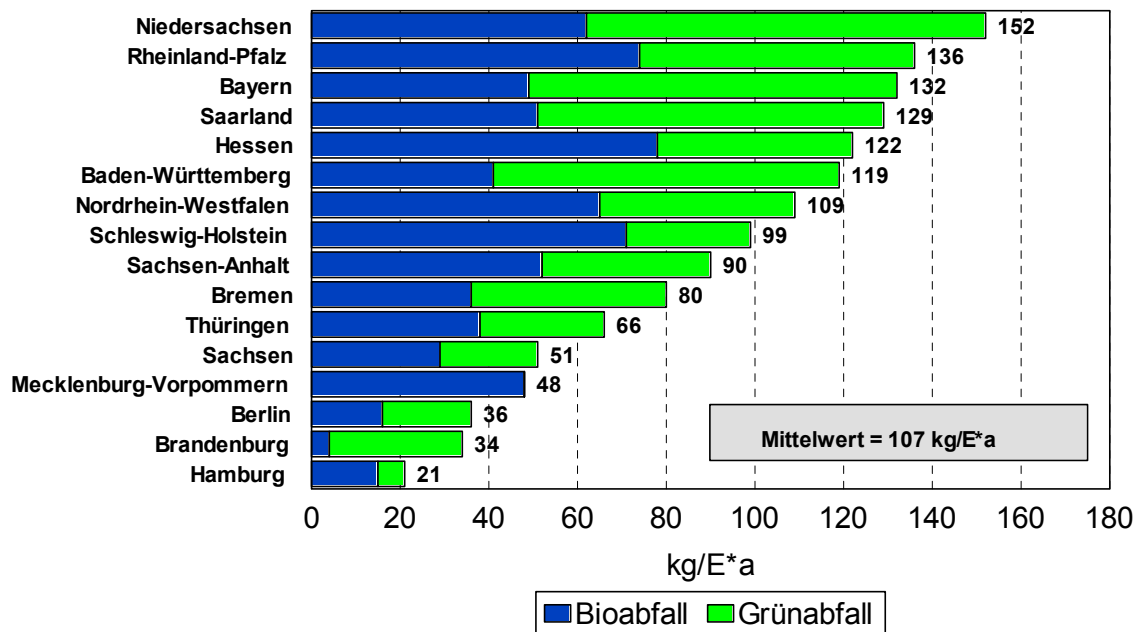
Bio- und Grünabfallaufkommen 2007



Quelle: Eigene Auswertung auf der Grundlage der Abfallbilanzen der Länder

Abb. 2: Aufkommen an getrennt erfassten Bio- und Grünabfällen in den Bundesländern 2007

Bio- und Grünabfallaufkommen 2007



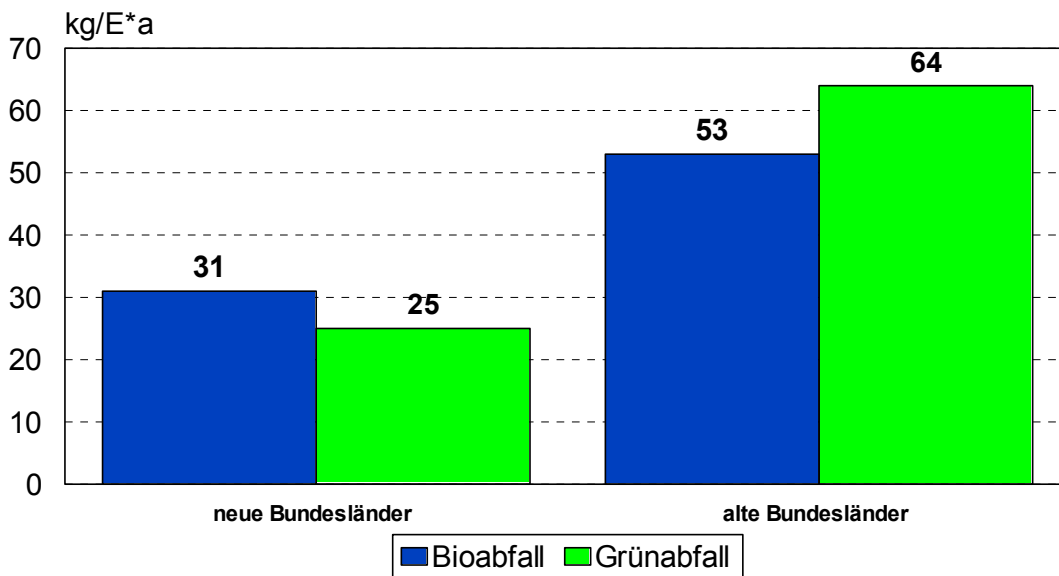
Quelle: Eigene Auswertung auf der Grundlage der Abfallbilanzen der Länder

Abb. 3: Spezifisches Bio- und Grünabfallaufkommen 2007

Im Mittel ergibt sich aus den Sammelmengen der einzelnen Bundesländer ein spezifisches Bio- und Grünabfallaufkommen von 107 kg Bio- und Grünabfall je Einwohner und Jahr. Dabei ist hinsichtlich der pro Kopf erfassten Mengen ein deutliches Gefälle zu beobachten. Während in Niedersachsen ca. 150 kg/E*a gesammelt werden, sind es in Brandenburg lediglich 34 kg E*a.

Bei einer vergleichenden Betrachtung der alten und neuen Bundesländer wird deutlich, dass sowohl bei den Grünabfällen als auch bei den Bioabfällen in den alten Bundesländern deutlich mehr getrennt erfasst wird. Bei den Bioabfällen fast das Doppelte, bei den Grünabfällen sogar mehr als die doppelte Menge (Abbildung 4).

Bio- und Grünabfallaufkommen 2007



Quelle: Eigene Auswertung auf der Grundlage der Abfallbilanzen der Länder

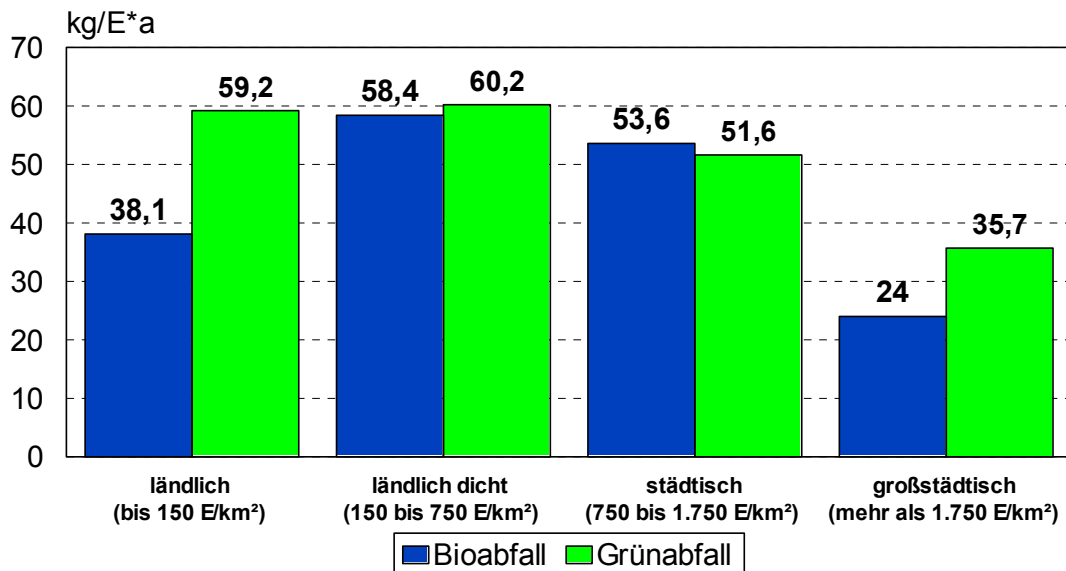
Abb. 4: Getrennt erfasste spezifische Mengen an Bio- und Grünabfall in den alten und neuen Bundesländern

Auch im Vergleich der Siedlungsstruktur zeigen sich deutliche Unterschiede in der spezifischen Erfassungsleistung von Bio- und Grünabfällen. Die meisten Bioabfälle (Biotonne) werden im dichteren ländlichen sowie im städtischen Bereich erfasst (54 bis 58 kg/E*a). Im ländlichen Bereich mit weniger als 150 E/km² werden lediglich ca. 38 kg Bioabfall je Einwohner und Jahr erfasst. In diesen Strukturen wird oftmals zugunsten der Eigenkompostierung auf eine umfassende Einführung der Biotonne verzichtet. Allerdings dokumentieren viele Hausmüllanalysen, dass gerade in diesen Siedlungsstrukturen aufgrund der deutlich größeren Gartenfläche und dem damit verbundenen höheren Grünabfallaufkommen, trotz teilweise gut funktionierender Eigenkompostierung, sich hohe Anteile an Bioabfällen im Hausmüll wiederfinden. Somit ist der Verzicht auf eine Biotonne in ländlichen Strukturen in der Regel unbegründet.

In der großstädtischen Bebauung werden mit lediglich 24 kg je Einwohner und Jahr die geringsten Mengen an Bioabfällen (Biotonne) erfasst. In hoch verdichteten Be-

bauungsstrukturen wird oftmals mit dem Hinweis auf Stellplatzprobleme sowie hohe Störstoffanteile auf die Umsetzung der getrennten Bioabfallerfassung verzichtet.

Bio- und Grünabfallaufkommen 2007



Quelle: Eigene Auswertung auf der Grundlage der Abfallbilanzen der Länder

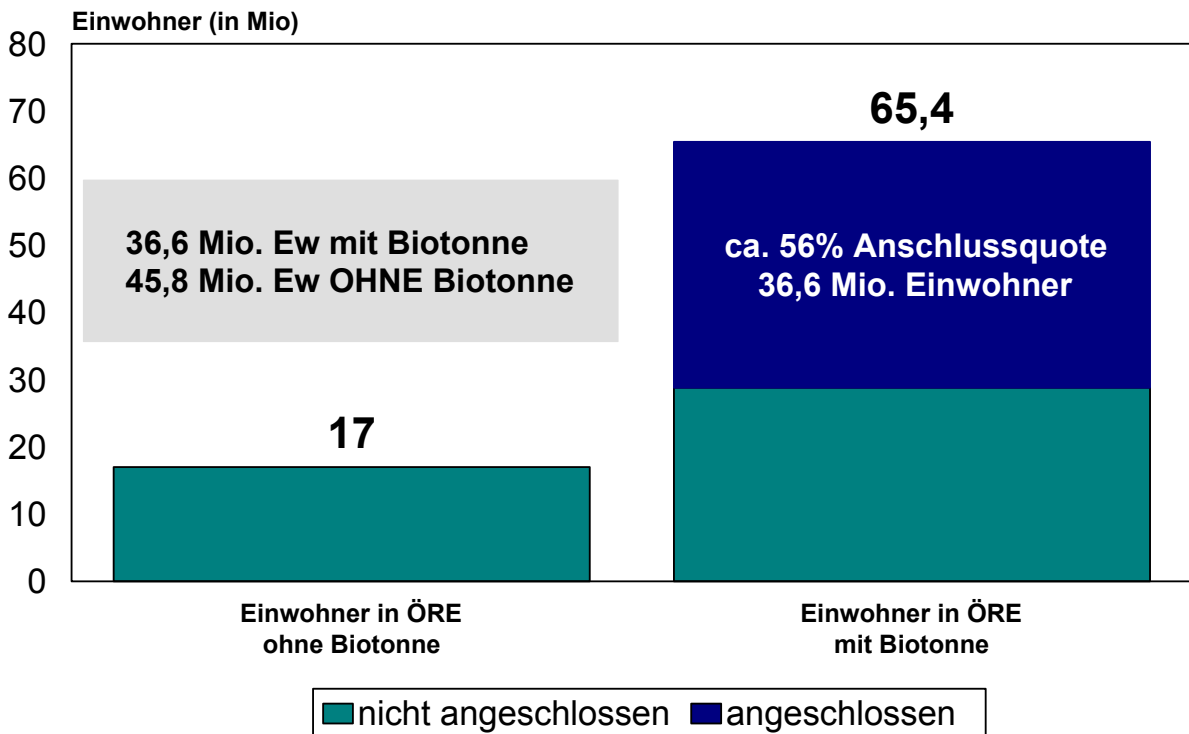
Abb. 5: Getrennt erfasste Bio- und Grünabfallmengen differenziert nach Siedlungsstruktur

Aufgeschlüsselt nach Städten und Landkreisen zeigt sich, dass 81 % der bundesdeutschen Städte bereits die Biotonne, zumindest in Teilbereichen, eingeführt haben. Lediglich in 19 % der Städte steht den Bürgern keine Biotonne zur Verfügung. In den Landkreisen können die Einwohner in etwa zwei Drittel der Kreise auf ein Biotonnenangebot zugreifen (69 %), während 31 % der Kreise keine Biotonne anbieten. Somit ist von einem erheblichen noch zu erschließenden Potenzial an Bioabfällen auszugehen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass von den 65,4 Mio. Einwohnern in Deutschland, die in Kreisen und Städten wohnen, die eine Biotonne anbieten, ca. 50 bis 60 % der Bürger die Biotonne auch nutzen (ca. 37 Mio. Einwohner). Zirka 17 Mio. Einwohner leben in Kreisen und kreisfreien Städten, die bisher noch keine Biotonne anbieten (Abbildung 6). Demzufolge sind bundesweit rund 46 Mio. Einwohner und damit mehr als die Hälfte der Bürgerinnen und Bürger **nicht** an die Biotonne angeschlossen.

Deutlich positiver ist die Situation bei den Grünabfällen. Annähernd flächendeckend ist das Angebot der separaten Erfassung von Grün- und Gartenabfällen umgesetzt. In fast allen der 421 betrachteten öRE (97 %) werden Grünabfälle erfasst (Hol- und/oder Bringsystem) und in der Regel einer Kompostierung zugeführt. Allerdings schwanken die erfassten Mengen zwischen ca. 20 bis über 200 kg je Einwohner und

Jahr, sodass auch bei den Grünabfällen von einem erheblich zusätzlichen Erfassungspotenzial ausgegangen werden kann.



Datengrundlage: Abfallbilanzen der Länder 2006, eigene Erhebungen

örE ohne Biotonne oder kleiner/gleich 5 kg (Ew*a) Aufkommen organischer Abfälle werden als nicht angeschlossen bewertet


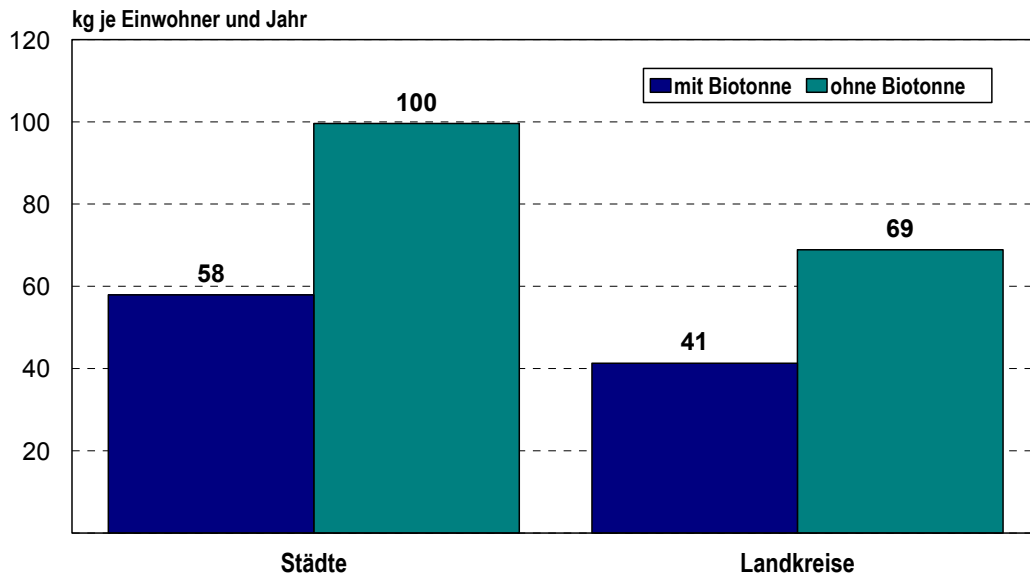
 Witzenhausen-Institut 2008

Abb. 6: Anschluss an die Biotonne nach Einwohnern 2006

2.2 Bioabfallpotenzial im Hausmüll

Umfangreiche Hausmülluntersuchen belegen, dass der mittlere Bioabfallanteil im Hausmüll bei ca. 34 Gew.-% liegt, d. h. das im Hausmüll enthaltene Bioabfallpotenzial beläuft sich auf insgesamt 4,9 Mio. Mg jährlich und stellt somit ein erhebliches Potenzial dar. Unterstellt man eine Biogasnutzung (Gasertrag von 100 Nm³/Mg), so entspricht diese Menge immerhin einer Energiemaismenge von annähernd 2,9 Mio. Mg. Um diese Menge an Energiemais anzubauen, wäre bei einem mittleren Ertrag von 45 Mg FM eine Anbaufläche von ca. 65.000 ha erforderlich.

Für die Städte und Landkreise ergeben sich (differenziert nach der Struktur und dem Vorhandensein der Biotonne) die folgenden mittleren einwohnerspezifischen Bioabfallpotenziale (Abbildung 7).



Datengrundlage: Modellation auf der Grundlage von Hausmüllanalysen

 Witzenhausen-Institut 2008

Abb. 7: Modellation: Bioabfallpotenzial im Hausmüll differenziert nach öRE mit und ohne Biotonne (kg/E*a)

Basierend auf diesem Bioabfallpotenzial wurden für Städte und Landkreise folgende Maßnahmen, die zur Reduzierung des Bioabfallanteils im Hausmüll und Umleitung in die separaten Sammelsysteme führen, angenommen:

Kreise und kreisfreie Städte ohne Biotonne:

- Effiziente Einführung der Biotonne

Kreise und kreisfreie Städte mit Biotonne:

- Erhöhung des Anschlussgrades an die Biotonne
- Ausbau der separaten Erfassung, Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit
- Schaffung finanzieller Anreize
- Verstärkung der Öffentlichkeitsarbeit


Es wurde konservativ unterstellt, dass mit Einführung der Biotonne 25 % des im Hausmüll enthaltenen Bioabfallpotenzials abgeschöpft werden kann. Die Umsetzung der übrigen Maßnahmen führt bei den Städten und Kreisen mit Biotonne zu einer weiteren Reduktion um 20 % des Bioabfallpotenzials im Hausmüll.

Das damit aus dem Hausmüll abschöpfbare Potenzial an Bioabfällen ist in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt können somit aus dem Hausmüll ca. 1,3 Mio. Mg abgeschöpft werden. Dies würde einer Abschöpfung des Bioabfallpotenzials im Hausmüll von ca. einem Viertel entsprechen. Da aber mit der Bioabfallererfassung auch zusätzlich Potenziale erfasst werden (z. B. durch Aufgabe oder Reduzierung der Eigenkompostie-

), ist von einem zusätzlichen Bioabfallaufkommen von 1,5 bis 2 Mio. Mg auszugehen.

Tab. 1: Aus dem Hausmüll abschöpfbares Bioabfallpotenzial

	aus dem Hausmüll abschöpfbares Potenzial		nach Abschöpfung noch im Hausmüll enthaltenes natives Organikpotenzial Gew.-%
	abschöpfbares Potenzial der im Hausmüll enthaltenen nativen Organik kg/E*a	abschöpfbares Potenzial der im Hausmüll enthaltenen nativen Organik Mio. Mg/a	
Bundesrepublik gesamt	16	1,3	27
Städte mit Biotonne	12	0,4	26
Städte ohne Biotonne	45	0,2	28
Städte gesamt	18	0,6	26
Landkreise mit Biotonne	8	0,3	26
Landkreise ohne Biotonne	31	0,4	30
Landkreise gesamt	15	0,7	27

 Witzenhausen-Institut 2008

3 Energetische Nutzung fester biogener Abfallstoffe

Neben ökologischen Gesichtspunkten, dem Klimaschutz sowie der Stärkung einer langfristigen Energieversorgungssicherheit hat vor allem die Preisentwicklung für fossile Energieträger zu einer Rückbesinnung auf traditionelle biogene Festbrennstoffe für die Wärme- und Stromerzeugung geführt. So ist die Nutzung von Festbrennstoffen mit 35 % (Stand 2007) der regenerativen Primärenergieerzeugung die bei weitem wichtigste regenerative Energie in Deutschland.

Als Folge dieser Entwicklungen ist das Interesse an Alternativen zu fossilen Energieträgern gestiegen. Während sich halmgutartige Brennstoffe in Deutschland bisher nicht durchsetzen konnten, steigt das Interesse an Holzreststoffen aus verschiedenen Nischenbereichen wie Grünabfall oder Landschaftspflegeholz. Dabei steht – nach entsprechender Aufbereitung – der holzige Anteil des Grünabfalls im Vordergrund.

In kleinen Mengen wird der holzige Anteil des Grünabfalls auch in Kleinf Feuerungsanlagen eingesetzt. Aufgrund der niedrigeren Holzqualitäten (höhere Feuchtigkeit, ungleichmäßigere Stückigkeit, mineralische Anhaftungen) erfolgt der Einsatz von Hölzern aus der Landschaftspflege oder Teilströmen des Grünabfalls in der Regel jedoch in größeren Heizanlagen sowie in Heizkraftwerken.

3.1 Abtrennung holziger Reststoffe aus dem Grünabfall

Zur Aufbereitung von Grünabfall ist zunächst eine Materialzerkleinerung erforderlich, wobei, anders als bei der Aufbereitung für die Kompostierung, grobes Schredder- oder Hackgut erzeugt werden soll. Anschließend wird das Grobmaterial mittels eines Trommel- oder Sternsieves abgetrennt. Auf diese Weise lassen sich, mit in der Regel auf Kompostierungsanlagen vorhandenen Maschinen, preislich interessante Brennstoffe gewinnen. Wegen des geringen Verunreinigungsgrads von Grünabfällen kann auf eine Störstoffentfrachtung des Materials in der Regel verzichtet werden. Der Energieaufwand für die Aufbereitung des Grünguts zu einem verwertbaren Brennstoff und für Transporte ist gering.

Untersuchungen des Witzenhausen-Instituts haben gezeigt, dass bis zu 30 Gew.-% des Grünabfallaufkommens sinnvoll als Brennstoff ausgeschleust werden können (Abbildung 8).

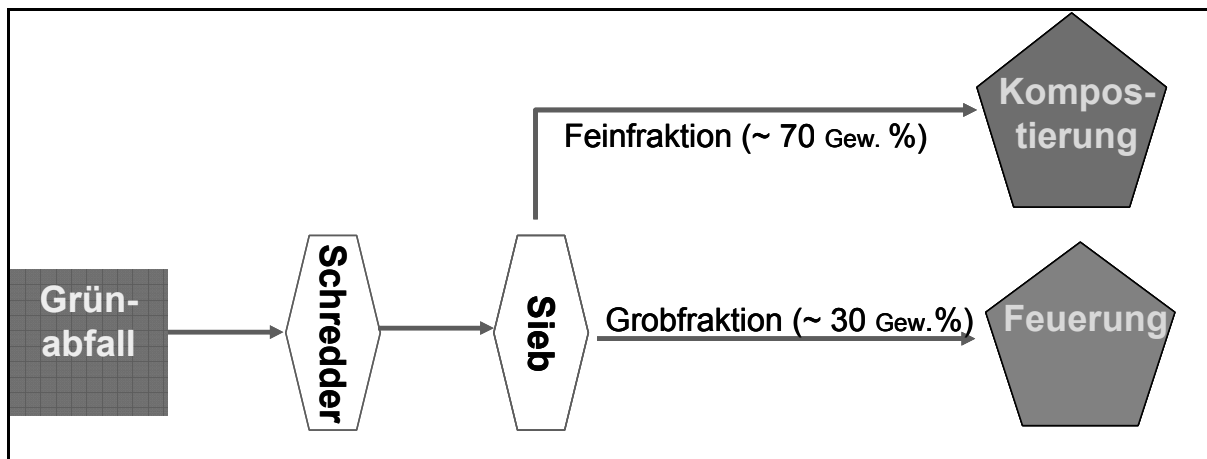


Abb. 8: Aufbereitungsschritte für die Ausschleusung von energetisch nutzbaren Teilströmen aus Baum- und Strauchschnitt

Die verbleibende Fraktion, in der Regel < 40 mm, steht als Material für die Kompostierung zur Verfügung. Es können ggf. auch weitere Teilströme (Mittelkorn) der Vergärung zugeführt werden. Bei größerem spezifischem Bedarf an Strukturmaterial kann durch entsprechende Wahl des Siebschnitts eine Anpassung erfolgen.

In der Praxis wird eine derartige Ausschleusung holzigen Materials als Brennstoff bereits an vielen Standorten durchgeführt. Häufig wird das aufbereitete Grüngut in einem Brennstoffmix mit anderen trockeneren Materialien verwendet. In dafür ausgelegten Heiz(kraft)werken kann das Material aus dem Baum- und Strauchschnitt 50 % bis 70 % des Brennstoffs ausmachen.



Sieben von zerkleinerten Grünabfällen



Grobfraktion



Feinfraktion

Abb. 9: Aufbereitungsschritte für Grünabfall

3.2 Verfahren, Technik der Brennstoffnutzung

Für die Verbrennung holziger Anteile des Grünabfalls sind keine speziellen Anlagen notwendig. Bedingt durch die ungleichmäßige Größenverteilung des Brennstoffs, insbesondere wenn er durch Schreddern gewonnen wurde, ist jedoch auf eine robuste Ausführung der Förderaggregate (Brennstoffzufuhr und auch Ascheaustrag) zu achten. Hier sollten statt Förderschnecken hydraulische Aggregate, Kratzkettenförderer oder Ähnliches zum Einsatz kommen. Wegen der häufig höheren Feuchtigkeit der Hölzer sind eine ausreichende Dimensionierung der Verbrennungsroste und entsprechende Luftführung zur Vortrocknung wichtig.

Für die Nutzung der holzigen Grünabfälle in Heizanlagen kommen vielfältige Anlagenkonzepte in Frage, die ab Größenordnungen von etwa 500 kW_{th} interessant wer-

den. Grundsätzlich sind diese wie konventionelle Holzhackschnitzelfeuerungsanlagen ausgeführt, sollten jedoch die zuvor genannten Anforderungen an die Förder-technik und ggf. Vortrocknung des Brennstoffs erfüllen. Eine aktuelle Marktübersicht der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (2007) zu Holzhackschnitzel-Heizungen zeigt, dass die Zuführung von aufbereitetem Grünabfall jeweils mit den Herstellern abgestimmt werden muss und dieser nicht als Standard-Brennstoff betrachtet werden kann.

Die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von aufbereitetem Grünschnitt in Heizkraftwerken ist wegen der aufwändigeren Anlagentechnik und der Verfügbarkeit praxistauglicher Stromerzeugungsaggregate erst ab einer Größenordnung von 300 kW_{el} ökonomisch. In der Praxis sind in Deutschland bereits über 20 Anlagen in Betrieb, deren Biomassefeuerungen mit nachgeschalteten ORC-Stromerzeugungsaggregaten ausgerüstet sind.

Während Dampfturbinen erst im Bereich über einem Megawatt elektrischer Leistung wirtschaftlich interessant sind, können ORC-Module in kleineren Anlagen und insbesondere auch bei feuchteren Brennstoffen eingesetzt werden. ORC-Anlagen werden als Kraft-Wärme-Kopplungen betrieben, was auch nach dem EEG besonders begünstigt wird. Eine gesicherte Wärmeabnahme, zumindest im Winterhalbjahr, ist in der Regel Voraussetzung für einen ökonomischen Betrieb und ökologisch sinnvoll. Des Weiteren gewährt das EEG für Strom aus ORC-Anlagen einen Technologiebonus. Ein effizientes Wärmenutzungskonzept ist Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb von ORC-Anlagen

Derzeit werden Module in einem Leistungsbereich zwischen 0,4 bis 2 MW_{el} angeboten. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Moduls und der Feuerungsanlage ergeben sich erforderliche Feuerungswärmeleistungen von 2 MW bis 15 MW. Bei einer Leistung von 2 MW_{FL} liegt der Brennstoffbedarf bei etwa 5.000 Mg/a holzigem Material.

3.3 Wirtschaftlichkeit

Die Kompostierung von Grünabfällen ist mit Aufwendungen verbunden, wohingegen Erlöse für den Kompost in der Regel nur erzielt werden, wenn dieser zur Herstellung hochwertiger Erden und Substrate genutzt wird. Insofern reduziert die Ausschleusung des holzigen Materials in einer Größenordnung von ca. 30 % die Kompostierungskosten. Wesentliche Voraussetzung ist, dass ausreichend Strukturmaterial im Feinanteil verbleibt, um eine qualitativ hochwertige Kompostierung des Feinanteils durchzuführen.

Auf die günstigen Beschaffungskosten für Energieholz aus Grünabfall wurde hingewiesen. Allerdings stehen diesen günstigen Rohstoffpreisen höhere Investitions- und häufig auch Wartungskosten für die Anlagen gegenüber. Dennoch zeigt das Monitoring zum Erneuerbare-Energien-Gesetz, dass gerade der Einsatz von Hölzern aus der Landschaftspflege und dem Grünabfall rapide ansteigt.

4 Vergärung von Bioabfällen

4.1 Vergärungsverfahren

Als wesentliches Merkmal zur Einteilung der Vergärungsverfahren kann die Betriebsweise herangezogen werden, wobei kontinuierliche und diskontinuierliche Verfahren (Abbildung 10) zu unterscheiden sind. Verschiedene Praxisverfahren sind in Abbildung 11 dargestellt.

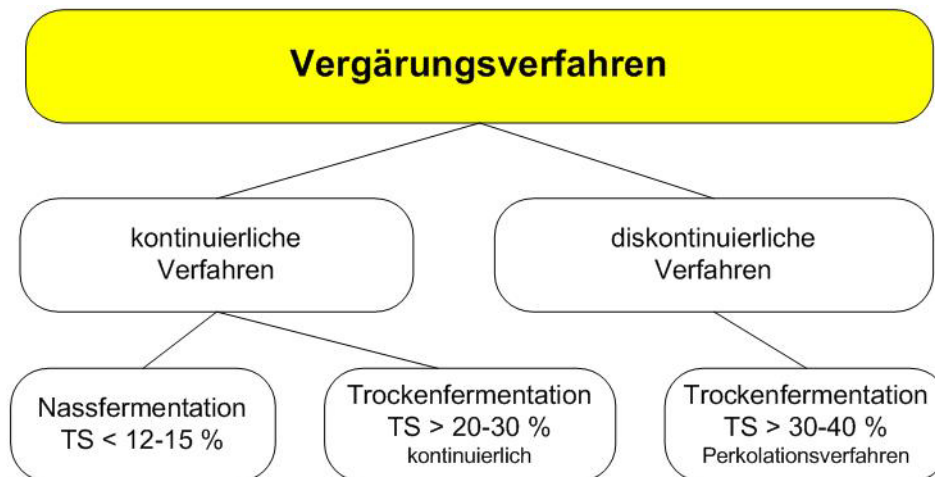


Abb. 10: Übersicht über kontinuierliche und diskontinuierliche Verfahren

Bei den kontinuierlichen Verfahren wird dem Fermenter in regelmäßigen Zeitintervallen (z. B. stündlich) Substrat zugeführt und der Ablauf des Gärrests ist entsprechend. Hierdurch wird eine kontinuierliche Biogasproduktion mit gleichbleibender Qualität angestrebt.

Bei diskontinuierlichen Verfahren hingegen werden die Fermenter nach entsprechenden Verweilzeiten von mehreren Wochen entleert und neu befüllt. Damit ist die Biogasproduktion der einzelnen Fermenter nicht kontinuierlich, was durch die Parallelschaltung mehrerer Fermenter, die zeitversetzt arbeiten, und durch Perkolatspeicher weitgehend kompensiert wird.

Als für die Praxis wesentliche Auswirkung ist festzuhalten, dass bei den diskontinuierlichen Verfahren ein stapelbarer Gärrest anfällt, der ohne weitere Behandlung kompostierbar ist.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal stellt der Trockensubstanzgehalt (TS) im Fermenter dar. Die Vergärungsverfahren lassen sich je nach Feststoffgehalt im Reaktorlauf bzw. des Inputmaterials in Nass- und Trockenverfahren unterteilen.

Auch in der Prozesstemperatur, die in der Praxis entweder im mesophilen Bereich zwischen 33 und 38 °C oder bei thermophilen Temperaturen zwischen 55 und 60 °C eingestellt wird, unterscheiden sich die Vergärungsverfahren. Die Temperatur wird durch entsprechendes Beheizen der Fermenter oder durch eine anfängliche Selbst-

erhitzung bei aerober Betriebsführung eingestellt. Die zusätzliche Heizenergie wird aus der Abwärme der Verstromung gewonnen. Dieser Anteil, der bei thermophilen Verfahren höher ist, steht allerdings externer Wärmenutzung nicht mehr zur Verfügung.

Die Prozesstemperatur übt einen maßgeblichen Einfluss auf die Abbaurate und die Gasausbeute aus. Bei thermophiler Betriebsweise werden höhere Gasausbeuten und Abbauraten erreicht. Ein mesophiler Anlagenbetrieb ist bei allen Vergärungsverfahren möglich. Thermophil werden bislang nur kontinuierliche Verfahren betrieben. Bei mesophilen Verfahren ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Hygienisierung des festen Gärrestes im Nachgang zur Vergärung im Kompostierungsprozess erfolgen muss.

➤ **Trockenvergärung**

<ul style="list-style-type: none"> • Kompogas • Strabag • OWS Dranco 	kontinuierlich
<ul style="list-style-type: none"> • Bekon • Loock TNS • Eggersmann • Bioferm 	diskontinuierlich

➤ **Nassvergärung**

<ul style="list-style-type: none"> • Ros Roca • BTA • Hese • Komptech (Teilstrom) 	kontinuierlich
---	----------------

Abb. 11: Hersteller verschiedene Trocken- und Nassvergärungsverfahren (Auswahl)

Bei den Nassvergärungsverfahren (siehe Schema in Abbildung 12) wird durch die Zugabe von Flüssigkeit (in der Regel Presswasser aus der Gärrestaufbereitung) das Substrat auf einen Trockensubstanzgehalt von bis zu 15 % angemaischt, sodass es pump- und rührfähig ist.

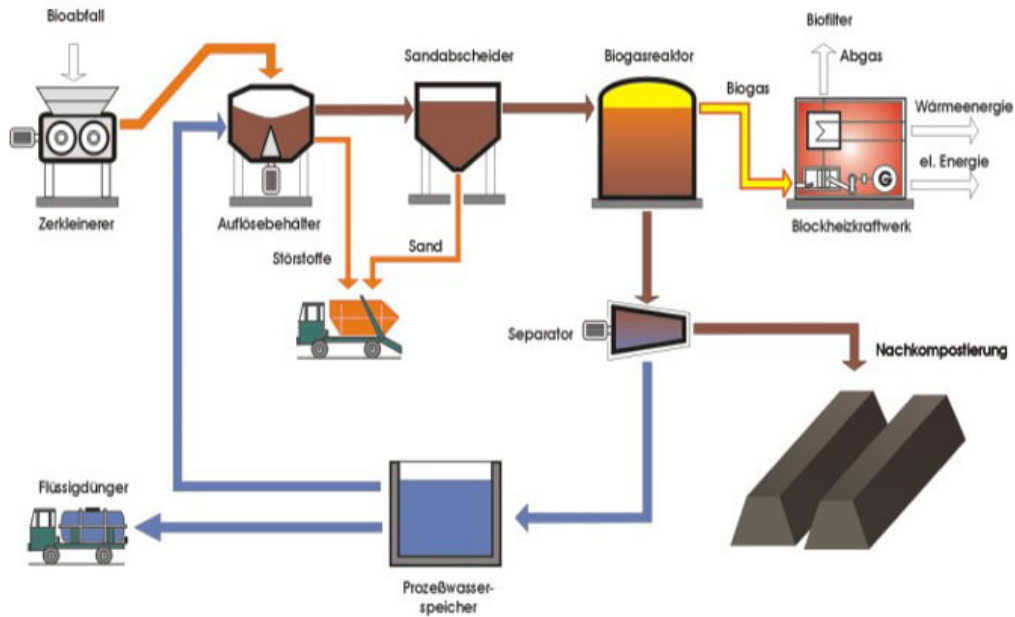


Abb. 12: Schema der kontinuierlichen Nassvergärung von Bioabfällen (Quelle: Firma BTA)

Kontinuierliche Trockenverfahren arbeiten bei Feststoffgehalten zwischen 20 und 40 %. Feststoffgehalte oberhalb von 40 % führen zu Abbauhemmungen infolge von Wassermangel. Bei der kontinuierlichen Trockenfermentation wird das Inputmaterial ebenfalls vor der Fermentation mit Presswasser verdünnt, um entsprechende Trockenstoffgehalte einzustellen. Beispielhaft ist das Pfropfenstromverfahren (Kompogas) in den Abbildungen 13 und 14 dargestellt.

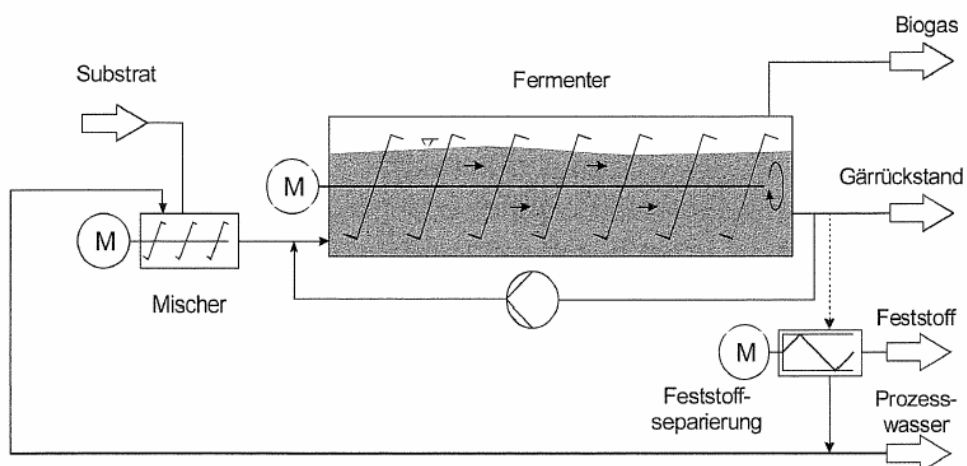


Abb. 13: Vergärungsstufe zur Nachrüstung bestehender Kompostwerke (Quelle: Firma Kompogas)



Abb. 14: Pfropfenstromfermenter (Beispiel Firma Kompogas)

Seit einigen Jahren kommen bei der Vergärung von Bioabfällen sowie auch bei der NawaRo-Vergärung sogenannte Perkolationsverfahren als Batchverfahren zum Einsatz (Abbildung 15 und 16). Bei dieser diskontinuierlichen Trockenvergärung wird das stapelfähige Material in abgeschlossenen Boxen mit Perkolat berieselt, wodurch in den Boxen Biogas entsteht. Zusätzlich wird auch Biogas aus dem Perkolatspeicher gewonnen.

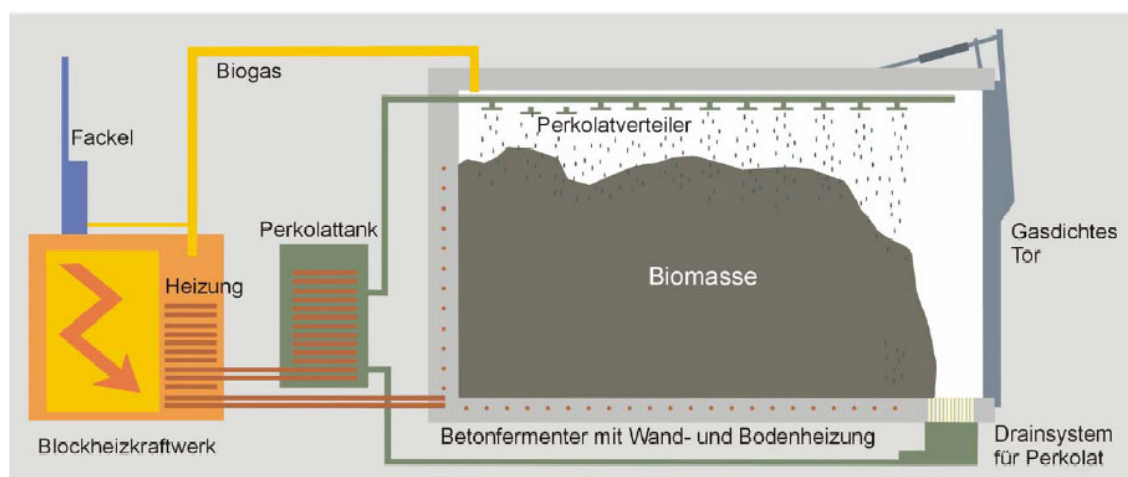


Abb. 15: Schema der Vergärung von Bioabfällen/diskontinuierliche Trockenvergärung (Quelle: Firma Bekon)



Abb. 16: Boxenvergärung (Beispiel Firma Eggersmann, Kompoferm)

4.2 Gas- und Energieertrag

Je nach Vergärungsverfahren und Bioabfallzusammensetzung werden aus einem Mg Bioabfall 80 bis 140 Nm³ Biogas mit einem Methangehalt von 55 bis 60% gewonnen (Vergleich Energiemais: 170 Nm³/Mg, Methangehalt 52 %). Abbildung 17 gibt eine Übersicht über die Spannbreite der Gaserträge der verschiedenen Vergärungsverfahren.

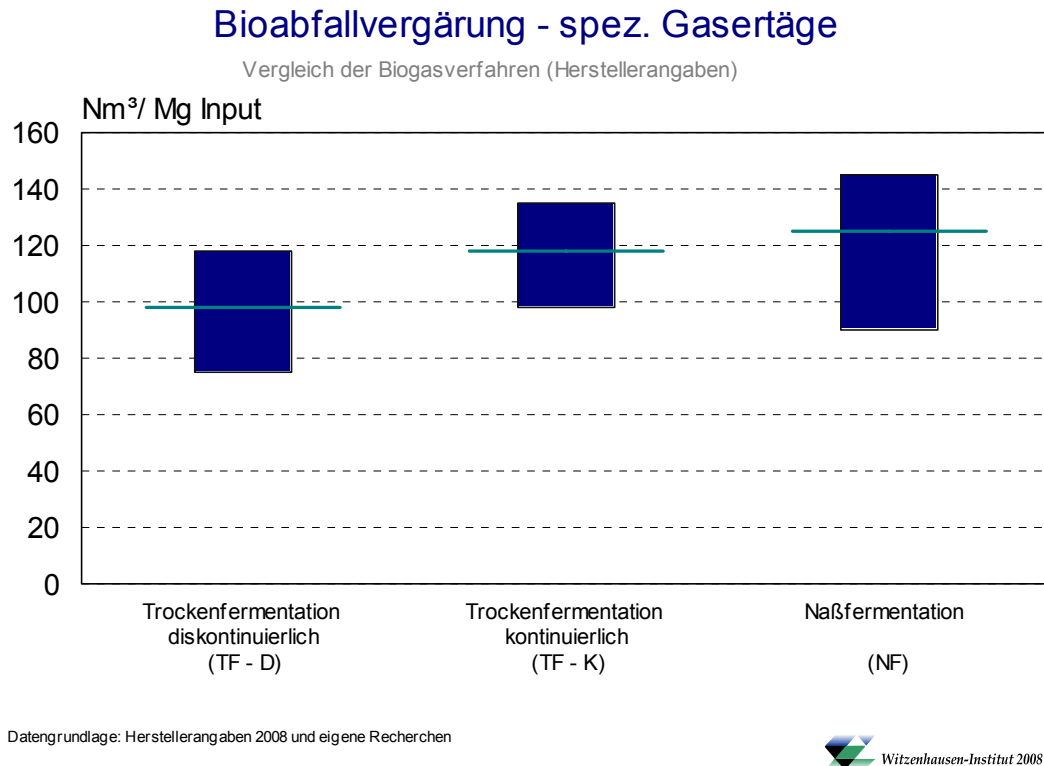


Abb. 17: Bioabfallvergärung: Gaserträge differenziert nach Vergärungsverfahren

Ein Teil der über die Gasausbeute gewonnenen Energie wird in Form von Wärme und Strom für den Anlagenbetrieb und das BHKW benötigt. Der Eigenbedarf bei der diskontinuierlichen Trockenfermentation ist am niedrigsten (bis 10 % Eigenstrombedarf und 10 bis 20 % Prozesswärmebedarf).

Die kontinuierliche Trockenfermentation liegt mit dem Eigenverbrauch im Mittelfeld, weist jedoch je nach Verfahrensgestaltung erhebliche Unterschiede auf (z. B. deutlich höherer Wärmebedarf bei thermophilem Betrieb).

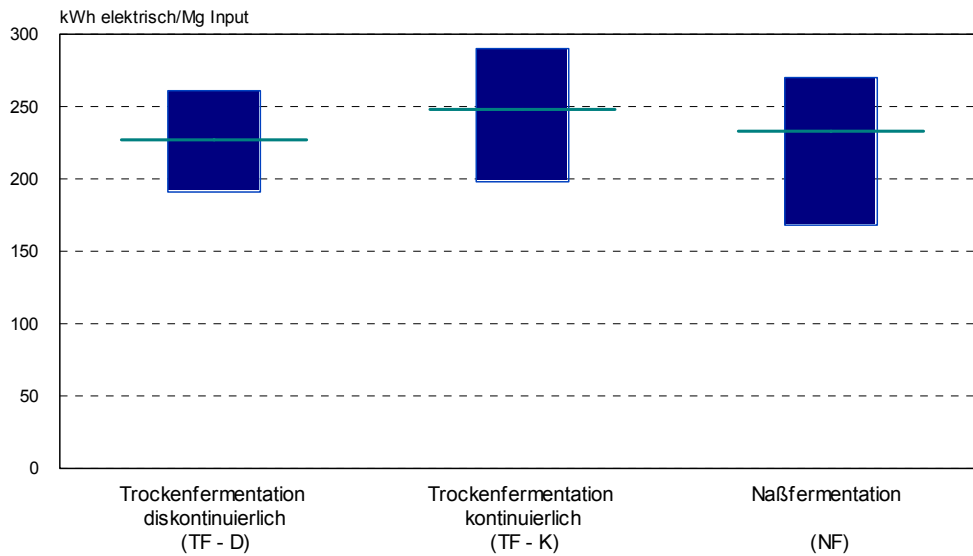
Bei der Nassfermentation wird insgesamt mehr Strom und Wärme benötigt als bei den anderen Verfahren. Jedoch besteht auch hier, je nach Verfahrensgestaltung und Prozessführung, eine große Spannweite.

Zieht man den Eigenverbrauch ab, errechnen sich bei der Gasverwertung über ein BHKW die in Abbildung 18 dargestellten Stromerträge, die für die externe Nutzung bzw. Einspeisung ins Stromnetz zur Verfügung stehen.

Vergleicht man den Nettoertrag im Verhältnis zur Gasausbeute, so fällt insgesamt auf, dass die diskontinuierlichen Verfahren trotz der geringsten Gasausbeute im Nettoertrag sowohl beim Wärme- als auch beim Stromertrag mit dem Mittelwert der Nassvergärungsverfahren vergleichbar sind. Die höchsten Nettoerträge weist im Mittel die kontinuierliche Trockenfermentation auf.

Bioabfallvergärung - spez. Nettostromertrag

Vergleich der Biogasverfahren (Herstellerangaben)



Datengrundlage: Herstellerangaben 2008 und eigene Berechnungen



Abb. 18: Bioabfallvergärung: Netto-Stromertrag differenziert nach Vergärungsverfahren

4.3 Wasserbilanz

Die Wasserbilanz und die daraus resultierenden Konsequenzen sind ein erheblicher Entscheidungsfaktor bei der Prüfung der standortspezifischen Eignung von Vergärungsverfahren.

Wasser fällt bei den kontinuierlichen Verfahren in Form von Presswasser bei der Gärrestaufbereitung an. Ein Teil des Presswassers wird rückgeführt zur Verflüssigung des Bioabfall-Inputs.

Sowohl bei der Nassfermentation als auch bei der kontinuierlichen Trockenfermentation fallen erhebliche Mengen an Überschusswasser an. Diese müssen dann als flüssiger Gärrest entsorgt bzw. verwertet werden. Hier gilt es, bei der Anlagenplanung entsprechende Lagerkapazitäten für flüssige Gärreste zu berücksichtigen.

Auch bei der diskontinuierlichen Trockenfermentation (Batchverfahren) fällt Überschusswasser aus der Perkolation an, jedoch nur in einer Größenordnung von ca. 5 % des Materialinputs. Das restliche Wasser findet sich im Gärrest wieder.

Neben den Vergärungsverfahren bieten sich eine Reihe weiterer Optionen zur Beeinflussung der anfallenden Mengen an flüssigen Gärresten:

- Bei der Separation des Gärrestes ist in der Regel nicht die maximale Entwässerung das Ziel, sondern ein TM-Gehalt, der, häufig in Verbindung mit zugefügtem Strukturmaterial, eine sachgerechte Kompostierung erlaubt.

- Die Rückführung des flüssigen Gärrestes zur Anmischung des Bioabfalls spielt bei den kontinuierlichen Verfahren eine wesentliche Rolle.
- Je nach Jahreszeit und Verlauf des Kompostierungsprozesses kann flüssiger Gärrest zur Anfeuchtung der Komposte verwendet werden.

Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass in Regionen mit hohem Anteil an Veredlungswirtschaft und damit verbundenen großen Mengen an Wirtschaftsdüngern (Gülle) die landwirtschaftliche Verwertung flüssiger Gärreste schwierig ist. In Ackerbauregionen mit geringem Viehbesatz ist hingegen die Akzeptanz für den Gärrest als Flüssigdünger in der Regel gut. Dort, wo eine landwirtschaftliche Verwertung nicht möglich ist, müssen flüssige Gärreste über Kläranlagen geführt werden.

4.4 Hygienisierung

Für die Hygienisierung von Bioabfällen gelten im Falle einer Vergärung die gleichen Anforderungen und Vorgaben wie im Falle der reinen Kompostierung.

Bei thermophilen Prozessen und einer Verweildauer von > 14 Tagen im Fermenter findet gleichzeitig eine Hygienisierung des Materials statt (Nachweis der Prozessprüfung erforderlich). Der Wärmebedarf für die Hygienisierung wird in der Regel über die Abwärme des BHKW gedeckt und ist daher bei vorgesehenem Wärmeverkauf als Eigenbedarf zu berücksichtigen.

Bei allen mesophilen diskontinuierlichen Verfahren erfolgt die Hygienisierung während der Kompostierung des festen Gärrestes. Um hierbei die erforderliche Erhitzung sicherzustellen, muss der Gärrest noch genügend Restorganik enthalten. Soll der flüssige Gärrest verwertet werden (was zu favorisieren ist), muss er technisch hygienisiert werden.

Bei einer mesophilen kontinuierlichen Trockenfermentation kann die Hygienisierung wahlweise vor der Vergärung durch Erhitzung oder nach der Vergärung durch Kompostierung des abgepressten Gärrestes erfolgen.

4.5 Kosten und Erlöse der Vergärung

Kosten

Vergärungsverfahren im Batchbetrieb erfordern geringere Investitionen als kontinuierliche Nass- oder Trockenvergärungsanlagen, erzielen aber andererseits niedrigere Gaserträge. Zudem ist zu berücksichtigen, ob eine Vergärungsanlage als Vorschaltanlage in eine vorhandene Kompostierung integriert werden kann und damit wesentliche Verfahrensabschnitte für die Gärrestbehandlung mitgenutzt werden können oder ob es sich um eine neue eigenständige Anlage handelt.

Bei den spezifischen Betriebskosten für Vorschaltanlagen ist bei den technisch aufwändigen Anlagentypen von Zusatzkosten in Höhe von 40 €/Mg bis 55 €/Mg (ohne Erlöse) auszugehen, wobei mit steigender Anlagenkapazität eine Kostendegression besteht. Diesen Kosten sind die Erlöse aus dem Strom- und Wärmekauf gegenüberzustellen. Günstige Bedingungen liegen vor, wenn mit der Vorschaltanlage auch gleichzeitig die Inputmengen erhöht werden können, weil dadurch eine günstige Auslastung der bestehenden Kompostierung zur Gärrestauffbereitung möglich wird.

Erlöse

Die Gesamtaufwendungen der Vergärung von Bioabfällen werden wesentlich durch die Energieerlöse für Strom und Wärme bestimmt. Die Vergärung von Bioabfällen wurde durch die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2008 zwar explizit als innovative Technik angesprochen und entsprechend vergütet (wenn die festen Gärreste stofflich verwertet werden), allerdings wurde bereits nach dem bisherigen EEG (2004) zu der Grundvergütung ein Technologie-Bonus von 2 Cent/kWh_{el} gewährt, wenn es sich um eine Trockenvergärung handelte, was bei den meisten Bioabfallvergärungsanlagen der Fall war.

Eine weitere erhöhte Vergütung für den eingespeisten Strom lässt sich über sinnvolle Wärmenutzungen gemäß Anlage 3 des novellierten EEG erzielen. So wird dort u. a. die Nutzung von Prozesswärme zur Aufbereitung von Gärresten zum Zwecke der Düngemittelherstellung als Option genannt. Nachteilig wirkt sich die enge Interpretation des Begriffs Landschaftspflegematerial auf reine Grüngutvergärungsanlagen aus, die bisher zusätzlich den NawaRo-Bonus erhielten. Sofern sich die Interpretation durchsetzt, wird dies für Neuanlagen nach dem novellierten EEG nicht mehr der Fall sein.

Weitere Erlöse sind durch die Vergütung aus der Nutzung der anfallenden Abwärme bei der Stromerzeugung zu generieren. Häufig ist die Wärmenutzung entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Konzepten.

Die Erlöse aus der Bioabfallvergärung werden wesentlich durch folgende Faktoren mitbestimmt:

- Biogaserträge (verfahrens- und substratabhängig) und Methangehalte
- Verwertungs- und Absatzwege der Gärreste (insbesondere Press- bzw. Überschusswasser als Düngekonzentrat oder Abwasser)
- Geeignete Wärmekonzepte und Verkauf von Überschusswärme

Bei optimalen Randbedingungen lässt sich eine Integration einer Vergärungsstufe in eine Kompostierungsanlage bereits heute wirtschaftlich darstellen.

Hierbei kommen insbesondere standort- und gebietskörperschaftsspezifische Synergien sowie kommunale umwelt- und klimapolitische Ziele zum Tragen. Im Einzelnen sind dies:

- Durchsatzsteigerung der Anlage für die biologische Behandlung auf der gleichen Fläche von bis zu 40 % des bisherigen Inputs
- Geruchsminderung durch den anaeroben Abbau
- Umwelt- und klimarelevante Vorteile durch die Erzeugung und Nutzung von Bioenergie (Biogas)

Welches Verfahren das wirtschaftlichste ist, ist jeweils unter den spezifische Randbedingungen vor Ort zu prüfen und zu bewerten.

5 Fazit

Grundsätzlicher Konsens besteht, dass noch erhebliche Mengen an Bio- und Grünabfall bisher nicht erschlossen sind und diese vorrangig durch geeignete Maßnahmen und wirtschaftliche Anreize erfasst und einer Verwertung geführt werden sollen.

Der Vergärung von Bioabfällen wird zukünftig ein deutlich höherer Stellenwert zukommen als gegenwärtig. Insbesondere durch die zusätzliche Vergütung von 2 Cent/kWh, bei der Vergärung von Bioabfällen bei stofflicher Nutzung des Gärrestes, wird im neuen EEG der Stellenwert der Vergärung von Bioabfällen hervorgehoben. Nach Einschätzung des Witzenhausen-Instituts ist davon auszugehen, dass mittelfristig über 100 Kompostierungsanlagen um einen anaeroben Behandlungsschritt zur Biogaserzeugung erweitert werden. Dies ist vor allem auch deshalb realisierbar, weil ein Großteil der Kompostierungsanlagen abgeschrieben ist und entsprechende neue Investitionen anstehen.

Da bei der Vergärung ein hochwertiger fester Gärrest zurückbleibt, der nach einer aeroben Behandlung qualitativ vergleichbar mit ausschließlich aeroben Kompost ist und den gleichen Verwertungswegen zugeführt werden kann, integriert die Anaerobtechnik die stoffliche und energetische Verwertung von Bioabfällen in idealer Weise.

Die thermische Nutzung von holzigem Grünabfällen und Siebüberlauf stellt ein hohes und wirtschaftlich interessantes Energie- und CO₂-Vermeidungspotenzial dar, was in der Praxis immer mehr umgesetzt wird.

Nichtsdestotrotz wird die Kompostierung von Bio- und Grünabfällen auch weiterhin zentrales Standbein der biologischen Abfallbehandlung bleiben. Die Gewinnung und der Einsatz von qualitativ hochwertigen Komposten und Gärresten werden auch zukünftig einen wichtigen Beitrag als Humus- und Nährstofflieferant sowie als Bodenverbesserer in Deutschland leisten.