

## **Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung**

**Michael Kern, Thomas Raussen**

### **1 Einleitung und Rahmenbedingungen**

Biomasse kann als erneuerbare Energie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten. Insbesondere Abfallbiomassen haben hierbei einen hohen Stellenwert, da sie nicht als Konkurrenzprodukt zu Nahrungs- oder Futtermitteln, wie beispielsweise Energiepflanzen, erzeugt werden müssen, sondern als Abfall sowieso anfallen.

Vor diesem Hintergrund gibt es politisch und gesellschaftlich eine hohe Akzeptanz für die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse aus Abfällen. In vielen Bundesländern ist es erklärtes Ziel, den Ausbau der Getrenntsammlung von Bio- und Grünabfällen zu fordern und zu fördern.

Auch auf Bundesebene fordert das „Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschaft- und Abfallrechts“ (Referentenentwurf vom 6. August 2010) in § 11 unter Anforderungen an die Kreislaufwirtschaft für Abfallbiomasse, dass Bioabfälle, die einer Überlassungspflicht unterliegen, spätestens zum 1. Januar 2015 getrennt zu sammeln sind.

In einem sind sich Politik und Entsorgungswirtschaft einig: das Potenzial an erfassbaren Bioabfällen ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Beispielsweise bestätigen aktuelle Berechnungen der Prognos AG vom September 2010, dass noch erhebliche Mengen an Bio- und Grünabfällen erfasst werden können. Sie schätzen das Gesamtpotenzial an Bio- und Grünabfällen auf ca. 11,7 Mio. Mg per anno bzw. auf 147 kg je Einwohner und Jahr. Damit liegt das Potenzial an Bio- und Grünabfällen um ca. 40 kg je Einwohner und Jahr bzw. annähernd 40 % höher als die gegenwärtig erfassten spezifischen Mengen.

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, wovon jeweils ca. die Hälfte auf Bio- bzw. Grünabfälle zurückzuführen sind.

Dabei ist hinsichtlich der pro Kopf erfassten Mengen ein deutliches Gefälle zu beobachten. Während in Niedersachsen annähernd 152 kg/E\*a gesammelt werden, sind dies in Brandenburg nur etwas mehr als 32 kg/E\*a (Abbildung 1).

Die Entwicklung des bundesweiten Aufkommens nativ-organischer Abfälle von 1990 bis 2008 spiegelt sich in Abbildung 2 wider.

Das geringste spezifische Aufkommen von Bio- und Grünabfällen ist durchgängig in den östlichen Bundesländern zu verzeichnen, wobei Sachsen-Anhalt mit fast 92 kg/Ew.\*a den höchsten Wert erreicht, damit aber immer noch ca. 15 kg unter dem Bundesdurchschnitt rangiert.

Im Mittel werden in den alten Bundesländern ca. 124 kg je Einwohner und Jahr erfasst, in den neuen Bundesländern sind es mit 57 kg je Einwohner und Jahr weniger als die Hälfte. In den Stadtstaaten sind es im Mittel ca. 35 kg je Einwohner und Jahr, wobei allerdings Bremen mit 88 kg je Einwohner und Jahr eine deutliche Spitzenposition einnimmt (Abbildung 3).

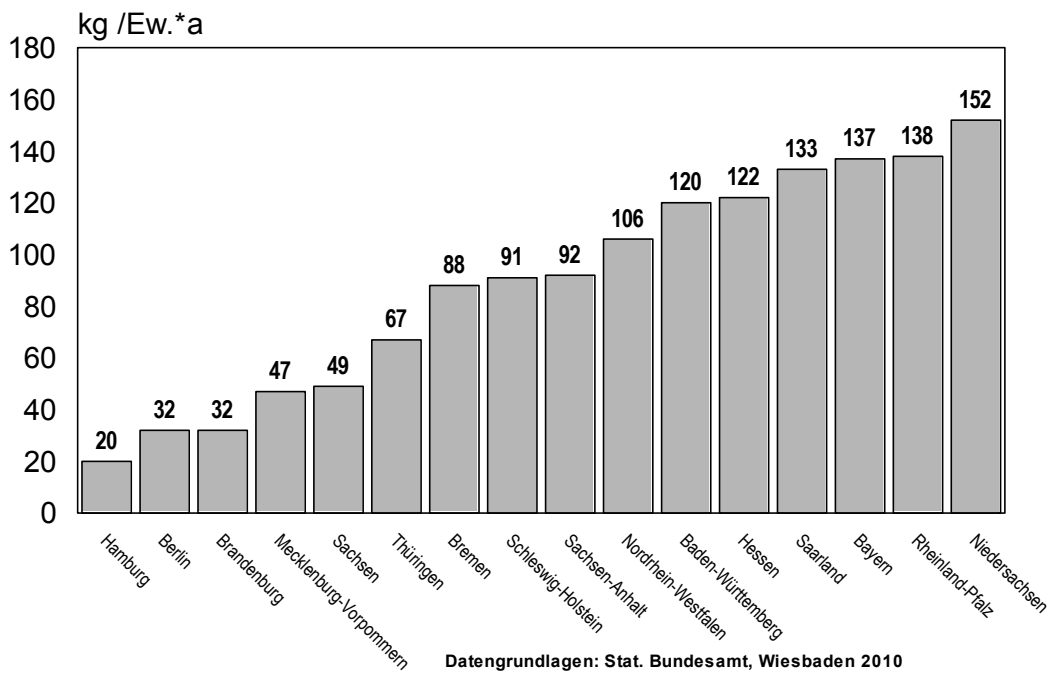


Abb. 1: Spezifisches Bio- und Grünabfallaufkommen

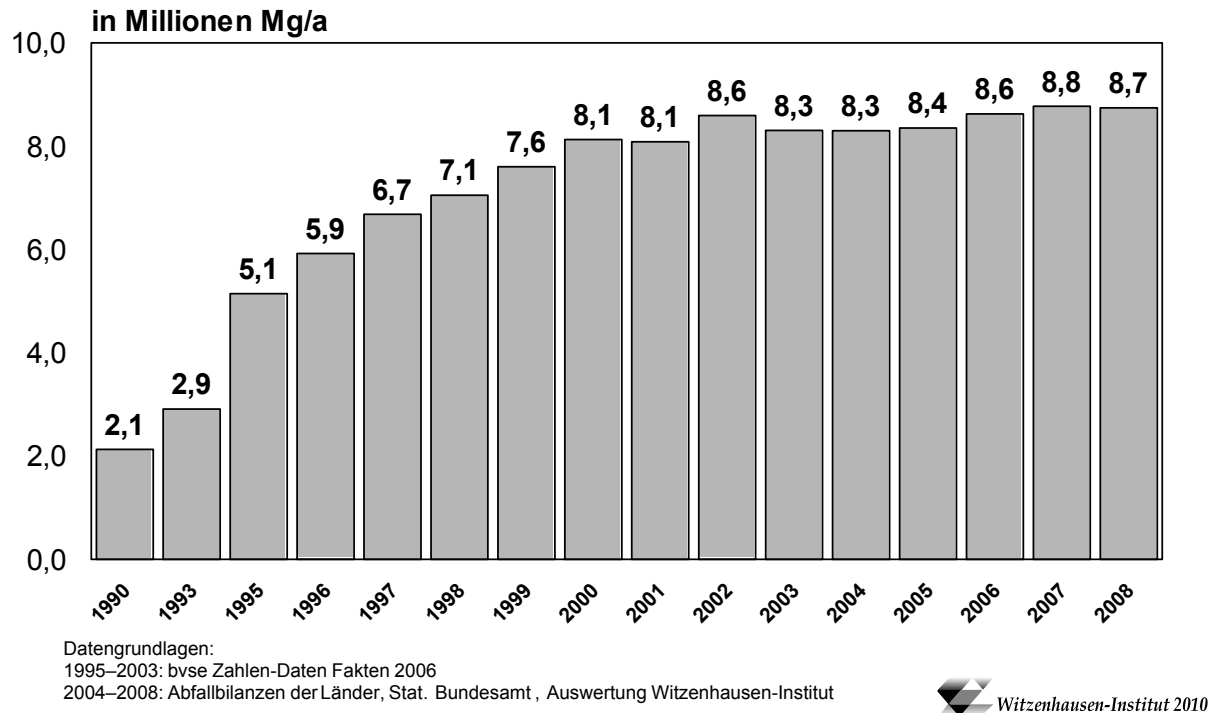
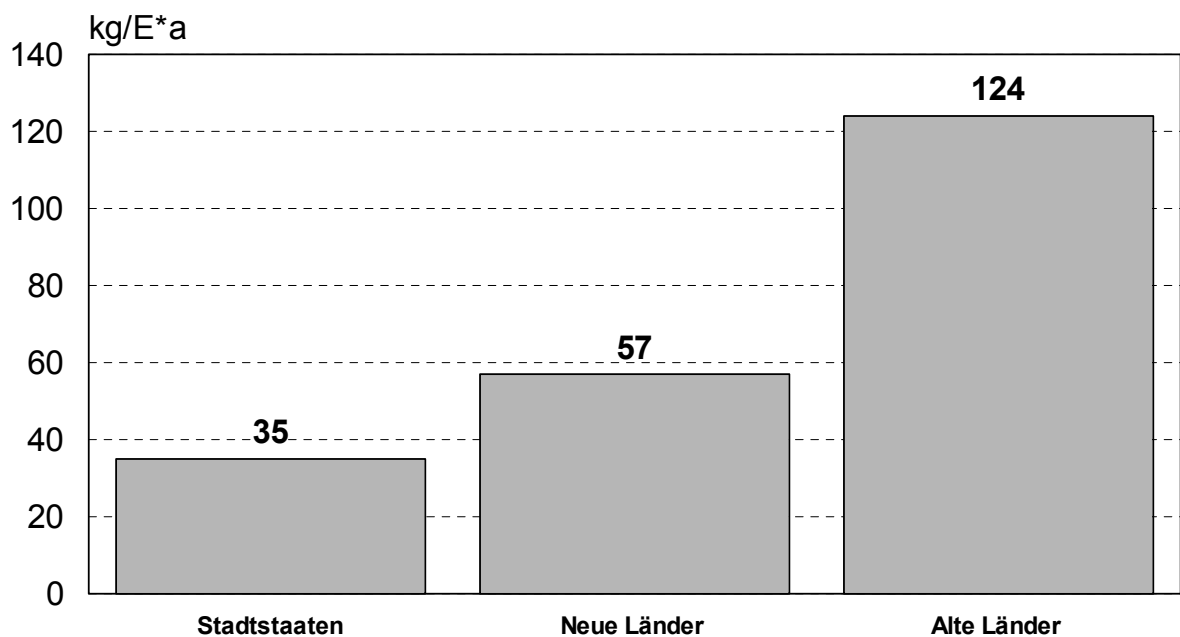


Abb. 2: Entwicklung des Bio- und Grünabfallaufkommens 1990–2007



Quelle: Stat. Bundesamt Wiesbaden 2010

Abb. 3: Spezifisches Bio- und Grünabfallaufkommen in den alten und neuen Bundesländern sowie in den Staatstern

Die Getrennterfassung von organischen Abfällen über die Biotonne ist bundesweit in rund drei Viertel der 414 untersuchten Landkreise und kreisfreien Städten etabliert. So bieten derzeit ca. 300 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) ihren Ein-

wohnern die Nutzung der Biotonne an. In den Gebieten dieser öRE leben fast 65 Mio. Bundesbürger (= 80 % der Gesamtbevölkerung), denen theoretisch eine Biotonne zur Verfügung steht. Allerdings ist der Anschlussgrad in diesen Gebieten unterschiedlich, sodass der genannte theoretische Wert bei Weitem nicht erreicht wird. Nach wie vor ohne Biotonnenangebot sind über 100 Städte und Landkreise mit über 20 Mio. Einwohnern.

Das Angebot der separaten Erfassung von Grün- und Gartenabfällen ist bundesweit annähernd flächendeckend umgesetzt. In fast allen der 414 betrachteten öRE (97 %) erfolgt eine getrennte Erfassung dieses Stoffstroms etwa durch separate Abfahren oder die Annahme bei Grüngutsammelstellen. Allerdings sind die Abschöpfungsraten für Grünabfälle in den verschiedenen Landkreisen und kreisfreien extrem unterschiedlich, sodass von einem deutlichen Steigerungspotenzial auszugehen ist. Gerade bei den Grünabfällen zeigt sich, dass durch eine bürgernahe und bequeme Erfassung (dezentrale Sammelplätze in Kombination mit einem Holsystem) erhebliche Mengen erfasst werden können. Spitzenwerte von über 200 kg Grünabfall je Einwohner und Jahr sind durchaus möglich.

## **2 Kaskadennutzungsoptionen von Biomasse**

Durch die getrennte Erfassung von Bioabfällen kann die Biomasse sowohl energetisch als auch stofflich verwertet werden. Durch diese Kaskadennutzung, die beispielsweise durch die Vergärung zuerst einen Energiegewinn in Form von Biogas realisiert und anschließend den Gärrest stofflich verwertet, ist eine optimale Wertschöpfung der Biomasse sichergestellt. Durch geeignete Vergärungsverfahren, die der Kompostierung vorgeschaltet werden, können quantitativ pro Tonne Bioabfall nahezu die gleichen Mengen Kompost erzeugt und verwertet werden wie bei ausschließlich aerober Behandlung der Bioabfälle. Auch qualitativ sind die Komposte vergleichbar, da sowohl im Kompostierungs- als auch im Vergärungsprozess hauptsächlich Kohlenstoff ab- bzw. umgebaut wird und die anderen Makro- und Mikro-nährstoffe im Wesentlichen erhalten bleiben. Während bei der Kompostierung ein Großteil des Kohlenstoffs direkt unter Abgabe von Wärme zu Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) abgebaut wird, wird bei der Vergärung ein erheblicher Teil des Kohlenstoffs unter Beibehaltung des Energiepotenzials zu Biomethan ( $\text{CH}_4$ ) umgebaut. Die im Biomethan gespeicherte Energie kann anschließend gezielt in einem BHKW zu Strom- und Wärmezwecken oder aufbereitet als Kraftstoff genutzt werden. Vielversprechend sind heute Projekte, die das aufbereitete Biomethan direkt ins Erdgasnetz einspeisen und somit den Ort der Biomethanentstehung und den Nutzungsort entkoppeln.

In den nachfolgenden Ausführungen wird eine optimierte energetische und stoffliche Nutzung von Bioabfällen betrachtet und aufgezeigt, welche Energiepotenziale hierdurch erschlossen werden können.

## 2.1 Vergleichende Stoff- und Energiebilanz der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen

Entscheidend für die vergleichende Stoff- und Energiebilanz der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen sind die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen. Um das Vergärungs- und Kompostierungsmodell vergleichbar zu machen, wurde von einem **identischen** Ausgangsmaterial für beide Modelle ausgegangen (Tabelle 1). Orientierend an Praxiswerten wird davon ausgegangen, dass der Bioabfall (Biotonne) ca. 12 % holzige Komponenten beinhaltet [1], die sowohl in der Kompostierung als auch in der Vergärung nicht abgebaut werden und nach einer entweder vorherigen Aufbereitung oder einer nachgelagerten Konfektionierung abgetrennt und der energetischen Verwertung zugeführt werden.

Abweichend hiervon wurde vereinfachend im Kompostierungsmodell bei der holzigen Fraktion davon ausgegangen, dass durch eine intensivere Trocknung ein TS-Gehalt von ca. 30 bis 35 % erreicht wird. Hingegen wurde beim Vergärungsmodell von einem TS-Gehalt der holzigen Fraktion von ca. 35 bis 40 % ausgegangen. Hierin liegt der höhere Heizwert beim Kompostierungsmodell begründet. Die darin begründeten höheren Masseverluste bleiben unberücksichtigt.

Die Wirkungsgrade des Biomasseheizkraftwerkes (BMHKW) bzw. des Blockheizkraftwerkes (BHKW) für die Biogasverwertung orientieren sich an üblichen Praxiswerten. Zudem wurde der erforderliche Eigenbedarf für die Kompostierung mit 45 kWh/Mg Input bzw. für die Gärrestbehandlung mit 40 kWh/Mg Input veranschlagt. Für die Vergärung wurde ein Energiebedarf von 15 % des erzeugten Stroms bzw. 20 % der erzeugten Wärme unterstellt. Bei der Wärmenutzung wurde angenommen, dass ca. 50 % der vermarktbareren Wärme genutzt werden.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Kompostierung bedingt durch die energetische Verwertung der holzigen Fraktion einen Energieüberschuss von 56 kWh/Mg (Strom) erreicht (Tabelle 2) Das Vergärungsmodell erreicht mit 206 kWh/Mg (Strom) allerdings einen annähernd vierfach so hohen Energiewert. Hierbei wurde der jeweils unterstellte Eigenbedarf an Energie berücksichtigt.

Tab. 1: Eckwerte der Verwertungsmodelle für Bioabfälle (Biotonne)

<b>Eckwerte stoffliche und energetische Bioabfallverwertung</b>	
<b>Kompostierung</b>	<b>Vergärung</b>
<b>Stoffströme</b>	<b>Stoffströme</b>
Bioabfall 1,00 Mg	Bioabfall 1,00 Mg
Holziger Anteil 12,00 %	Holziger Anteil 12,00 %
Menge Holziger Anteil 0,12 Mg	Menge Holziger Anteil 0,12 Mg
Input Kompostierung 88,00 %	Input Vergärung 88,00 %
Input Kompostierung 0,88 Mg	Input Vergärung 0,88 Mg
Anteil Kompost 45,00 %	
Menge Kompost 0,40 Mg	Gärrest 90,00 %
	Menge Gärrest 0,79 Mg
	Gärrest fest 70,00 %
	Gärrest flüssig 30,00 %
	Menge Gärrest fest 0,55 Mg
	Menge Gärrest flüssig 0,24 Mg
<b>Energie</b>	<b>Energie</b>
<b>holziger Anteil : Biomassekraftwerk</b>	<b>holziger Anteil : Biomassekraftwerk</b>
Energiegewinn BMHKW	Energiegewinn BMHKW
Feuerungswärmeleistung 3.200 kWh/Mg	Feuerungswärmeleistung 2.900 kWh/Mg
Strom 25 % Strom	Strom 25 % Strom
Wärme 60 % Wärme	Wärme 60 % Wärme
	<b>Biogas: BHKW</b>
	Biogas 100 Nm <sup>3</sup> /Mg
	Methan 55 %
	Feuerungswärmeleistung 5,5 kWh/Nm <sup>3</sup>
	<b>Energiegewinn BHKW</b>
	Strom 38 % Strom
	Wärme 42 % Wärme
<b>Energiebedarf Kompostierung</b>	<b>Energiebedarf Vergärung</b>
Energiebedarf 45 kWh/Mg Input	Energiebedarf Strom 15 % Strom
	Energiebedarf Wärme 20 % Wärme
	Gärrestbehandlung 40 kWh/Mg Input

Tab. 2: Vergleichende Energiebilanz der Bioabwertung (Biotonne)

<b>Vergleichende Energiebilanz</b>					
<b>Kompostierung</b>			<b>Vergärung</b>		
<b>je Mg</b>	<b>Strom (kWh/Mg)</b>	<b>Wärme (kWh/Mg)</b>	<b>je Mg</b>	<b>Strom (kWh/Mg)</b>	<b>Wärme (kWh/Mg)</b>
BMHKW (Holz)	<b>96</b>	<b>230</b>	BMHKW (Holz)	<b>87</b>	<b>209</b>
BHKW (Biogas)	-		BHKW (Biogas)	<b>184</b>	<b>203</b>
Eigenbedarf Kompostierung	<b>-39,6</b>	<b>0</b>	Eigenbedarf Vergärung	<b>-28</b>	<b>-37</b>
			Eigenbedarf Gärrestbehandlung	<b>-35</b>	<b>0</b>
Wärmenutzung (50% vermarktbar Wärme)		<b>-115</b>	Wärmenutzung (50% vermarktbar Wärme)		<b>-206</b>
<b>SUMME</b>	<b>56</b>	<b>115</b>	<b>SUMME</b>	<b>208</b>	<b>206</b>

Betrachtet man die energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale auf der Grundlage der BMU CO<sub>2</sub>-Vermeidungsfaktoren [2] ergibt sich ein spezifisches CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial aus Gutschriften von Strom und Wärme von 70 kg CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial (Kompostierung) im Vergleich zu 198 kg CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial (Vergärung) (Tabelle 3).

Hierbei bleiben allerdings die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Gutschriften für die stofflichen Nutzung (Dünger, Bodenverbesserer, C-Speicher usw.) sowie Lastschriften für Schadgasemissionen unberücksichtigt.

Tab. 3: Vergleichende CO<sub>2</sub>-Bilanz der Bioabwertung (Biotonne)

<b>Energiebedingtes CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial</b>					
<b>Kompostierung</b>			<b>Vergärung</b>		
<b>je Mg</b>	<b>Strom (kg CO<sub>2</sub>-Aqui.)</b>	<b>Wärme (kg CO<sub>2</sub>-Aqui.)</b>	<b>je Mg</b>	<b>Strom (kg CO<sub>2</sub>-Aqui.)</b>	<b>Wärme (kg CO<sub>2</sub>-Aqui.)</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidung</b>	<b>39</b>	<b>31</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidung</b>	<b>143</b>	<b>55</b>

BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen 2009, CO<sub>2</sub>-Vermeidungsfaktoren  
(Strom= 0,688 kg CO<sub>2</sub>-Aqui./kWh; Wärme 0,228 CO<sub>2</sub>-Aqui./KWh)

Geht man davon aus, dass bei einer Trockenvergärung mit anschließender Kompostierung der festen Gärreste ein in seinen wertgebenden Bestandteilen vergleichbares Kompostprodukt entsteht, ist ebenfalls ein vergleichbares Ergebnis bei den CO<sub>2</sub>-Gutschriften bei der stofflichen Verwertung zu erwarten.

Der flüssige Gärrest ist mit wasserlöslichen Nährstoffen angereichert, was ihn wiederum zu einem wirksamen Dünger aufwertet (vergleichbar mit Gülle). Hierbei wird allerdings vorausgesetzt, wie es heute auch in der Mehrzahl aller Vergärungsanlagen, die flüssigen Gärrest abtrennen, praktiziert wird, dass der flüssige Gärrest land-

wirtschaftlich verwertet wird und damit sichergestellt wird, dass die Nährstoffe, insbesondere Phosphat, in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Was die klimarelevanten Schadgase bei der Kompostierung bzw. Vergärung von Bioabfällen betrifft, ist das Aufkommen maßgeblich von dem Anlagentyp, der Anlagenausführung sowie der Betriebsführung bestimmt. Bei der Vergärung ist gerade der Prozessübergang von der anaeroben in eine aerobe Phase hinsichtlich möglicher Methanemissionen sorgfältig zu handhaben. Emissionsmindernde Maßnahmen, wie die Abdeckung von offenen Gärrestlagern usw., sollten hierbei selbstverständlich sein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Vergärung, unter Berücksichtigung vergleichbarer Input-Stoffströme, unter stofflichen, energetischen sowie auch aus Gründen des Emissionsschutzes, das klar zu favorisierende Verfahren ist. Hierbei werden allerdings ein ordnungsgemäßer Betrieb, eine entsprechende Verfahrenstechnik sowie die Rückführung der festen (kompostierten) und flüssigen Gärreste in den Stoffkreislauf vorausgesetzt, denn nur so kann die gewünschte Kaskadennutzung erreicht werden.

## 2.2 Modellbetrachtung der stofflich- und energetischen Bioabfallverwertung in Deutschland

Die nachfolgende bundesweite Betrachtung basiert auf den in Tabelle 4 und Abbildung 4 dargestellten Stoffströmen und unterstellten Behandlungsverfahren. Für Bioabfälle (Biotonne) wurde unterstellt, dass 60 % des getrennt erfassten Bioabfallaufkommens in eine Vergärung verbracht werden, 28 % in die Kompostierung gehen (ohne anaerobe Vorbehandlung) und 12 % holziges Material direkt einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Bei den Grünabfällen wurde unterstellt, dass 45 % in die Kompostierung und 25 % in eine Vergärung gelangen. 30 % holzige Anteile werden direkt einer energetischen Verwertung zugeführt.

Das eingangs erwähnte Steigerungspotenzial der Bio- und Grünabfälle bleibt in der nachfolgenden Modellbetrachtung unberücksichtigt.

Tab. 4: Verwertungsströme Bio- und Grünabfälle in Deutschland

<b>STOFFBILANZ Bioabfall</b>			<b>STOFFBILANZ Grünabfall</b>		
<b>Vergärung</b>	2.520.000	Mg	<b>Vergärung</b>	1.125.000	Mg
<b>Verbrennung</b>	504.000	Mg	<b>Verbrennung</b>	1.350.000	Mg
<b>Kompostierung</b>	1.176.000	Mg	<b>Kompostierung</b>	2.025.000	Mg
<b>SUMME</b>	<b>4.200.000</b>	<b>Mg</b>	<b>SUMME</b>	<b>4.500.000</b>	<b>Mg</b>

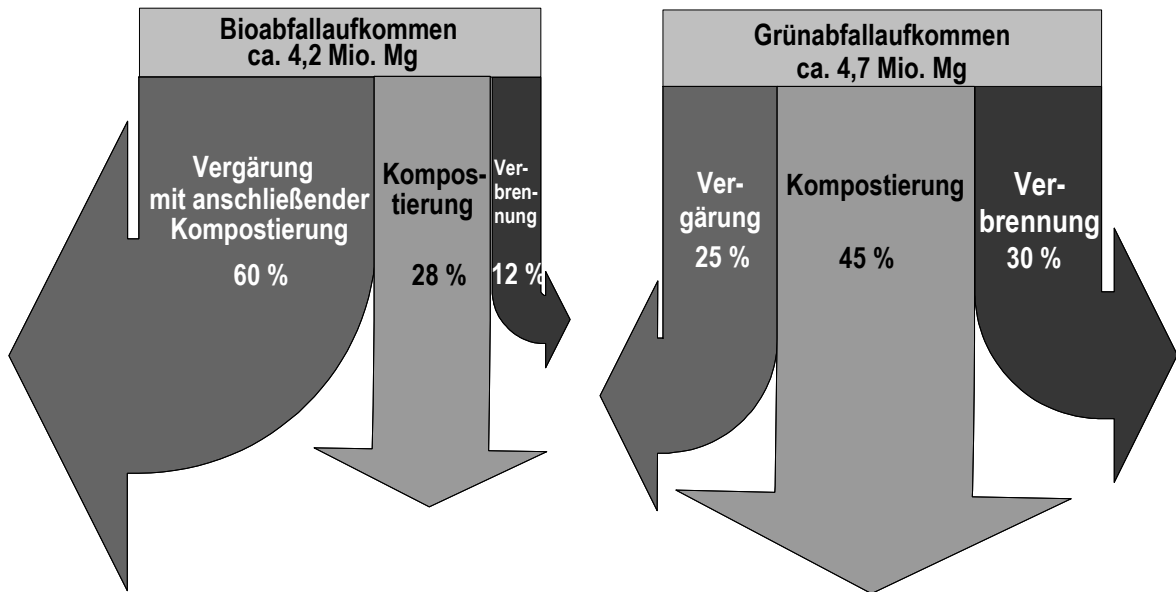


Abb. 4: Verwertungsströme Bio- (Biotonne) und Grünabfälle

Im Ergebnis lässt sich der in Tabelle 5 dargestellte Energiegewinn ermitteln. Bei der stofflich-energetischen Bioabfallverwertung lassen sich unter Berücksichtigung des Energiebedarfs elektrische Energiegewinne von annähernd 670.000 MWh realisieren, bei der stofflich-energetischen Grünabfallverwertung sogar über 1 Mio. MWh elektrische Energie und zusätzlich noch mehr als das Doppelte an Wärmeenergie. Allerdings ist hier die reale Nutzung der Wärmeenergie in der Praxis deutlich geringer zu veranschlagen.

Tab. 5: Energiebilanz Bio- und Grünabfälle Deutschland

ENERGIEBILANZ Bioabfall			ENERGIEBILANZ Grünabfall		
	Strom MWh	Wärme MWh		Strom MWh	Wärme MWh
<b>Energiegewinn</b>			<b>Energiegewinn</b>		
Vergärung	526.680	582.120	Vergärung	188.100	207.900
Verbrennung	365.400	876.960	Verbrennung	978.750	2.349.000
<b>SUMME</b>	<b>892.080</b>	<b>1.459.080</b>	<b>SUMME</b>	<b>1.166.850</b>	<b>2.556.900</b>
<b>Energiebedarf</b>			<b>Energiebedarf</b>		
Vergärung	79.002	116.424	Vergärung	28.215	41.580
Gärrestbehandlung	90.720	0	Gärrestbehandlung	40.500	0
Kompostierung	52.920	0	Kompostierung	91.125	0
<b>SUMME</b>	<b>222.642</b>	<b>116.424</b>	<b>SUMME</b>	<b>159.840</b>	<b>41.580</b>
<b>BILANZ</b>	<b>669.438</b>	<b>1.342.656</b>	<b>BILANZ</b>	<b>1.007.010</b>	<b>2.515.320</b>

Auffallend ist, dass gerade die direkte energetische Nutzung der holzigen Abfälle zu einem erheblichen Energiegewinn beiträgt (Abbildung 5). Gerade bei der Verbrennung holziger Biomasse ist der Zielkonflikt der energetischen und stofflichen Nutzung

deutlich. Hierbei sollten die in Biomasseheiz(kraft)werken anfallenden Aschen ebenfalls als Ressource verstanden werden, insbesondere Phosphat. Wenn die Asche nicht direkt stofflich verwertet werden kann, dann sollte sie zumindest rückholbar zwischengelagert werden.

## Elektrischer Energiegewinn

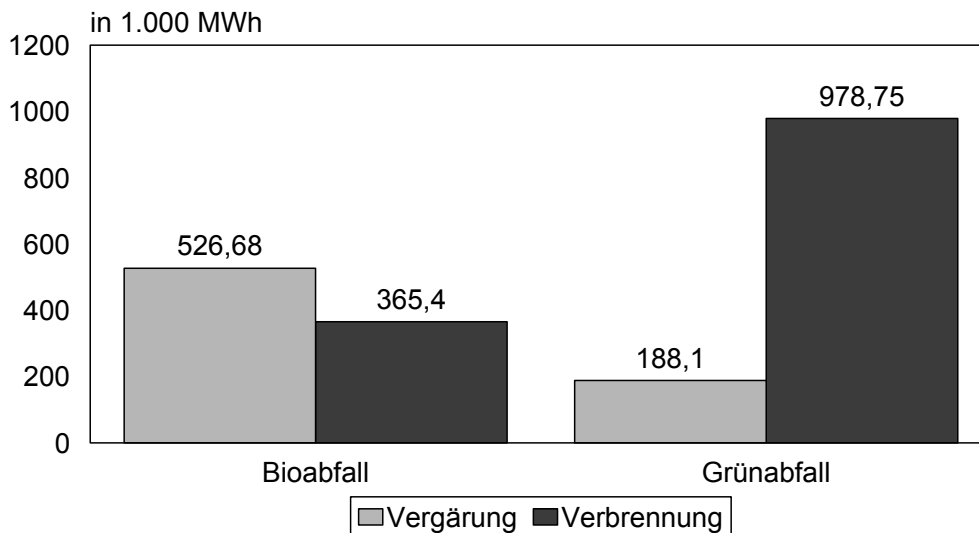


Abb. 5: Energiebilanz Bio- und Grünabfälle Deutschland

Bei der Vergärung besteht dieser Zielkonflikt nicht, da dort die energetische und stoffliche Ebene bedient werden können und neben dem Biogas ebenfalls ein hochwertiger Dünger und Bodenverbesserer entsteht. Die erzeugte Energiemenge aus ca. 2,5 Mio. Mg Bioabfall entspricht ungefähr dem Energieäquivalent von ca. 1,4 Mio. Mg Energiemais. Für den Anbau von 1,4 Mio. Mg Energiemais werden immerhin ca. 27.000 ha Anbaufläche benötigt.

### 3 Fazit

Die biologische Abfallbehandlung in Deutschland hat bereits einen langen, erfolgreichen Weg hinter sich und sich auf einem hohen Niveau etabliert. Dennoch ist das Ende dieser positiven Entwicklung noch nicht abzusehen. Dies gilt insbesondere für das bisher noch nicht erschlossene Potenzial an Bio- und Grünabfällen. Eine Steigerung der Erfassungsmengen um 2 bis 3 Mio. Mg scheint hier durchaus möglich, vorausgesetzt der politische Wille der flächendeckenden Umsetzung der getrennten Sammlung für Bio- und Grünabfall wird ab 2015 umgesetzt. Allerdings sei an dieser Stelle auch angemerkt, dass die hohen Qualitätsanforderungen an den Bioabfall nicht durch übertriebene Quantitätsansprüche aufgegeben werden dürfen.

Als langfristiges Ziel der biologischen Abfallbehandlung steht eine Kaskadennutzung wie wir sie auch aus anderen Bereichen der Abfallwirtschaft kennen. Hierbei steht die

kombinierte stoffliche und energetische Verwertung der Abfallbiomasse im Vordergrund. Die Maxime ist hierbei nicht entweder Kompostierung oder Vergärung, sondern sowohl als auch. Dass dies sowohl wirtschaftlich als auch technisch möglich ist, zeigen eine Vielzahl aktueller Projekte, wo traditionelle Kompostsanlagen um eine anaerobe Behandlungsstufe (sogenannte Vorschaltanlagen) ergänzt wurden.

#### **4        Literatur**

- [1] bifa-Umweltinstitut (2010): Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen und Grün-  
gut in Bayern. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für  
Umwelt und Gesundheit (StMUG), Augsburg
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Er-  
neuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung.  
Berlin