



# Nutzung von Biomasse in Berlin

## Endbericht – Kurzfassung



# **Nutzung von Biomasse in Berlin**

## **Endbericht – Kurzfassung**

### **Auftraggeber:**

**Senatsverwaltung für  
Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz**

Brückenstraße 6  
10179 Berlin

### **Auftragnehmer:**

**Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH**

Werner-Eisenberg-Weg 1  
37213 Witzenhausen

Tel.: 05542 / 9380-0

Fax: 05542 / 9380-77

#### **Projektleitung und -bearbeitung:**

Dr.-Ing. Michael Kern, Dr.-Ing. Hubertus Hofmann

### **ICU – Ingenieurconsulting Umwelt und Bau**

Dr. Wiegel, März und Partner Ingenieure

Wexstraße 21

10715 Berlin

Tel.: 030 / 8573349-0

Fax: 030 / 8573349-5

#### **Projektleitung und -bearbeitung:**

Dr.-Ing. Ulrich Wiegel, Dipl.-Ing. Knud Ebert





---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MENGEN UND VERWERTUNG VON BIOGENEN ABFÄLLEN IN BERLIN .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>DERZEITIGE AKTIVITÄTEN UND PLANUNGEN LOKALER HAUPTAKTEURE .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>OPTIMIERUNGSPOTENZIALE BEI DER BEHANDLUNG BIOGENER ABFALLSTOFFE .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Optimierungspotenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse.....</b>	<b>13</b>
5.1.1	Vergärung von biogenen Abfallstoffen .....	13
5.1.2	Thermische Verwertung von biogenen Abfallstoffen.....	15
5.1.2.1	Holzige Materialien – Eigenschaften und Qualitäten .....	15
5.1.2.2	CO <sub>2</sub> -Emissionshandel im Auftrieb .....	16
5.1.3	Klärschlamm – Behandlung und Verwertung.....	17
<b>5.2</b>	<b>Optimierungspotenzial zur stofflichen Nutzung von Biomasse.....</b>	<b>19</b>
<b>5.3</b>	<b>Klimarelevanz der verschiedenen Nutzungsalternativen.....</b>	<b>19</b>
5.3.1	Vergärung .....	20
5.3.2	Verbrennung .....	24
<b>5.4</b>	<b>Bewertung der energetisch-stofflichen (Vergärung) und rein stofflichen Nutzung (Kompostierung) von biogenen Abfallstoffen.....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>OPTIMIERUNG DES ORGANISCHEN STOFFSTROMMANAGEMENTS IN BERLIN.....</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>SZENARIEN OPTIMIRTER BIOMASSEVERWERTUNG IN BERLIN .....</b>	<b>28</b>

---

<b>7.1 Grundlagen und Ziele .....</b>	<b>28</b>
<b>7.2 Biomassenutzungsszenarien.....</b>	<b>30</b>
7.2.1 Trend-Szenario .....	34
7.2.2 Öko-Szenario .....	37
7.2.3 Stoffströme und Nutzungsvergleich der Szenarien.....	39
<b>7.3 Klimarelevanz der Szenarien .....</b>	<b>41</b>
7.3.1 CO <sub>2</sub> -Gutschriften bei der Vergärung von organischen Restabfällen.....	41
7.3.2 CO <sub>2</sub> -Gutschriften bei der thermischen Nutzung von Biomassen .....	42
7.3.3 Optimierung der Müllverbrennungsanlagen .....	46
7.3.4 Thermische Nutzung der MBA-Unterkornfraktion .....	46
7.3.5 Biodiesel aus Altfett.....	46
<b>7.4 Gesamtbilanz CO<sub>2</sub>-Gutschriften.....</b>	<b>47</b>
<b>7.5 Wirtschaftliche Betrachtung der Alternativen.....</b>	<b>49</b>
7.5.1 Spezifische Behandlungskosten .....	49
7.5.2 Behandlungskosten der Szenarien .....	51
<b>7.6 CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten .....</b>	<b>52</b>
<b>8 HANDLUNGSTRUMENTE FÜR DIE UMSETZUNG.....</b>	<b>56</b>
<b>8.1 Allgemeines .....</b>	<b>56</b>
<b>8.2 Kommunale Akteure .....</b>	<b>57</b>
<b>8.3 Private Akteure.....</b>	<b>59</b>

## 1 Veranlassung

Mit dem Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2007) hat die Diskussion über den Klimaschutz eine neue Dimension erhalten: Nach den Erkenntnissen des IPCC ist bis zur Mitte dieses Jahrhunderts weltweit eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mehr als 80 Prozent gegenüber dem heutigen Niveau erforderlich, um die negativen Folgen des Klimawandels in einem beherrschbaren Rahmen zu halten.

Neben der Nutzung von Biomassen, die aus dem land- und forstwirtschaftlichen Sektor stammen, gewinnt die Verwertung biogener Stoffe aus der Abfallwirtschaft und im weitesten Sinne aus dem Bereich der Landschaftspflege zunehmend an Bedeutung (vgl. SRU, 2007).

Vor dem Hintergrund der Agenda 21, die bereits im Jahr 2006 vom Berliner Abgeordnetenhaus verabschiedet wurde, strebt das Land Berlin an, die regelmäßig in hohen Mengen anfallenden Organikabfälle konsequent als regenerative Energieträger zu nutzen und damit das Klima zu entlasten. Durch eine klimaneutrale Biomassenutzung könnten weitere regenerative Energiequellen in relevanter Größenordnung für das Land Berlin erschlossen bzw. ausgebaut werden.

Gegenwärtig findet in Berlin eine breite Diskussion zur Optimierung und Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund des Ressourcen- und Klimaschutzes statt. Verankert sind die Ziele zum Klimaschutz im Landesenergieprogramm 2006-2010 (LAND BERLIN, 2006), welches die Fortentwicklung des Energiekonzepts des Landes Berlin von 1994 darstellt. Nach diesem Programm soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahr 2010 um 25 % (Bezugsjahr 1990) auf rund 22 Mio. Mg gesenkt werden. Im Jahr 2009 beschloss der Berliner Senat, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 % gegenüber 1990 gesenkt werden soll, somit bis zum Jahr 2020 um rund 4,4 Mio. Mg/a.

Wesentlicher wirtschaftlicher Motor zu einer optimierten Biomasseverwertung sind die besonderen Vergütungssätze für Strom aus Biomasse, wie sie im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegt wurden. Durch die Ausnutzung der Möglichkeiten des EEG sowie aufgrund steigender Kosten für fossile Energieträger verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der energetischen Verwertung (Biogaserzeugung oder Verbrennung) von Biomasse nachhaltig.

Im Rahmen dieser Studie werden keine „Nachwachsenden Rohstoffe“ (sog. NawaRo) betrachtet, sondern lediglich biogene Reststoffe.

Modernes 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), CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch Substitution fossiler Energieträger sowie günstiger Behandlungskosten bei erweiterter regionaler Wertschöpfung.

Wie eine optimierte Erfassung und Verwertung aussehen soll bzw. wie eine entsprechende Umsetzung erreicht werden kann, welche Potenziale vorhanden sind, welcher Aufwand er-



---

forderlich ist und wie sich der Nutzen in Relation zum Aufwand darstellt, sind zentrale Aufgaben der Studie.

Im ersten Schritt des Projektes sind die mengenmäßig bedeutendsten Quellen an organischen Abfallströmen in der Stadt erfasst worden.

Neben dem Aufzeigen bisheriger Verwertungswege dieser biogenen Reststoffe werden alternative Verwertungsoptionen aufgezeigt. An Hand verschiedener Szenarien, die durch bessere Erfassungsquoten und Verwertungsmöglichkeiten dieser Biomassen gekennzeichnet sind, werden verfahrenstechnische Verwertungsoptionen auch vor dem Hintergrund klimarelevanter Auswirkungen dargestellt. Nicht berücksichtigt werden klimarelevante Emissionen aus Deponien.

Abschließend werden Handlungsempfehlungen auf der Grundlage entsprechender Lenkungsinstrumente gegeben.

Die entwickelte Konzeption ist für den Zeitraum bis zum Jahr 2020 ausgelegt.

## 2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Verwertung organischer Abfälle unterliegt einer Vielzahl rechtlicher Regelungen auf EU-, Bundes- und Landesebene. Diese haben teilweise übergeordneten thematischen Charakter bzw. beinhalten konkrete Anforderungen an die technische Ausführung von Behandlungsanlagen in Verbindung mit dem Immissionsschutz (z. B. TA Luft) oder der Sicherung qualitativer Anforderungen an die Verwertung von Behandlungsprodukten (BioAbfV, Hygienevorschriften).

Generell hat sich seit der Umstellung der Restabfallbehandlung auf die ab 2005 greifenden gesetzlichen Anforderungen Folgendes geändert:

- Die Verwertung ist durch die Verteuerung der Restmüllentsorgung für den Abfallproduzenten attraktiver geworden bzw. durch weitere Verordnungen, z. B. Gewerbeabfallverordnung und Verpackungsverordnung geboten. Das lässt erwarten, dass die verwerteten Mengen inzwischen gestiegen sind; für Holzabfälle ist diese Entwicklung eindeutig.
- Die Europäische Union hat zur Vorsorge gegen die Übertragung bestimmter Krankheiten (BSE, Maul- und Klauenseuche) eine in allen Mitgliedsstaaten unmittelbar verbindliche Hygieneverordnung erlassen. In deren Umsetzung dürfen seit Herbst 2006 keine tierischen Abfallprodukte (tierische Speiseabfälle) mehr an Tiere verfüttert werden.
- Das ökologische Niveau der Restmüllbehandlung ist in Berlin gegenüber der Zeit vor 2005 deutlich gestiegen. Wurden damals noch 50 % auf Deponien verbracht, treten nun an deren Stelle MPS und MBA an die Seite der MVA und schalten damit die negativen Deponie-Nachwirkungen abgelagerter Organik aus.


Das **Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien** (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG – vom 21.07.2004, novelliert am 01.01.2009) dient der gezielten Förderung und Entwicklung von effizienten Energieversorgungsanlagen, die unter Einsatz von regenerativen Energiequellen (u.a. Biomasse) betrieben werden. Eng verknüpft mit dem EEG ist die Biomasseverordnung (vom 21.6.2001; zuletzt geändert: 9.8.2005), die festlegt, welche Materialien als Biomasse gelten und welche Anforderungen förderfähige Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse erfüllen müssen.

Das Fördersystem des EEG verpflichtet die zuständigen Netzbetreiber zur Zahlung einer festen, vom Stromerzeugungsverfahren abhängigen Mindestvergütung an die berechtigten Anlagenbetreiber. Anlagen zur Stromerzeugung unter ausschließlichen Einsatz von Biomasse (Ausschließlichkeitsprinzip) werden in mehrere Leistungsklassen bis einschließlich 20 MW elektrischer Leistung eingeteilt und mit einem Mindestvergütungssatz verknüpft. Für neu in Betrieb gehende Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Biomasse sind reduzierte Mindestvergütungen zu kalkulieren; diese werden pro Jahr gesenkt.

Bei den Vergütungen ist zwischen einer Grundvergütung und zusätzlichen Vergütungen zu unterscheiden, die aufgrund eines besonderen Anlagenstatus in Form eines Bonus oder mehrerer Boni gezahlt werden.

In den Anhängen des neuen EEG werden in Form von Positiv- und Negativlisten Kriterien aufgezeigt, die sich begünstigend oder nachteilig auf die vergütbaren Boni auswirken.

Die Vergärung von Bioabfällen wird durch die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) deutlich interessanter. Für Biogas aus Bioabfällen wird bei der stofflichen Nutzung des Gärrestes zusätzlich zur Grundvergütung ein Technologie-Bonus „Bioabfallbonus“ von 2 Cent/kWh gewährt. Je nach Technik, Inputstrom und Nutzungskonzept können auf der Grundlage des EEG unter Berücksichtigung möglicher Boni, wie in Abb. 1 dargestellt, Erlöse erzielt werden.

EEG Vergütung 2009 - Vergärung							
EEG 04.07.2008							
 elektrischer Leistungsbereich	Grundvergütung Cent/kWh	Immissions-Bonus ** Cent/kWh	NawaRo - Bonus			KWK-Bonus*** Cent/kWh	Innovative Technologie Bonus* Cent/kWh
			Grundbonus Cent/kWh	Güllebonus** Cent/kWh	L-pflegebonus Cent/kWh		
= 150 kW	11,67		7,00	4,00	2,00	3,00	2,00
151 - 500 kW	9,18	1,00	7,00	1,00	2,00	3,00	2,00
501 kW - 5 MW	8,25	1,00	4,00			3,00	2,00
5,001 MW - 20 MW	7,79	1,00				3,00	

graue Felder: Änderungen gelten auch für Altanlagen

\* u.a. Bioabfallvergärung, nur 1 Cent für Einspeisung zwischen 350 und 700 Nm³/h

\*\* nicht für Anlagen mit Gas aus dem Gasnetz

\*\*\* Altanlagen > 500 kW erhalten erhöhten Bonus nur für Wärmenutzungen, die nach dem 31.12.2008 begonnen werden

Abb. 1: Vergütungsmöglichkeiten für eine Vergärungsanlage gemäß novelliertem EEG ab 1.1.2009

Auf den im Kyoto-Protokoll festgelegten Klimaschutzziele fußt der **EU-Emissionsrechtehandel**, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Europäische Rechtsgrundlage bildet die Emissionshandelsrichtlinie (Richtlinie 2003/87/EG). Das erste länderübergreifende Emissionsrechtehandelssystem trat am 1. Januar 2005 in Kraft. Die 3-phasige Umsetzung umfasst den Zeitraum 2005-2020.

Der europäische Emissionshandel tangiert die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken ab 20 MW Leistung sowie fünf Industriebranchen. Diese Industriebereiche emittieren etwa 50 Prozent der Treibhausgase im europäischen Raum.

Jede Anlage bekommt eine bestimmte Menge an Emissionsberechtigungen zugeteilt, die jeweils zur Emission von 1 Mg CO<sub>2</sub> berechtigt. Wird von einer Anlage mehr CO<sub>2</sub> emittiert als Berechtigungen vorliegen, müssen weitere Zertifikate käuflich erworben werden. Kann ein Unternehmen nicht genügend CO<sub>2</sub>-Zertifikate nachweisen, müssen Strafentgelte entrichtet werden.

Gehandelt werden die Emissionsberechtigungen über Börsen, Makler oder zwischen den beteiligten Anlagenbetreibern. Rechtliche Grundlage auf nationaler Ebene ist das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz – TEHG vom 07.08.2007 (BGBl., S. 1788).

Das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der **Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)** fördert die Entwicklung von KWK-Anlagen, die unter Einsatz von fossilen Energieträgern, Abfall oder Biomasse betrieben werden. Diese Rechtsvorschrift verpflichtet Netzbetreiber zum Anschluss von KWK-Anlagen an ihr Netz, zur Aufnahme des in diesen Anlagen erzeugten Stroms und zur Vergütung eines ausgehandelten bzw. marktüblichen Preises zuzüglich eines gesetzlich festgelegten Zuschlags.

Die KWK-Förderung kann nicht mit der nach dem EEG kombiniert werden; eine Doppelförderung ist somit ausgeschlossen.

Zuschlagshöhe und -dauer

Elektr. Leistung	Ct/kWh	Max. Betriebsjahre	Max. Vollbenutzungsstunden
bis 50 kW	5,11	10*	
50 kW – 2 MW	2,1	6**	30.000
> 2 MW	1,5	6**	30.000

\* Modernisierung produzierendes Gewerbe 4 Jahre;

\*\* Produzierendes Gewerbe 4 Jahre

Zusammengefasst bedeutet dies angesichts der Rechtslage, dass Bioabfall und Grünschnitt als anerkannte Biomassen einzuordnen sind; diesen stehen grundsätzlich die Möglichkeiten der Mindestvergütung sowie Zuschläge aufgrund KWK-Bonus und Innovations-Bonus nach EEG zu. Zusätzliche EEG-Vergütungen in Form des NaWaRo-Bonus können jedoch nur bei der energetischen Verwertung von Grünabfall (Landschaftspflegematerial) beansprucht werden. Für Energie aus hausmüllähnlichen Siedlungsabfällen sowie aus der Kompostierung ausgeschleuster Störstoffe können die Vergütungsmöglichkeiten des EEG nicht genutzt werden.

Unabhängig davon ist die Förderungsmöglichkeit nach dem KWK-Gesetz zu nennen. Für die Verstromung von Biogas aus Restmüll in einem BHKW und Wärmenutzung als Prozesswärme (z. B. für die Trocknung des festen Gärrestes) kann eine Förderung nach dem KWK-Gesetz erfolgen, d. h. garantierte Stromabnahme zum Marktpreis zuzüglich des KWK-Zuschlags.

Auf der Grundlage des Emissionshandelsrechts dürfte es vor allem für Kraftwerksbesitzer von Interesse sein, die CO<sub>2</sub>-Emissionen ihrer Anlagen künftig zu senken, um Entgelte für den Erwerb zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Zertifikate möglichst niedrig zu halten oder gar zu vermeiden bzw. bei geringen Emissionsraten möglicherweise Zertifikate im Handel anzubieten.

---

### 3 Mengen und Verwertung von biogenen Abfällen in Berlin

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Erhebungen über die in Berlin erfassten Mengen biogener Reststoffe und ihrer Behandlungs- bzw. Verwertungswege dargestellt.

Die letzte umfassende Erhebung der organischen Abfallströme in Berlin stammt aus dem Jahr 1993 („GAT-Studie“). Die dort angesetzte Erhebungsmethode stellte umfassend auf die Produktionsrecherche ab: Über Anfragen wurden Abfallmengen der Betriebe/Einrichtungen recherchiert und zu abfallwirtschaftlichen Kennzahlen verdichtet (z. B. Jahresmenge pro Beschäftigtem, Verkaufsfläche etc.). Diese Kennzahlen wurden dann mit den aus der Landesstatistik bekannten Werten der Branche/Institutionen multipliziert und lieferten die abgeschätzten Mengen je Bereich.

Es stellte sich nach Auswertung der GAT-Studie heraus, dass insbesondere das produzierende Gewerbe bereits damals sehr umfassend die Verwertung organischer Abfälle realisierte, weil dort bereits ohne größeren organisatorischen Aufwand sortenreine Produktionsabfälle getrennt erfasst wurden und wegen ihrer Reinheit diese Abfälle gut und meist hochwertig verwertet werden konnten.

So werden z. B. Rückstände aus der Kakaoverarbeitung oder Brauereien als Futtermittel verarbeitet. Altfette werden zu Biodiesel aufbereitet, getrennt gesammelte Speisereste über die Vergärung genutzt, Grünschnitt und Stroh aus der Landwirtschaft dienen als Pferdefutter bzw. -einstreu.

In der nachfolgenden Tab. 1 sind die bislang ermittelten bzw. hochgerechneten Mengen der Einzelquellen zusammengefasst.

Tab. 1: Übersicht der Mengen, Entsorgungszuständigkeit und Verwertungswege

Stoffstrom	Herkunftsbereich	Entsorgung (K=Kommunal) (P=Privat)	Menge erfasst Mg/a	Quelle	Derzeitige Verwertung
Bioabfall	Haushalte	K	52.777	Bilanz BSR 2007	offene Kompostierung
Laubsäcke	Haushalte	K	31.053	Bilanz BSR 2007	offene Kompostierung
Straßenlaub	Land Berlin	K	32.348	Bilanz BSR 2007	offene Kompostierung
Weihnachtsbäume	Haushalte	K	2.957	Bilanz BSR 2007	Biomasse-Verbrennung
Baum-/Strauchschnitt	Haushalte	K	1.539		offene Kompostierung
Holz aus Sperrmüll	Haushalte	K	73.050	BSR 2008	energetische Verwertung
Organik im Hausmüll	Haushalte	K	400.000	ICU/IFEU f. BSR 2008	Restabfallbehandlung (MVA, MPS, MBA)
Laub	Bezirksämter	K	17.170	Anfrage NGÄ	offene Kompostierung
Grünreste "krautig"	Bezirksämter	K	20.953	Anfrage NGÄ	offene Kompostierung
Grünreste "holzige"	Bezirksämter	K	38.144	Anfrage NGÄ	Biomasse-Verbrenn., Mulch
Grünreste	Botan./Britzer Garten	K	1.000	Anfrage/Abschätz.	offene Kompostierung
Schwach- und Totholz	Forsten	K	6.000	Anfrage	Verbleib im Forst
Grünreste Gewässerpflege	SenStadt	K	2.156	Anfrage	offene Kompostierung
Laub	GaLaBau	P	15.727	Anfrage GaLaBau	offene Kompostierung
Grünreste "krautig"	GaLaBau	P	22.659	Anfrage GaLaBau	offene Kompostierung
Grünreste "holzige"	GaLaBau	P	26.731	Anfrage GaLaBau	Biomasse-Verbrenn., Mulch
Rechengut	BWB	K	7.000	BWB	Kompostierung
Straßenkehrschutt (Mittelfraktion)	Land Berlin	K	10.000	Bilanz BSR 2007	Mittelfraktion zur Restabf.-Behandlung
Landwirtschaftliche Abfälle	Landwirtschaft	P	2.000	Landschaftspflegeverband	Mulchmaterial
Pferdemist	Reitställe, Trabrennbahnen	P	9.282	Anfrage Trabrennbahnen, Minister.	Dünger/Humusträger
Mist - "krautige" Organik	Tierpark/Zoo	P	5.326	Anfrage	Kompostierung
Grünreste und Mist	Institute der Universitäten	K	3.345	Anfrage	90 % Kompostierung
Eigenkompostierte Organik	Haushalte (inkl. Kleingartenkolonien)	P	91.911	Hochrechnung ICU für BSR 2001	Dünger/Humusträger
Obst-/Gemüseabfälle und Speisereste	Lebensmittelhandel	P	11.124	LM-Handel, BSR, Entsorger	offene Kompostierung; Speisereste - Vergärung
Speisereste	Restaurants	P	18.000	Anfr. Entsorger	Vergärung
Speisereste	Kantinen Großküchen	P	10.000	Anfr. Entsorger	Vergärung
Speisereste	Krankenhäuser, Pflegeheime	P	10.000	Anfr. Entsorger	Vergärung
Fettabscheiderinhalte	Großküchen, Gastronomie	P	45.000	Anfr. Entsorger	Vergärung
Frittierfette	Restaurants, Imbisse	P	5.000	Anfr. Entsorger	Aufbereitung zu Biodiesel
Produktionsspezifische Abfälle	LM- und Tabak-Verarbeitung	P	46.856	Stichproben	Futter, Brennstoff, offene Kompostierung
Altholz	Haushalte, Bauwirtschaft, GALA-Bau	P	242.630	Anfr. Verwerter	energ. u. stoffl. Verwertung
Klärschlamm	BWB	K	87.370 (TR)	Anfrage BWB	Verbrennung überwiegend in Kraftwerken

In der Kategorie „Altholz“ sind auch die energetisch verwerteten Holzigen Mengen aus anderen Bereichen enthalten.

## 4 Derzeitige Aktivitäten und Planungen lokaler Hauptakteure

Nachfolgend werden Konzepte und Planungen der lokalen Hauptakteure in Kürze dargestellt.

### Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR)

- BIOGUT-Kampagne 2008/9: Maßnahmenkatalog zur Steigerung der einzusammelnden Bioabfallmenge
- Vorbereitungen zur Errichtung einer Vergärungsanlage in Berlin-Spandau zur Erzeugung von Energie aus Bioabfall mit einer Jahresdurchsatzmenge von 60.000 Mg – Ziel: Einspeisung ins Gasnetz, Nutzung als Ersatz für Dieselkraftstoff in betriebseigenen Fahrzeugen
- Standort-Vorhaltung einer weiteren Vergärungsanlage in Berlin-Marzahn zur Verwertung von Bioabfällen (nach Bedarf – bei höherem Bioabfallaufkommen) mit einer Jahresdurchsatzmenge bis zu 45.000 Mg
- MVA Ruhleben: Steigerung des Gesamtwirkungsgrades der Anlage durch Erneuerung der Kessel 5-8 und somit Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale

### ALBA

ALBA reichte im März 2009 einen Genehmigungsantrag nach BImSchG für eine Vergärungsanlage für Bioabfälle mit einer Kapazität von 60.000 Mg/a am Standort Berlin-Pankow ein. Beantragt ist die Biogasnutzung mittels BHKW-Verstromung.

### Vattenfall

- Aktuell mit positiven Ergebnissen abgeschlossen: Großversuch zur Aufbereitung von Biomasse unterschiedlicher Herkunftsbereiche zur Biobrennstoffherzeugung für die Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken (Straßenkehricht, Restabfälle, Gärreste, Rechengut, Laubsackinhalte, Grünabfälle)
- Für die Heizkraftwerke Reuter C und Moabit ist die Einspeisung von vorzerkleinerten Naturholzabfällen mit einer Gesamtmenge von rund 100.000 Mg/a in Teilmengen installiert und im Ausbau befindlich.
- Untersuchung zur Optimierung der energetischen Nutzung aus dem gelieferten Dampf der MVA Ruhleben (BSR)

Mitte März 2009 verkündete Vattenfall die Absicht, zwei Biomasseheizkraftwerke in Berlin zu errichten, die rund 400.000 Mg/a an Biomasse (vorwiegend Holzreste) verarbeiten sollen. Die Rohstoffe sollen aus einem Umkreis von bis zu 200 km um Berlin bereitgestellt werden. Des Weiteren plant Vattenfall die Errichtung einer Biomasse-Anlage zur Energieversorgung des Märkischen Viertels.

## **Berliner Wasserbetriebe (BWB)**

- Die mangelhafte Ausstattung speziell von Gastronomiebetrieben mit Fettabscheidern führt teilweise zu erheblichen Problemen im Kanalnetz. Die BWB arbeiten derzeit an einer systematischen Bestandsaufnahme der Fettabscheider-Ausstattung mit dem Ziel, die betroffenen Einrichtungen zur Installation von Fettabscheidern zu bewegen.
- Auf der Kläranlage Waßmannsdorf bieten die BWB die Co-Vergärung von Fettabscheiderinhalten an.
- Klärschlammverbrennungsanlage Ruhleben: Planung einer Aufbereitungsanlage für Fettabscheiderinhalte, um mit dem aufbereiteten Altfett Heizöl zur Stützfeuerung zu ersetzen.

## **GASAG**

Geplant sind rund zehn NawaRo-Vergärungsanlagen im Umfeld Berlins, von denen die nächstgelegene in Rathenow-Heidefeld liegt (Fertigstellung 2009). Die Verwertung von Grünschnitt aus Berlin wäre denkbar, wird aber wegen der großen Entfernung derzeit für nicht wirtschaftlich gehalten.

## **Wohnungsbaugesellschaft**

Fortgeschrittene Planung einer Biogasanlage in Berlin: Vorrangige Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Mais, Sudangras etc.) zur Strom- und Wärmeerzeugung für die gesellschaftseigenen Wohnungen. Ein Aufnahmepotenzial von 15.000 Mg/a Mähgut wurde in Aussicht gestellt.

## **Energieversorgungsunternehmen**

Es ist der Bau einer NawaRo-Biogasanlage bei Berlin geplant, zunächst in der ersten Ausbaustufe mit vier Fermentern sowie Reserveflächen für eine zweite Ausbaustufe. Im Endausbau ist eine Gasproduktion bis zu 3.000 Nm<sup>3</sup>/h Biogas möglich, die derzeit beantragte elektrische Leistung liegt bei 2,5 MW<sub>el</sub>.

## **BRAL**

Die Entsorgungsunternehmen für Speisereste, darunter die BRAL als Marktführer, setzen ihre Bemühungen fort, insbesondere die noch nicht angeschlossenen gastronomischen Betriebe mit einem Mengenpotenzial von rund 15.000 Mg/a an Speiseresten zu erschließen. Die Absicht der BRAL, eine eigene Vergärungsanlage in Berlin mit einer Kapazität von rund 20.000 Mg/a zu errichten, wird derzeit noch vertiefend untersucht.

## 5 Optimierungspotenziale bei der Behandlung biogener Abfallstoffe

Die technischen Optimierungspotenziale für die biologische Abfallbehandlung werden in diesem Kapitel dargestellt und bewertet. Neben der stofflichen Verwertung von biogenen Abfallstoffen stehen die Maßnahmen zur energetischen Verwertung im Vordergrund.

### 5.1 Optimierungspotenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse

Mit dem Aufbau von Biomasse wird der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  entzogen. Bei der späteren energetischen Nutzung erfolgt nur die Freisetzung des zuvor gebundenen Gases – zusätzliche Einträge von  $\text{CO}_2$  in den Stoffkreislauf, wie etwa bei der Verwendung von fossilen Energieträgern, sind nicht gegeben. Damit ist die energetische Nutzung von Biomasse grundsätzlich klimaentlastend. Andere Emissionen, die bei der energetischen Verwertung entstehen und klimabelastend wirken können (z. B. Lachgas), gilt es zu vermeiden oder deutlich zu reduzieren.

Für die energetische Nutzung von Biomasse sind Verfahren der Vergärung und thermischen Verwertung besonders wichtig. Die Erzeugung von Biokraftstoffen stellt durch ihre Substitutionsmöglichkeit zu fossilen Energieträgern ebenfalls eine Möglichkeit dar.

#### 5.1.1 Vergärung von biogenen Abfallstoffen

Für die Vergärung stehen hauptsächlich wasserreiche und strukturarme Abfälle im Vordergrund. Zu den zu entsorgenden Abfällen zählen in erster Linie Inhalte von Bioabfall-Sammelbehältern aus dem privaten Umfeld, in denen krautige Grünabfälle, Küchenabfälle und teilweise Speisereste entsorgt werden.

Weitere Stoffströme zur Vergärung stammen aus dem landwirtschaftlichen Bereich (z. B. Gülle, Mist) oder aus der Landschaftspflege (krautige Materialien). Kommunal anfallende Stoffe, z. B. Rasenschnitt, können grundsätzlich ebenso in Vergärungsverfahren eingesetzt werden. Zu beachten ist jedoch, dass die verschiedenen biogenen Rest- bzw. Abfallstoffe unterschiedlich hohe Mengen an Biogas produzieren (vgl. Tab. 2), außerdem sind manche nur als Co-Substrate einsetzbar.

Tab. 2: Biogasausbeute verschiedener Wirtschaftsdünger, nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zu Erträgen aus organischen Reststoffen (FNR, 2006, KTBL, 2005)

Substrat	TS	oTS	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]	[m <sup>3</sup> /Mg FM]	[m <sup>3</sup> /Mg oTS]	[Vol.-%]
<b>Wirtschaftsdünger</b>					
Schweinegülle	7	75-86	20-35	300-700	60-70
Schweinemist	20-25	75-80	55-65	270-450	60
Hühnermist	32	63-80	70-90	250-450	60
Pferdekot (o. Stroh)	28	75	63	300	55
<b>Nachwachsende Rohstoffe</b>					
Maissilage	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55
Grassilage	25-50	70-95	170-200	550-620	54-55
Grünschnitt (leicht angewelkt)	20	83-92	90	550	60
<b>Organische Reststoffe</b>					
Biotonne	40-75	50-70	80-120	150-600	50-65
Speisereste, überlagerte Lebensmittel	9-37	80-98	50-480	200-500	45-61
Marktabfälle	5-20	80-90	45-110	400-600	60-65
Fettabscheiderinhalte	2-70	75-93	11-450	ca. 700	60-72

Bei Vergärungsanlagen ist das Spektrum der möglichen **Inputmaterialien** größer als bei Kompostierungsanlagen, da hier auch nasse und strukturarme Stoffe (z. B. aus dem Gewerbe) verwertet werden können. Dagegen ist holzreiches (d. h. ligninreiches) Material, welches durch anaerobe Mikroorganismen nicht abgebaut wird, für die Vergärung ungeeignet, jedoch im Bereich der Kompostierung als Strukturmaterial einsetzbar. Getrennt erfasster Bioabfall, Speisereste, krautige Grünabfälle oder organische Gewerbeabfälle eignen sich gut für die Vergärung. Laub oder Laubsackinhalte (in der Form, wie sie gegenwärtig in Berlin anfallen) sind für die Vergärung aufgrund ihrer geringen Biogaserträge nicht geeignet.

Tab. 3: Biogaserträge vergärbare biogener Reststoffe (gegenwärtiger Qualitätszustand) und ihre Eignung für Vergärungsverfahren

Substrat	TS	Biogasertrag	CH <sub>4</sub> -Gehalt	Eignung für die Vergärung
	[%]	[m <sup>3</sup> /Mg FM]	[Vol.-%]	(bzgl. derzeitiger Stoffeigenschaften)
Biotonne	40-75	80-120	50-65	gut geeignet
Laubsack	46	25	55	nicht geeignet
Laub lose (ungefasst)	40	15	55	nicht geeignet
Tiermist	30	65	60	geeignet
Grünschnitt (leicht angewelkt)	20	90	60	gut geeignet
Speisereste, überlagerte Lebensmittel	9-37	50-480	45-61	gut geeignet
Marktabfälle	5-20	45-110	60-65	gut geeignet
Fettabscheiderinhalte	2-70	11-450	60-72	gut geeignet

### 5.1.2 Thermische Verwertung von biogenen Abfallstoffen

Grundsätzlich könnten alle biogenen Reststoffe thermisch verwertet werden, sofern sie entsprechend niedrige Wassergehalte aufweisen. Für den Einsatz krautiger Biomassen müssten deren besonders hohe Wassergehalte reduziert werden.

Für eine thermische Verwertung bieten sich daher in erster Linie trockene und strukturreiche Abfälle an. Meistens handelt es sich hierbei um holzige Materialien, die auch aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung (Lignocellulose, Lignin) in einer Vergärungsanlage nicht verwertet werden können.

#### 5.1.2.1 Holzige Materialien – Eigenschaften und Qualitäten

Die Wassergehalte in holzigen Biomassen können unterschiedlich hoch sein. Frisches Waldholz oder stärker dimensionierte Hölzer, die bei Pflegemaßnahmen anfallen, haben Wassergehalte um 50 %. Bei Lagerung im Freien sinkt durch Trocknung der Wasseranteil. Je höher der Wassergehalt in holzigen Materialien ist, desto geringer ist die Nettoenergieausbeute im Rahmen der Verbrennung, da der anteilige Wassergehalt verdampft werden muss (vgl. Abb. 2).

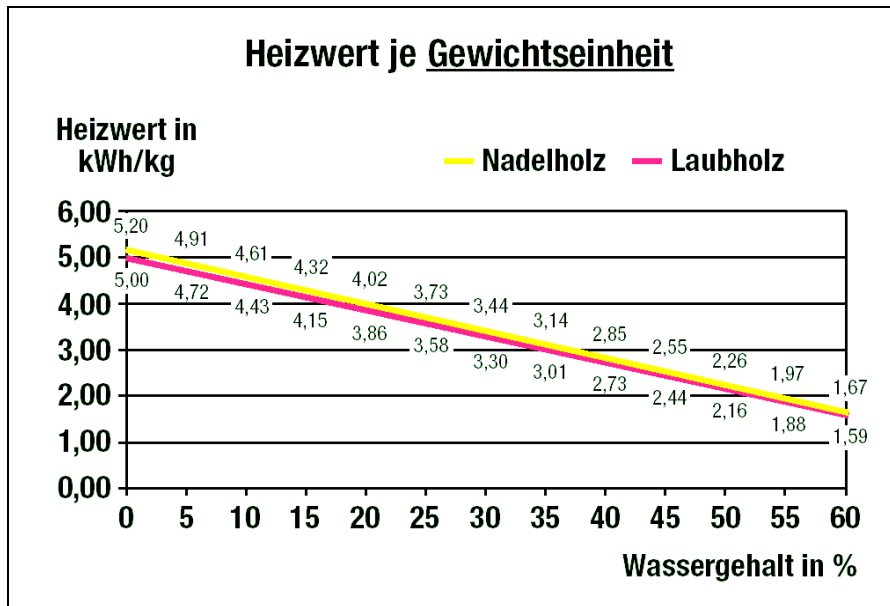
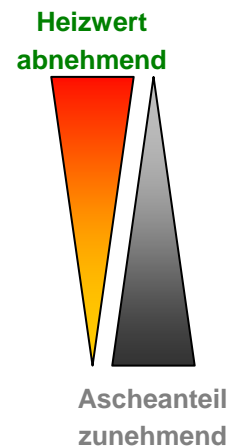


Abb. 2: Heizwert je Gewichtseinheit (Holz) in Abhängigkeit vom Wassergehalt (LWF, 2003).

Zusammen mit holzigen Pflegematerialien können auch Althölzer thermisch verwertet werden, sofern sie naturbelassen sind. Behandelte Althölzer müssen jedoch in dafür genehmigten Anlagen behandelt werden.

Folgende holzige Materialien eignen sich zur thermischen Verwertung:

- naturbelassenes Altholz (nur Holz, häufig kein Rindenanteil)
- stämmiges Holz (hoher Holz-, geringer Rindenanteil)
- Astholz (mittlerer Holz-, mittlerer Rindenanteil)
- Strauchschnitt (geringer Holz-, hoher Rindenanteil, z. T. Blattanhang)
- Nadel-/Blattanhang (Laub), Rinde



Je höher der Rindenanteil bei holzigen Biomassen ist, desto größer ist auch die zurückbleibende Menge an Asche.

### 5.1.2.2 CO<sub>2</sub>-Emissionshandel im Auftrieb

Das im Jahr 2005 in Kraft getretene länderübergreifende Emissionsrechtssystem wird neben Auswirkungen auf einige Industriebranchen insbesondere auf solche im Bereich der Stromerzeugung thermisch arbeitenden Kraftwerke haben. Zudem wird sich das auf nationaler Ebene gültige Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) aus dem Jahr 2007 auf die künftige Biomassennutzung auswirken.

Um Entgelte für den Erwerb zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Zertifikate einsparen zu können, werden Anlagenbetreiber vermehrt gefordert sein, Emissionen ihrer Anlagen durch Modernisierungen und Effizienzsteigerungen zu reduzieren. Andererseits können Anlagenbetreiber im Falle geringer Emissionsmengen auch CO<sub>2</sub>-Zertifikate weiter veräußern. Gegenwärtig werden CO<sub>2</sub>-Zertifikate in einer Größenordnung von 10 €/Mg CO<sub>2</sub> gehandelt. Es ist zu vermuten, dass sich die preisliche Situation zukünftig in einem Rahmen zwischen 30 und 35 €/Mg einpendeln wird.

### 5.1.3 Klärschlamm – Behandlung und Verwertung

#### Klärschlammverbrennung

Im Anschluss an die energetische Verwertung durch die Nutzung von verstromtem Faulgas werden die Rückstände in der Regel der Verbrennung zugeführt, wobei auch hier wieder energetische Potenziale genutzt werden können.

Eine favorisierte Verfahrensweise ist die Monoverbrennung in der Wirbelschichtfeuerung. Entweder müssen die Schlämme entsprechend vorgetrocknet sein oder eine Stützfeuerung (z. B. durch Heizöl oder Kohle) muss integriert sein. In Berlin wird in der Klärschlammverbrennungsanlage überwiegend ungefaulter Klärschlamm unter Stromerzeugung thermisch verwertet, wobei Heizöl zur Stützfeuerung eingesetzt wird.

Ebenfalls möglich und praktiziert ist die Mitverbrennung der Schlämme in Braun- oder Steinkohlekraftwerken. Die in Berlin nach Faulung anfallenden entwässerten Klärschlämme werden, soweit nicht in der Klärschlammverbrennungsanlage verwertet, überwiegend in Kraftwerken mit verbrannt.

#### Klärschlamm-trocknung

Wie bereits frühere Studien gezeigt haben, wird durch **Schlamm-trocknung** in zentralen Anlagen mit anschließender Nutzung des Klärschlammes als Brennstoff die Umwelt am geringsten belastet. In diesen Fällen können die für die Trocknung eingesetzten fossilen Energieträger substituiert werden, so dass sich eine CO<sub>2</sub>-Einsparung ergibt. Kurze Transportwege der Materialien wirken sich ebenfalls positiv auf die Energiebilanz aus.

Die verfügbaren Verfahren der Klärschlamm-trocknung arbeiten im Hoch-, Mittel- oder Niedrigtemperaturbereich und sind wegen des erheblichen Energieaufwandes zur Trocknung exakt an die spezifischen Bedingungen anzupassen.

Eine ebenfalls ökonomische, zugleich aber auch ökologisch verträglichere Variante der **solaren Klärschlamm-trocknung** ist mit Hilfe der Sonnenenergie möglich, wobei die Verfügbarkeit dieser Energie (Sonnenscheindauer) letztendlich über deren Effektivität entscheidet. In Deutschland werden je nach Örtlichkeit unterschiedliche Sonnenscheindauern erreicht: von 1.300 bis 1.900 Stunden jährlich (Berlin rund. 1.700 h/a). Damit ergeben sich durch die Sonne produzierte Energiedichten zwischen 900 bis 1200 kWh je m<sup>2</sup> und Jahr.

Unter optimierten Bedingungen ist die Verdampfung einer Tonne Wasser mit einem elektrischen Energieaufwand von 20-25 kWh – die thermische Energie wird durch die Sonneneinstrahlung geliefert – realisierbar (STRÄSSLE, 2007, SODER, 2007). Mit Hilfe von speziellen Folien, mit denen die Dächer einer gewächshausähnlichen Anlage bespannt sind, gelangt Sonnenwärme in die hallenartigen Gebäude und trocknet die Schlämme. Allerdings erfordert diese Art der Trocknung eine beträchtliche Flächenbereitstellung: Für die in Berlin anfallenden Mengen an Klärschlamm (87.000 Mg TR - 27 %) müssten zwischen 7 und 10 ha Fläche (je nach Berechnungsgrundlage) bereit gestellt werden, um eine überwiegend solare Trocknung durchführen zu können.

Ein Trocknungsgrad von bis zu 90 % (TM-Gehalt) kann mit dem solaren Trocknungsverfahren erreicht werden, im Mittel liegen die TM-Gehalte jedoch um 70 %, wobei sich die Schwankungsbreite in einem Korridor zwischen 40 und 90 % befindet. Häufig sind diese idealen Bedingungen nicht gegeben, vor allem was die nutzbare Sonnenscheindauer betrifft. Ist die Sonnenenergie in deutlich geringerem Umfang nutzbar bzw. sind noch höhere Trockenmassen-Prozente (z. B. für die Verbrennung in einem Zementwerk) erforderlich, muss allerdings eine weitere Option der Trocknung mit in den Verfahrensgang einbezogen werden.

### **Nährstoffrückgewinnung – Phosphat**

Nach DOCKHORN (2008) stellt aus der Sicht des Ressourcenschutzes das Element „Phosphor“ die mit Abstand wichtigste im Abwasser vorkommende Ressource dar. Daher wird auf die **Rückgewinnung von Phosphat** ein besonderes Augenmerk gerichtet, zumal die weltweit zur Verfügung stehenden P-Lagerstätten endlich sind (ca. 80-100 Jahre). Wie PINNEKAMP (vgl. MONTAG & PINNEKAMP, 2005) darstellt, fallen ungefähr 2 g Phosphor pro Einwohner und Tag im Abwasser an. Für Berlin ergibt sich somit eine Menge von ca. 2.500 Mg P pro Jahr.

Für die Phosphatrückgewinnung aus Klärschlammaschen existieren verschiedene Verfahren, die sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Phosphate, die aufgrund ihrer Stabilität nicht pflanzenverfügbar sind, können mit Hilfe von salzhaltigen Additiven und bei Temperaturen von 1.000 °C von Schwermetallen separiert werden. Mit diesen Verfahren können bis ca. 90 % des Phosphats aus dem Klärschlamm gewonnen als Recyclingdünger eingesetzt werden, wobei die Nährstoffe (lt. Nachweisen) pflanzenverfügbar sind.

Zur Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm gibt es ebenfalls verschiedene Verfahren, deren Effektivität sehr unterschiedlich ist (30-70 %). Zum Einsatz kommen chemische Aufschlüsse (Lauge, Säure), Fällungen oder Kristallisationen (Magnesiumoxid), wobei die letztgenannte Option nur geringe Schwermetallgehalte, dafür aber sehr hohe P-Anteile im Produkt aufweist.

Gegenwärtig werden bei der Phosphatrückgewinnung aus Klärschlammaschen die größten Rückgewinnungspotenziale erreicht. Hierbei ist jedoch ein hohes Maß an verfahrenstechnischem und energetischem Aufwand notwendig. Eine Neuausrichtung der Klärschlammverwertung sollte sich an den Ergebnissen der Verfahrensanwender orientieren.

## 5.2 Optimierungspotenzial zur stofflichen Nutzung von Biomasse

Die Verwertung von biogenen Abfällen erfolgt entweder innerhalb einer energetischen Schiene (Vergärung, Verbrennung), bei der die Biomassen thermisch bzw. zur Erzeugung von Strom (meist Kraft-Wärme-Kopplung) genutzt werden, oder im Rahmen einer rein stofflichen Nutzung wie im Rahmen der Kompostierung. Allerdings kann der bei der Vergärung entstandene feste Gärrest auch stofflich (vergleichbare Komposteigenschaften) eingesetzt werden.

Bei der stofflichen Verwertung können sowohl krautige als auch holzige Biomassen Verwendung finden. Die häufigste Anwendung der stofflichen Verwertung von biogenen Abfällen erfolgt in kommunalen und privaten Kompostierungsanlagen. Hier werden die zerkleinerten Abfälle zu Mieten aufgeschüttet und je nach Verfahren entsprechend regelmäßig umgesetzt. Aufgrund der Milieubedingungen innerhalb des Kompostierungsprozesses erfolgt bei Temperaturen zwischen 65 und 70 °C eine Hygienisierung. Nach der anschließenden Absiebung kann das fertige Kompostmaterial zur Nährstoffversorgung beitragen und die Humusbilanz eines Bodens aufwerten.

Ebenfalls verwendungsfähig sind Absiebungen von größeren Korngrößen, die als Mulchmaterial im Bereich des Garten- und Landschaftsbaus eingesetzt werden. Neben der holzigen Fraktion, die bereits den Kompostierungsprozess durchlaufen hat, können anfallender Baum- und Strauchschnitt nach einer entsprechenden Zerkleinerung bereits auch vor Ort wieder als Mulchmaterial verwendet werden. Um die stoffliche Behandlung der Biomassen in Kompostierungsanlagen effektiver zu gestalten, bietet sich die vorzeitige Abtrennung von groben Holzmaterialien an, die unmittelbar nach der Zerkleinerung und vor Einschleusung in den Kompostierungsprozess erfolgt. Damit kann die Menge an umzusetzenden Kompostmaterialien deutlich verringert werden, was einerseits die Kosten für den Kompostierungsprozess reduziert, zum anderen sind Erlöse für die weiter zu vermarktende Grobfraktion von Holzmaterialien realisierbar, die dann allerdings einer thermischen Verwertung zugeführt wird.

## 5.3 Klimarelevanz der verschiedenen Nutzungsalternativen

Für die nachfolgenden Berechnungen hinsichtlich der Klimarelevanz bei unterschiedlichen Verwertungsarten von biogenen Abfällen, die in Berlin anfallen, werden folgende Parameter berücksichtigt:

- anlagenbedingte Emissionen (Energieaufwand für die Behandlung, Entstehung von Emissionen während der Behandlung)
- Wirkungsgrad einer Anlage
- Gutschriften für Energiegewinn, Düngeeigenschaft, Humusanreicherung

Nicht berücksichtigt werden:

- Transporte der Materialien (Sammlungen) bis zur Behandlungsanlage
- Transporte bzw. Ausbringung behandelter biogener Abfälle

Da einige bedeutende Bewertungsparameter auf bisher erhobenen Kennwerten beruhen und tatsächliche Messwerte für die Verwertungspraxis im Berliner Umfeld nur bedingt zur Verfügung stehen, ist eine ganzheitliche Betrachtung der Klimarelevanz nicht möglich.

Im Folgenden werden zunächst die Stoffströme Bioabfall, Laub (Laubsack, Laub lose), Grünschnitt krautig sowie die Biomassen der Eigenkompostierung in Hausgärten und Gartenkolonien hinsichtlich der Klimawirksamkeit (CO<sub>2</sub>) im Bereich der Kompostierung / Vergärung betrachtet (Tab. 4). Bei den Stoffströmen „Laubsack“ und „Laub ungefasst“ fallen die sehr niedrigen Biogaserträge auf, mit denen beim Einsatz in der Vergärung zu rechnen ist, wenn die Materialien im Zustand des Sammelzeitpunkts und -verfahrens verwertet würden.

Danach werden im Kapitel 5.3.2 auch die holzigen Stoffströme zur thermischen Verwertung betrachtet.

Tab. 4: Kenndaten der biogenen Abfallstoffe für die Verwendung in der Kompostierung bzw. Vergärung – Biogaserträge bei Mono-Vergärung

		Bioabfall	Laubsack	Laub ungefasst	Grünschnitt krautig	Material Eigenkompostierung	Mist
<b>Trocken- substanzgehalt (TS)</b>	<b>[%]</b>	34	46	40	30	35	30
<b>Organischer TS- Gehalt (oTS)</b>	<b>[%]</b>	70	64	80	90	65	75
<b>Heizwert (Hu)</b>	<b>[kWh]</b>	860	1.300	1.250	840	840	770
<b>Biogasertrag</b>	<b>m<sup>3</sup>/Mg FM</b>	100	25	15	90	80	65
<b>Methananteil</b>	<b>[%]</b>	60	55	55	60	60	60

### 5.3.1 Vergärung

Für die Vergärung sind vornehmlich die aus biogenen Reststoffen erzielbaren Biogaserträge relevant. Als Effizienzkriterium einer Vergärungsanlage werden Wirkungsgrade von 41 % (elektrisch) bzw. 43 % (thermisch) unterstellt. Von dem errechneten Bruttoenergieertrag ist der verfahrenstechnische Bedarf an Energie (Dieselkraftstoff, elektrische Energie – 10 %, thermische Energie – 25 %) zu subtrahieren; er liegt je nach Stoffstrom zwischen 43 und 112 kWh/Mg Input. Daraus ergibt sich der Nettoenergieertrag.

Für die erzeugte Nettoenergie – Strom und Wärme – können entsprechende CO<sub>2</sub>-Gutschriften (je kWh Strom: 748 g CO<sub>2</sub>/kWh und je kWh Wärme: 232 g CO<sub>2</sub>/kWh /BMU 2008) errechnet werden. Ebenfalls auf der Guthabenseite sind die Düngerwertigkeit des Gärrestes sowie das Humusreproduktionspotenzial zu verbuchen.

Auf der Lastschriftseite müssen besonders die klimawirksamen Gase (Methan, Lachgas) in Anrechnung gebracht werden. Unter der Annahme, dass nach dem Vergärungsverfahren der entstandene Gärrest im Rahmen einer Aerobisierung bzw. Kompostierung weiter behandelt wird, ergeben sich nach CUHLS et al. (2008) für beide Verfahrensteile Emissionsbelastungen von bis zu 3,7 kg Methan/Mg Inputmaterial und 0,12 kg Lachgas/Mg Inputmaterial. Damit liegen die flüchtigen Methanemissionen deutlich über denen bei Kompostierungsverfahren, hingegen sind die N<sub>2</sub>O-Emissionen etwas geringer. Insgesamt ergeben sich im Emissionsbereich Belastungen von 102 kg CO<sub>2</sub>-Äquiv./Mg Inputmaterial.

Ziel ist somit, die bei der Vergärung entstehenden Emissionen, insbesondere Methan, möglichst gering zu halten.

Die zusammenfassende Klimabilanz ist in Abb. 3 dargestellt. Hierbei ergibt sich für durchschnittliche Kompostierungsverfahren nach IFEU eine leicht negative Klimabilanz. Dies spiegelt allerdings nur bedingt die Kompostierungspraxis der im Raum Berlin ansässigen Anlagen wider.

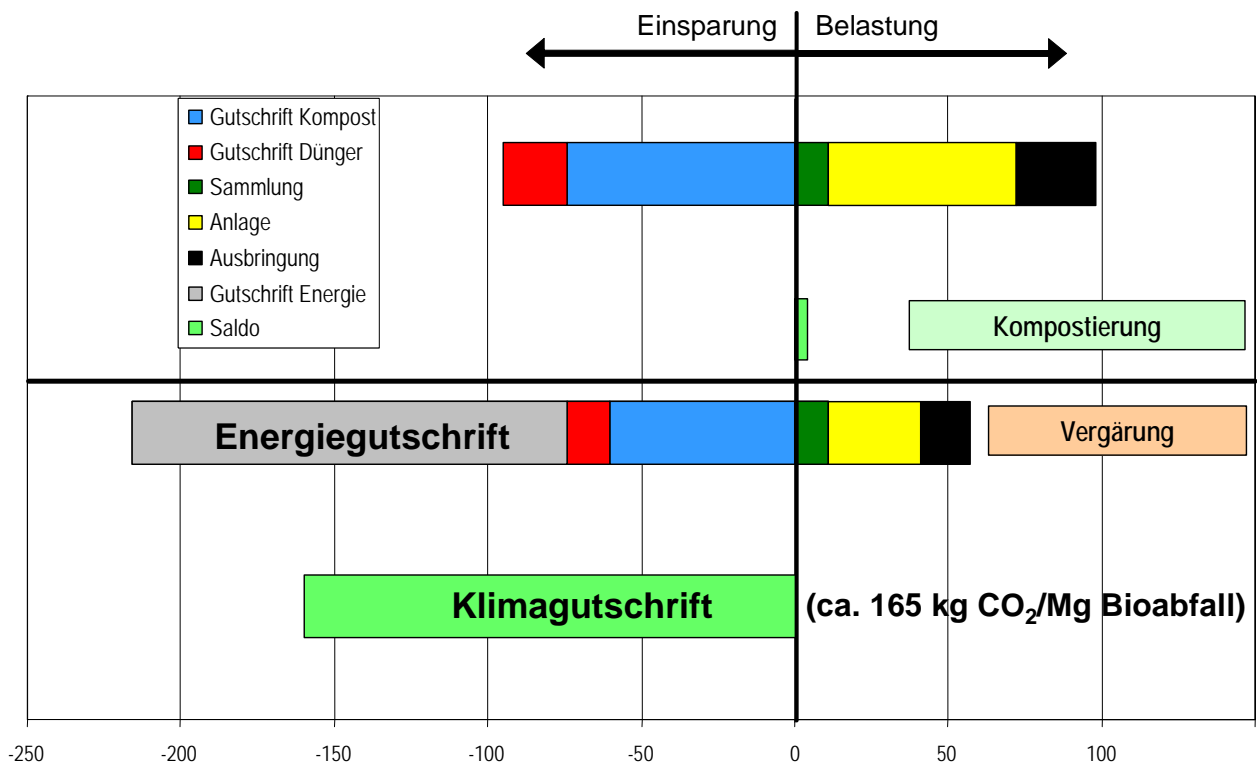


Abb. 3: Vergleichende Klimabilanz bei der Bioabfallbehandlung: Kompostierung – Vergärung (Verfahrenskennwerte bei mittlerer Effizienz im Bereich der Kompostierung) nach VOGT et al. (2008)

Im Vergleich zur Kompostierung resultiert aus der Vergärung mit energetischer Nutzung des Biogases ein deutlicher Energieüberschuss. Werden die Kenngrößen der Belastung mit denen der Einsparung gegen gerechnet, ergibt sich für das Vergärungsverfahren eine Klimagutschrift von ca. 160 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Mg Bioabfall (VOGT et al., 2008). Gegenüber einem durchschnittlich angewendeten Kompostierungsverfahren (Klimabelastung rechnerisch ca. 5 kg) errechnet sich insgesamt ein Verfahrensvorteil von rd. 165 kg CO<sub>2</sub> pro Mg Inputmaterial. Entscheidend für die Höhe der CO<sub>2</sub>-Einsparung sind die zugrunde gelegten Emissionen, die je nach Technik und Betriebsführung große Schwankungen aufweisen können.

Die von CUHLS et al. (2008) dokumentierten höheren Emissionen (nicht in Abb. 3 berücksichtigt) überschreiten die Grenzwerte der TA Luft deutlich. Die TA Luft gibt vor, dass organische Stoffe im Abgas, ausgenommen staubförmige organische Stoffe, die Grenzwerte von 0,50 kg/h (Massenstrom) bzw. 50 mg/m<sup>3</sup> (Massenkonzentration), jeweils angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten dürfen.

Es besteht bei Vergärungsanlagen noch ein erhebliches Potenzial zur Minderung dieser klimarelevanten Emissionen. Laut Informationen der Senatsumweltverwaltung strebt das Land Berlin an, diese relevanten Klimagasemissionen bei der Errichtung von neuen Vergärungsanlagen weitestgehend zu reduzieren. Hierbei steht die Reduktion der Methanemissionen im Vordergrund, da je kg Methan ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 25 kg freigesetzt wird.

Aktuell bestehen Unklarheiten zu den tatsächlich notwendigen Emissionszuschlägen und -abschlägen auf Seiten der Kompostierung und Vergärung gegenüber der Darstellung in Abb. 3. Nach den o. g. Betrachtungen kann aber orientierend abgeschätzt werden, dass in Berlin die Vorteilswirkung der Vergärung in der Größenordnung von 50 bis 100 kg CO<sub>2</sub>-Äquiv./Mg über dem in Abb. 3 dargestellten Wert liegt.

Werden die Klimalastschriften den -gutschriften gegenübergestellt, ergibt sich die folgende Bilanz (Tab. 5) für die Vergärung. Hierbei blieben Emissionen für Sammlung und Transport unberücksichtigt. Zusätzlich wurde in die Bilanz eine 80%-ige Minderung der Abluft-Methanemissionen (bezogen auf Werte von CUHLS) eingestellt.

Tab. 5: Klimagutschriften und -lastschriften für die Vergärung mit anschließender Nachrotte (in kg CO<sub>2</sub>-Äquiv./Mg Inputmaterial) – Tabellenwerte gelten für die Monovergärung der Stoffströme

[kg/Mg Input]		Bioabfall	Laubsack	Laub ungefasst	Grünschnitt krautig	Material Eigenkompostierung	Mist
Nettoenergienutzung	[kWh]	[282]	[48]	[21]	[239]	[211]	[168]
Klima-Lastschriften	THG - CH <sub>4</sub>	93	93	93	93	93	93
	THG - N <sub>2</sub> O	36	36	36	36	36	36
Klima-Gutschriften	Nettoenergienutzung (elektr., therm.)	-181	-37	-12	-159	-136	-109
	Nährstoffe	-29	-27	-27	-27	-27	-27
	Humus-C	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Bilanz	Summe	-171	-25	0	-147	-124	-97
	Summe bei 80% Methanreduktion	-245	-99	-74	-221	-198	-171

Hierdurch lässt sich beispielsweise bei der Bioabfallvergärung die CO<sub>2</sub>-Gutschrift von 171 kg pro Mg Inputmaterial auf 245 kg deutlich steigern (Abb. 4).

### Klimabilanz Bioabfallvergärung

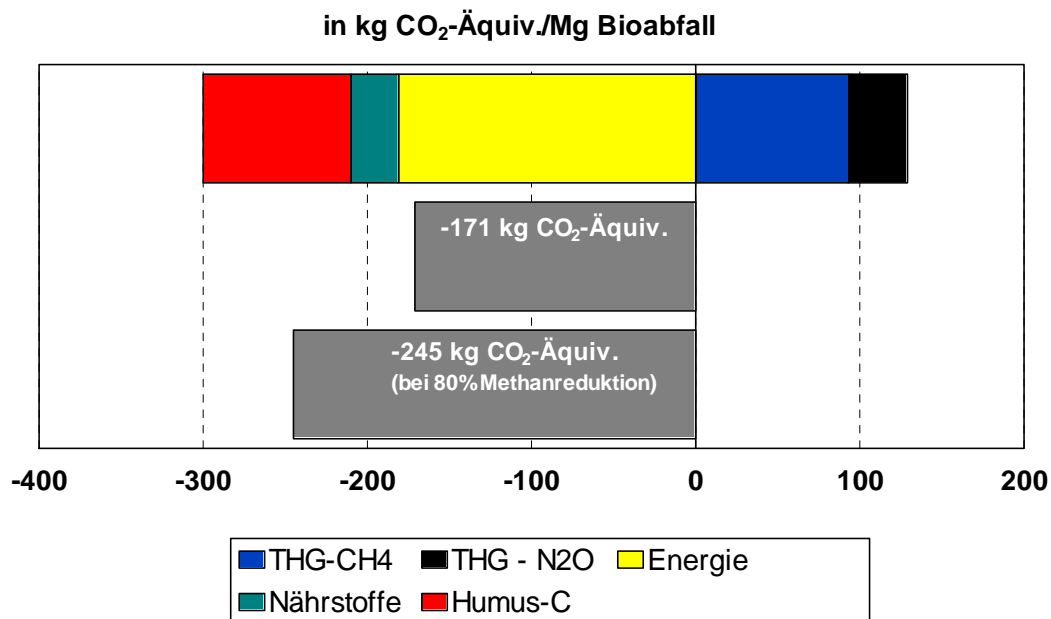


Abb. 4: Klimabilanz der Bioabfallvergärung Berlin

Für eine N<sub>2</sub>O-Reduktion können vergleichbare Reduktionsansätze nicht veranschlagt werden, da Bildungs- und Minderungsmaßnahmen nicht verfahrensunabhängig bewertet werden können. Hier besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

### 5.3.2 Verbrennung

Die Verbrennung bietet sich in erster Linie für holzige Materialien an. Unter Umständen müssen die in Frage kommenden Stoffe noch entsprechend vorkonditioniert werden, was z. B. die Zerkleinerung der Materialien, die Senkung des Wassergehaltes oder die Führung eines Siebschnitts betrifft.

Da bei der thermischen Verwertung sämtliche Biomassen verascht werden, verbleibt ein Teil des in den biogenen Abfällen enthaltenen Nährstoffpotenzials in der Asche und steht somit nicht mehr zur Verfügung. Grundsätzlich ist die Verbrennung von Biomassen zur Erzeugung von Energie nicht als klimabelastend einzustufen, da kein zusätzliches CO<sub>2</sub> – wie bei fossilen Energieträgern – in die Atmosphäre entlassen wird. Von Bedeutung ist jedoch der Wirkungsgrad einer Anlage zur thermischen Verwertung von Biomassen.

Die in der Region Berlin ansässigen Biomasseheizkraftwerke produzieren in der Regel Strom und Wärme, wobei der Grad der Wärmenutzung sehr unterschiedlich ist.

Für die folgenden Berechnungen wurden nachstehende Annahmen getroffen:

- der durchschnittliche Anlagenwirkungsgrad einer KWK-Anlage für die thermisch-energetische Nutzung von Biomassen im Raum Berlin liegt bei 22 % (elektrisch) bzw. 30 % (thermisch)
- ein Wärmenutzungsgrad von 50 % wird unterstellt
- Transporte sowie mögliche Vorbehandlungen und Konditionierungen von Biomassen werden nicht mit berücksichtigt

Wird der durchschnittliche Anlagenwirkungsgrad der Biomasseheizkraftwerke in der Region wie vorstehend angenommen, ergeben sich für die jeweiligen Stoffströme Nettoenergieerträge, von denen noch der Anteil nicht genutzter Wärme (50 %) zu subtrahieren ist (vgl. Tab. 6).

Unter Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Gutschriften je kWh (0,9 kg/kWh<sub>el</sub>, 0,15 kg/kWh<sub>th</sub>) ergeben sich Einsparpotenziale zwischen 544 und 864 kg/Mg Inputmaterial. Durch eine Steigerung der Anlagenwirkungsgrade (elektrisch und thermisch) können sich auch höhere CO<sub>2</sub>-Einsparungen je Mg Inputmaterial ergeben. Durch die höhere Gutschrift für die Stromerzeugung wirkt sich eine Verbesserung des Wirkungsgrads in diesem Bereich besonders deutlich aus.

Tab. 6: Thermische Verwertung von holzigen Biomassen und Reststoffen aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie mit daraus resultierenden Klimagutschriften (Die Menge des holzigen Grünschnitts ist in dieser Tabelle nicht dem Altholz zugeordnet.)

Stoffeigenschaften		Grünschnitt holzlig	Weihnachts- bäume	Nahrungs- u. Genussmittel	Altholz
Trockensubstanz (TS)	%	55	60	70	80
Menge	Mg/a	48.000	2.000	13.500	147.000
anteilige Verwertung	%	100	100	100	100
Menge	Mg/a	48.000	2.000	13.500	147.000
Heizwert (Hu)	kWh/Mg	2.500	2.800	3.370	3.950
Verfahren		Verbrennung	Verbrennung	Verbrennung	Verbrennung
		Strom	Strom	Strom	Strom
		Wärmenutzung	Wärmenutzung	Wärmenutzung	Wärmenutzung
elektr. Wirkungsgrad	%	22%	22%	22%	22%
therm. Wirkungsgrad	%	30%	30%	30%	30%
Nettoenergieertrag	kWh/Mg	1.227	1.376	1.660	1.949
Wärmenutzung (50 %)	kWh/Mg	375	420	506	593
Nettoenergienutzung	kWh/Mg	852	956	1.155	1.357
CO <sub>2</sub> -Einsparung (el.)	kg/kWh	0,9	0,9	0,9	0,9
	(th.) kg/kWh	0,15	0,15	0,15	0,15
CO <sub>2</sub> -Einsparung	kg/Mg	-544	-610	-736	-864

#### 5.4 Bewertung der energetisch-stofflichen (Vergärung) und rein stofflichen Nutzung (Kompostierung) von biogenen Abfallstoffen

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit bei der Optimierung von Verfahren zur Behandlung bzw. Verwertung von biogenen Abfällen müssen zunächst die Verfügbarkeiten der Materialien geprüft werden. Im Kapitel 3 wurden die jeweiligen Mengen und gegenwärtigen Verwertungsarten dargestellt.

Mit der Darstellung des Ist-Zustands über die zu verwertenden Biomassen wird auch der derzeitige technische Verfahrensstand der Behandlung der Stoffströme dokumentiert. Sollen technische Optimierungsmöglichkeiten geprüft werden, sind zu beachten:

- derzeitige Anlagen- und Verfahrenskosten
- Möglichkeiten zur Änderung von Verfahrensarten (z. B. zur Effizienzsteigerung)
- Verfügbarkeitspotenziale von alternativ verwertbaren Stoffströmen

- Verwendungsmöglichkeiten von Biomassen in alternativen, realisierbaren Behandlungsverfahren
- Abschätzung von Kostenstrukturen alternativer Behandlungsverfahren

Zu bedenken ist, dass die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen technischen Optimierungsmaßnahmen nicht nur von den reinen Verfahrens- bzw. Anlagenbetriebskosten abhängig sind. Oftmals bedarf es zunächst der Erneuerung von bestehenden Anlagenteilen oder gar der Errichtung von Neuanlagen, was in der Regel mit hohen Investitionen verbunden ist.

Durch die Erlösstruktur für Stromerzeugung und Wärmenutzung durch das EEG 2009 können alternative Verfahren eine deutliche Aufwertung erfahren, auch vor dem Hintergrund zukünftig steigender Energiekosten. Einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat die externe Wärmenutzung. Wirtschaftlich profitiert das Konzept von dem Verkauf der Wärme und zusätzlich von der erhöhten Stromvergütung aufgrund des KWK-Bonus.

Im Vergleich zur Kompostierung sind die deutlich geringeren klimabelastenden Emissionen sowie die Geruchsemissionen anzuführen. Durch die Möglichkeit, den verbleibenden Gärrest stofflich zu nutzen, bleiben trotzdem wertvolle Nährstoffpotenziale erhalten, die mit denen der Kompostierung vergleichbar sind. Somit können auch nach einer vorausgegangen energetischen Verwertung der Biomassen die Nährstoffe auf ackerbaulich genutzten Flächen eingesetzt werden.

Die nachfolgende Übersicht (Tab. 7) stellt zusammenfassend sowohl die wichtigsten ökonomischen als auch ökologischen Parameter der beiden Behandlungsverfahren mit einer qualitativen Bewertung dar.

Tab. 7: Qualitative Bewertung der Kompostierung und Vergärung.

<b>Parameter</b>	<b>Kompostierung</b>	<b>Vergärung</b>
<b>Aufwand/Kosten (Spez. Invest- u. Betriebskosten)</b>	+++	++
<b>Energieeffizienz (Spez. Energieertrag)</b>	- /(+) <sup>1</sup>	++
<b>Ressourcenrelevanz (Stofflich= Nährstoffe/Humus)</b>	+++	+++
<b>Klimarelevanz (Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten)</b>	-	++

1 = bei thermischer Nutzung des Siebüberlaufs

## 6 Optimierung des organischen Stoffstrommanagements in Berlin

Die biogenen Abfälle werden im Rahmen einer Neuordnung des organischen Stoffstrommanagements dahingehend überprüft, inwieweit die einzelnen Stoffströme durch alternative Verfahren mit hoher Effizienz als klimaentlastender Energieträger verwertet werden können.

Im Einzelnen lassen sich folgende Zielsetzungen für ein ökologisch integriertes Stoffstrommanagement festhalten:

- Steigerung der Erfassungsquoten für biogene Reststoffe
- Höhere ökologische Wertschöpfung
- Einsatz von möglichst klimaschonenden Behandlungsverfahren
- Verstärkte energetische Nutzung biogener Reststoffe
- Steigerung der Verfahrenseffizienz in bestehenden Anlagen

## 7 Szenarien optimierter Biomasseverwertung in Berlin

### 7.1 Grundlagen und Ziele

Nachfolgend sollen die in Kapitel 3 identifizierten Biomassen unter Klimaaspekten einer optimierten energetischen Verwertung zugeführt werden. Zusammenfassend wird das derzeitige Aufkommen biogener Reststoffe von ca. 1,229 Mio. Mg in Berlin in Abb. 6 dargestellt. Die Klimarelevanz der gegenwärtigen Biomassenutzung sowie die optimierten Nutzungsalternativen mit den entsprechenden Klimagutschriften sind in Kap. 6 und 7 für die verschiedenen Stoffströme dargestellt worden und dienen als Grundlage weiterer Berechnungen.

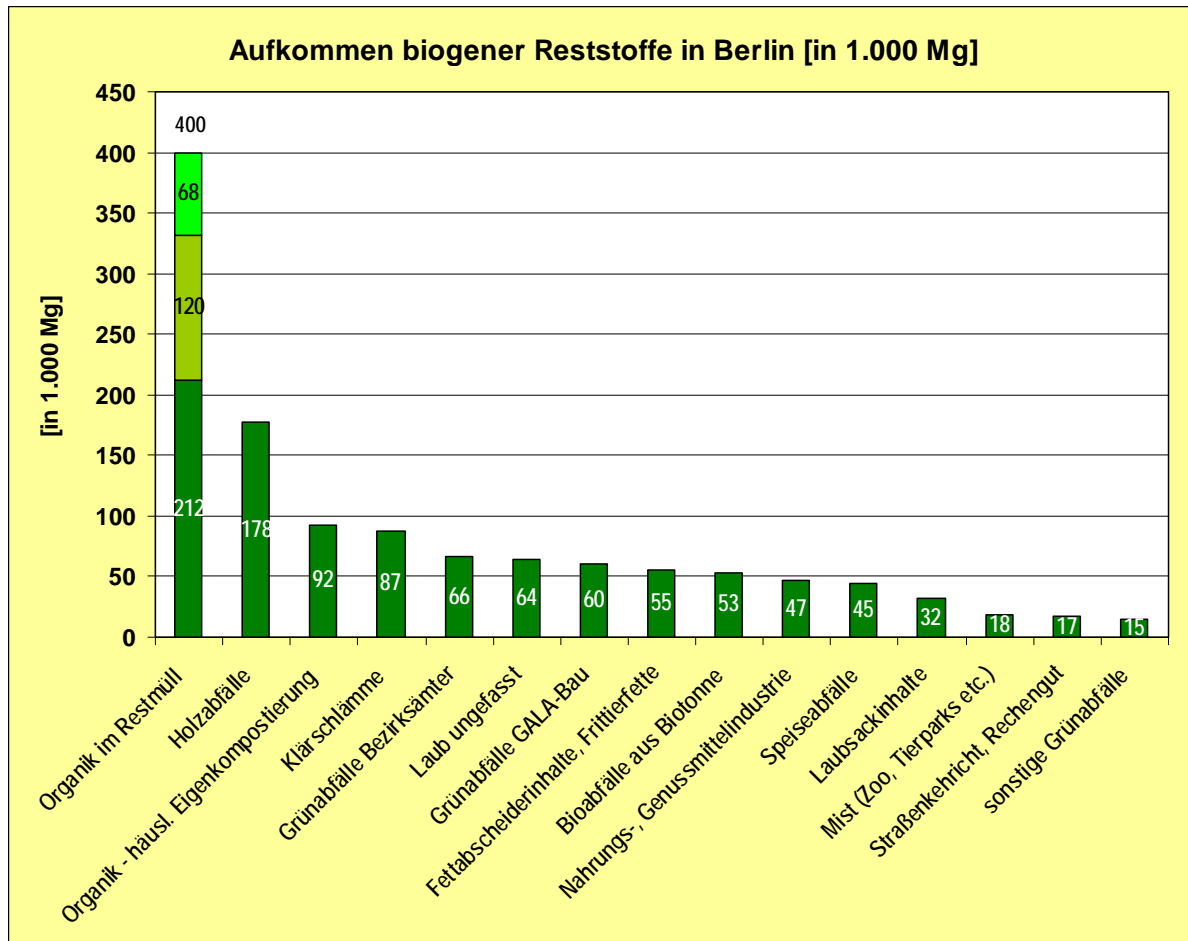


Abb. 5: Jährliches Aufkommen biogener Reststoffe in Berlin (Angaben im Zustand der Erfassung – Organik Restabfall: MVA 53 %, MPS 30 %, MBA 17 % - Klärschlamm in TR – Straßenkehricht nur Mittelkornfraktion).

Tab. 8: Derzeitige Behandlung bzw. Verwertung der anfallenden Biomassen in Berlin

Ist-Zustand									
[in 1.000 Mg]	Restabfall-behandl.	Kompos-tierung	Vergärung	therm. Verwertg.	stoffl. Verwertg.	Eigenkomp. Dung	Klärschl.	Futterm.	Sonstige
Organik im Restmüll	400								
Bioabfälle aus Biotonne		53							
Laubsackinhalte		32							
Laub ungefasst		64							
Holziger Grünschnitt (BSR)		2		2					
Straßenkehricht (Mittelkornfraktion)	10								
Rechengut		7							
Grünreste - Grünflächenämter		21		31	7				
Grünabfälle - GALA-Bau		22		16	11				
Grünabfälle - Flughäfen									7
Grünabfälle, Mist - Pferdehaltung, Zoo, Tierparks		8,5				9,5			
Grünabfälle - Hausgärten, Kleingärten						92			
Speiseabfälle - Gewerbe			45						
Altfette, Fettabscheiderinhalte			50						5
Abfälle Nahrungs- und Genussmittellindustrie		8,5		13,5				25	
Klärschlämme							87		
Holzabfälle, Altholz				147	49				
sonstige Grünabfälle - Parks, Landwirtschaft		1		1					2
<b>Summe</b>	<b>410</b>	<b>219</b>	<b>95</b>	<b>210,5</b>	<b>67</b>	<b>101,5</b>	<b>87</b>	<b>25</b>	<b>14</b>

In Tab. 8 sowie in Abb. 6 sind die Stoffströme und ihre derzeitige Behandlung bzw. Verwertung zusammenfassend dargestellt. Das größte Potenzial an Biomasse ist die native Organik im Restmüll (Restabfallentsorgung). An zweiter Stelle liegt mit 219.000 Mg die Behandlung von Biomassen in Kompostierungsanlagen, gefolgt von 210.500 Mg in Verbrennungsanlagen. Ca. 101.500 Mg Biomasse werden im Rahmen der Eigenkompostierung bzw. als Dung (Pferdemist) verwertet. 95.000 Mg, vornehmlich Speisereste, werden einer Vergärung zugeführt, 67.000 Mg stofflich verwertet (z. B. Holzverwertung, Einsatz als Mulchmaterial) und 25.000 Mg werden als Futtermittel eingesetzt.

## Ziele

Wesentliches Ziel einer optimierten energetischen Biomasseverwertung in Berlin ist die Erzeugung von regenerativer Bioenergie und damit die Substitution fossiler Energieträger zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele in Berlin. Hierdurch können entsprechende Mengen fossiler CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) eingespart werden und somit die Treibhausgasemissionen reduziert werden. Als Betrachtungszeitraum für die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen werden 5 bis 10 Jahre veranschlagt.

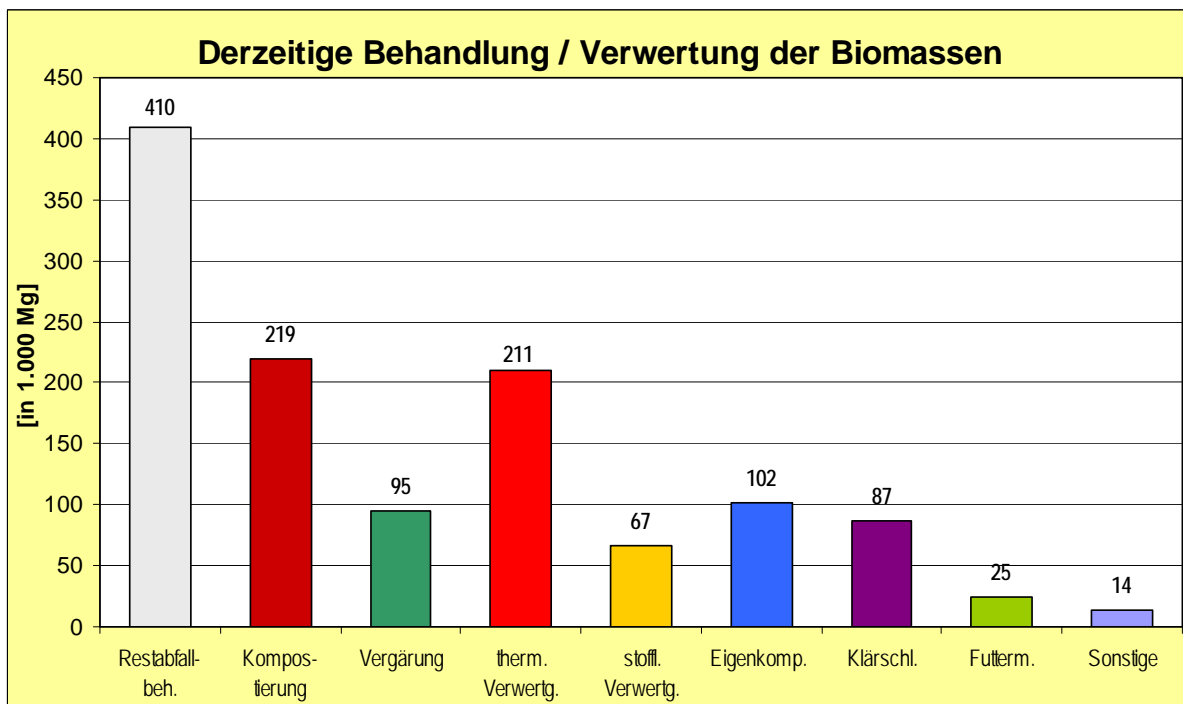


Abb. 6: Derzeitige Behandlungs- und Verwertungsoptionen für die anfallenden Biomassen und die anteiligen Mengen (Anmerk.: Für die stoffliche Verwertung steht die Verwendung von unbehandeltem Gebrauchtholz zur Herstellung von Holzwaren und die von Mulchmaterial.)

## 7.2 Biomassenutzungsszenarien

Zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele in Berlin werden zwei verschiedene Szenarien der optimierten Biomassenutzung entwickelt und bewertet. In einem **Trend-Szenario** (Szenario 1) soll die gegenwärtige positive Entwicklung der energetischen Nutzung von Biomasse forciert fortgeschrieben werden. In einem **Öko-Szenario** (Szenario 2) sollen darüber hinaus Maßnahmen und Aktivitäten zu einer weitestgehend hochwertigen Verwertung und somit zu einer maximierten Klimaentlastung beitragen.

Hierbei basieren die Szenarien auf drei grundlegenden stoffspezifischen Maßnahmen, die je nach Szenario unterschiedlich stark ausgeprägt sind:

1. Substitution von Behandlungsverfahren  
(beispielsweise Substitution der Kompostierung durch Vergärung)
2. Steigerung der Effizienz der Behandlung, Verwertung und Beseitigung  
(beispielsweise durch Co-Verbrennung im Heizkraftwerk und Substitution von Steinkohle)
3. Steigerung der Mengenerfassung  
(beispielsweise durch Ausweitung der Getrenntsammlung von Bioabfällen in den Außenbezirken Berlins)

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die thermische Nutzung von Biomasse mittel- bis langfristig wirtschaftlich günstigere Rahmenbedingungen vorfinden wird und somit auch wirtschaftliche Impulse Nutzungsalternativen initiieren. Hierbei stehen insbesondere höhere Energiepreise sowie höhere Preise für CO<sub>2</sub>-Handelszertifikate im Vordergrund. Insofern ist davon auszugehen, dass mittel- bis langfristig ökoeffizientere Verfahren der Biomassenutzung auch wirtschaftliche Vorteile haben werden und somit weniger effiziente Verfahren im Wettbewerb verdrängen werden. Dies gilt beispielsweise für thermische Verfahren mit Kraft-Wärme-Kopplung, die langfristig Verfahren mit ausschließlicher Stromauskopplung wirtschaftlich überlegen sein werden.

Bei den hier betrachteten Biomassen ist zwischen Stoffströmen, die ausschließlich in kommunaler Verantwortung liegen (z. B. Bioabfälle) und jenen, die sich in privatwirtschaftlicher Verantwortung befinden (z. B. Biomasseabfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie), zu unterscheiden. Darüber hinaus sind Abfallströme zu berücksichtigen, die sowohl kommunalen als auch privaten Ursprung haben (z. B. holzige Abfälle).

Tab. 9 zeigt die Zuordnung der Biomasse nach Herkunftsbereichen. Hierbei wird deutlich, dass fast ¾ der Biomasse ausschließlich im kommunalen Verantwortungsbereich liegen, der Rest ist dem privaten Verantwortungsbereich zuzuordnen.

Tab. 9: Zusammenstellung der Biomasse nach Herkunftsbereichen

Herkunft	IST-Situation	
	Einheit	
	in 1.000 Mg	%
Kommunale Biomasse	890	72
Private Biomasse	339	28
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1.229</b>	<b>100</b>

Tab. 10 und Tab. 11 zeigen vergleichend für die Stoffströme der verschiedenen Herkunftsbereiche die zugrunde gelegten Maßnahmen sowie die Massenbilanz für das Trend- und Öko-Szenario. Hierbei wird deutlich, dass die Szenarien wesentlich durch eine Stoffstromverlagerung zu effizienteren Behandlungsverfahren geprägt sind. Nachfolgend stehen folgende Einzelmaßnahmen im Vordergrund:

- die Bioabfallsammlung wird auf die Außenbezirke Berlins ausgedehnt, hierdurch ergibt sich eine Stoffstromverlagerung von Biomasse aus dem Restmüll, aus Laubsäcken sowie aus der Eigenkompostierung zur Biotonne
- der gesamte Bioabfall wird der Vergärung zugeführt
- krautige Biomassen werden überwiegend in der Vergärung eingesetzt, ebenso Mist und sonstige Grünabfälle
- ungefasste Laubmengen (Teilmengen) werden thermisch verwertet – bei Mengen mit hohem Wassergehalten kann eine zusätzliche Behandlung (Trocknung) notwendig werden
- zusätzliche Erfassung von Altfetten und Fettabscheiderinhalten
- zusätzliche Erfassung von Speiseabfällen aus dem Geschäftsmüll

Darüber hinaus wird durch eine Trocknung und energetische Stabilisierung des MBA Unterkorns eine weitere Energienutzung der Biomasse erreicht. Auch durch die geplante Modernisierung einzelner Kessel bei der MVA Ruhleben wird die Effizienz der Anlage deutlich gesteigert und werden somit relevante Klimagasemissionen reduziert.

Zudem werden im Bereich der energetischen Verwertung unterschiedliche Effizienzsteigerungen in den beiden Szenarien durch Optimierung der Biomasseheizkraftwerke bzw. durch Co-Verbrennung in Kraftwerken betrachtet.

Zudem werden keine Mengensteigerungen im Vergleich zur gegenwärtigen Erfassung sowie die Beibehaltung der bisherigen stofflichen Verwertung bei den Stoffströmen unterstellt.

Bei den Stoffstromverlagerungen ist zu berücksichtigen, dass es durch die angestrebte getrennte Erfassung verschiedener Stoffströme auch zu Verlagerungen von kommunalen Stoffströmen zu privaten Stoffströmen gibt. So z. B. werden Speiseabfälle im Restmüll (Geschäftsmüll) bisher als kommunale Abfälle gelistet; werden sie jedoch getrennt erfasst und der Vergärung zugeführt, fallen sie in die Kategorie „private Biomasse“. Vor diesem Hintergrund gibt es bei den kommunalen Stoffströmen in den Szenarien einen Rückgang, während die Mengen privater Stoffströme zunehmen.

Tab. 10: Kommunale Biomasse: Maßnahmen und Stoffströme im Trend- und Öko-Szenario

Kommunale Biomasse					
[in 1.000 Mg]	Menge Ist-Zustand	Trend-Szenario	Menge	Öko-Szenario	Menge
Organik im Restmüll	400	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	16	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	33
		Restabfallbehandlung	375,5	Restabfallbehandlung	350
Bioabfälle aus Biotonne	53	bisherige Mengen der Bioabfallsammlung - Vergärung	53	bisherige Mengen der Bioabfallsammlung - Vergärung	53
Laubsackinhalte	32	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	12	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	25
		eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	5	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	5
		Kompostierung	15	Kompostierung	2
Grünreste Haus-/ Kleingärten	92	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	18	Ausweitung der Bioabfallsammlung, Umlenkung in die Biotonne - Vergärung	36
		Eigenkompostierung	74	Eigenkompostierung	56
Laub ungefasst	64	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	32	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	51
		Kompostierung	32	Kompostierung	13
Straßenkehricht (Mittelkornfraktion)	10	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	5	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	7
		Restabfallbehandlung	5	Restabfallbehandlung	3
Rechengut	7	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	4	eventuelle Vorbehandlung - thermische Verwertung	7
		Kompostierung	3		
holziger Grünschnitt (BSR)	4	thermische Verwertung	4	thermische Verwertung	4
Grünmasse Grünflächenämter	28	holzige Materialien als Mulchmaterial (wie bisher)	7	holzige Materialien als Mulchmaterial (wie bisher)	7
		krautige Biomassen - Vergärung	10,5	krautige Biomassen - Vergärung	17
		Kompostierung	10,5	Kompostierung	4
Klärschlämme	87	ohne Mengen-/Verwertungsänderung	87	ohne Mengen-/Verwertungsänderung	87
Holzabfälle, Altholz	111	ohne Mengenänderung - thermische Verwertung, Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades	111	ohne Mengenänderung - thermische Verwertung, Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades	111
sonstige holzige Grünabfälle	2	thermische Verwertung	2	thermische Verwertung	2
<b>Summe</b>	<b>890</b>		<b>881,5</b>		<b>873</b>

Tab. 11: Private Biomasse: Maßnahmen und Stoffströme im Trend- und Öko-Szenario

Private Biomasse					
[in 1.000 Mg]	Menge Ist-Zustand	Trend-Szenario	Menge	Öko-Szenario	Menge
Grünabfälle - GALA-Bau	33	holzige Materialien als Mulchmaterial (wie bisher)	11	holzige Materialien als Mulchmaterial (wie bisher)	11
		krautige Biomassen - Vergärung	11	krautige Biomassen - Vergärung	18
		Kompostierung	11	Kompostierung	4
Fettabscheiderinhalte	50	zusätzliche Erfassung - Vergärung	10	zusätzliche Erfassung - Vergärung	20
		bisherige Mengen - Vergärung	50	bisherige Mengen - Vergärung	50
biogene Abfälle Nahrungs- und Genussmittelindustrie	47	Vergärung	2	Vergärung	4
		thermische Verwertung	16	thermische Verwertung	17
		Futtermittel	25	Futtermittel	25
		Kompostierung	4	Kompostierung	1
Grünabfälle - Flughäfen	7	krautige Biomassen - Vergärung	4	krautige Biomassen - Vergärung	5,5
		Verbleib Mulchmaterial	3	Verbleib Mulchmaterial	1,5
Speiseabfälle	45	zusätzliche Erfassung - Vergärung	8,5	zusätzliche Erfassung - Vergärung	17
		bisherige Mengen - Vergärung	45	bisherige Mengen Vergärung	45
Altfette	5	zusätzliche Erfassung - Herstellung Biokraftstoff	3	zusätzliche Erfassung - Herstellung Biokraftstoff	5
		bisherige Mengen - Herstellung Biokraftstoff	5	bisherige Mengen - Herstellung Biokraftstoff	5
Grünabfälle - Landwirtschaft	2	Verbleib Mulchmaterial	2	krautige Biomassen - Vergärung	1
				Verbleib Mulchmaterial	1
Holzabfälle, Altholz	132	ohne Mengenänderung - thermische Verwertung, Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades	132	ohne Mengenänderung - thermische Verwertung, Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades	132
Grünabfälle / Mist - Zoo, Tierparks	18	Vergärung	9	Vergärung	14
		Dungausbringung	5	Dungausbringung	2
		Kompostierung	4	Kompostierung	2
<b>Summe</b>	<b>339</b>		<b>360,5</b>		<b>381</b>

### 7.2.1 Trend-Szenario

Die Stoffströme und Verwertungsoptionen werden in Tab. 12 und Abb. 7 für das Trendszenario dargestellt. Im Trend-Szenario wird davon ausgegangen, dass durch eine auf die Außenbezirke Berlins ausgeweitete und verdichtete Bioguterfassung zusätzlich 46.000 Mg

Bioabfall gesammelt und der Vergärung zugeführt werden können (16.000 Mg aus dem Restabfall, 18.000 aus den Hausgärten (Eigenkompostierung) sowie 12.000 Mg aus der Laubsacksammlung). Zusätzlich würden ca. 5.000 Mg Laubsackinhalte (vorwiegend holzige Materialien) der thermischen Verwertung zugeführt.

Tab. 12: Stoffströme und Verwertungsoptionen im Trend-Szenario

TREND-SZENARIO									
[in 1.000 Mg]	Restabfall-behandl.	Kompos-tierung	Vergärung	therm. Verwertg.	stoffl. Verwertg.	Eigenkomp. Dung	Klärschl.	Futterm.	Sonstige
Organik im Restmüll	384		16						
Bioabfälle aus Biotonne			53						
Laubsackinhalte		15	12	5					
Laub ungefasst		32		32					
Holziger Grünschnitt (BSR)				4					
Straßenkehrriecht (Mittelkornfraktion)	5			5					
Rechengut		3		4					
Grünreste - Grünflächenämter		10,5	10,5	31	7				
Grünabfälle - GALA-Bau		11	11	16	11				
Grünabfälle - Flughäfen			3						4
Grünabfälle, Mist - Pferdehaltung, Zoo, Tierparks		4	9			5			
Grünabfälle - Hausgärten, Kleingärten			18			74			
Speiseabfälle - Gewerbe	-8,5		53,5						
Altfette, Fettabscheiderinhalte			60						8
Abfälle Nahrungs- und Genussmittelindustrie		4	2	16				25	
Klärschlämme							87		
Holzabfälle, Altholz				147	49				
sonstige Grünabfälle - Parks, Landwirtschaft				2					2
<b>Summe</b>	<b>380,5</b>	<b>79,5</b>	<b>248</b>	<b>262</b>	<b>67</b>	<b>79</b>	<b>87</b>	<b>25</b>	<b>14</b>

Andere krautige Abfälle – vor allem Grünschnitt der Bezirksämter (10.500 Mg) und des GALA-Baus (11.000 Mg) – könnten im frischen Zustand ebenfalls mit vergoren werden, ebenso zu Anteilen Mist bzw. biogene Abfälle aus Zoo und Tierparks (9.000 Mg). Weiterhin wäre die Co-Vergärung von krautigem Grünschnitt, der im Bereich der Flughäfenpflege anfällt, realisierbar. Im Trendszenario würden ca. 50 % des ungefassten Laubs (32.000 Mg) energetisch verwertet werden. Der gleiche Anteil des Straßenkehrichs (5.000 Mg Mittelkornfraktion) könnte dieser Verwertung zugeführt werden, ebenso die holzigen Grünabfälle, die bisher von den BSR eingesammelt und kompostiert werden sowie 50 % des anfallenden holzigen Rechenguts.

Für den Bereich der Nahrungs- und Genussmittelindustrie wird unterstellt, dass rd. 2.000 Mg über die Vergärung behandelt würden. Zudem werden in diesem Szenario 3.000 Mg an Alt-fetten erfasst und verwertet.

Im Trend- und Öko-Szenario wird unterstellt, dass bei der MBA das gesamte abgetrennte Unterkorn – rund 68.000 Mg/a – biologisch getrocknet und nachfolgend in Brennstoff- und Inertmasse aufgetrennt wird. Der hoch mit nativ-organischer Substanz angereicherte Brennstoff kann dann der Verbrennung zugeführt werden.

Bei der energetischen Optimierung der MVA wird für das Trend- und Öko-Szenario ebenfalls derselbe Maximalstand angesetzt.

Diese beiden Restmüll-Behandlungsoptimierungen werden – da in beiden Szenarien konstant – zunächst außerhalb der Betrachtungen geführt und erst in einem abschließenden Vergleich wieder aufgenommen.

Vergleichend zur derzeitigen Verwertung biogener Abfallstoffe werden insbesondere die Mengen bisher kompostierter Biomasse um ca. 139.000 Mg reduziert und der Vergärung zugeführt. Im Umkehrschluss steigt die Menge, die der Vergärung zugeführt wird, um 153.000 Mg auf 248.000 Mg an. Die Mengen im Bereich der thermischen Verwertung würden u. a. durch die Nutzung von Teilmengen des ungefassten Straßenlaubs gegenüber dem Ist-Zustand um 51.000 Mg auf 262.000 Mg ansteigen (Abb. 7).

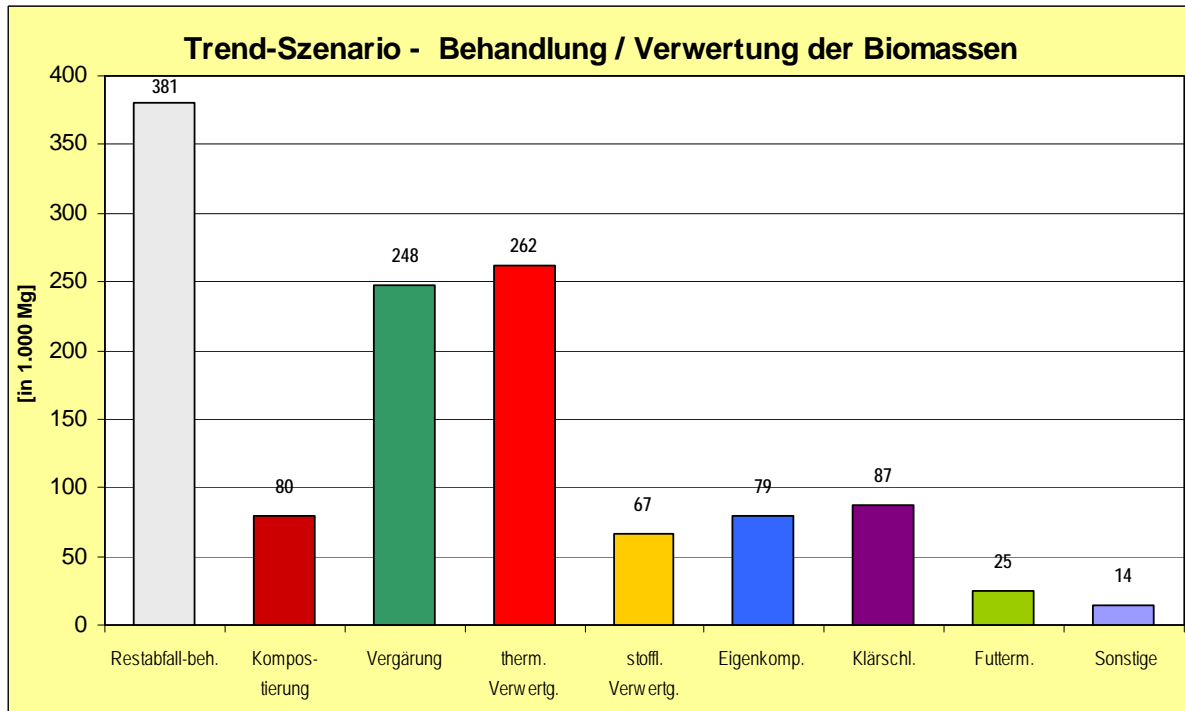


Abb. 7: Stoffströme und Verwertungsoptionen im Trend-Szenario (Szenario 1) (Anmerk.: Für die stoffliche Verwertung steht die Verwendung von Holzabfällen zur Herstellung von Holzwaren und als Mulchmaterial.)

### 7.2.2 Öko-Szenario

Im Gegensatz zum Trend-Szenario verfolgt das Öko-Szenario noch ambitioniertere Ziele der energetischen Biomassenutzung. Grundlage für diese Betrachtung ist die weitgehende Ausschöpfung des Biomassepotenzials zur energetischen Nutzung aufgrund der Klimaschutzziele Berlins. Zudem werden Lenkungsinstrumente konsequent genutzt. Zielführend sollen maximale Klimagutschriften sein.

Die Veränderungen der Stoffstrombehandlungen im Öko-Szenario ergeben sich insbesondere durch eine weitere Erhöhung der Bioabfallerrfassung in den Außenbezirken (Tab. 13). Hier werden im Vergleich zur gegenwärtigen Situation zusätzlich 94.000 Mg Bioabfälle erfasst (33.000 Mg aus dem Restabfall, 36.000 aus den Hausgärten (Eigenkompostierung) sowie 25.000 Mg aus dem Laubsack). Weiterhin wird unterstellt, dass rd. 35.000 Mg der krautigen Grünabfälle (Bezirksämter, GALA-Bau) der Vergärung zugeführt würden. Bei der Verwertungsalternative für Straßenkehricht (Mittelkornfraktion) würde sich der Anteil der thermischen Verwertung erhöhen. Rechengut und sonstiger holziger Grünschnitt würde zu 100 % thermisch verwertet werden. Beim Tiermist und krautigen Grünschnitt der Flughäfenpflege und aus dem Bereich der Landwirtschaft könnte ebenfalls ein erhöhter Mengenanteil der Vergärung zugeführt werden. Durch eine gesteigerte Erfassung von Speiseabfällen

könnten weitere 17.000 Mg vergoren werden. Aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie ließen sich Verwertungsalternativen durch die Vergärung und thermisch-energetische Behandlung nutzen. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die zusätzlich erfasste Menge an Altfetten rd. 5.000 Mg beträgt.

Tab. 13: Stoffströme und Verwertungsoptionen im Öko-Szenario

ÖKO-SZENARIO									
[in 1.000 Mg]	Restabfall- behandl.	Kompos- tierung	Vergärung	therm. Verwertg.	stoffl. Verwertg.	Eigenkomp. Dung	Klärschl.	Futterm.	Sonstige
Organik im Restmüll	367		33						
Bioabfälle aus Biotonne			53						
Laubsackinhalte		2	25	5					
Laub ungefasst		13		51					
Holziger Grünschnitt (BSR)				4					
Straßenkehrschutt (Mittelkornfraktion)	3			7					
Rechengut				7					
Grünreste - Grünflächenämter		4	17	31	7				
Grünabfälle - GALA-Bau		4	18	16	11				
Grünabfälle - Flughäfen			5,5						1,5
Grünabfälle, Mist - Pferdehaltung, Zoo, Tierparks		2	14			2			
Grünabfälle - Hausgärten, Kleingärten			36			56			
Speiseabfälle - Gewerbe	-17		62						
Altfette, Fettabscheiderinhalte			70						10
Abfälle Nahrungs- und Genussmittelindustrie		1	4	17				25	
Klärschlämme							87		
Holzabfälle, Altholz				147	49				
sonstige Grünabfälle - Parks, Landwirtschaft			1	2					1
<b>Summe</b>	<b>353</b>	<b>26</b>	<b>338,5</b>	<b>287</b>	<b>67</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>25</b>	<b>12,5</b>

Somit würden beim Öko-Szenario deutlich mehr Stoffstrommengen (243.000 Mg) der Vergärung zugeführt werden, so dass insgesamt ca. 339.000 Mg und damit mehr als das Dreieinhalbfache der heutigen Situation in der Biogasproduktion eingesetzt werden könnten (Abb. 8).

Ca. 76.000 Mg mehr als heute (insgesamt 287.000 Mg) würden der thermischen Verwertung zugeführt werden. Hierbei wird unterstellt, dass davon ca. 109.000 Mg der Co-Verbrennung im Heizkraftwerk zugeführt werden (holzige Grünreste aus dem GALA-Bau und dem Bereich der Grünflächenämter sowie ungefasstes Laub). Gleichzeitig könnte der Organikanteil bei der Restabfallbehandlung um insgesamt 57.000 Mg reduziert werden. Lediglich ca. 26.000 Mg würden noch der Kompostierung zugeführt.

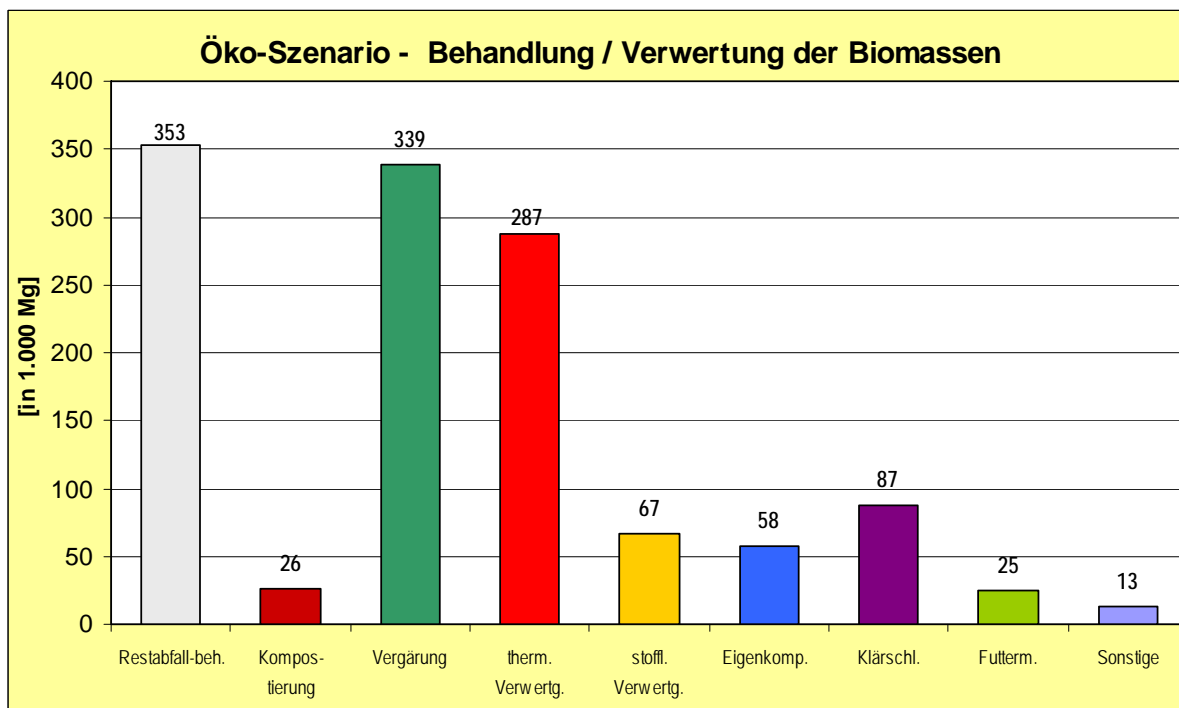


Abb. 8: Stoffströme und Verwertungsoptionen im Öko-Szenario (Szenario 2)  
(Anmerk.: Für die stoffliche Verwertung steht die Verwendung von Holzabfällen zur Herstellung von Holzwaren und als Mulchmaterial.)

### 7.2.3 Stoffströme und Nutzungsvergleich der Szenarien

Abb. 9 zeigt die Stoffströme und Nutzungsformen der Biomasse in Berlin im Trend- und Öko-Szenario im Vergleich zur Ist-Situation. Die deutlichsten Veränderungen und die höchsten Steigerungsraten sind im Bereich der Vergärung festzustellen, die durch eine konsequente Substitution der Kompostierung durch Anaerobtechnik erfolgt. Zudem findet in die-

sem Segment die größte zusätzliche Mengensteigerung statt (insbesondere durch die Ausweitung der Biogutsammlung in den Außenbezirken Berlins zu Lasten der Eigenkompostierung, der Laubsacksammlung sowie des Organikanteils im Restmüll).

Die Massenströme in der thermischen Verwertung erhöhen sich im Vergleich zur gegenwärtigen Situation um 24 % (Trend-Szenario) bzw. 36 % (Öko-Szenario). Da bereits gegenwärtig die meisten holzigen Materialien – auch Altholz – diese Art von Behandlung erfahren, fällt die Steigerung dieser Verwertungsalternative vergleichsweise gering aus. Die Mengensteigerung erfolgt hauptsächlich durch abgetrennte holzige Biomassen von Grünschnittmengen sowie die Nutzung von Teilströmen des ungefassten Laubs. Neben der Mengensteigerung ist aber bei der thermischen Verwertung insbesondere die Effizienzsteigerung der Anlagenwirkungsgrade von Bedeutung.

Zusätzlich erfolgt in beiden Szenarien eine energetische Nutzung der MBA-Unterkornfraktion nach einer Trocknung, die in der nachfolgenden Bewertung der Szenarien hinsichtlich ihrer Klimarelevanz Berücksichtigung findet.

### Stoffströme Biomassenutzung Berlin

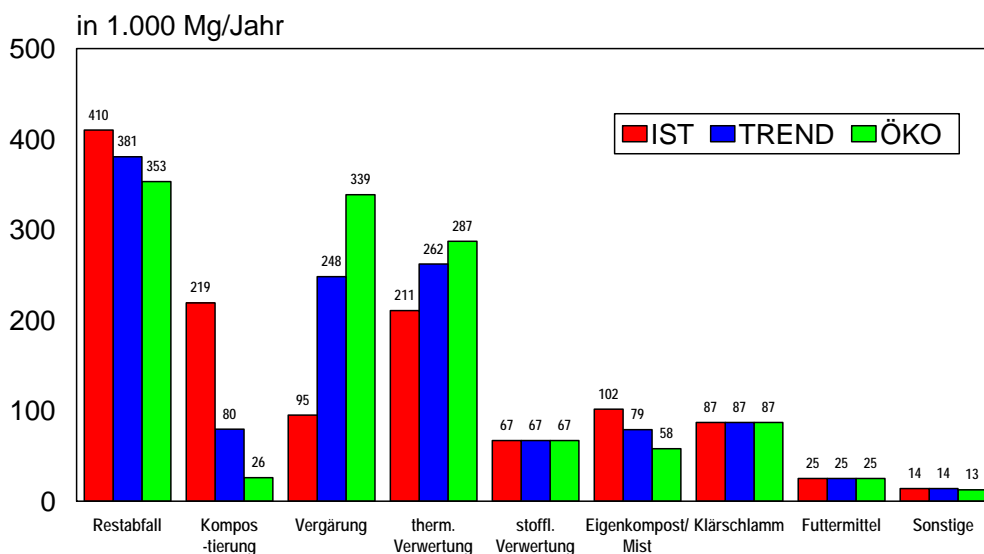


Abb. 9: Stoffströme und Verwertungsoptionen der Ist-Situation sowie beim Trend- und Öko-Szenario

### 7.3 Klimarelevanz der Szenarien

#### 7.3.1 CO<sub>2</sub>-Gutschriften bei der Vergärung von organischen Restabfällen

Bei der Vergärung wird von den in Kap. 6 und 7 dargestellten spezifischen CO<sub>2</sub>-Gutschriften für die verschiedenen Stoffströme und Behandlungsverfahren ausgegangen. Hierbei wird unterstellt, dass bei einer Ausweitung der Bioabfallsammlung in den Außenbezirken die unter dem Begriff „Bioabfall“ zusammengefassten Stoffströme die gleiche Qualität für eine Vergärung besitzen, auch wenn die Monostoffströme (z. B. Laubsack) andere Eigenschaften aufweisen.

Als Nutzungsform für das Biogas wird ein BHKW mit Strom- und Wärmeerzeugung favorisiert. Ferner wird eine Wärmenutzung von 50 % (bezügl. der Nettowärme, nach Abzug des Eigenbedarfs) unterstellt. Im Ergebnis lassen sich die in Tab. 14 dargestellten CO<sub>2</sub>-Gutschriften für die verschiedenen Szenarien erreichen.

Tab. 14: Klimagutschriften durch die Vergärung von Biomassen im Trend- und Öko-Szenario

		Bioabfall*	Grünschnitt krautig*	Mist*	Speise- reste	Fett- abscheider	Nahrungs-, Genuss- mittelind.	Σ
<b>Trend-Szenario</b>	<b>[Mg Input]</b>	99.000	24.500	9.000	53.500	60.000	2.000	<b>248.000</b>
<b>Öko-Szenario</b>	<b>[Mg Input]</b>	147.000	41.500	14.000	62.000	70.000	4.000	<b>338.500</b>
<b>Spezifische CO<sub>2</sub>-Gutschriften</b>								
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschriften</b>	<b>kg/Mg Input</b>	-245	-221	-171	-183	-231	-183	
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschriften der Szenarien</b>								
<b>Trend-Szenario</b>	<b>[Mg]</b>	-24.255	-5.415	-1.539	-9.791	-13.860	-366	<b>-55.225</b>
<b>Öko-Szenario</b>	<b>[Mg]</b>	-36.015	-9.172	-2.394	-11.346	-16.170	-732	<b>-75.829</b>

\*= Vergärungsanlagen mit unterstellter 80%-iger Methanreduktion

Bei einer Ausweitung der Bioabfallsammlung und Vergärung könnten im Trend-Szenario ca. 24.300 Mg CO<sub>2</sub>, beim Öko-Szenario sogar 36.000 Mg CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden. In der Summe liefert die Vergärung eine jährliche CO<sub>2</sub>-Gutschrift von insgesamt ca. 55.200 Mg (Trend-Szenario) bzw. ca. 75.800 Mg (Öko-Szenario). Im Vergleich dazu wird bereits heute eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift von ca. 17.200 Mg durch die Vergärung erreicht (Abb. 10).

Mit der Ausweitung der Biogut-Sammlung auf die Außenbezirke Berlins wird, wie bereits ausgeführt, ein Teil der im Restabfall vorhandenen Organik mit abgeschöpft. Mit der Verlagerung dieser Organikmengen wird dieser Teilstrom nicht mehr der Verbrennung (anteilig) zugeführt werden, so dass die bisherige CO<sub>2</sub>-Gutschrift für den Organikanteil im Restabfall (ca. 150 kg CO<sub>2</sub>-Äquiv./Mg) entfallen muss.

## CO<sub>2</sub>-Gutschriften durch Vergärung von Biomasse

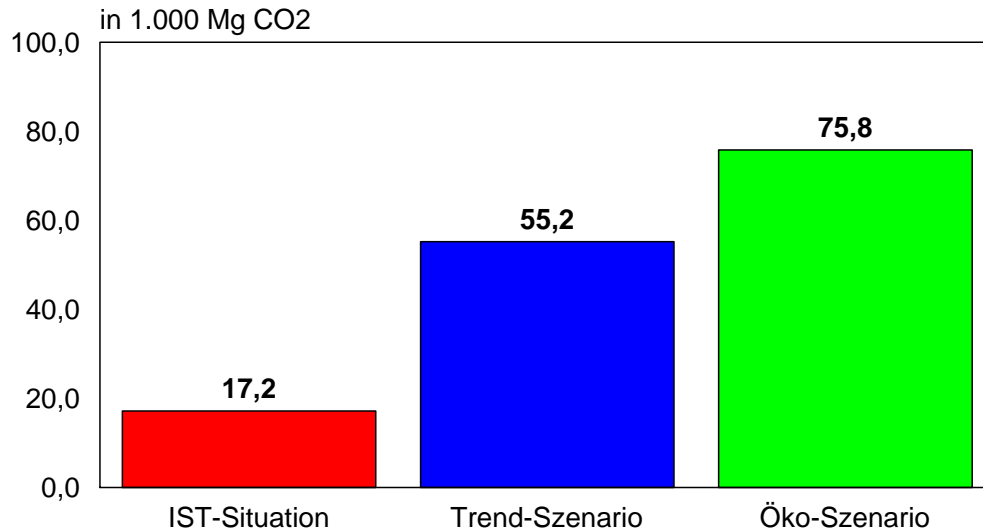


Abb. 10: CO<sub>2</sub>-Gutschriften Vergärung heute (Ist-Situation) sowie beim Trend- und Öko-Szenario

### 7.3.2 CO<sub>2</sub>-Gutschriften bei der thermischen Nutzung von Biomassen

Bei den Verbrennungsszenarien werden analog ein Trend-Szenario und ein Öko-Szenario betrachtet. Hierbei unterscheiden sich die beiden Szenarien durch unterschiedliche Stoffstrommengen sowie verschiedene elektrische und thermische Anlagenwirkungsgrade der Biomasseheizkraftwerke. Zudem wird jeweils ein Teilstoffstrom der Co-Verbrennung im Heizkraftwerk zugeordnet. Hierbei sind die anlagenspezifischen Rahmenbedingungen der Steinkohlekraftwerke in Berlin zugrunde gelegt worden.

Nach Aussagen von Vattenfall könnten Holzhackschnitzel in den Steinkohlekraftwerken Moabit bzw. Reuter C bis zu einem Anteil von 10 % mit verbrannt werden. Zum einen ließen sich Holzhackschnitzel als Substitut für einen Anteil an Steinkohle einsetzen, zum anderen würde mit der entstehenden und abgeführten Abwärme eine entsprechende Anzahl an Ölheizungen substituiert werden. Mit dem Einsatz von rd. 60.500 Mg Holzhackschnitzel ließen sich laut Vattenfall ca. 81.000 Mg CO<sub>2</sub> pro Jahr einsparen, wenn die beiden vorgenannten Substitutionsmöglichkeiten (Steinkohlesubstitut, 60.900 Mg – 335 g CO<sub>2</sub>/kWh; Ersatz von Ölheizungen, 20.100 Mg – 265,1 g CO<sub>2</sub>/kWh) realisiert würden.

Wie Vattenfall darstellt, sollen im Kraftwerk Reuter neben zerkleinerten Weihnachtsbäumen andere holzige Materialien – auch Landschaftspflegematerialien wie Äste, Stämme, Wurzelstöcke, holziger Grünschnitt – in Form von Holzhackschnitzeln von Bezirksämtern verwertet werden. Ab März 2009 werden dauerhaft zunächst rund 3.500 Mg Holzhackschnitzel vom

BA Spandau eingesetzt. Hierdurch lassen sich nach Aussagen von Vattenfall der Einsatz von ca. 1.400 Mg Steinkohle substituieren und damit ca. 3.300 Mg CO<sub>2</sub> einsparen.

VATTENFALL geht davon aus, dass der holzige Anteil ohne Leistungsverluste in den Anlagen eingesetzt werden kann. Zudem wurden erfolgreiche Versuche mit ungefasstem Laub durchgeführt. Als Gesamtpotenzial, welches für die thermisch-energetische Wirkung in Frage käme, wäre eine Menge von ca. 100.000 Mg in beiden Anlagen einsetzbar.

Im nachfolgend dargestellten Trend- und Öko-Szenario wird für die Bewertung der Klimagutschrift auch hier die Substitution von Steinkohle in einem Kraftwerk bei einem Anlagenwirkungsgrad von 33 % (elektrisch) bzw. 6 % (thermisch) unterstellt. Diese Annahmen wurden für beide Szenarien gleich gewählt. Die CO<sub>2</sub>-Gutschrift für die Steinkohlesubstitution wird ebenfalls mit 0,9 kg CO<sub>2</sub>/kWh Strom bzw. 0,15 kg CO<sub>2</sub>/kWh Wärme veranschlagt.

### Trend-Szenario

Von den Biomasseströmen zur energetischen Verwertung werden im Trend-Szenario zusätzlich erfasste holzige Materialien (vorwiegend Altholz und holziger Grünschnitt) sowie ungefasstes Laub nach vorhergehender Behandlung (Trocknung) und Weihnachtsbäume (saisonal) berücksichtigt. Weiterhin wird angenommen, dass sich der thermisch zu verwertende Anteil im Bereich der Reststoffe aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie noch erhöhen wird.

Anlagentechnisch wird davon ausgegangen, dass der derzeitige durchschnittliche Anlagenwirkungsgrad der Biomassekraftwerke in Berlin (22 % elektrisch, 30 % thermisch – Ist-Zustand) durch eine Effizienzsteigerung im Trend-Szenario auf 25 % (elektrisch) und 45 % (thermisch) erhöht wird. Von der erzeugten Wärme wird eine 50 %-ige Nutzung angenommen.

Vereinfachend bleiben eventuelle zusätzliche Aufwendungen für die Stoffstromkonditionierung unberücksichtigt, da diese üblicherweise auch für die Verwertungsalternativen anfallen (Zerkleinern als Vorbehandlung vor der Kompostierung, Transport usw.) und somit verfahrensunabhängig sind. Für eine eventuell notwendige Vortrocknung von Teilströmen wird davon ausgegangen, dass genügend ungenutzte Überschusswärme hierfür vorhanden wäre.

Verbunden mit dieser Effizienz- und Mengensteigerung wird auch eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Gutschriften erreicht. Wie Tab. 15 zeigt, bewegen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Gutschriften zwischen 383 und 1.022 kg/Mg Input. Nach Aufsummierung der gesamten CO<sub>2</sub>-Gutschrift der einzelnen Stoffströme ergibt sich eine Klimagutschrift im Trend-Szenario von insgesamt **227.000 Mg CO<sub>2</sub>** pro Jahr. Dies ist gegenüber der Ist-Situation, die eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift von 159.000 Mg CO<sub>2</sub> erreicht, eine Zunahme von ca. 68.000 Mg CO<sub>2</sub> (42,8%).

Tab. 15: Trend-Szenario: Thermische Verwertung mit daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Klimagutschriften

Trend-Szenario: Biomassekraftwerk und Co-Verbrennung								
Verwertung		Co-Verbrennung Heizkraftwerk			Biomasseheizkraftwerk			
Biomasse		Laub ungefasst/ Laubsack	Grünschnitt holzig	Holz - Weihnachtsbäume	Nahrungs-/ Genussmittel	Altholz	Straßenkehrrieh/ Rechengut**	Summe
Menge	Mg/a	37.000	51.000	2.000	16.000	147.000	11.000	264.000
Trockensubstanz (TS)	%	45	55	60	70	80	65	
Heizwert (Hu)	kWh/Mg	1.250	2.500	2.800	3.370	3.950	2.800	
elektr. Wirkungsgrad	%	33	33	33	25	25	25	
therm. Wirkungsgrad	%	6	6	6	45	45	45	
Energieertrag elektrisch	kWh/Mg	413	825	924	843	988	700	
Energieertrag thermisch*	kWh/Mg	75	150	168	1.517	1.778	1.260	
CO <sub>2</sub> -Einsparung (elektrisch)	kg/kWh	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
(thermisch)	kg/kWh	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
CO <sub>2</sub> -Einsparung	kg/Mg	383	765	857	872	1.022	725	
<b>GESAMT</b>	<b>[Mg/a]</b>	<b>14.153</b>	<b>39.015</b>	<b>1.714</b>	<b>13.952</b>	<b>150.243</b>	<b>7.970</b>	<b>227.046</b>

\* = auf 50 % reduzierte Wärme-Nutzung beim Biomasseheizkraftwerk

\*\* = gfs. In der Co-Verbrennung Kraftwerk zu verwerten

### Öko-Szenario

Im Öko-Szenario wird eine weitere Effizienzsteigerung der Anlagenwirkungsgrade der Biomassekraftwerke auf 28 % (elektrisch) bzw. 60 % (thermisch) unterstellt. Auch hier wird analog zum Trendszenario von einer 50%-igen Wärmenutzung ausgegangen und es werden keine zusätzlichen Energieaufwendungen veranschlagt.

Zudem ergibt sich eine Mengensteigerung der thermisch zu behandelnden Biomasse insbesondere dadurch, dass im Öko-Szenario 80 % des ungefassten Laubs sowie rd. 15 % der bisherigen Laubsackinhalte (holziger Anteil ca. 5.000 Mg) thermisch verwertet werden. Der Anteil des Holzigen Grünschnitts steigt aufgrund einer weiteren Ausschleusung dieser Qualitäten nochmals an.

Wie Tab. 16 zeigt, steigen die CO<sub>2</sub>-Gutschriften pro Mg Input aufgrund des höheren Anlagenwirkungsgrades der Biomasseheizkraftwerke an und liegen nun zwischen 383 kg CO<sub>2</sub>/Mg (Laub ungefasst) und 1.173 kg CO<sub>2</sub>/Mg Input. Insgesamt wird eine Klimagutschrift durch eine Effizienz- und Durchsatzsteigerung von **263.000 Mg CO<sub>2</sub>** erreicht, wobei auch hier wieder der Hauptanteil auf die energetische Nutzung des Altholzes (ca. 65 %) entfällt. Gegenüber der Ist-Situation bedeutet dies eine Steigerung der CO<sub>2</sub>-Gutschrift um insgesamt 104.000 Mg CO<sub>2</sub> bzw. 65,4%.

Tab. 16: Öko-Szenario: thermische Verwertung mit daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Klimagutschriften.

Öko-Szenario: Biomassekraftwerk und Co-Verbrennung								
Verwertung		Co-Verbrennung Heizkraftwerk			Biomasseheizkraftwerk			Summe
Biomasse		Laub ungefasst/ Laubsack	Grünschnitt holzig	Holz - Weihnachtsbäume	Nahrungs-/ Genussmittel	Allholz	Straßenkehrrikt/ Rechengut**	
Menge	Mg/a	56.000	51.000	2.000	17.000	147.000	14.000	287.000
Trockensubstanz (TS)	%	45	55	60	70	80	65	
Heizwert (Hu)	kWh/Mg	1.250	2.500	2.800	3.370	3.950	2.800	
elektr. Wirkungsgrad	%	33	33	33	28	28	28	
therm. Wirkungsgrad	%	6	6	6	60	60	60	
Energieertrag elektrisch	kWh/Mg	413	825	924	944	1.106	784	
Energieertrag thermisch*	kWh/Mg	75	150	168	2.022	2.370	1.680	
CO <sub>2</sub> -Einsparung (elektrisch)	kg/kWh	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
(thermisch)	kg/kWh	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
CO <sub>2</sub> -Einsparung	kg/Mg	383	765	857	1.001	1.173	832	
<b>GESAMT</b>	[Mg/a]	<b>21.420</b>	<b>39.015</b>	<b>1.714</b>	<b>17.015</b>	<b>172.453</b>	<b>11.642</b>	<b>263.259</b>

\* = auf 50 % reduzierte Wärme-Nutzung beim Biomasseheizkraftwerk

\*\* = gfs. In der Co-Verbrennung Kraftwerk zu verwerten

Abb. 11 zeigt vergleichend die CO<sub>2</sub>-Gutschrift für die verschiedenen Szenarien der thermischen Nutzung im Vergleich zur Ist-Situation.

### CO<sub>2</sub>-Gutschriften durch thermische Nutzung von Biomasse

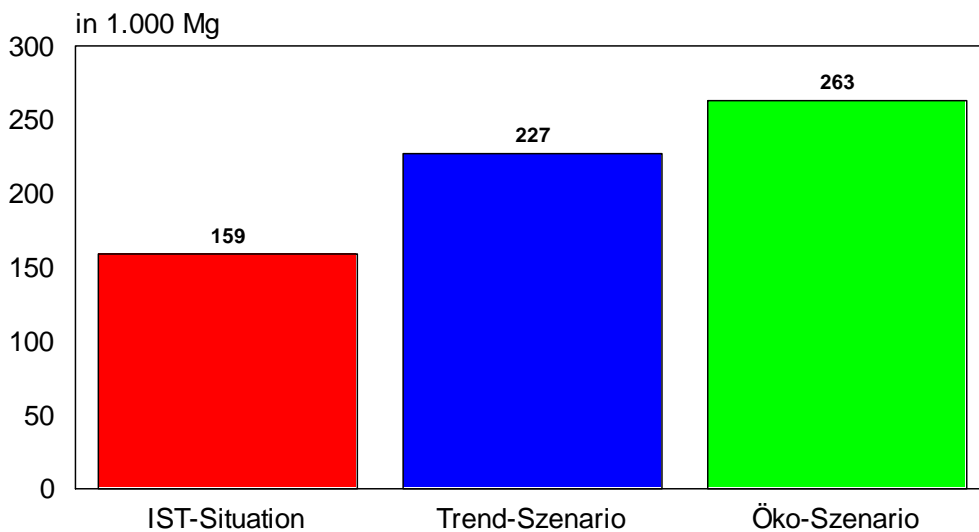


Abb. 11: CO<sub>2</sub>-Gutschriften bei thermischer Nutzung von Biomasse

### 7.3.3 Optimierung der Müllverbrennungsanlagen

Nach der Inbetriebnahme des neuen Kessels wird für die MVA Ruhleben 2011/12 insgesamt ein erhöhter Wirkungsgrad von 17 % Stromerzeugung und 48 % Wärmeerzeugung erwartet. Diese höhere Energienutzung führt summarisch für den Abfall und entkoppelt vom Anteil co-verbrannter Organik zu einer Steinkohlesubstitution und damit zu einer CO<sub>2</sub>-Minderung von abgeschätzt 23.000 Mg/a.

### 7.3.4 Thermische Nutzung der MBA-Unterkornfraktion

Maßgeblich durch die unterschiedliche Feuchte der jeweilig verarbeiteten Unterkorn-Mengen in den durchgeführten Versuchen ergeben sich zwischen 30.000 und 38.000 Mg/a an Brennstoff, die hochgerechnet aus den 68.000 Mg/a an Berliner MBA-Unterkorn erzeugt und – aktuell als Braunkohleersatz – verwertet werden können.

Die Brennstoff-Verwertung führt zu einem jährlichen (regenerativen) Energiebetrag, der als Braunkohle-Ersatz in CO<sub>2</sub>-Werte umgerechnet werden kann. Dies lässt eine Menge zwischen 14.000-18.000 Mg/a an CO<sub>2</sub>-Einsparung zu. In diesen Betrag ist bereits ein Abzug von 30 % der Energie eingerechnet, weil im Routinebetrieb der konventionellen MBA rd. 30 % des organischen Kohlenstoffs im Deponiekörper gebunden werden. Angesetzt wird für die Klimagutschrift ein Arbeitswert von 16.000 Mg/a CO<sub>2</sub>-Einsparung bei Umsetzung des Konzeptes.

### 7.3.5 Biodiesel aus Altfett

Aus guten Altfettqualitäten lassen sich mit vertretbarem Aufwand Kraftstoffe (Biodiesel) herstellen. Der Energiegehalt des aus Altspeisefetten produzierten Biodiesels entspricht einer Menge von 0,91 l mineralischen Diesels. Nach MITTELBACH et al. (2007) wirkt sich die Verwendung von Altfetten zur Biodieselproduktion besonders klimawirksam aus: Neben einer CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die reine Verbrennung kann weiterhin über 1/5 dieser Menge gut geschrieben werden, die bei herkömmlichem Diesel für die Herstellung zusätzlich in Ansatz zu bringen ist. Damit erhöht sich die eingesparte Menge an CO<sub>2</sub> auf insgesamt 3,13 kg/l Dieseläquivalent.

Eingesammelte Altfette werden außerhalb Berlins in entsprechenden Aufbereitungsanlagen zu Biodiesel verarbeitet. Da durch die Verbrennung von Biodiesel aus Altspeisefetten kaum Schwefeldioxid freigesetzt wird und die bei der Verbrennung produzierte Rußpartikelmenge deutlich unter der von herkömmlichem Diesel liegt, lassen sich eindeutige Vorteile für diese Art der Verwertung darstellen. Zusätzlich anzuführen ist die biologische Abbaubarkeit des Kraftstoffs.

Aus der derzeit erfassten Menge von 5.000 Mg Altfett lassen sich fast 4,7 Mio. Liter Altfett-Methylester (AME) herstellen, so dass rd. 13.300 Mg CO<sub>2</sub> eingespart werden. Wird davon ausgegangen, dass künftig die derzeit erfasste Menge an Altfett um rd. 3.000 Mg erhöht werden kann (Trend-Szenario), würde sich auch die zu produzierende Menge an Biodiesel auf über 7,4 Mio. Liter (AME) erhöhen. Unter Berücksichtigung der o. g. CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale (MITTELBACH et al., 2007) könnte somit eine Menge von ca. 21.300 Mg CO<sub>2</sub>/Jahr eingespart werden. Bei einer Verdopplung der erfassten Menge (10.000 Mg Altfett – 9,4 Mio. Liter AME) würde sich eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von gut 26.600 Mg ergeben.

## 7.4 Gesamtbilanz CO<sub>2</sub>-Gutschriften

Gegenwärtig ergeben sich für die Biomassenutzung (Vergärung, thermische Nutzung und Biodieselproduktion aus Altfetten) bereits CO<sub>2</sub>-Gutschriften in Höhe von rd. 189.000 Mg, wobei ca. 85 % auf die thermische Verwertung von Althölzern und holzigem Grünschnitt entfallen. Hierbei werden allerdings die Klimagutschriften durch die Restabfallbehandlung, insbesondere Müllverbrennung (die einen hohen biogenen Anteil aufweist), nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht mit einbezogen sind die CO<sub>2</sub>-Gutschriften, die sich durch eine ausschließlich stoffliche Verwertung ergeben (z. B. Altholznutzung in der Holzverwertung usw.).

Tab. 17 und Abb. 12 zeigen zusammenfassend die CO<sub>2</sub>-Gutschriften, die durch eine konsequente Ausweitung der Biogut-Erfassung und Effizienzsteigerung der Anlagen sowie zusätzlich durch eine Optimierung der MVA und thermische Nutzung der MBA-Unterkornfraktion sowie der Biodieselproduktion aus Altfetten erreicht werden könnten. Abb. 13 zeigt ergänzend die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Gutschriften.

Während die CO<sub>2</sub>-Gutschrift bei der Vergärung für krautige Bioabfälle im Vergleich zur heutigen Situation um 221 % (Trend-Szenario) bzw. 341 % (Öko-Szenario) gesteigert werden können, liegt das Steigerungspotenzial für die thermische Nutzung holziger Materialien lediglich zwischen 43 % (Trend-Szenario) und fast 67 % (Öko-Szenario). Bei der Vergärung ist diese enorme Steigerungsrate durch einen Verfahrenswechsel von der Kompostierung hin zur Vergärung zu erreichen. Bei der thermischen Nutzung beruht die Steigerungsrate wesentlich auf einer Erhöhung der Anlageneffizienz.

Auch wenn die Vergärung deutlichere Steigerungspotenziale aufweist, bedeutet dies, dass im Trend-Szenario die thermische Nutzung (ca. 69.000 Mg) eine fast doppelt so große zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gutschrift wie die Vergärung (ca. 38.000 Mg) erreichen kann.

Beim Öko-Szenario ist das Verhältnis mit ca. 105.000 Mg zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gutschrift (Verbrennung) zu 58.000 Mg (Vergärung) entsprechend.

Tab. 17: Bilanz der CO<sub>2</sub>-Gutschriften durch Biomassenutzung in Berlin

Bilanz der CO <sub>2</sub> Gutschriften Biomassenutzung Berlin			
in Mg/Jahr	IST-Situatiom	Trend-Szenario	Öko-Szenario
Vergärung	17.200	55.200	75.800
thermische Nutzung	158.000	227.000	263.300
Biodiesel	13.300	21.300	26.600
MVA-Optimierung		23.000	23.000
Verwertung MBA-Unterkorn		16.000	16.000
Optimierung Klärschlammverwertung			15.000
<b>SUMME</b>	<b>188.500</b>	<b>342.500</b>	<b>419.700</b>

### Gesamtbetrachtung CO<sub>2</sub>-Gutschriften Biomassenutzung Berlin

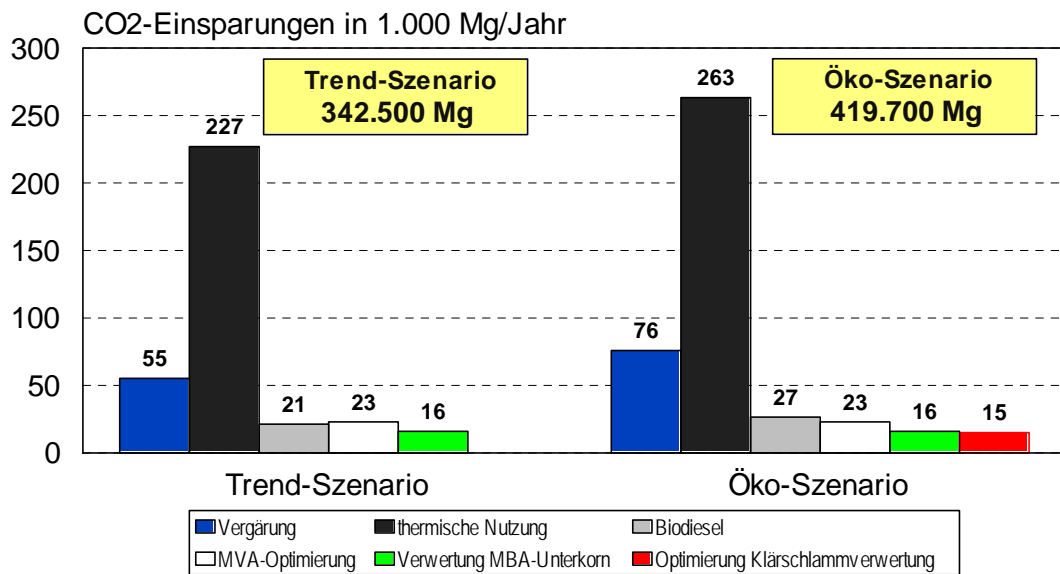


Abb. 12: CO<sub>2</sub>-Gutschriften des Trend- und Öko-Szenarios

## Gesamtbetrachtung

### Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gutschriften Biomassenutzung Berlin

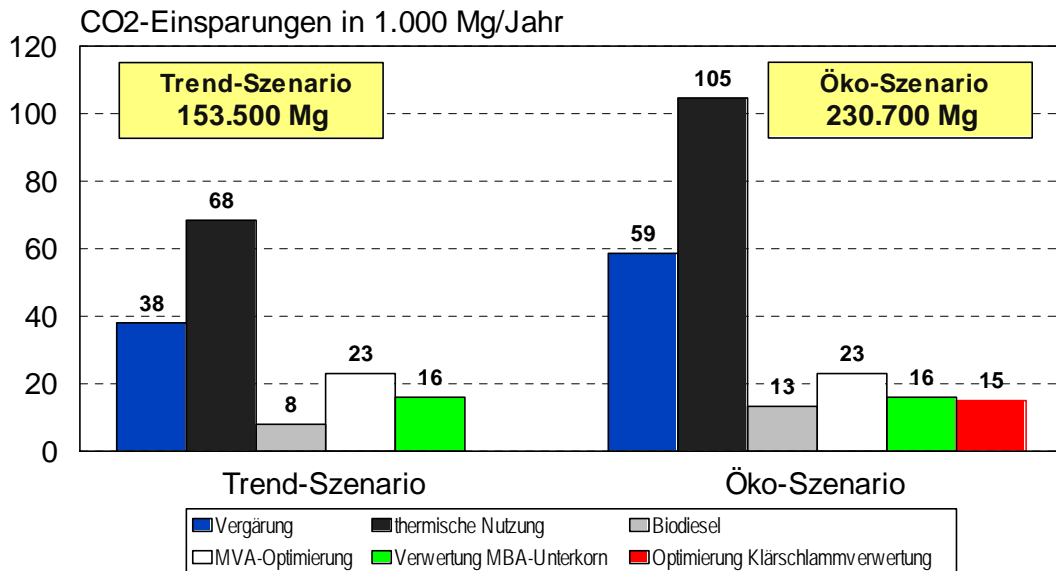


Abb. 13: Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gutschriften des Trend- und Öko-Szenarios

## 7.5 Wirtschaftliche Betrachtung der Alternativen

### 7.5.1 Spezifische Behandlungskosten

Nachfolgend sollen die spezifischen Kosten (brutto) sowie die Gesamtkosten der gegenwärtigen und zukünftigen Behandlungsalternativen orientierend dargestellt werden.

Ziel ist es hierbei, die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für die verschiedenen Behandlungsalternativen abzuschätzen. Für die Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass, unabhängig von der Behandlungsform, die Kosten für die Erfassung und den Transport gleich gesetzt werden. Anders ist die Situation bei neu generierten Stoffströmen, wie dem Verzicht der Eigenkompostierung und Erfassung durch die Biogut-Sammlung der BSR, sowie bei der separaten Speiseabfallerfassung, wo zusätzliche Mehraufwendungen für Sammlung und Transport berücksichtigt werden. Zusammenfassend sind die spezifischen Behandlungskosten in Tab. 18 dargestellt.

Tab. 18: Spezifische Behandlungskosten für biogene Reststoffe (brutto)

<b>Spezifische Behandlungskosten biogener Reststoffe (Kostenschätzung)</b>					
	Behandlung	Kosten (€/Mg)	Behandlung	Kosten (€/Mg)	Differenz (€/Mg)
	bisher		künftig		
<b>Biogut</b>	Kompostierung	<b>45</b>	Vergärung	<b>75</b>	<b>30</b>
<b>Bioabfall Außenbezirke Restmüll-Organik* / ****</b>	Restabfall-Behandlung	<b>130</b>	Vergärung (Trend-Szenario)	<b>125</b>	<b>77</b>
<b>Bioabfall Außenbezirke Eigenkompostierung*</b>	Kompostierung	<b>0</b>			
<b>Bioabfall Außenbezirke Laubsack *</b>	Kompostierung	<b>10</b>	Vergärung (Öko-Szenario)	<b>112</b>	<b>64</b>
<b>Sonstige Laubsäcke **</b>	Kompostierung	<b>10</b>	Verbrennung	<b>30</b>	<b>20</b>
<b>Laub ungefasst **</b>	Kompostierung	<b>10</b>	Verbrennung	<b>30</b>	<b>20</b>
<b>Straßenkehricht- Mittelkornfraktion **</b>	MBA/Kompostierung	<b>50</b>	Verbrennung	<b>50</b>	<b>0</b>
<b>Holziger Grünschnitt</b>	Kompostierung	<b>20</b>	Co-Verbrennung	<b>-5</b>	<b>-25</b>
<b>Rechengut **</b>	Kompostierung	<b>25</b>	Verbrennung	<b>35</b>	<b>10</b>
<b>Altholz</b>	Verbrennung	<b>0</b>	Biomassekraftwerk	<b>-10</b>	<b>-10</b>
<b>Krautige Biomassen</b>	Kompostierung	<b>20</b>	Vergärung	<b>50</b>	<b>30</b>
<b>Mist</b>	Kompostierung	<b>10</b>	Vergärung	<b>75</b>	<b>65</b>
<b>Speiseabfälle*****</b>	Restabfallbehandlung	<b>130</b>	Vergärung	<b>140</b>	<b>10</b>
<b>Rückstände Nahrungs-/ Genussmittelprod.</b>	Kompostierung	<b>20</b>	Vergärung	<b>75</b>	<b>55</b>
			Verbrennung	<b>25</b>	<b>5</b>
<b>Organik Restmüll MBA</b>	Rotte+Deponie	<b>k.A.</b>	<i>max. Mehrkosten***</i>	<b>30</b>	<b>bis 30</b>

\* geschätzte Kosten nur für die "Bioguterfassung und -behandlung im Außenbereich" incl. Erfassungskosten bisher eigenkompostierter Abfälle

\*\* incl. Kosten für Vorbehandlung (biologische Trocknung, Inertstoff-Abtrennung)

\*\*\* nur Mehrkosten in Ansatz gebracht (Spanne bis 30,- €/Mg)

\*\*\*\* ohne Gutschrift für Restmülleinsparung

\*\*\*\*\* incl. Sammlung, ohne Gutschrift für Restabfallreduktion

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Behandlungskosten für Stoffstromteilmengen, die künftig der Vergärung zugeführt würden, im Vergleich zur bisherigen Kompostierung steigen werden. Dagegen ist die Ausschleusung holziger Abfälle mit anschließender thermischer Nutzung entweder kostenneutral oder führt teilweise sogar zu Kostensenkungen.

## 7.5.2 Behandlungskosten der Szenarien

Für die im Trend-Szenario aufgezeigten Stoffströme ergeben sich Gesamtbehandlungskosten von ca. 17,6 Mio. Euro und damit Mehrkosten im Vergleich zur Ist-Situation von ca. 7,4 Mio. €. Beim Öko-Szenario steigen die Gesamtbehandlungskosten sogar auf ca. 23,8 Mio. € und verursachen im Vergleich zur Ist-Situation Mehrkosten in Höhe von 11,3 Mio. € (Tab. 19 und Tab. 20).

Tab. 19: Behandlungskosten im Trendszenario (Kostenschätzung)

<b>Kostenschätzung Biomassebehandlung/Verwertung Berlin Trend-Szenario</b>		
	<b>Gesamt-Kosten (€Jahr)</b>	<b>Mehr-Kosten (€Jahr)</b>
<b>Bioabfall</b>	<b>3.975.000</b>	<b>1.590.000</b>
<b>Einführung Bioabfallsammlung in Außenbezirken * / ** /***</b>	<b>5.750.000</b>	<b>3.550.000</b>
<b>Sonstige Laubsäcke **</b>	<b>300.000</b>	<b>100.000</b>
<b>Laub ungefasst **</b>	<b>1.280.000</b>	<b>640.000</b>
<b>Straßenkehrsicht (Mittelkornfraktion) **</b>	<b>500.000</b>	<b>0</b>
<b>Holziger Grünschnitt</b>	<b>-265.000</b>	<b>-675.000</b>
<b>Rechengut **</b>	<b>215.000</b>	<b>40.000</b>
<b>Altholz</b>	<b>-1.470.000</b>	<b>-1.470.000</b>
<b>Krautige Biomassen</b>	<b>1.655.000</b>	<b>795.000</b>
<b>Mist</b>	<b>715.000</b>	<b>630.000</b>
<b>Speiseabfälle</b>	<b>2.295.000</b>	<b>85.000</b>
<b>Rückstände Nahrungs-/Genussmittelprod.</b>	<b>630.000</b>	<b>122.500</b>
<b>Organik Restmüll MBA (max. Mehrkosten)</b>	<b>2.040.000</b>	<b>2.040.000</b>
<b>Summe</b>	<b>17.620.000</b>	<b>7.447.500</b>

\* künftige Kosten nur für die Gesamtheit "Bioabfall" incl. Transport und Gutschriften sinnvoll benennbar

\*\* incl. Kosten für Vorbehandlung (biolog. Trocknung, Inertstoff-Trennung)

\*\*\* 60 % des Öko-Szenarios

In diesen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind die Effizienzsteigerungen von Anlagen ohne zusätzliche Behandlungskosten eingeflossen, da unterstellt wird, dass die effizienteste Anlage wirtschaftliche Vorteile erzielt. Mit der Option der Co-Verbrennung in Kraftwerken bestehen reale Verwertungsalternativen ohne Mehrkostenaufwand. Durch eine Verbesserung

des Anlagenwirkungsgrads kann wiederum mehr Energie ausgekoppelt werden, was zu höheren Erlösen führt.

Abschließend ist anzumerken, dass bei höheren Anforderungen an den anlagenbezogenen Emissionsstandard von zusätzlichen Kosten auszugehen ist, die in dieser Betrachtung nicht mit aufgenommen worden sind.

Tab. 20: Behandlungskosten im Öko-Szenario (Kostenschätzung)

<b>Kostenschätzung Biomassebehandlung/Verwertung Berlin Öko-Szenario</b>		
	<b>Gesamt-Kosten (€Jahr)</b>	<b>Mehr-Kosten (€Jahr)</b>
<b>Bioabfall IST-Stand</b>	<b>3.975.000</b>	<b>1.590.000</b>
<b>Einführung Bioabfallsammlung in Außenbezirken* / **</b>	<b>10.540.000</b>	<b>6.000.000</b>
<b>Sonstige Laubsäcke **</b>	<b>170.000</b>	<b>-30.000</b>
<b>Laub ungefasst **</b>	<b>1.660.000</b>	<b>1.020.000</b>
<b>Straßenkehrsicht (Mittelkornfraktion) **</b>	<b>500.000</b>	<b>0</b>
<b>Holziger Grünschnitt</b>	<b>-265.000</b>	<b>-675.000</b>
<b>Rechengut **</b>	<b>245.000</b>	<b>70.000</b>
<b>Altholz</b>	<b>-1.470.000</b>	<b>-1.470.000</b>
<b>Krautige Biomassen</b>	<b>2.235.000</b>	<b>1.375.000</b>
<b>Mist</b>	<b>1.070.000</b>	<b>985.000</b>
<b>Speiseabfälle</b>	<b>2.380.000</b>	<b>170.000</b>
<b>Rückstände Nahrungs-/Genussmittelprod.</b>	<b>745.000</b>	<b>237.500</b>
<b>Organik Restmüll MBA (max. Mehrkosten)</b>	<b>2.040.000</b>	<b>2.040.000</b>
<b>Summe</b>	<b>23.825.000</b>	<b>11.312.500</b>

\* künftige Kosten nur für die Gesamtheit "Bioabfall" incl. Transport und Gutschriften sinnvoll benennbar

\*\* incl. Kosten für Vorbehandlung (biolog. Trocknung, Inertstoff-Trennung)

## 7.6 CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen im Hinblick auf ihre Klimawirksamkeit sollen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten abgeschätzt werden. Hierbei werden die CO<sub>2</sub>-Gutschriften in Relation zu den Mehrkosten gesetzt (Abb. 14). Vereinfachend werden auch hier keine zusätzlichen Kosten und Emissionen für Sammlung und

Transport berücksichtigt (mit Ausnahme der Stoffstromverlagerung von der Eigenkompostierung hin zur Biogutsammlung sowie bei der Speiseabfallverwertung). Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wurden bei beiden Szenarien in der gleichen Größenordnung angesetzt.

Bei der Vergärung der Stoffströme entstehen die höchsten spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Sie liegen zwischen 50 bis 500 €/Mg CO<sub>2</sub>-Einsparung.

Die hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei der Einführung der Biogutsammlung in den Außenbezirken (300 – 400 €/Mg CO<sub>2</sub>) liegt in der Tatsache begründet, dass der „neue“ Stoffstrom bzw. wesentliche Teile davon in der bisherigen Nutzung ohne zusätzlichen Kostenaufwand (Eigenkompostierung) war. Zudem wird mit der Umlagerung von Organik aus dem Restmüll auch eine Lastschrift bei der Müllverbrennung bewirkt, die sich zusätzlich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Vermeidung auswirkt.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei den bisher erfassten Bioabfällen fallen deutlich geringer aus (120 – 200 €/Mg CO<sub>2</sub>), weil für die Vergärung ein besonders emissionsarmer Betrieb unterstellt wurde und die gegenwärtige Kompostierung in Einfachanlagen vergleichsweise hohe Emissionen verursacht.

Die höchsten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten entstehen bei der Verwertung von Mist in einer kommunalen Vergärungsanlage\*, da bisher entweder keine oder nur geringe Kosten für die Behandlung angefallen sind.

Bei der thermischen Nutzung entstehen vergleichsweise geringe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, bestenfalls ist die Maßnahme sogar wirtschaftlicher (Beispiel thermische Verwertung von holzigem Grünabfall oder Altholz) als die bisherige Praxis. Bereits heute zeigt sich, dass viele kommunale wie private Betreiber von Grünabfallkompostierungsanlagen den holzigen Anteil abtrennen und der thermischen Verwertung, i.d.R. mit Erlösen, zur Verfügung stellen. Nach wie vor ist es jedoch unabdingbar, dass ein gewisser holziger Anteil zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Kompostierung auf den Anlagen verbleiben muss.

---

\* Anders beim Einsatz von Mist in einer NawaRo-Anlage, hier wird nach EEG ein zusätzlicher Bonus vergütet

## Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Biomassenutzung Berlin

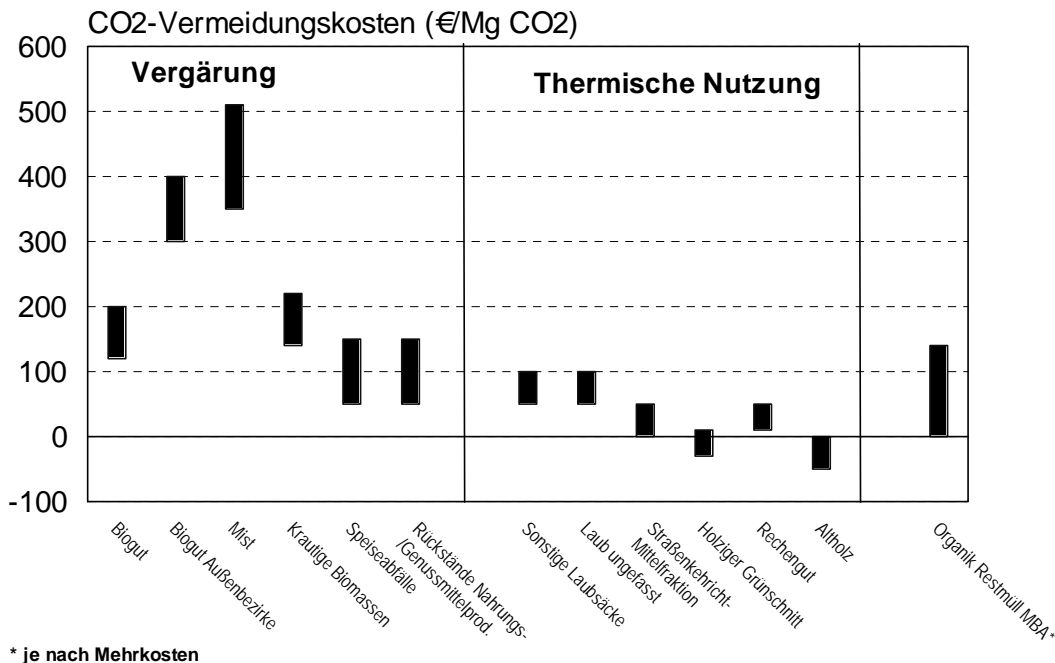


Abb. 14: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für verschiedene Stoffströme in Berlin (Spannbreiten)

Betrachtet man die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für die unterstellten Maßnahmen in Berlin im Vergleich zu bundesweiten Maßnahmen, bestätigen sich die abgeschätzten Kosten. Beispielsweise liegen nach Berechnungen des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik (WBA, 2007) die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für die thermische Nutzung holziger Abfälle (Holzhackschnitzel) unter Einbeziehung von Erlösen durch Wärmenutzung bei bis zu maximal 100 €/Mg CO<sub>2</sub>. Somit ist die thermische Nutzung von holzigen Biomassen aus Klimagesichtspunkten als wirtschaftlichste Maßnahme zu werten.

Die Vergärung wird nach Abb. 15 mit CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von ca. 250 bis 400 € je Mg vermiedenes CO<sub>2</sub> veranschlagt. Hierbei wird allerdings von Energiepflanzen als Substrat für die Biogasproduktion ausgegangen, so dass bei dem Einsatz von Bioabfällen (die ja keine zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Belastung für den „Anbau“ haben) die ermittelten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von 120 bis 200 € nach Abb. 14 plausibel erscheinen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass sich die für Berlin ermittelten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in einem Rahmen bewegen, der für andere Nutzungsarten von Biomasse zur Energiegewinnung ähnlich hoch ist und auf politischer Ebene Akzeptanz gefunden hat.

Umgelegt auf die 3,4 Mio. Bewohner Berlins würde der Einzelne durch die betrachteten Ausgaben beim Trend-Szenario mit 2,20 € pro Jahr, beim Öko-Szenario mit 3,30 € belastet werden. 1

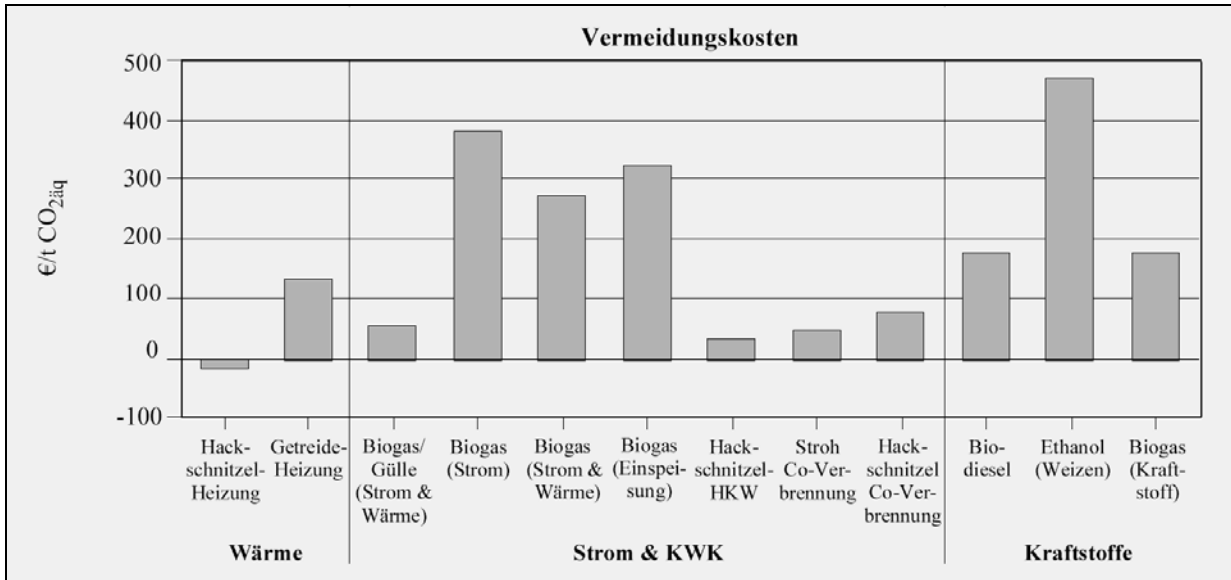


Abb. 15: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für verschiedene Nutzungsarten von Biomasse zur Energiegewinnung (WBA, 2007)

1 zum Vergleich: Die Zinszahlungen für die Schulden des Landeshaushaltes betragen 2008 €715,- pro Bürger und Jahr (Rechnungshof-Bericht 2009)

## 8 Handlungsinstrumente für die Umsetzung

### 8.1 Allgemeines

Seit Mitte des Jahres 2008 hat der Berliner Senat den Klimaschutz zu einem seiner zentralen Arbeitsgebiete forciert und in einem ressortübergreifenden Arbeitsprogramm politische Anstöße formuliert, um entsprechende Projekte realisieren zu können. Mit einem Energiekonzept 2020 für Berlin sollen die nächsten Schritte für eine klimaverträgliche Energieversorgung Berlins vorbereitet werden. Untermuert werden diese Bestrebungen durch die Regelungen des in Arbeit befindlichen Klimaschutzgesetzes. Ein erster Referentenentwurf liegt bereits vor. Danach wird der rationelle, sparsame, sozial- und umweltverträgliche sowie ressourcenschonende Umgang mit Energie nicht nur zur verpflichtenden Aufgabe für das Land Berlin mit seinen Einrichtungen, sondern auch für alle am Gesellschafts- und Wirtschaftsleben Beteiligten. Weiterhin werden alle Bürgerinnen und Bürger in die Verpflichtung mit einbezogen. Mit entsprechenden Maßnahmen zur Einsparung von Primär- und Endenergie, zur Verbesserung der Energieeffizienz und für den Ausbau Erneuerbarer Energien soll dem Klimaschutz Rechnung getragen werden und die CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen um 40 % bis zum Jahr 2020 gesenkt werden. Die zu ergreifenden Maßnahmen sollen zudem sozial und wirtschaftlich vertretbar realisiert werden. Besonderes Anliegen des Gesetzentwurfs ist es, vorhandene Energiepotenziale von biogenen Stoffen bzw. Abfällen deutlich stärker als bisher zu nutzen. Dabei ist sicher zu stellen, dass eine hochwertige energetische Nutzung erfolgt – z. B. Stromerzeugung mit nach EEG förderfähigen Anlagen und Kraftwärme-Kopplung. Laut Aussage des SACHVERSTÄNDIGENRATES FÜR UMWELTFRAGEN (2007) sind energetische Nutzungsgrade durch Strom- und Wärmeerzeugung bis zu 90 % realisierbar.

Zur Erreichung dieser Ziele müssen alle maßgeblichen kommunalen und privaten Akteure in den Maßnahmenplan integriert werden.

Zwischen der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz und folgenden Institutionen sind mittlerweile Klimaschutz- und Kooperationsvereinbarungen getroffen wurden:

- Berliner Bäder Betriebe (Klimaschutz)
- Berliner Immobilienmanagement GmbH (Klimaschutz)
- Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e. V. (Kooperation)
- Öl-Effizienz-Initiative (Kooperation)
- Berliner Stadtreinigungsbetriebe (Kooperation)
- Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft (Kooperation)
- Berliner Wasserbetriebe (Kooperation)

Nachfolgend werden für die kommunalen und privaten Akteure Handlungsempfehlungen und Instrumente zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele aufgezeigt.

## 8.2 Kommunale Akteure

Wie in Kap 8.2 ausgeführt, sind ca. 890.000 Mg Biomasse in kommunaler Verantwortung und haben somit einen hohen Stellenwert zur Erreichung der Klimaziele. Wesentliche Instrumente zur Umsetzung der klimapolitischen Vorgaben im kommunalen Bereich Berlins sind insbesondere:

- Vorgaben Novelle Klimaschutzgesetz
- Vorgaben Novelle Vergabegesetz zum ökologischen Beschaffungswesen (z. B. Beauftragung zur externen Verwertung von Biomasse)
- Abgeordnetenhausbeschluss zur Ausweitung der Bioabfallsammlung
- Umsetzung der Vorbildfunktion nach § 23 KrW-/AbfG
- Fortschreibung des Abfallwirtschaftskonzepts Berlin (z. B. thermische Nutzung von Biomasse sowie Ausstieg aus der Deponierung)
- Klimaschutzvereinbarungen mit kommunalen Akteuren (z. B. NGÄ)

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die wirtschaftliche Situation der energetischen Biomassenutzung vor dem Hintergrund wieder zu erwartender Energiepreissteigerungen zusehends interessant wird. Bereits heute ist die thermische Verwertung holziger Grünmasse wirtschaftlich interessanter als die ausschließliche Kompostierung, so dass sich verschiedene Maßnahmen von selbst tragen bzw. sogar zu Kosteneinsparungen führen.

Nachfolgend werden zusammenfassend die wesentlichen Ziele und Maßnahmen für die öffentlichen Akteure dargestellt.

### Ziele und Maßnahmen

Umsetzung der Biogaserzeugung aus vergärbaren Abfällen

- Errichtung von hochwertigen emissionsreduzierten Vergärungsanlagen in Berlin

Weitere Optimierung und deutlich Ausweitung der Erfassung von Bioabfall im gesamten Stadtgebiet

- Bioabfallsammlung gebührensseitig unterstützen
- Biotonne als Regelfall und nicht als Ausnahme etablieren
- Akzeptanz der Bioabfallsammlung durch zielgerichtete und kontinuierliche Abfallberatung sowie durch weitere Optimierungsmaßnahmen steigern

---

## Umlenkung von organischen Stoffströmen in eine hochwertige thermische Verwertung

- Umlenkung von Biomasse aus der Eigenkompostierung, dem Laubsack sowie aus dem Restmüll über die Bioabfallsammlung hin zur Vergärung und damit einer energetischen Nutzung
- Ausschleusung von holzigen Materialien aus den Grünresten mit dem Ziel der energetischen Verwertung bei NGÄ sowie kommunalen Einrichtungen
- Fortführung und Weiterentwicklung der thermischen Verwertung auch vor dem Hintergrund der erzielbaren Erlöse
- Ausschleusung von holzigem Grünschnitt aus der kommunalen Sammlung
- Vorgaben und Festlegung eines klimaverträglichen Verwertungsweges bei öffentlichen Ausschreibungen

## Energetische Verwertung von ungefasstem Laub

- Aufbauend auf den positiven Versuchsergebnissen bei Vattenfall sollte perspektivisch das Straßenlaub der thermischen Verwertung in der Co-Verbrennung (Heizkraftwerk) zugeführt werden
- Gfs. ist das Laub entsprechend zu konditionieren (trocknen)

## Energetische Verwertung der mit Organik angereicherten Mittelkornfraktion aus dem Straßenkehricht sowie aus dem Rechengut

- Die organik-angereicherte Mittelkornfraktion aus dem Straßenkehricht sowie aus dem Rechengut sollten ebenfalls perspektivisch der thermischen Verwertung in der Co-Verbrennung oder gfs. einem Biomassekraftwerk zugeführt werden

## Energetische Verwertung der MBA-Unterkornfraktion

- Weiterentwicklung der MBA und MPS-Anlagen mit dem Ziel der stärkeren energetischen Nutzung von Teilfraktionen

## Nachhaltiges Ressourcenmanagement

- Nach Auswertung von Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphaten aus Klärschlämmen sollte eine Konzeption für die Neuausrichtung der Klärschlammverwertung und die Anwendung im Land Berlin erarbeitet werden, um diese dann in die betriebliche Praxis überführen zu können.

## Konkrete Zielfestlegung in der Fortschreibung des Abfallwirtschaftsprogramms

- Die Umsetzung der Maßnahmen sollte in der Fortschreibung des Abfallwirtschaftsprogramms weiter konkretisiert werden und es sollte ein verbindlicher Zeitplan aufgestellt werden

### 8.3 Private Akteure

Das Biomasseaufkommen der privaten Akteure umfasst ca. 339.000 Mg. Bei den Stoffströmen der privaten Akteure gestaltet sich die Lenkung schwieriger. Hierbei stehen betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen im Vordergrund. Wesentliche Instrumente zur Umsetzung der klimapolitischen Vorgaben in Berlin im privaten Bereich sind insbesondere:

- CO<sub>2</sub>-Emissionshandel zur Unterstützung der thermischen Verwertung
- Abschluss von Klimaschutzvereinbarungen mit verschiedenen Akteuren (z. B. Vattenfall, GALA-Bau, ALBA usw.)
- Vereinbarungen von Selbstverpflichtungen mit verschiedenen Akteuren
- Optimierung des Vollzuges und der Kontrolle der Getrenntsammlung beispielsweise von Speiseabfällen und Altfetten
- Vollzug der Gewerbeabfallverordnung
- Kooperation mit dem Land Brandenburg zum Vollzug der TA Luft bei Kompostanlagen

Auch die wirtschaftliche Situation der energetischen Biomassenutzung wird sich bei den privaten Akteuren mittel- bis langfristig verbessern. Insbesondere bei Akteuren, die am Emissionshandel partizipieren, werden durch steigende CO<sub>2</sub>-Zertifikate wirtschaftliche Vorteile generieren.

Nachfolgend werden die wesentlichen Ziele und Maßnahmen für die privaten Akteure dargestellt.

#### Ziele und Maßnahmen

Umlenkung von holziger Biomasse in eine hochwertige thermische Verwertung

- Weitere Ausschleusung von holzigen Materialien aus den Grünresten mit dem Ziel der energetischen Verwertung im GALA-Bau

Ausweitung der Erfassung von Speiseabfällen, Altfetten und Fettabscheiderinhalten

- Weitgehende Unterbindung der Entsorgung dieser Stoffströme über den Restmüll oder Abwasserpfad durch verstärkte Kontrolle und Vollzug

Verstärkte Nutzung von Biomasse zur Biogaserzeugung

- Verwertung von vergärbaren Stoffströmen in modifizierten emissionsreduzierten Vergärungsanlagen
- Unterbreitung wirtschaftlicher Angebote zur Vergärung krautiger Biomasse

---

## FAZIT

Als Gesamtfazit kann festgehalten werden, dass bei konsequenter Anwendung der genannten Instrumente im kommunalen und privaten Bereich eine nachhaltige Reduktion der Treibhausgasemissionen mittelfristig in Berlin erreicht werden kann. Hierbei sind sowohl rechtlich verbindliche Maßnahmen und Vorgaben an kommunale Akteure als auch freiwillige Maßnahmen privater Akteure, insbesondere im Öko-Szenario, von besonderer Bedeutung. Bei beiden Szenarien ist ein abgestimmtes Vorgehen der Akteure sinnvoll und notwendig. Hierbei ist davon auszugehen, dass vor dem Hintergrund sich wandelnder wirtschaftlicher Rahmenbedingungen und durch eine verstärkte Nutzungskonkurrenz um Biomasse künftig mit Änderungen bei der Biomassenutzung zu rechnen ist.

Aus Sicht des Klimaschutzes sollten die hier aufgezeigten Nutzungsalternativen möglichst zeitnah zur konkreten Umsetzung gelangen. Hierfür ist es erforderlich, dass die Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz mit allen Akteuren den konstruktiven Dialog ausbaut und fortführt. In diesem Handlungsfeld kommt der Senatsverwaltung eine initiierende und moderierende Rolle zu.