

# STUDIE

**Hochwertige  
Verwertung  
von MÄHGUT  
und LAUB  
im Land  
Berlin**

Anlieferung  
↓  
Biomasse  
↓  
Mechanische  
Aufbereitung  
und Wäsche  
↓  
HTC-Kocher  
↓  
Kompost-  
rohstoff  
↓  
Abwasser-  
behandlung

Festfall  
Unterkern  
Sedimente

Prozessdampf  
Enstpannungsdampf  
Permanentgase  
Heizdan



**HOCHWERTIGE UND KLIMASCHONENDE  
VERWERTUNG VON MÄHGUT UND LAUB IM  
LAND BERLIN  
ENDBERICHT**

BEARBEITET FÜR:

**Senatsverwaltung für Gesundheit,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Referat Abfallwirtschaft  
Brückenstraße 6, 10179 Berlin**

ERSTELLT VON:

**ICU - INGENIEURCONSULTING  
UMWELT UND BAU**

Dr. Wiegel, März und Partner Ingenieure  
Wexstraße 21

10715 Berlin

IN KOOPERATION MIT :

Priv.-Doz. Dr. Frank Riesbeck  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät  
Ökologie der Ressourcennutzung  
Invalidenstr. 42  
10099 Berlin

BERLIN, JUNI 2011



# INHALT

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ÜBERSICHT ZUM METHODISCHEN VORGEHEN .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>GRÜNRESTEVERWERTUNG IM KONTEXT DER KLIMAPOLITISCHEN ZIELE BERLINS .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>MENGEN.....</b>	<b>5</b>
4.1	Historische Datenlage und –bereitstellung.....	5
4.2	Berechnung der Flächenerträge über die Pflegekategorien .....	6
4.3	Beschreibung der Pflegekategorien .....	7
4.4	Flächenspezifische Ertragspotentiale .....	8
4.5	Mengen-Hochrechnung für die Berliner Bezirke. ....	8
<b>5</b>	<b>DERZEITIGE VERTEILUNG DER INTERNEN BZW. EXTERNEN KOMPOSTIERUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>VERWERTUNGSEIGNUNG DER GRÜNRESTE.....</b>	<b>14</b>
6.1	Mähgut.....	14
6.2	Laub .....	15
<b>7</b>	<b>VERFAHREN ZUR HÖHERWERTIGEN ENERGETISCHEN VERWERTUNG .....</b>	<b>16</b>
7.1	Technische Darstellung .....	16
7.2	Regionale Anbieter höherwertiger Verfahren .....	18
7.2.1	Vergärung – Plan E-Büssow GmbH – Hennickendorf.....	18
7.2.2	Vergärung – GASAG – Schwedt / Rathenow .....	18
7.2.3	Direkte Verbrennung - HHWE Berlin-Rudow - RWE .....	18

7.2.4	Trocknung vor Co-Verbrennung – Lausitz/Berlin - Vattenfall .....	19
7.2.5	Trocknung vor Co-Verbrennung – MPS – Anlagen – BSR und ALBA.....	19
7.2.6	HTC - Ludwigsfelde - SUNCOAL GmbH .....	19
7.2.7	HTC - Teltow – Carbon Solutions GmbH .....	20
7.2.8	Biologische Trocknung – MBA Nauen – ABH-mbH (Havelland) .....	20
<b>7.3</b>	<b>Massen-, Energie und Klimavergleich der Verfahren.....</b>	<b>21</b>
7.3.1	Methodik und Rahmendaten .....	21
7.3.2	Massenbilanzen.....	23
7.3.3	Systematik und Eckwerte der Klimabilanz.....	27
7.3.4	Ergebnis der Klimabilanzberechnung .....	28
7.3.5	Ergebnis des Vergleichs.....	30
7.3.6	Ergebnisüberprüfung für feuchteres Inputmaterial .....	31
7.3.7	Abwärme-Nutzung .....	33
<b>8</b>	<b>KOSTENABSCHÄTZUNG FÜR EINE KLIMASCHONENDE VERWERTUNG .....</b>	<b>35</b>
8.1	Ermittlung der spezifischen Behandlungskosten .....	35
8.2	Optionale Kosten für benötigten Kompost .....	35
8.3	Hochrechnung der Verwertungskostenänderung.....	36
8.4	Bewertung der spezifischen CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten.....	37
<b>9</b>	<b>UMSETZUNG EINER OPTIMierten VERWERTUNG BEI KOMMUNALEN EINRICHTUNGEN.....</b>	<b>38</b>
9.1	Leistungsblatt zur Ausschreibung einer klimaschonenden Verwertung	39
9.2	Konzept zur Organisation.....	43
9.2.1	Bereitstellung des Mähgutes seitens der Bezirksämter.....	43
9.2.2	Bereitstellung des Laubes seitens der Bezirksämter.....	43
9.2.3	Umsetzung in die Leistungsbeschreibung.....	45

<b>10</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>47</b>
<b>11</b>	<b>QUELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>48</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>49</b>
<b>12.1</b>	<b>Steckbriefe der regionalen Anbieter höherwertiger Verwertungsverfahren .....</b>	<b>50</b>
	Anbieter: Plan-E Büssow & Co. KG - Biogasanlage, Hennickendorf .....	51
	Anbieter: GASAG - Vergärungsanlagen, Berlin / Brandenburg.....	52
	Anbieter: RWE - HHKW Neukölln, Berlin – Rudow .....	53
	Anbieter: Vattenfall - Braunkohlekraftwerk Jänschwalde, Lausitz.....	54
	Anbieter: Vattenfall - Steinkohlekraftwerk Reuter C, Berlin.....	55
	Anbieter: ALBA und BSR – MPS-Anlagen, Berlin–Reinickendorf, Berlin-Pankow ....	56
	Anbieter: SUNCOAL – HTC-Verfahren, Ludwigsfelde .....	57
	Anbieter: CARBONSOLUTIONS - HTC Verfahren, Teltow/Kleinmachnow.....	58
	Anbieter: ABH-GmbH - MBA Schwanebeck – Nauen .....	59
<b>12.2</b>	<b>Kurzbeschreibung Ökobilanz.....</b>	<b>60</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mengenerhebung und Verwertung 2008 für Mähgut .....	5
Tabelle 2	Zusammenfassende Darstellung der Mengenerhebung 2008 für Laub.....	6
Tabelle 3:	Zusammenfassende Darstellung der Pflegekategorien .....	7
Tabelle 4:	Zur Hochrechnung angesetzte energetisch produktive Flächenanteile und Pflegekategorie-Anteile.....	9
Tabelle 5:	Hochrechnung der Jahresmengen an Mähgut nach Pflegekategorien....	10
Tabelle 6:	Hochrechnung der Jahresmengen an Laub.....	10
Tabelle 7:	Anfall von Mähgut und Laub je Bezirk .....	11
Tabelle 8:	Anteile der Verwertung bei Eigen- oder Fremddurchführung der Grünflächenpflege.....	13

Tabelle 9: Biogaserträge verschiedener organischer Reststoffe .....	14
Tabelle 10: Kenngrößen der Verwertungsverfahren.....	17
Tabelle 11: Rahmendaten für Verbrennung mit und ohne Trocknung.....	22
Tabelle 12: Rahmendaten für Vergärung und Kompostierung .....	22
Tabelle 13: Rahmendaten für das HTC-Verfahren .....	23
Tabelle 14: Massenbilanzen für Grünrest-Gemisch mit 40 % Trockensubstanz .....	24
Tabelle 15: Massenbilanzen für Grünrest-Gemisch mit 25 % Trockensubstanz .....	26
Tabelle 16: Rahmendaten für Gut- und Lastschriften (Energieträger und Kompost).....	27
Tabelle 17: THG-Emissionen bei Vergärung und Kompostierung für 25% TS und 40% TS im Input (ohne Energieträger) .....	28
Tabelle 18: Vergleich der Behandlungsverfahren bei 40% TS-Gehalt der Grünreste .....	29
Tabelle 19: Vergleich der Behandlungsverfahren bei 25 % TS Gehalt der Grünreste .....	32
Tabelle 20: Ungenutzte Abwärmemengen der Verfahren .....	33
Tabelle 21: Kostenprognose der Behandlung .....	36
Tabelle 22: Vereinfachte Berechnung der Energieeffizienz (als Vergabekritererium) .....	41
Tabelle 23: Ergebnisübersicht einer virtuellen Bieterabfrage .....	42
Tabelle 24: Übersicht der Verfahrensänderung zur Sammlung und Verwertung .....	44
Tabelle 25: Beispielhafte Übersicht der Anforderungen in der Ausschreibung .....	46

## 1 Veranlassung

Im Rahmen der von der Senatsumweltverwaltung geförderten und im Jahr 2009 erfolgreich abgeschlossenen Biomassestudie (11042UEPII/3) wurden sowohl das Aufkommen biogener Stoffe im Land Berlin untersucht als auch entsprechende konzeptionelle Ansätze zur Optimierung einer hochwertigen und klimaschonenden Verwertung aufgezeigt. Diese Ansätze waren nun in einer weiteren Studie der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz zu konkretisieren. Dies betrifft die derzeit nicht optimal verwerteten Mengen an **Mähgut** und **Laub** der bezirklichen Grünflächenämtern.

Das Projekt wurde gefördert im Rahmen des Umweltentlastungsprogramms II aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und dem Land Berlin (Projektnr.11268 UEPII / 3)

Von den Berliner Grünflächenämtern werden insgesamt pro Jahr rd. 35.000 Mg/a an Mähgut und Laub ausschließlich über die Kompostierung verwertet (zzgl. der von den Bezirksämtern gemulchten Anteile). Die Kompostierung nutzt diese Abfälle zwar stofflich, nicht aber den Energiegehalt der Grünreste. Vielfach setzt die Kompostierung, insbesondere wenn sie in hohen Mieten stattfindet, in so hohem Umfang klimaschädliches Methan frei, dass trotz Klimanutzen des erzeugten Kompostes die Kompostierung eher belastend ist.

Eine klimaökologisch höherwertige Nutzung hat sich bislang nur für holzige Grünreste auch über die Erlössituation nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zufriedenstellend bei den Bezirksämtern etabliert.

Laut Biomassestudie des Landes Berlin kommen zur hochwertigen und energetischen Verwertung von Mähgut und Laub verschiedene Verfahren (z.B. Vergärung, energetische Verwertung) in Betracht. Dabei sind **technische Merkmale sowie Qualitätsanforderungen** der unterschiedlichen **Verwertungsverfahren** von großer Bedeutung.

Ziel ist es, ein aus ökologischer und ökonomischer Sicht praxistaugliches Verfahren für die kommunalen Einrichtungen zu entwickeln und in Form eines konkreten und umsetzbaren **Handlungsleitfadens** darzustellen. Der Handlungsleitfaden stellt damit einen Extrakt dieser Gesamtstudie dar und soll insbesondere den bezirklichen Grünflächenämtern eine konkrete Hilfestellung dafür geben, auch durch die Bezirke zukünftig eine höherwertige und klimaschonende Verwertung dieser Grünreste zu realisieren. Die Darstellungen und Hinweise sind auch für andere kommunalen Einrichtungen und private Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus nutzbar.

Die ICU – Ingenieurconsulting Umwelt und Bau wurde mit der Durchführung des Projektes und den damit zusammenhängenden Recherchen beauftragt. In die Bearbeitung eingebunden wurde Privat -Dozent Dr. Riesbeck von der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät für Ökologie der Ressourcennutzung an der Humboldt-Universität zu Berlin.

Die Studie ist wie folgt strukturiert:

Nach dem **methodischen Vorgehen** im **Kapitel 2** wird skizziert,

- welche **Ziele des Landes Berlin zur klimaschonenden Behandlung** insbesondere von organischen Abfällen gesetzt sind, **(Kapitel 3)**
- in welchen **Mengen nach Pflegekategorien im jeweiligen Bezirk und Gesamt-Berlin** die Grünreste anfallen, **(Kapitel 4)**
- wie die derzeitige der **Kompostierung intern / extern** erfolgt, **(Kapitel 5)**
- wie sich die **Eignung der Grünreste** für welche Verwertungsform darstellt, **(Kapitel 6)**
- welche höherwertigen **Verwertungsverfahren** im Raum Berlin jetzt und künftig verfügbar sind, und deren Energie- und Klimavergleich. **(Kapitel 7)**

Die **Kosten** und die spezifischen **CO<sub>2</sub>-Einsparungskosten** werden in **Kapitel 8** betrachtet.

Darauf aufbauend wird in der **Umsetzung der optimierten Verwertung (Kapitel 9)** beschrieben,

- welche **Maßnahmen im täglichen Betrieb** der Ämter einzuleiten sind, um die Grünreste für eine hochwertige Verwertung bereitzustellen,
- wie die **höherwertige Verwertung in künftigen Ausschreibungen** zur Entsorgung der Grünreste zu berücksichtigen ist.

Grundsätzlich wurde bei der Bewertung von folgenden Rahmenbedingungen ausgegangen:

- a) Die anfallenden Grünreste sind möglichst klimaschonend zu verwerten,
- b) Hauptaufgabe der Ämter ist die Pflege der Grünflächen, der Erhalt von Erholungsräumen und naturnaher ökologischer Systeme, nicht vorrangig die Biomasseproduktion,
- c) der Druck zur Kostenreduzierung bei den Ämtern ist erheblich (und führt z.B. derzeit zu einer verstärkten Umstrukturierung in Richtung weniger pflegeintensiver, „biomasseärmerer“ extensiver Grünflächen). Eine eventuell kostenintensivere höherwertige Grünrestenutzung darf nicht die Wahrnehmung der Hauptaufgaben in Frage stellen.

## 2 Übersicht zum methodischen Vorgehen

Die **Recherchen** erstreckten sich auf zwei Hauptbereiche:

1. **Situation bei den Bezirksämtern zu Mengen und Qualitäten der Grünreste sowie operative Umsetzung der Erfassung.** Hier wurden die interessierten Bezirke zu zwei Treffen bei der Senatsverwaltung eingeladen, bei denen im ersten Treffen die Projektziele erläutert und die Lage der Bezirke sowie das Aufkommen an Grünresten erörtert wurden. Im zweiten Treffen wurde der Handlungsleitfaden vorgestellt.

Da die für die spezifischen Aufgaben notwendigen Datenbestände zu Größe und Grünmasse-Produktivität einzelner Flächen seitens der Bezirke nicht bereitgestellt werden konnten, wurden Hochrechnungen erarbeitet, die auf Daten des senatseigenen Flächeninformationssystems beruhen. Diese Punkte wurden unter Nutzung der bereits vorhandenen Ergebnisse und Untersuchungen zu verschiedenen Bezirken in Zusammenarbeit mit der Humboldt-Universität zu Berlin bearbeitet.

2. Untersuchung der in der Region derzeit und künftig angebotenen **Verwertungsverfahren**: Insgesamt wurden zehn Marktakteure angefragt, ob und in welcher Weise sie künftig eine höherwertige Verwertung der Grünreste anbieten können. Die Angaben wurden zu kurzgefassten **Steckbriefen** zusammengefasst.

Die **Auswertung** betraf insbesondere

- für die **Lage bei den Bezirksämtern** die Hochrechnung der Mengen an Mähgut und Laub, und die Bewertung der Grünrest-Qualitäten für die Verwertung. Beides wird beeinflusst durch die Art der Flächen und Pflege (insbesondere Schnitthäufigkeit); nach der Art der Pflege werden die Grünflächen in so genannte Pflegekategorien eingeteilt.
- für die **Verwertung** die vergleichende Gegenüberstellung der technischen Verfahren, für die eine **klimaökologische Bewertung** durchgeführt wurde.
- den Vergleich der geschätzten, künftigen **Kosten** mit den heutigen Kosten. Die Mehrkosten einer künftigen Behandlung wurden auf die eingesparten Treibhausgas-Menge bezogen und damit die spezifischen **CO<sub>2</sub>-Minderungskosten** berechnet.

Aus den oben ermittelten Ergebnissen wurde der **Handlungsleitfaden** zusammengestellt, der zum Einen die wesentlichen Informationen aus den o.g. Auswertungen enthält, insbesondere aber die konkreten **Leistungsanforderungen an die künftige Grünrestverwertung**, die bei einer künftigen Ausschreibung der Grünrestverwertung deren klimaökologische Hochwertigkeit sichern.

### 3 Grünresteverwertung im Kontext der klimapolitischen Ziele Berlins

Global hat sich das Land Berlin zum Ziel gesetzt, die Klimagasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu senken. Dabei spielt auch die optimierte energetische Nutzung organischer Abfälle eine Rolle, die in der im Jahr 2009 abgeschlossenen Biomassestudie <sup>1</sup> untersucht wurde. Über eine optimierte energetische Nutzung aller organischen Stoffströme Berlins können rd. 230.000 Mg/a an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten eingespart werden.

Von den betrachteten 1,2 Mio. Mg pro Jahr an Organik-Abfällen in Berlin bilden die Mähgut- und Laubmengen der Berliner Bezirke zwar nur 3 %, der spezifisch realisierbare Beitrag zur Klimaschonung ist jedoch deutlich höher: Über die energetische Nutzung der bezirklichen Grünreste kann gegenüber der Kompostierung eine Treibhausgas-Einsparung von bis zu 500 kg CO<sub>2</sub> je Tonne dieser Materialien erreicht werden. Setzt man in konservativer Schätzung im Mittel rd. 300 kg CO<sub>2</sub> je Tonne an, ergibt dies für 35.000 Mg/a Grünreste gut 10.000 Mg/a eingesparter CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Im Vergleich ist dies eine sehr erhebliche Entlastung: Aus der künftigen Vergärung von 60.000 Mg/a Bioabfällen erwarten die BSR eine Entlastung von lediglich knapp über 5.000 Mg/a CO<sub>2</sub>-Äquiv. pro Jahr.

Das am 12.Mai 2011 vom Berliner **Abgeordnetenhaus beschlossene Abfallwirtschaftskonzept (AWK)** gibt verbindlich vor, dass spätestens 2016 alle biogenen Abfälle einer klimaschonenden Verwertung zugeführt werden sollen. Zur Gewährleistung einer schadlosen und hochwertigen Verwertung gemäß § 5 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz kommt insbesondere allen kommunalen Einrichtungen des Landes Berlin eine Vorbildfunktion gemäß § 23 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz Berlin zu.

Des Weiteren sind alle öffentlichen Auftraggeber des Landes Berlin nach den Vorgaben des § 7 Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetz angehalten, bei der Beauftragung von Dienstleistungsaufträgen zur Verwertung von Abfällen anspruchsvolle Umweltstandards festzulegen.

In Kenntnis der ökologisch besseren Verwertungswege sollen an die künftige Verwertung der Grünreste hochwertige ökologische Mindestanforderungen im Sinne des § 7 Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetzes gestellt werden, die in künftige Ausschreibungen in Form von Leistungsblättern einfließen sollen.

Spätestens ab 1. Januar 2013 sollen diese Umweltschutzanforderungen bei künftigen Ausschreibungen zur Beauftragung von Dienstleistungen zur Grünflächenpflege mit anschließender Verwertung des anfallenden Mähgutes und des Laubs verbindlich zur Anwendung kommen.

---

<sup>1</sup> Witzhausen Institut / ICU, Nutzung von Biomasse in Berlin, 2008

## 4 Mengen

### 4.1 Historische Datenlage und –bereitstellung

Die meisten Ämter führen keine geschlossene Mengen- oder Volumenbestimmung über die bei ihnen anfallenden Grünreste durch, weil dies aus zwei Hauptgründen nicht zwingend erforderlich ist:

- Das Material wird auf dem eigenen Kompostplatz aufbereitet und kompostiert – hierzu müssen keine genaueren Gewichts- oder Volumendaten erhoben werden.
- Bei Fremdvergabe der Grünflächenpflege wird entweder Mulchung des Schnittgutes vereinbart, oder Mitnahme der Grünreste durch den Auftragnehmer zur externe Entsorgung – in beiden Fällen erfolgt keine dem Amt bekannt gegebene Mengenermittlung des Mähgutes und des Laubs.

Lediglich wenn eine externe Verwertung von Grünresten als Entsorgungsleistung erfolgen soll, ist aus dem geschlossenen Vertrag ein Mengenbetrag zu entnehmen. Diese externe Entsorgung deckt aber nur einen Bruchteil der hier in Rede stehenden „Weichorganik“-Mengen an Mähgut und des Laubs ab – für holzige Abfälle ist sie dagegen gut dokumentiert, da diese praktisch vollständig zur energetischen Verwertung gehen.

Insofern müssen große Mengenanteile geschätzt werden. Die letzte Erhebung dazu fand im Rahmen der Biomassestudie 2008 statt und wurde von den Bezirksämtern überwiegend mit Volumina der Grünreste beantwortet, die dann umgerechnet wurden. Das damalige Ergebnis für das **Mähgut** zeigt Tabelle 1. Damals wurden demnach rd. 47.000 m<sup>3</sup> an Grünschnitt bzw. rd. **21.000 Mg** pro Jahr erfasst

Tabelle 1: Mengenerhebung und Verwertung 2008 für Mähgut

Mengen MÄHGUT 2007/08	2007 in Kubikmetern			2007 in Tonnen		
	Summe	selbst	fremd	Summe	selbst	fremd
Charlottenburg-Wilmersdorf	6.050	2.541	3.509	2.723	1.143	1.579
Friedrichshain-Kreuzberg	1.520	0	1.520	684	-	684
Lichtenberg, Hohenschönh.	2.250	0	2.250	1.013	-	1.013
Marzahn-Hellersdorf	6.667	6.667	0	3.000	3.000	-
Mitte	3.200	896	2.304	1.440	403	1.037
Neukölln	1.143	0	1.143	514	-	514
Pankow	5.000	0	5.000	2.250	-	2.250
Reinickendorf	4.934	630	4.304	2.220	283	1.937
Spandau	8.600	0	8.600	3.870	-	3.870
Steglitz-Zehlendorf	1.800	1.500	300	810	675	135
Tempelhof-Schöneberg	1.500	1.500	0	675	675	-
Treptow - Köpenick	3.900	3.900	0	1.755	1.755	-
<b>Summe</b>	<b>46.563</b>	<b>17.634</b>	<b>28.930</b>	<b>20.953</b>	<b>7.935</b>	<b>13.018</b>
angesetzte Dichte für Mähgut	Mg/m <sup>3</sup>	0,45				

Zusätzlich fiel **Laub** bei den bezirklichen Grünflächenämtern nach Tabelle 2 summiert mit rd. **17.000 Mg/a** im Jahr 2008 an.

Tabelle 2 Zusammenfassende Darstellung der Mengenerhebung 2008 für Laub

Mengen LAUB 2007/08 [m <sup>3</sup> /a]	Gesamt	Anteil Verwertung	
		selbst	fremd
Charlottenburg-Wilmersdorf	10.164	4.269	5.895
Friedrichshain-Kreuzberg	1.520	0	1.520
Lichtenberg, Hohenschönh.	9.470	0	9.470
Marzahn-Hellersdorf	6.300	6.300	0
Mitte	5.400	1.512	3.888
Neukölln	1.787	0	1.787
Pankow	10.000	0	10.000
Reinickendorf	7.717	985	6.732
Spandau	4.700	0	4.700
Steglitz-Zehlendorf	3.000	3.000	0
Tempelhof-Schöneberg	2.520	2.520	0
Treptow - Köpenick	6.100	6.100	0
<b>Summe in m<sup>3</sup>/a</b>	<b>68.678</b>	<b>24.686</b>	<b>43.992</b>
<b>Summe in Mg/a</b>	<b>17.170</b>	<b>6.172</b>	<b>10.998</b>
<i>angesetzte Dichte Laub</i>		<i>Mg/m<sup>3</sup></i>	<i>0,25</i>

Im ersten Fachgespräch innerhalb des Projektes mit den beteiligten Grünflächenämtern im November 2010 wurde erklärt, dass sich an der teilweise unvollständigen Datenerhebung – mangels operativer Notwendigkeit – nichts maßgeblich geändert habe.

## 4.2 Berechnung der Flächenerträge über die Pflegekategorien

Daraufhin wurde beschlossen, eine Hochrechnungsmethode zu entwickeln und anzuwenden, die gewisse bezirksspezifische Ungenauigkeiten produziert, aber für die Summe der Biomasse eine brauchbare Mengenermittlung für die bezirklichen Einrichtungen ermöglicht. Diese Methode folgt dem nachstehend skizzierten Ablauf:

- Zunächst wurden die 12 standardisierten Pflegekategorien daraufhin voruntersucht, welche dieser Kategorien hinsichtlich Mähgut- und Laubanfall überhaupt mengenrelevant sind.
- Die für jede Pflegekategorie unterschiedlichen, empirisch ermittelten Flächen-Produktionsraten an Organik pro Jahr wurden zusammengetragen.
- Die Aufteilung der gesamten, im Regime eines bezirklichen Grünflächenamtes stehenden Flächen auf die unterschiedlichen Pflegekategorien wurde abgeschätzt, dies basierend auf der bestehenden, kompletten Auswertung der Flächenaufteilung für einzelne Bezirke.
- Die solchermaßen bezirksweise abgeschätzten Flächen der Pflegekategorien wurden mit den Ertragswerten je Hektar multipliziert und ergeben in der Summe die Mähgutmenge je Bezirk.

### 4.3 Beschreibung der Pflegekategorien

Die Zusammenstellung der Pflegekategorien mit Eigenschaften zeigt Tabelle 3. Die hier aufgenommen Eignung der Grünreste für die verschiedenen Verwertungsverfahren wird in Kapitel 6 näher begründet.

Tabelle 3: Zusammenfassende Darstellung der Pflegekategorien

PK	Nutzung	Mengenpotential	Pflege	Reinheit (Sauberkeit) / Pflanzenbestand	Schnitt pro Jahr	Eignung für Vergärung*	Eignung für Verbrennung / HTC
1	Park- u. Zierrasen	nein	hoch	gut - sehr gut / relativ homogener Rasenbestand	Mahd 25-30x	ungeeignet	bedingt HTC
2	Sportrasen	nein	sehr hoch	sehr gut / homogener Rasenbestand	Mahd bis 48x	ungeeignet	bedingt HTC
3	Gebrauchsrassen	hoch	mittel	mittel / durch mittleren Unkrautbewuchs gekennzeichnete Rasenbestände	Mahd ca. 12x	bedingt geeignet	Verbrennung u. HTC bedingt geeignet nach Trocknung
4	Landschaftsrassen	sehr hoch	gering	gering / durch starken Unkrautbewuchs gekennzeichnete Rasenbestände	Mahd 3-4x	geeignet	Verbrennung u. HTC geeignet
5	Wiesen, Sukzessions- und Biotopflächen	hoch	extensiv	gut / durch Sukzession stark differenziert	Mahd 1-2x	bedingt geeignet	Verbrennung u. HTC geeignet
6	Schmuckbeete	nein	sehr hoch	sehr gut / heterogen	gelegentlicher Pflegeschnitt	ungeeignet	HTC
7	Rabatten	nein	mittel	gut / heterogen	gelegentlicher Pflegeschnitt	ungeeignet	HTC
8	Hecken	nein	gering	—	Schnitt 1-2x	ungeeignet	HTC, Co-Verbrennung
9	Blüh- und Decksträucher	nein	mittel	gut / heterogen	gelegentlicher Pflegeschnitt/ Auslichtung	ungeeignet	HTC, Co-Verbrennung
10	Strauchflächen	nein	gering	gut / heterogen	Auslichtung	ungeeignet	HTC, Co-Verbrennung
11	Baumbestandsflächen	Laub: hoch	gering	mittel / heterogen (Sukzession)	Kronenschnitt, Entnahme	ungeeignet	HTC, Co-Verbrennung
12	Straßenbäume	nein (BSR)	mittel	—	Pflege- u. Sicherheitschnitt, Entnahme	ungeeignet	HTC, Co-Verbrennung

#### 4.4 Flächenspezifische Ertragspotentiale

Die nachstehenden Ausführungen zu den Erträgen basieren auf repräsentativen Ertragsuntersuchungen in den Bezirken Marzahn-Hellersdorf und Treptow-Köpenick. Diese ergaben für die verschiedenen Pflegekategorien folgende durchschnittlichen spezifischen Erträge pro Jahr:

- **Pflegekategorie 1 und 2:** Diese Flächen wurden nicht näher betrachtet, da sie aufgrund der Kleinräumigkeit nur einen sehr geringen Mengenanteil und durch die Häufigkeit der Schnitte einen sehr geringen Anteil an organischer Trockensubstanz mit zudem geringem Vergärungspotential aufweisen.
- **Pflegekategorie 3** umfasst gedüngte und bewässerte Gebrauchsrasenflächen mit bis zu 12 Schnitten pro Jahr. Bei der Auswertung wird mit einem Durchschnittsertrag von 6 Mg/ha bei einer Dichte von ca. 0,33 Mg/m<sup>3</sup> gerechnet.
- **Pflegekategorie 4**, intensiv genutzte Wiesenflächen bzw. „Landschaftsrassen“ mit 3-5 Schnitten pro Jahr, haben einen durchschnittlichen Jahresertrag von ca. 6 Mg/ha an Frischmasse bzw. bei einer Dichte von ca. 0,33 Mg/m<sup>3</sup> rund 18 m<sup>3</sup>/ha.
- **Pflegekategorie 5** Extensiv gemähte Wiesenflächen auf **sandigen und anlehmigen** Böden (Wiesen, Sukzessions- und Biotopflächen) haben durchschnittlich nur einen Ertrag von ca. 2,2 Mg/ha bei einer Dichte von 0,2 Mg/m<sup>3</sup> oder rund 11 m<sup>3</sup>/ha Frischmasse (höherer Trockensubstanzgehalt = geringere Dichte). Extensiv gemähte Wiesenflächen auf **lehmigen Böden** bei guter Wasserversorgung können durchschnittlich einen Ertrag von ca. 8 Mg/ha bei einer Dichte von 0,2 Mg/m<sup>3</sup> oder rund 40 m<sup>3</sup>/ha Frischmasse haben. Für die Berechnung in den Bezirken wurden als Mittelwert 4 Mg/ha für die Pflegekategorie 5 bei einer Dichte von 0,2 Mg/m<sup>3</sup> verwendet.

Die **Straßenbäume** der Pflegekategorie 12 sind zwar durch die bezirklichen Ämter zu pflegen, die Laubentsorgung unterfällt jedoch dem Regime der BSR. Für das **Laub der Bäume in bezirklichen Park- und Grünanlagen (Pflegekategorie 13)** sind dagegen die Grünflächenämter zuständig.

Umfangreiche Untersuchungen zum **Laubanfall** unterschiedlicher Baumarten in Abhängigkeit der Altersstruktur weisen pro Jahr eine Spannweite von 1,2 – 6,8 m<sup>3</sup> pro Baum auf. Der gewichtete Mittelwert - mit einer Sicherheit versehen aufgrund unterschiedlicher Feuchtegehalte - liegt bei ca. **2 m<sup>3</sup> pro Baum und Jahr bzw. ca. 0,1 Mg pro Baum und Jahr.**

#### 4.5 Mengen-Hochrechnung für die Berliner Bezirke.

Die hier vorgenommene Hochrechnung der Mengen an Mähgut und Laub ist als Orientierung über die Biomassesituation der Bezirke zu verstehen. Dieses Vorgehen ist zielführend, um insbesondere sinnvolle Szenarien für die zukünftige Bewirtschaftung der bezirklichen Grünflächen aus energetischen Gesichtspunkten aufzuzeigen.

Die **Flächengröße der Grünflächen** wurde für alle Bezirke der Datenbank der Senatsstadtentwicklungsverwaltung (FIS Broker 2011) entnommen. Die Aufteilung der Gesamtflächen nach Pflegekategorien wurde im April 2011 bei den Ämtern abgefragt, führte jedoch nach den zurückgesandten Ergebnissen noch nicht zu einer vollständig möglichen Dokumentati-

on. Es wurde daher anhand der folgenden abgeschätzten Flächenverteilung eine Hochrechnung für die Bezirke vorgenommen: Mehrere 100 Einzelflächen sind je Bezirk in der o.g. Datenbank ausgewiesen. Die Flächengröße (über oder unter 1 ha) hat Einfluss darauf, in welchem Umfang eine „energetisch verwertbare“ Pflege stattfindet und wie sich die Pflege nach Kategorien verteilt. Die Anteile wurden aus dem kürzlich vollständig erfassten Berliner Bezirk Marzahn-Hellersdorf abgeleitet und für die anderen Bezirke angewendet.

Tabelle 4: Zur Hochrechnung angesetzte energetisch produktive Flächenanteile und Pflegekategorie-Anteile

Abschätzung der Flächenzuordnung	Teilflächengröße	
	unter 1 ha	über 1 ha
<b>Außenbezirke</b> - Reinickendorf., Spandau, Steglitz - Zehlendorf, Tempelhof. - Schöneberg, Neukölln, Treptow - Köpenick, Marzahn - Hellersdorf, Lichtenberg .-Hohenschönhausen, Pankow – Weißensee		
Anteil mit energetischem Potential	95%	86%
<i>davon PK 3</i>	60%	25%
<i>davon PK 4</i>	40%	40%
<i>davon PK 5</i>	0%	35%
<b>Innenstadt-</b> Charlottenburg – Wilmersdorf, Friedrichshain – Kreuzberg, Mitte		
Anteil mit energetischem Potential	95%	70%
<i>davon PK 3</i>	80%	30%
<i>davon PK 4</i>	20%	50%
<i>davon PK 5</i>	0%	20%

Danach ergeben sich für die Bezirke die in Tabelle 5 aufgeführten, berechneten Jahresmengen an **Mähgut** je Pflegekategorie.

Unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Unschärfen einer solchen Abschätzung kann festgehalten werden, dass die Jahreserträge der PK 4 mit rd. 13.000 Mg/a den größten Gewichtsbeitrag liefern, gefolgt von der PK 3 mit rd. 9.000 Mg/a und der PK 5 mit 6.000 Mg/a. Gesamt ergibt diese Hochrechnung einen Betrag von rd. **28.000 Mg/a an Mähgut**. Dieses Potential enthält auch die Mähgut-Anteile, die unmittelbar bei der Mahd wieder gemulcht werden.

**Laubanfall:** Nach den auswertbaren Auskünften der Bezirksämter zu den Baumbeständen wurde in Tabelle 6 das Laubvolumen angesetzt, das für eine Verwertung verfügbar gemacht werden kann – konservativ sind dies 25 % des Gesamtlaubes. Wie in Kapitel 1 angesprochen und durch die bezirklichen Grünflächenämter bestätigt, wird beim Laub analog zum Mähgut davon ausgegangen, dass aufgrund der angespannten Personal- und Kostenlage zunächst kein weiterer Aufwand betrieben werden kann, um die Erfassung zu erweitern. Obwohl sich die Erfassung grob geschätzt in den Bereich von 50 % des Gesamtlaubes ausdehnen ließe, werden zunächst die verbleibenden 75 % unter den derzeitigen finanziellen Rahmenbedingungen als nicht erfassbares Mulchgut angesetzt. Somit ergeben sich damit rund **53.000 m<sup>3</sup> bzw. 13.000 Mg pro Jahr an Laubmasse**. Unter verbesserten finan-

ziellen Rahmenbedingungen könnte dieses erfassbare Potential auf rund 26.000 Mg pro Jahr verdoppelt werden.

Tabelle 5: Hochrechnung der Jahresmengen an Mähgut nach Pflegekategorien

Mähgutmengen der Bezirke	PK 03		PK 04		PK 05		Summe PK 03, 04, 05	
	(ha)	Mg/a	(ha)	Mg/a	(ha)	Mg/a	(ha)	Mg/a
Charlottenburg-Wilmersdorf	90	542	103	618	38	151	231	1.312
Friedrichshain-Kreuzberg	64	384	56	335	19	75	139	794
Lichtenberg	148	888	196	1.175	146	584	490	2.647
Marzahn-Hellersdorf	138	843	244	1.467	241	955	623	3.264
Mitte	132	789	250	1.502	55	221	437	2.512
Neukölln	79	475	139	833	74	298	292	1.606
Pankow	176	1.059	242	1.453	187	747	606	3.260
Reinickendorf	131	787	187	1.124	150	599	468	2.510
Spandau	156	955	209	1.254	183	771	548	2.980
Steglitz-Zehlendorf	140	840	202	1.213	163	653	505	2.706
Tempelhof-Schöneberg	59	356	85	509	67	268	211	1.132
Treptow-Köpenick	138	831	227	1.362	206	823	571	3.015
<b>Summe Bezirke</b>	<b>1.452</b>	<b>8.748</b>	<b>2.141</b>	<b>12.845</b>	<b>1.529</b>	<b>6.145</b>	<b>5.121</b>	<b>27.738</b>
Ertrag Mg/ha		<b>6,03</b>		<b>6,00</b>		<b>4,02</b>		<b>5,42</b>

Tabelle 6: Hochrechnung der Jahresmengen an Laub

Laubmengen - Bezirke	Bäume	Laubmenge gesamt		Laubmenge erfassbar	
		100%		Abschätzung: 25%	
Bezirk	[Stück]	[m³/a]	[Mg/a]	[m³/a]	[Mg/a]
Charlottenburg-Wilmersdorf	57.200	114.400	5.720	28.600	1.430
Friedrichshain-Kreuzberg	28.900	57.800	2.890	14.450	723
Lichtenberg, Hohenschönh.	39.000	78.000	3.900	19.500	975
Marzahn-Hellersdorf	49.980	99.960	4.998	24.990	1.250
Mitte	34.840	69.680	3.484	17.420	871
Neukölln	25.000	50.000	2.500	12.500	625
Pankow	54.829	109.658	5.483	27.415	1.371
Reinickendorf	57.200	114.400	5.720	28.600	1.430
Spandau	34.190	68.380	3.419	17.095	855
Steglitz-Zehlendorf	70.000	140.000	7.000	35.000	1.750
Tempelhof-Schöneberg	30.000	60.000	3.000	15.000	750
Treptow - Köpenick	44.179	88.358	4.418	22.090	1.104
<b>Summe Bezirke</b>	<b>468.118</b>	<b>1.050.636</b>	<b>52.532</b>	<b>262.659</b>	<b>13.133</b>

Bei im einzelnen Bezirk nicht bekannter Anzahl der Anlagenbäume wurde für deren Abschätzung die für jeden Bezirk bekannte Anzahl der Straßenbäume mit dem Faktor 1,3 (*kursiv dargestellt*) multipliziert; in diesem gemittelten Verhältnis stehen bei den Bezirken, die Angaben zu den Anlagenbäumen machen konnten, deren Anzahl zur Anzahl der bezirklichen Straßenbäume.

Tabelle 7 liefert aus der obigen Hochrechnung die ermittelten Mengen an Mähgut und Laub für die einzelnen Bezirke.

Tabelle 7: Anfall von Mähgut und Laub je Bezirk

Anfall Mähgut und Laub	Mähgut Summe PK 3, 4, 5	Laubmenge, 25% erfassbar	Summe Mäh- gut und Laub
	[Mg/a]	[Mg/a]	[Mg/a]
Charlottenburg-Wilmersdorf	1.312	1.430	2.742
Friedrichshain-Kreuzberg	794	723	1.516
Lichtenberg	2.647	975	3.622
Marzahn-Hellersdorf	3.264	1.250	4.514
Mitte	2.512	871	3.383
Neukölln	1.606	625	2.231
Pankow	3.260	1.371	4.630
Reinickendorf	2.510	1.430	3.940
Spandau	2.980	855	3.835
Steglitz-Zehlendorf	2.706	1.750	4.456
Tempelhof-Schöneberg	1.132	750	1.882
Treptow-Köpenick	3.015	1.104	4.120
<b>Summe Bezirke</b>	<b>27.738</b>	<b>13.133</b>	<b>40.871</b>

Notwendigerweise haben die jeweiligen Außenbezirke durch die größeren Grünflächen den höheren Mähgut-Anfall mit teilweise über 3.000 Mg/a. Tendenziell korreliert auch der Laub-anfall mit der Bezirksgröße.

## 5 Derzeitige Verteilung der internen bzw. externen Kompostierung

Im April 2011 wurden die Bezirksämter analog zur Befragung 2008 nach Mengen von Grünresten befragt, und in diesem Zusammenhang wurde auch die Verteilung der aktuellen Verwertungswege für die Kompostierung in einem Fragebogen gemäß Abbildung 1 abgefragt.

Wie bereits oben ausgeführt, konnten die bezirklichen Grünflächenämtern zum größten Teil keine belastbaren Angaben zum Mengenanfall der Biomasse bereitstellen. Dagegen konnten die Ämter Hinweise darüber geben, wie die Verwertung - intern oder extern - erfolgt, wenn die Pflege der Flächen vom Amt selbst oder aber von einem externen beauftragten Dienstleister durchgeführt wird. Das Ergebnis zeigt Tabelle 8.

<b>Bezirk:</b>			<b>Bearbeitung:</b>		
<b>Datum:</b>					
<b>Rasenschnitt Leistungs- und Mengenverteilung</b>					
Pflegekategorie:		2 und 3	<b>Mähgut geht zu ...</b>		
<b>Ausführung Mähen</b>	ha	Menge m³/a	Flächen- mulchung	amtseigenem Kompostplatz	externer Verwertung
<b>Amt selbst</b>			x %	y %	z %
<b>Fremd</b>			x %	y %	z %
Summe					
Pflegekategorie:		4	<b>Mähgut geht zu ...</b>		
<b>Ausführung Mähen</b>	ha	Menge m³/a	Flächen- mulchung	amtseigenem Kompostplatz	externer Verwertung
<b>Amt selbst</b>			x %	y %	z %
<b>Fremd</b>			x %	y %	z %
Summe					
<b>Laub Leistungs- und Mengenverteilung</b>					
			<b>Laub geht zu ...</b>		
<b>Ausführung Laubsamml.</b>	Hektar bzw. Anzahl Bäume	m³/a	Flächen- mulchung	eigenem Kompostplatz	externer Verwertung
<b>Amt selbst</b>			x %	y %	z %
<b>Fremd</b>			x %	y %	z %
Summe					

Abbildung 1: Fragebogen an die Bezirke

Aus den zugegangenen Antworten ist zunächst abzuleiten, dass bei Pflege durch das Amt selbst für **Mähgut** nur ein recht geringer Anteil gemulcht wird, sprich direkt nach der Mahd auf der Grünfläche belassen wird. Der gemulchte Laubanteil ist deutlich höher. Vom Mähgut geht - bei Pflege-Eigenleistung - der größte Anteil entweder zur bezirkseigenen Kompostierung oder wird extern verwertet – diese Alternativen stellen sich von Bezirk zu Bezirk recht ausschließlich dar. Hier ist also künftig anstelle der bislang eigenen und der extern beauftragten Kompostierung von Grünresten eine höherwertigere Verwertung einzufordern. Das bislang gemulchte Grünrestmaterial stellt ein zusätzlich erschließbares Mengenkontingent für die Verwertung dar.

Demgegenüber sind bei Fremdbeauftragung der Grünflächenpflege die beauftragten Firmen angehalten, die Grünreste (Mähgut und Laub) vollständig einzusammeln und anschließend extern in entsprechenden Anlagen zu entsorgen. Eine Mulchung findet nicht statt, ebenso wird das abgetragene Grünrest-Material nicht zu bezirkseigenen Kompostierungsanlagen verbracht. Somit sind die beauftragten Dienstleister für die Grünflächenpflege weitestgehend auch für die Verwertung verantwortlich. Diese Praxis vereinfacht die künftige Umsetzung auf eine höherwertige Verwertung der Biomasse, indem von den bezirklichen Grünflächenämtern problemlos entsprechende ökologische Mindestkriterien in die jeweiligen Ausschreibungen aufgenommen werden können.

Tabelle 8: Anteile der Verwertung bei Eigen- oder Fremddurchführung der Grünflächenpflege

Anteile Verwertung		Pflege SELBST durch Amt			Pflege FREMD vergeben		
Antwort Bezirk - 2011		Grünresteverwertung ...			Grünresteverwertung ...		
PK 2 u. 3 - Mähgut		gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt	gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt
1	Charlottenburg-Wilmersdorf	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2	Friedrichshain-Kreuzberg	k.A.	k.A.	100%	k.A.	k.A.	100%
3	Lichtenberg, Hohenschönh.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
4	Marzahn-Hellersdorf	0%	100%	0%	0%	0%	100%
5	Mitte	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
6	Neukölln	0%	100%	0%	0%	0%	100%
7	Pankow	10%	90%	0%	0%	0%	100%
8	Reinickendorf	k.A.	k.A.	100%	k.A.	k.A.	100%
9	Spandau	0%	0%	100%	0%	0%	100%
10	Steglitz-Zehlendorf	20%	80%	0%	0%	0%	100%
11	Tempelhof-Schöneberg	5%	95%	0%	0%	0%	100%
12	Treptow - Köpenick	17%	34%	50%	0%	0%	0%
<hr/>							
PK 4 - Mähgut		gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt	gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt
1	Charlottenburg-Wilmersdorf	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2	Friedrichshain-Kreuzberg	k.A.	k.A.	100%	k.A.	k.A.	100%
3	Lichtenberg, Hohenschönh.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
4	Marzahn-Hellersdorf	0%	100%	0%	0%	0%	100%
5	Mitte	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
6	Neukölln	20%	80%	0%	0%	0%	100%
7	Pankow	1%	99%	0%	0%	0%	0%
8	Reinickendorf	k.A.	k.A.	100%	k.A.	k.A.	100%
9	Spandau	0%	0%	100%	0%	0%	100%
10	Steglitz-Zehlendorf	20%	80%	0%	0%	0%	100%
11	Tempelhof-Schöneberg	0%	100%	0%	0%	0%	100%
12	Treptow - Köpenick	43%	8%	50%	0%	0%	0%
<hr/>							
Laub		gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt	gemulcht	kompostiert	fremd entsorgt
1	Charlottenburg-Wilmersdorf	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2	Friedrichshain-Kreuzberg	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
3	Lichtenberg, Hohenschönh.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
4	Marzahn-Hellersdorf	50%	50%	0%	0%	0%	100%
5	Mitte	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
6	Neukölln	60%	40%	0%	0%	0%	100%
7	Pankow	25%	75%	0%	0%	0%	0%
8	Reinickendorf	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
9	Spandau	0%	0%	100%	0%	0%	0%
10	Steglitz-Zehlendorf	60%	40%	50%	0%	0%	0%
11	Tempelhof-Schöneberg	30%	70%	0%	0%	0%	100%
12	Treptow - Köpenick	5%	45%	50%	0%	0%	0%
		zusätzliches Organik- Potential	künftig extern und hochwertiger verwertet	weiter extern und künftig hochwertiger verwertet	nicht relevant		weiter extern und künftig hochwertiger verwertet

## 6 Verwertungseignung der Grünreste

Für die in Kapitel 7 dargestellten Verwertungsverfahren sind die bei den bezirklichen Ämtern anfallenden Grünreste unterschiedlich geeignet. Dies betrifft vorrangig die **Vergärung**, da für eine hohe Biogas-Ausbeute das organische Material entsprechend biologisch abbaubar sein muss.

Aus Tabelle 9<sup>2</sup> ist zur allgemeinen Orientierung ersichtlich, dass **Mähgut (=“Grünschnitt“)** im Allgemeinen eine **hohe Biogasausbeute** aufweist, während **Laub** aufgrund der schlechten biologischen Verfügbarkeit trotz eines höheren TS-Gehaltes eine wesentlich geringere Gasausbeute aufzeigt und damit **für die Vergärung nicht geeignet ist**.

Tabelle 9: Biogaserträge verschiedener organischer Reststoffe

Substrat	TS	Biogasertrag	CH <sub>4</sub> -Gehalt	Eignung für die Vergärung (bzgl. derzeitiger Stoffeigenschaften)
	[%]	[m <sup>3</sup> /Mg FM]	[Vol.-%]	
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

Im folgenden werden diese qualitativen Aspekte an Mähgut und Laub detaillierter dargestellt. Gemeinsamer Bezugspunkt sind dabei die oben benannten Pflegekategorien.

### 6.1 Mähgut

Zur wirtschaftlichen Funktion einer **Vergärung** von Mähgut sind **biologische** Parameter einzuhalten: Wassergehalt, Rohfasergehalt, Rohzucker, Rohproteingehalt sowie Zellulose und Ligningehalt sind die wesentlichen Parameter, die die Eignung eines Pflanzenbestandes für eine Vergärung bestimmen. Bei einem **späten** Schnittzeitpunkt und dem damit verbundenen, altersbedingt geringen Rohprotein- und Rohzuckergehalt ist eine Vergärung nicht mehr effizient. Ebenso ungünstig für eine effektive Biogaserzeugung ist ein **häufiges** Mähen von Flächen (Rasenflächen der Pflegekategorie 1 und 2), da der Wassergehalt meistens

<sup>2</sup> aus Biomassestudie Berlin, S. 86

hoch, Zucker- und Rohproteingehalt aber noch niedrig liegen. Die Verwertungseignung von Mähgut nach Pflegekategorien zur Vergärung stellt sich wie folgt dar:

**Pflegekategorie 1 und 2:** Aufgrund der Häufigkeit der Schnitte auf **Park-, Zier- und Sportrasen** ist wegen des geringen Biogasertrage eine getrennte Erfassungs-Organisation zur energetischen Verwertung wenig sinnvoll.

**Pflegekategorie 3:** Der häufige Schnitt auf **Gebrauchsrasenflächen** (etwa 10-12 mal pro Jahr) verhindert ein hohes Vergärungspotential. Wenn allerdings an den Annahmestellen Möglichkeiten der Silierung geschaffen werden, kann die Gasausbeute erhöht werden.

**Pflegekategorie 4:** In den Flächen des **Landschaftsrasens** (mit 3 bis 4 Schnitten) liegt das größte Potential für eine Vergärung inklusive Anpassung der Schnittzeitpunkte für optimale Qualitäten hinsichtlich Vergärung. Da es sich meistens nicht um zusammenhängende Großflächen handelt, ist ein Einsatz von Großtechnik wenig sinnvoll. Das Anwelken und Silieren könnte an den Annahmestellen erfolgen, in einigen Teilgebieten (Summe ca. 800 ha in Berlin) wäre ein Anwelken auf der Fläche möglich.

**Pflegekategorie 5:** In den ausgewiesenen **Landschaftsschutzgebieten** (mit 1 bis 2 Schnitten pro Jahr) sind ca. 75 % extensiv gepflegte Wiesen, bei denen der 1. Schnitt nicht vor dem 15. Juli durchgeführt werden darf, allerdings erfolgt auch auf den anderen Wiesenflächen der erste Schnitt meistens erst im Juni/Juli. Das Biogasbildungspotential des ersten Schnittes dieser Flächen ist gering, der zweite wäre als Anwelksilage als Co-Vergärungssubstrat geeignet.

Generell müsste bei Schnitten im Herbst darauf geachtet werden, **kein oder nur wenig Laub** mit zu erfassen, da dieses in der Vergärung im besten Fall nur energetisch ineffektiven Ballast darstellt, im schlechten Fall eine Schwimmdeckenbildung in den Fermentern verstärkt.

Verbrennung und HTC stellen demgegenüber keine Ansprüche an die biologische Abbaubarkeit der organischen Masse und damit auch nicht an eine sorgfältigere Vortrennung der Grünreste. Negativ wirkt sich - speziell bei der Verbrennung - gegenüber der Vergärung ein höherer Wassergehalt (> 75 %) aus, wie in Kapitel 7 noch ausgeführt wird

Gelänge es auf den Annahmeflächen, Möglichkeiten der Trocknung zu schaffen, könnte damit vorteilhafterweise bei gleichem Energiegehalt die zu transportierende Masse vermindert werden. Begünstigt wird damit **jedes** nachgeschaltete Verwertungsverfahren, also neben der Vergärung auch die Trocknung mit Verbrennung sowie die hydrothermale Karbonisierung.

## 6.2 Laub

Im Gegensatz zu Mähgut ist **Laub** generell nicht zur Vergärung geeignet, weil das Gasbildungspotential stoffbedingt zu gering ist. Somit kommt für eine höherwertige Verwertung nur die rein energetische Verwertung (Verbrennung oder HTC-Verfahren) in Betracht. In diesem Fall entfällt auch die Notwendigkeit, eine sorgfältige Abgrenzung vom Mähgut vornehmen zu müssen, falls im Herbst das Falllaub mit der letzten Mahd aufgenommen wird.

## 7 Verfahren zur höherwertigen energetischen Verwertung

### 7.1 Technische Darstellung

Ziel aller höherwertigeren und klimaschonenden Verwertungsverfahren ist es, den Energiegehalt der Grünreste weitestgehend zu nutzen und die bei den Verfahren auftretenden schädlichen Emissionen an Klimagasen zu minimieren. Die potentiellen Anbieter im Raum Berlin wurden zu Verfahrenstechniken, Kapazitäten und Realisierungszeiträumen befragt. Die drei aussichtsreichsten Haupt-Verfahren werden nachstehend kurz skizziert und sind in Tabelle 10 im Vergleich zur Kompostierung zusammengefasst.

Im Vorgriff auf die in Kapitel 7.3 dargestellten Ergebnisse zur Klimabilanz sei hier bereits erwähnt: Die rein energetischen Verfahren erzielen grundsätzlich einen deutlich höheren Klima-Vorteil, weil sie die organische Substanz fast vollständig nutzen und die Klimagut-schrift energetisch ersetzter, klimaschädlicher Kohle höher ausfällt als diejenige für Kompost aus der Vergärung. Zudem können bei Vergärungsanlagen hohe Emissionen an schädlichen Klimagasen (z.B. Methan und Lachgas) auftreten, die die Klimabilanz solcher Anlagen spürbar verschlechtern.

**Vergärung:** Die stofflich-energetische Vergärung ist grundsätzlich nur für Mähgut sinnvoll einsetzbar, da Laub keine relevanten Biogasausbeuten erwarten lässt. Rund 50 % der organischen Substanz werden zu Biogas umgesetzt, die andere Hälfte wird als Gärrest stofflich verwertet. Klimakritisch sind Methan- und Lachgasfreisetzungen bei Vergärungsanlagen, sofern bei diesen die Methanemissionen nicht nach den Vorgaben der TA-Luft begrenzt werden. Die klimaschädliche Wirkung dieser Gase besteht darin, dass Methan 21-fach, Lachgas 298-fach klimawirksamer ist als Kohlendioxid.

**Verbrennung:** Die Verbrennung macht die gesamte organische Masse energetisch verwertbar, Kompost kann nicht gewonnen werden. Für eine Mitverbrennung z.B. in effizienten Heizkraftwerken müssen insbesondere feuchte Grünreste vorher - in der Regel mit Erdgaseinsatz - getrocknet werden. Eine rohfeuchte Zudosierung von Grünresten ist nur in kleineren Anteilen in Biomassekraftwerken möglich.

**Hydrothermale Karbonisierung (HTC):** Bei diesem innovativen Verfahren wird das Grünmaterial nach Aufbereitung in einem Wasserkreislauf auf 5 % Trockensubstanz suspendiert und in einem druckfesten System auf rd. 210 °C bei 20 bar erhitzt. Die organische Substanz zerfällt, sinkt als schwarzgefärbter Schlamm ab, wird aus der Flüssigphase extrahiert und nachfolgend getrocknet. 80 - 85 % der organischen Substanz werden als hochwertiges Kohleersatz-Produkt zurückgewonnen.

Die erzeugte Biokohle ist ein staubförmiger Ersatzbrennstoff, dessen Zusammensetzung und Eigenschaften mit denen von Braunkohlenstaub vergleichbar ist. Der Einsatz ist gegenüber Braunkohlenstaub jedoch CO<sub>2</sub>-neutral.

**Alle rein energetischen Verfahren** wie Verbrennung und hydrothermale Karbonisierung stellen **weniger Anforderungen** an die Konsistenz der Roh-Grünreste als die Vergärung, weil sie unabhängig von einer biologischen Verfügbarkeit der organischen Substanz arbeiten, und sind **daher auch für Laub geeignet**.

Tabelle 10: Kenngrößen der Verwertungsverfahren

Kenngrößen der Verfahren	Kompostierung	Vergärung	Trocknung und Verbrennung	Hydrothermale Karbonisierung
Kurzbeschreibung	Verrottung in Mieten, Siebung, Komposterzeugung	Biogaserzeugung i.d.R. Verstromung in BHKW, oder Veredelung zu Treibstoff	Trocknung auf Restfeuchte von 15 % i.d.R. per Erdgas, Co-Feuerung im Kohle-Kraftwerk	Druckerhitzung des Rohstoffs, Zersetzung der Organik zu „Biotrikohle“
Bevorzugt geeignete Rohstoffe	Alle, bei mind. 30 % Porenvolumen der Miete	<b>Hochfeuchte Abfälle:</b> Bioabfall Innenstadt, <b>Mähgut</b>	Alle „ <b>niedrigfeuchten</b> “ Abfälle, <b>Laub</b>	Alle „ <b>niedrigfeuchten</b> “ Abfälle, <b>Laub</b>
Erzeugter Energieträger	keiner	Biogas Einsatz in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Fernwärmeerzeugung; alternativ Nutzung als Treibstoff	fester Brennstoff als Kohleersatz	fester Brennstoff als Kohleersatz
Klimabilanz <sup>3</sup>	Klimabelastung von 0 – 50 kg CO <sub>2</sub> pro Tonne Input	Klimaentlastung von 60 – 245 kg CO <sub>2</sub> pro Tonne Input <sup>4</sup>	Klimaentlastung von 200 - 400 kg CO <sub>2</sub> pro Tonne Input	Klimaentlastung von 250-500 kg CO <sub>2</sub> pro Tonne Input
Komposterzeugung	ja	ja	nein	teilweise
Kosten € pro Mg Input	10-30	Erlöse von bis zu 5 Euro bzw. Kosten bis zu 30 Euro	10-30	10-30
Anzahl potentielle Anbieter	mind. 10 im Raum Berlin	2	2	2
Unternehmen	verschiedene	a) Hennickendorfer Kompost, b) GASAG	a) RWE, b) Vattenfall	Suncoal / Carbon-solutions
Termin zur Verfügbarkeit der Anlagen	sofort	a) Mai 2011 b) perspektivisch	a) Test Okt. 2011, b) perspektivisch	Pilotanlagen, erste großtechnische Anlagen 7/2012

<sup>3</sup> Spannweite je Verfahren meist bestimmt durch den Trockensubstanz-(TS)-Gehalt des Rohstoffs

<sup>4</sup> Größere Spannweite bestimmt durch Maßnahmen zur Minimierung der Methanemission

## 7.2 Regionale Anbieter höherwertiger Verfahren

Im Folgenden werden die übermittelten Informationen der befragten Anlagenbetreiber und -standorte kurz skizziert, die detaillierteren Angaben sind den jeweils 1-seitigen Steckbriefen im Anhang 12.1 zu entnehmen<sup>5</sup>.

### 7.2.1 Vergärung – Plan E-Büssow GmbH – Hennickendorf

Als Vergärungsanlagen für die Mitvergärung von Mähgut steht potentiell die Trockenfermentationsanlage im Batchverfahren mit sechs Fermentersystemen der Fa. PlanE Büssow & Co KG in Hennickendorf zur Verfügung. Die Jahreskapazität beträgt 18.000 Mg/a.

Die aus sechs Boxen bestehende Trockenfermentationsanlage wird über einen Radlader mit vorgemischtem Grünresten beschickt und im gasdichten Fermenter mit Perkolationsverfahren über einen Zeitraum von ca. 28 Tagen vergoren. Die Nachkompostierung erfolgt in offenen Mieten.

### 7.2.2 Vergärung – GASAG – Schwedt / Rathenow

Die NAWARO-Vergärungsanlagen der GASAG in Rathenow und ab Herbst 2011 in Schwedt (Oder) stünden prinzipiell zur Verfügung.

Die NAWARO-Vergärungsanlagen der GASAG sind Nassfermentationsanlagen und sollen primär mit NAWARO Stoffen betrieben werden. Der ausgetragene Flüssiggärrest wird der Landwirtschaft als Flüssig-Dünger zugeführt.

Die GASAG ist grundsätzlich an einer Übernahme vergärbarer Landschaftspflegematerialien interessiert. Allerdings sind die bereitstellbaren Kontingente vergleichsweise gering, und die GASAG befürchtet aufgrund der größeren Transportentfernungen damit steigende Kosten wie auch ökologische Zusatzbelastungen, die der Nachhaltigkeit der Verwertung abträglich sein könnten.

### 7.2.3 Direkte Verbrennung - HHWE Berlin-Rudow - RWE

Das Biomasse-Heizkraftwerk Berlin-Rudow wurde 2003 in Betrieb genommen. Es wird dominierend mit höher belastetem, voraufbereitetem Altholz betrieben und produziert über zwei Feuerungslinien mit je 15 Mg/h in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eine Leistung von 29 Megawatt elektrischen Strom und 66 Megawatt Wärme. Der aktuelle Input beträgt rd. 220.000 Mg/a. Rund. 10 % dieser Kapazität könnten mit zusätzlichen Grünresten zusätzlich belegt werden. In einem ersten Einspeisungsversuch von „Altlaub“ ergeben sich jedoch noch Komplikationen in der Fördertechnik, so dass in diesem Bereich nach Anpassungen erforderlich sind, die im Laufe des Jahres 2011 untersucht werden sollten.

---

<sup>5</sup> Trotz Nachfragen waren bedauerlicher Weise von der angefragten MEAB keine Aussagen zur Mitbehandlung von derartigen Grünreste in ihren MBA-Anlagen zu erhalten.

#### **7.2.4 Trocknung vor Co-Verbrennung – Lausitz/Berlin - Vattenfall**

Nach Ansicht von Vattenfall sind die biogenen Stoffe Laub und Rasenschnitt durch den saisonal schwankenden Anfall und eine sehr geringe Dichte nur mit einem großen Konfektionsaufwand für die Mitverbrennung in den Vattenfall-Braunkohlekraftwerken der Lausitz erschließbar. Daher sieht Vattenfall eine Verwertung der erzeugten Brennstoffe in den Grundlastkraftwerken der Lausitz aus wirtschaftlichen Aspekten eher als unwahrscheinlich an.

Im Gegensatz dazu hält Vattenfall die Brennstoffherzeugung aus zusätzlich erfassten Grünresten in Berlin für ihre Kraftwerke für aussichtsreicher. Speziell für das Kraftwerk Reuter wurde eine Trocknungsanlage für Grünreste planerisch untersucht. Dies ergab zwar eine technisch machbare Option, jedoch ist das bestehende Kraftwerk Reuter nur nach der 13. BImSchV. genehmigt und nicht nach der 17. BImSchV, wie dies für die Verbrennung von Abfällen – dazu gehören getrocknete Grünreste – erforderlich wäre.

#### **7.2.5 Trocknung vor Co-Verbrennung – MPS – Anlagen – BSR und ALBA**

Zwei Mechanisch-Physikalischen-Trocknungsanlagen (MPS-Anlagen) werden in Berlin-Pankow und Berlin-Reinickendorf betrieben. Die Anlagen haben eine Kapazität von jeweils 190 000 Mg/a. Diese Anlagen dienen vorrangig der Entsorgung des im Land Berlin anfallenden Siedlungsabfalls zur Beseitigung. Die beiden Anlagen gehören überwiegend der BSR; lediglich ein Anteil an der MPS-Reinickendorf steht im Eigentum des Unternehmens ALBA.

Laut Auskunft von ALBA verfügen die dem Unternehmen ALBA gehörenden MPS-Anlageanteile derzeit über freie, zur Verfügung stehende Trocknungs-Kapazitäten, die für biogene Stoffe eingesetzt werden könnten. Es könnten also auch Grünreste mitgetrocknet werden, die dann - eingemischt in die anderen in der MPS-Anlage abgetrennten und getrockneten Bestandteile - für die Mitverbrennung zum Kraftwerk Jänschwalde transportiert würden. Es steht eine Kapazität von 3.300 – 6.600 Mg/Monat als freie Kapazität zur Verfügung. Für die weitere Konkretisierung der Kapazität, technischen Anpassung und der Verwertungskosten soll im Spätsommer/Herbst 2011 ein Versuch durchgeführt werden.

Ähnlich äußerte sich die BSR als Eigentümerin der MPS-Anlage Pankow. Die BSR bieten ebenfalls einen Versuch im Herbst an, um nähere Erkenntnisse zu sammeln. Erwartet werden bei Behandlung von Laub und Mähgut über die MPS deutliche Kostenerhöhungen.

#### **7.2.6 HTC - Ludwigsfelde - SUNCOAL GmbH**

Das CarboRen-Verfahren der Fa. Suncoal arbeitet nach dem Prinzip der hydrothermalen Karbonisierung (HTC). Als Einsatzstoff ist jede Art naturbelassener Biomasse geeignet, auch feuchte kommunale biogene Reststoffe wie z.B. Laub, Strauch-, Hecken- und Rasenschnitt oder Holz aus der Landschaftspflege.

Die Inbetriebnahme der ersten industriellen Produktionsanlage in Ludwigsfelde südlich von Berlin ist für 2012 geplant. Dort sollen aus jährlich 50.000 Mg feuchter Biomasse 20.000 Mg „Biokohle“ erzeugt werden. Die Belieferung soll unter Einbindung von bestehenden Kompostwerken erfolgen, die bislang die vollständige Verarbeitung der Grünreste übernehmen und diese künftig für das CarboREN-Verfahren aufbereiten.

Aktuell wird eine Technikumsanlage mit einem Durchsatz von rd. 500 kg/h am Standort Ludwigsfelde betrieben.

**7.2.7 HTC - Teltow – Carbon Solutions GmbH**

Für das HTC - Verfahren der Fa. Carbon-Solutions (CS) ist ebenfalls praktisch jede Art naturbelassener Biomasse geeignet. Aktuell wird eine Anlage mit einem Durchsatz von rd. 1.000 kg/h am Standort Teltow betrieben, bei der nach Angaben von CS ein kontinuierlicher Betrieb der HTC realisiert ist ( i.d.R. erfolgt sonst die HTC im Batch-Betrieb)

Für zwei weitere industriellen Produktionsanlage in der Größenordnung von 20.000 Mg/a, integriert in bestehende Industrieanlagen außerhalb der Region Berlin, befindet sich CS in der Planung. An der Realisierung von Anlagen im Raum Berlin besteht Interesse, aktuell befinden sich jedoch keine Anlagen in der Planung / Genehmigung.

**7.2.8 Biologische Trocknung – MBA Nauen – ABH-mbH (Havelland)**

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage in Schwanebeck bei Nauen verarbeitet in einer konventionellen, aeroben MBA rd. 70.000 Mg/a an Hausmüll und Hausmüllfraktionen. Die die Anlage betreibende abh-mbh erwägt mittelfristig eine Optimierung der Anlage, in Folge derer Aufnahmekapazitäten für Grünreste freigesetzt werden können. Die rd. 30 km westlich Berlins liegende Anlage könnte damit u.a. einen Beitrag zur Trocknung, Zwischenlagerung und Aufbereitung von Grünresten, speziell von Spitzenmengen an Laub leisten. Gemäß nachstehender Abbildung bestünde die Möglichkeit, die nicht sofort verwertbaren Mengen zu einem späteren Zeitpunkt nutzbar zu machen.

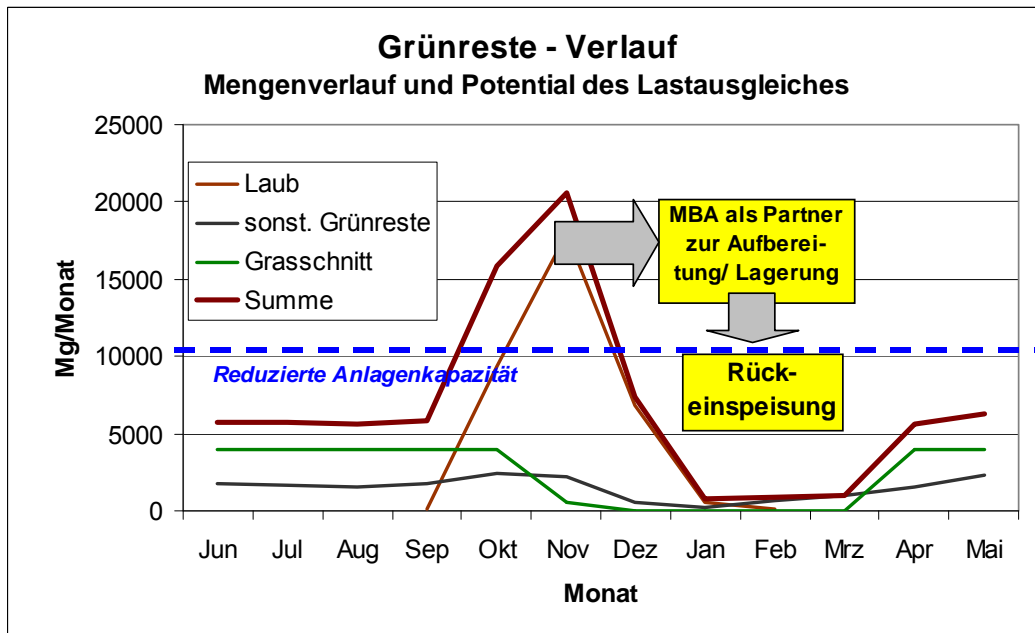


Abbildung 2: Potentieller Einsatz einer modifizierten MBA zur Trocknung und Zwischenlagerung von Grünresten als Brennstoff

## 7.3 Massen-, Energie und Klimavergleich der Verfahren

In diesem Kapitel werden die beschriebenen Verwertungsverfahren einem Massen-, Energie- und Klimavergleich unterzogen.

### 7.3.1 Methodik und Rahmendaten

Im Folgenden werden die zur Verfügung stehenden hochwertigen klimaschonenden Verwertungsverfahren für Laub und Mähgut gegenübergestellt und bilanziert.

Verglichen werden die Verfahren

- Vergärung
- Trocknung / Verbrennung
- HTC-Verfahren (hydrothermale Karbonisierung).

Als Grundlage werden die Massen-, Energie- und Klimabilanzen der in Frage kommenden Behandlungsalternativen erarbeitet.

Dies erfolgt modellhaft für zwei Feuchte Kategorien der Grünreste:

- **60 % Feuchte** (40 % TS) als ungefähre Konsistenz von gemischten Grünresten und Herbstlaub
- **75 % Feuchte** (25 % TS) als ungefähre Konsistenz von leicht vorgetrocknetem Mähgut.

Grundsätzlich wird für alle Grünreste ein organischer Trockensubstanz(**oTS**)-Gehalt von **65%** bezogen auf die TS angenommen, weil davon ausgegangen wird, dass eine höhere Inertstoff-, „Mitnahme“ beim Mähen (Rasenschnitt) bzw. Fegen (Laub) stattfindet. Dieser Inertstoffanteil ist gegenüber der Praxis sicher etwas hoch angesetzt, stellt jedoch auch sicher, dass die berechneten Energieausbeuten gegenüber der Realität nicht unangemessen optimistisch ausfallen.

Zum Aufbau der Bilanzen sind vorab einige Eckwerte für die Verfahren zu setzen:

Für das Verfahren **Verbrennung mit und ohne Trocknung** werden die in Tabelle 11 aufgeführten Rahmendaten angesetzt, wobei bei der Variante **ohne** Trocknung für den Brennstoff immer die Restfeuchte und vollständige Menge des Inputs angesetzt wird.

Tabelle 11: Rahmendaten für Verbrennung mit und ohne Trocknung

Rahmendaten Verbrennung	mit	ohne	
	Trocknung	Trocknung	
Restfeuchte nach Trocknung	15%	60%	75%
Heizwert Verbrennungsgut	3,2 kWh/kg	0,9 kWh/kg	0,3 kWh/kg
Wasserverdampfung kWh/kg	1,1	--	
Verdampftes Wasser kg/Mg	nach Feuchte Input	0	
Brennstoff kg/Mg	nach Feuchte Input	1.000	
Inertstoffe kg/Mg	nach Feuchte Input	0	
Wirkungsgrad - Strom Kraftwerk/MVA	35%	19%	
Wirkungsgrad - Wärme Kraftwerk/MVA	30%	39%	

Der Heizwert für die getrocknete Brennstofffraktion liegt bei 3,2 kWh/kg, der ohne Trocknung variiert in Abhängigkeit der Feuchte der Grünreste zwischen 0,3 und 0,9 kWh/kg. Je kg verdampftem Wasser werden unter Einschluss verfahrenstechnischer Verluste rd. 1,1 kWh pro Liter veranschlagt.

Die Kraftwerks-Wirkungsgrade für die Variante mit Trocknung beziehen sich auf die Mitverbrennung in einem hocheffizienten KWK- Kohlekraftwerk. Die Wirkungsgrade der Variante ohne Trocknung beziehen sich auf die Verbrennung in einem energetisch gut genutzten Biomasse-Heizkraftwerk (hier am Beispiel des Biomassekraftwerkes Berlin-Rudow orientiert).

Für die Verfahren **Vergärung** und **Kompostierung** werden die in Tabelle 12 dargestellten Rahmendaten verwendet.

Tabelle 12: Rahmendaten für Vergärung und Kompostierung

Rahmendaten Vergärung/Kompostierung	
Umsetzung oTS zu Biogas	50%
Umsetzung oTS Gesamt	65%
Energie Biogas kWh/kg	4,5
Energie Biogas kWh/m <sup>3</sup>	6,0
Feuchte Kompost	35%
Wirkungsgrad - Strom BHKW	41%
Wirkungsgrad - Wärme BHKW	43%
Nutzung Überschuss - Wärme	50%

Die in Tabelle 12 angesetzten Rahmendaten tragen die realitätsnahen energetischen Kennwerte einer Vergärung von Grünmassen mit BHKW-Verwertung des Biogases zusammen. Die nach Eigenbedarf verbleibende Überschusswärme wird für die Betrachtung zu 50% genutzt.

Vereinfachend wird für die Vergärung und die Kompostierung vom gleichen Summen-Abbau und den gleichen Produktwerten für den erzeugten Kompost ausgegangen. Der oTS-Abbau zu Biogas ist dabei mit 50 % der oTS angesetzt. In der an die Vergärung anschließenden Nachrotte werden weitere 15 % oTS abgebaut, so dass in Summe der oTS-Abbau von 65 % wie bei der reinen Kompostierung zu Grunde gelegt wird. Abweichend zur Kompostierung fällt bei der Vergärung Abwasser aus der Gärrestfraktion an. Der Feuchteanteil des Kompostes liegt jeweils bei 35%.

In Tabelle 13 sind die angesetzten Rahmendaten für das **HTC-Verfahren** angegeben - im oberen Teil die Stoffdaten der erzeugten Biokohle und unten der auf den Input bezogene spezifischen Energiebedarf (dieser ist in der Tabelle für den Zustand mit 40 % TS ausgewiesen).

Tabelle 13: Rahmendaten für das HTC-Verfahren

<b>HTC – Verfahren</b>	<b>Einheit</b>	<b>bez. auf Biokohle</b>
Wassergehalt	%	8%
Aschegehalt	%	12%
spez. Heizwert Feuchtmasse.	MWh/Mg	4,96
	<b>bez. auf Input, 40 % TS</b>	
spezifischer Strombedarf	kWh/Mg	67
spezifischer Gasbedarf	kWh/Mg	36

### 7.3.2 Massenbilanzen

In den folgenden Tabellen und Abbildungen werden die Massenbilanzen für die unterschiedlichen Verwertungsverfahren aufgearbeitet. Die Werte dieser Tabellen werden in der späteren Klimabilanz der Verfahren verwendet.

In Tabelle 14 werden die Verfahren für einen Grünrest mit 40% Trockensubstanzgehalt und in Tabelle 15 für 25 % Trockensubstanzgehalt im Input der Verfahren gegenübergestellt. In beiden Bilanzen wird wie oben ausgeführt ein oTS-Gehalt von 65 % veranschlagt.

Für die hochwertige Verwertung von Grünresten steht die Brennstoffgewinnung der Verfahren im Vordergrund. Die Kompostierung erzeugt „nur“ Kompost, kein energetisch nutzbares Produkt, aber auch praktisch kein Abwasser.

Gegenüber der Kompostierung erzeugen die anderen betrachteten Verfahren einen Brennstoff mit unterschiedlichen Energiegehalten und Einsatzmöglichkeiten.

Bei der Vergärung wird Biogas, bei der Trocknung ein Brennstoff für die Mitverbrennung im Kraftwerk und beim HTC-Verfahren ein Substitutionsbrennstoff für Braunkohlestaub erzeugt. Bei den Verfahren Trocknung / Verbrennung und beim HTC-Verfahren werden durch die Aufbereitungstechnik Inertstoffe aus dem Brennstoff abgetrennt.

Die Inertstofftrennung des HTC-Verfahrens bewirkt, wie in Abbildung 3 zu erkennen, einen Anteil von über 200 kg/Mg an abgetrennten „Inertstoffen“; das der Verbrennung vorgeschaltete Trocknungsverfahren erzielt dagegen „nur“ eine Abtrennung von rd. 90 kg/Mg. Grund für die deutlich höheren Inertstoffmengen beim HTC-Verfahren ist, dass neben dem tatsächlich höheren ausgebrachten Anteil der Inertmasse beim HTC-Verfahren zusätzlich ein größerer Wasser- und oTS-Anteil in die Inertfraktion überführt wird. Durch den nicht abgetrennten, eingebundenen höheren Inertanteil hat der bei der Trocknung erzeugte Brennstoff bei höherer Menge einen geringeren Heizwert als die Biokohle des HTC-Verfahrens, was in der Energie- und Klimabilanz berücksichtigt wird.

Tabelle 14: Massenbilanzen für Grünrest-Gemisch mit 40 % Trockensubstanz

Massenbilanz - Trockenes Material								40% TS	
<b>HTC - Verfahren</b>	<b>Mg</b>	<b>TS %</b>	<b>OTS %</b>	<b>Mg H2O</b>	<b>Mg TS</b>	<b>Mg OTS</b>	<b>Mg Inert</b>		
<b>Mischung Input</b>	<b>1.000</b>	<b>40%</b>	<b>65%</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>260</b>	<b>140</b>		
Input HTC - Sandwäsche	1.000	40%	65%	600	400	260	140		
Abgetrennte Inertstoffe	-233	50%	10%	-117	-117	-12	-105		
Output Wäsche zu HTC	5.667	5%	88%	5.383	283	248	35		
<b>Biokohle</b>	<b>258</b>	<b>92%</b>	<b>87%</b>	<b>21</b>	<b>238</b>	<b>206</b>	<b>32</b>		
HTC Wasser	24	0%	0%	24	0	0	0		
<b>Abwasser + Dampf</b>	<b>-490</b>	<b>1%</b>	<b>0%</b>	<b>-486</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>		

<b>Trocknung</b>	<b>Mg</b>	<b>TS %</b>	<b>OTS %</b>	<b>Mg H2O</b>	<b>Mg TS</b>	<b>Mg OTS</b>	<b>Mg Inert</b>		
<b>Mischung Input</b>	<b>1.000</b>	<b>40%</b>	<b>65%</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>260</b>	<b>140</b>		
Störstoffe	0	0%	65%	0	0	0	0		
Input Trockner	1.000	40%	65%	600	400	260	140		
Output Trockner	471	85%	65%	71	400	260	140		
Wasserverlust	-529	0%	0%	-529	0	0	0		
Abgetrennte Inertstoffe	-87	85%	5%	-13	-74	-4	-70		
<b>Brennstoff</b>	<b>384</b>	<b>85%</b>	<b>79%</b>	<b>58</b>	<b>326</b>	<b>256</b>	<b>70</b>		
Heizwert Brennstoff	11,6 MJ/kg	3,2 kWh/kg		Energie z. Trocknung kWh/kg Wasser				1,08	
Heizwert Rohorganik	3,2 MJ/kg	0,9 kWh/kg							

<b>Vergärung</b>	<b>Mg</b>	<b>TS %</b>	<b>OTS %</b>	<b>H2O Mg</b>	<b>TS Mg</b>	<b>OTS Mg</b>	<b>Mg Inert</b>		
<b>Mischung Input</b>	<b>1.000</b>	<b>40%</b>	<b>65%</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>260</b>	<b>140</b>		
Input Vergärung	1.000	40%	65%	600	400	260	140		
<b>Biogas Vergärung</b>	<b>-130</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>-130</b>	<b>-130</b>	<b>0</b>		
Output Vergärung	870	31%	48%	600	270	130	140		
<b>Abwasser Entwässerung</b>	<b>-330</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>-330</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
Input Nachrotte	540	50%	48%	270	270	130	140		
Verlust Nachrotte	-185	--	--	-146	-39	-39	0		
<b>Output Nachrotte</b>	<b>355</b>	<b>35%</b>	<b>39%</b>	<b>124</b>	<b>231</b>	<b>91</b>	<b>140</b>		

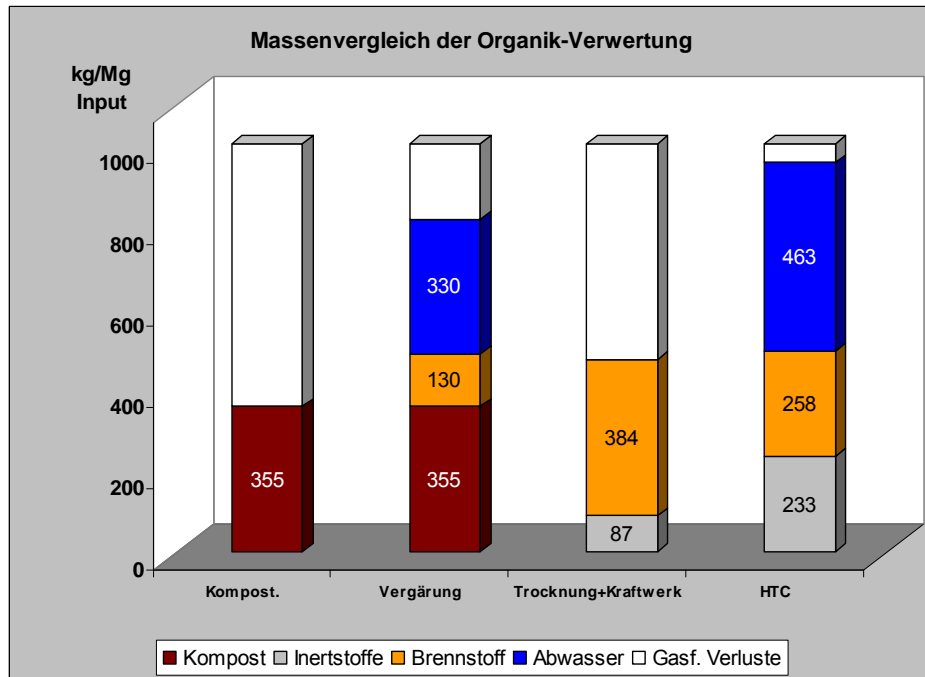


Abbildung 3: Mengenverteilungen für Grünreste mit 40 % TS und 65% OTS

Ein weiterer Unterschied der Verfahren liegt in der Wasserentfernung aus dem Rohstoff. Während bei der Kompostierung und der Trocknung der gesamte Wasseranteil bis auf die Restfeuchte der Produkte verdunstet wird, fällt bei der Vergärung und beim HTC-Verfahren Presswasser mit 330 l/Mg bzw. 463 l/Mg. Vergärung und HTC ziehen daraus einen erheblichen energetischen Vorteil, weil kaum Verdampfungsenergie für die Wasserverdampfung erforderlich wird: Das Biogas trennt sich - gasförmig - selbst per Dichtedifferenz aus der organischen Maische, bei der hydrothermalen Karbonisierung im HTC-Verfahren werden die wasserhaltenden langkettigen Zellmoleküle aufgebrochen, und die organische Masse lässt sich als Biokohle weit überwiegend mechanisch und energiesparend vom Wasser trennen.

Der Einfachheit halber wird in der darauf aufbauenden Klimabilanz der Gutschrift-Wert (Humus und Nährstoffe) für die Komposte beider Verfahren gleich bewertet.

Tabelle 15 und Abbildung 4 geben die Massenbilanz der Verfahren für ein **feuchteres Grünrest-Material** mit nur **25 %** Trockensubstanz wieder.

Tabelle 15: Massenbilanzen für Grünrest-Gemisch mit 25 % Trockensubstanz

Massenbilanz - Feuchtes Material								25% TS	
HTC - Verfahren	Mg	TS %	OTS %	Mg H2O	Mg TS	Mg OTS	Mg Inert		
Mischung Input	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Input HTC - Sandwäsche	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Abgetrennte Inertstoffe	-146	50%	10%	-73	-73	-7	-66		
Output Wäsche zu HTC	3.542	5%	88%	3.365	177	155	22		
Biokohle	161	92%	87%	13	149	129	20		
HTC Wasser	15	0%	0%	15	0	0	0		
Abwasser+Dampf	-681	0%	0%	-679	-2	0	-2		

Trocknung	Mg	TS %	OTS %	Mg H2O	Mg TS	Mg OTS	Mg Inert		
Mischung Input	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Störstoffe	0	0%	65%	0	0	0	0		
Input Trockner	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Output Trockner	294	85%	65%	44	250	163	88		
Wasserverlust	-706	0%	0%	-706	0	0	0		
Abgetrennte Inertstoffe	-54	85%	5%	-8	-46	-2	-44		
Brennstoff	240	85%	79%	36	204	160	44		
Heizwert Brennstoff	11,6 MJ/kg	3,2 kWh/kg		Energie z. Trocknung kWh/kg Wasser				1,08	
Heizwert Rohorganik	1,1 MJ/kg	0,3 kWh/kg							

Vergärung	Mg	TS %	OTS %	H2O Mg	TS Mg	OTS Mg	Mg Inert		
Mischung Input	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Input Vergärung	1.000	25%	65%	750	250	163	88		
Biogas Vergärung	-81	--	--	0	-81	-81	0		
Output Vergärung	919	18%	48%	750	169	81	88		
Abwasser Entwässerung	-581	--	--	-581	0	0	0		
Input Nachrotte	338	50	48	169	169	81	88		
Verlust Nachrotte	-115	--	--	-91	-24	-24	0		
Output Nachrotte	222	35	39	78	144	57	88		

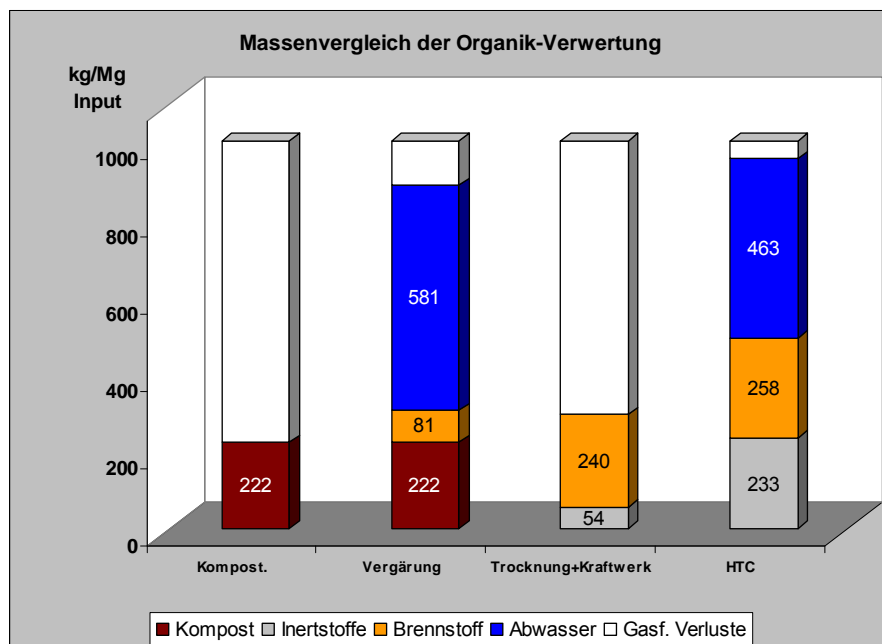


Abbildung 4: Mengenverteilungen für Grünreste mit 25 % TS und 65% OTS

Die Kompost- bzw. Brennstoffmengen der Verfahren fallen dabei notwendiger Weise geringer aus, die Abwassermengen bzw. der Anteil des verdampften Wassers liegen entsprechend höher, zwischen 650 und 700 l/Mg. Es ist hier - im Vorgriff auf die nachfolgenden Abschnitte - bereits zu erkennen, dass sich bei einem Rohmaterial dieser Feuchte Verfahren energetisch vorteilhaft darstellen werden, die diese große Wassermenge nicht verdampfen müssen, sondern im flüssigen Zustand abscheiden können.

### 7.3.3 Systematik und Eckwerte der Klimabilanz

Die aufgestellte Klimabilanz orientiert sich an der Vorgehensweise der ISO 14040 ff. Die Systematik ist vereinfacht im Anhang beschrieben. Der Aspekt „Treibhausgase“ bzw. „Klimawirksamkeit“ ist immer nur ein Teil einer vollständigen ökobilanziellen Betrachtung, in die natürlich auch andere Wirkungsbereiche wie z.B. Eutrophierung, Schwermetallverteilung, Ressourcenschutz, Feinstaub usw. einfließen. Diese ökologischen Wirkungsbereiche werden jedoch nicht gleich bewertet, sondern abhängig von der Dringlichkeit des Handlungsbedarfes unterschiedlich eingestuft, und in dieser Wertung wird der Treibhausgas- bzw. Klimabilanz die oberste Priorität zugewiesen.

Eine Klimabilanz erarbeitet zunächst als **Lastschrift** sämtliche klimawirksamen Emissionen, die bei der Aufbereitung der Biomasse bis zum fertigen Produkt entstehen. Diese Produkte (hier: Biogas, Brennstoff aus Trocknung und ohne Trocknung und Biokohle) ersetzen die fossilen Emissionen des substituierten Regelbrennstoffes (hier: Braunkohle oder bei der HTC Braunkohlestaub), die in der Berechnung als **Gutschrift** eingestellt werden. Auch für den Humus-Kohlenstoffgehalt und die im Kompost enthaltenen Nährstoffe erfolgt eine Gutschrift. Der Saldo von Gut- und Lastschrift ergibt den **Nettonutzen**. Alle in der Bilanz auftretenden klimawirksamen Gase werden standardisiert in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet.

Auf der **Lastschrift**seite erscheinen die freigesetzten fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus

- dem Verbrauch von Strom und Ergas für den Produktionsbetrieb sowie die Freisetzung von klimaschädlichen Emissionen,
- der Verbrennung von Biogas, Brennstoff oder Biokohle,
- dem Transport von Brennstoff oder Biokohle.

Die klimaökologische **Gutschrift** erfolgt über den Ersatz von Energieträgern wie Strom, Gas, Braunkohle bzw. Braunkohle-Staub sowie für den erzeugten Kompost.

Die spezifischen Gut- und Lastschriften für **eingesetzte oder substituierte Energieträger** sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Eine CO<sub>2</sub>-Entlastung ergibt sich wie ausgeführt ebenso über den Kompost-Einsatz (Nährstoffe und Humusbildung). Der benutzte Umrechnungsfaktor von 0,52 resultiert aus dem Verhältnis von erzielter THG-Gutschrift zu Kompostmenge (TS) aus verschiedenen Gutschriftanteilen für Kompost und enthaltene Nährstoffe (NPK). Gerundet werden für Komposte etwa 100 kg CO<sub>2</sub>-Äq. je Tonne Input gutgeschrieben, bei rd. 300 kg Kompost mit rd. 200 kg Kompost-TS je Tonne Input.

Tabelle 16: Rahmendaten für Gut- und Lastschriften (Energieträger und Kompost)

Energieträger	CO <sub>2</sub> Äq. kg/kWh
Strom	0,887
Erdgas	0,234
Diesel	0,316
Braunkohle-Staub	0,441
Fernwärme	0,334
Kompost je kg TS	0,52

Die klimawirksamen Emissionen an Treibhausgasen (THG) wie Methan- und Lachgas bei der Kompostierung und Vergärung sind nach aktuelleren Veröffentlichungen (2008-2010) in Tabelle 17 ausgewiesen.

Tabelle 17: THG-Emissionen bei Vergärung und Kompostierung für 25% TS und 40% TS im Input (ohne Energieträger)

Emission Vergärung		
Feuchte Input	25% TS	40% TS
	CO <sub>2</sub> -Äq. kg/Mg OTS	
OTS-Anteil	16%	26%
Methan - CH <sub>4</sub>	350	350
Lachgas - N <sub>2</sub> O	150	150
	CO <sub>2</sub> -Äq. kg/Mg FM	
Methan - CH <sub>4</sub>	57	91
Lachgas - N <sub>2</sub> O	24	39
Emission Kompostierung		
	CO <sub>2</sub> -Äq. kg/Mg	
Methan - CH <sub>4</sub>	45	
Lachgas - N <sub>2</sub> O	57	

Die Emissionen an CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O sind bei der **Vergärung** an den oTS-Bestand im Rohmaterial geknüpft. Bei der Kompostierung sind sie davon unabhängig, weil davon ausgegangen werden kann, dass nasses, wenn auch oTS-ärmeres Material aufgrund kompakterer, schlecht durchlüfteter Lagerung bei der Kompostierung mindestens dieselbe anaerobe Emission aufweisen wird wie höher oTS-haltiges, strukturreiches Rottegut.

### 7.3.4 Ergebnis der Klimabilanzberechnung

Zur Ermittlung der Hochwertigkeit ist ein Energie- und Klimavergleich der Verfahren zweckmäßig. Betrachtet werden Kompostierung, Vergärung und Verbrennung - letztere mit und ohne vorgeschalteter Trocknung - und dem HTC-Verfahren.

Diese Vergleiche stellen eine gute Orientierung über die relative Rangfolge der unterschiedlichen Verfahren dar.

Basierend auf den o.g. verfahrensspezifischen Eckwerten und der Massenbilanz aus Tabelle 14 sind in Tabelle 18 die Last- und Gutschriften für die Verfahrensalternativen zusammengestellt und werden zu einem Netto-Gutschriftbetrag zusammengeführt. Die jeweiligen Werte beziehen sich in Tabelle 18 auf Grünreste mit 40% TS (bei Tabelle 19 auf Grünreste mit 25% TS).

Tabelle 18: Vergleich der Behandlungsverfahren bei 40% TS-Gehalt der Grünreste

Vergleich der Behandlungsverfahren je Gewichtstonne Organik-Input							40 %TS	
Bilanzgröße	Einheit (Bezug: Mg Input)	Einfach-Kompostierung	Vergärung mit Wärmenutz.	Verbrennung		HTC	HTC	
				mit Trocknung	ohne Trocknung	BK-Staub-Ersatz	Kraftwerks-Einsatz	
Energiebedarf Strom	kWh/Mg	0	60	20	5	67	61	
Energiebedarf Erdgas	kWh/Mg	0	0	573	0	36	33	
Energiebedarf Diesel(10 kWh/l)	kWh/Mg	40	15	5	5	0	0	
Energiebedarf Wärme	kWh/Mg	0	55	0	0	0	0	
Energieertrag Biogas/Tr.-gut	kWh/Mg	0	585	1.242	883	0	0	
Energieertrag elektrisch	kWh/Mg	0	240	435	168	0	448	
Energieertrag Wärme nutzbar	kWh/Mg	0	98	372	345	0	384	
Energieertrag Kohleverwert.	kWh/Mg	0	0	0	0	1.280	0	
<b>Lastschrift Strom</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	
<b>Lastschrift Erdgas</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>134</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	
<b>Lastschrift Diesel</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
<b>Lastschrift Energiebedarf</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>153</b>	<b>6</b>	<b>73</b>	<b>66</b>	
<b>Lastschrift sonstige</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>102</b>	<b>130</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Lastschrift Summe</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>115</b>	<b>188</b>	<b>153</b>	<b>6</b>	<b>73</b>	<b>66</b>	
Gutschrift Strom	kg CO2/Mg	0	213	385	149	0	397	
Gutschrift Wärme	kg CO2/Mg	0	33	124	115	0	128	
Gutschrift BK-Staub	kg CO2/Mg	0	0	0	0	564	0	
Gutschrift Kompost	kg CO2/Mg	120	120	0	0	0	0	
<b>Gutschrift Summe</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>120</b>	<b>366</b>	<b>510</b>	<b>264</b>	<b>564</b>	<b>526</b>	
<b>Netto-Gutschrift</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>5</b>	<b>178</b>	<b>356</b>	<b>258</b>	<b>492</b>	<b>460</b>	

Die Tabelle liefert die für die verglichenen Verfahren zusammengefasste Klima-Bilanz, ausgehend von jeweils einer Tonne Grünrestinput. Spaltenweise sind die spezifischen Werte für jedes Verfahren aufgeführt und gegenübergestellt. Als Referenzverfahren ist die Kompostierung aufgeführt, gefolgt von der Vergärung mit Wärmenutzung, der Verbrennung mit und ohne Trocknung und das HTC-Verfahren (mit Braunkohle- bzw. Strom-/ Wärmeersatz).

Im oberen Block der Tabelle ist der Energiebedarf der unterschiedlichen Verfahren zusammengestellt, darunter folgt ein Block mit den jeweiligen verfahrensspezifischen Energieerträgen. Die Einheit dieser beiden Blöcke ist kWh/Mg.

Die darunter folgenden Blöcke geben die Lastschriften bzw. Gutschriften in kg CO<sub>2</sub>/Mg der verglichenen Verfahren wieder. Die letzte Zeile enthält die CO<sub>2</sub>-bezogene Nettogutschrift der Verfahren. Die Ergebnisse sind jeweils nachfolgend grafisch ausgewiesen.

Die Lastschriften der Verfahren entstehen aus den Verfahren inkl. Aufbereitung und Transport. Beim Produkt Biokohle ist zusätzlich der Transport zu einer Verbrennungsanlage mit

250 km einfacher Fahrstrecke eingerechnet (d.h. in die Klimakalkulation fließen 500 km ein). Die klimaökologische Gutschrift erfolgt in einem HTC-Fall über den Ersatz von Braunkohle-Staub. Je MWh Braunkohlestaub-Ersatz werden 460 kg fossile CO<sub>2</sub>-Freisetzung gutgeschrieben. Im anderen Fall fließt die Gutschrift aus Strom und Wärmeerzeugung ein.

Abbildung 3 gibt das Ergebnis der Klimabilanzberechnung grafisch wieder.

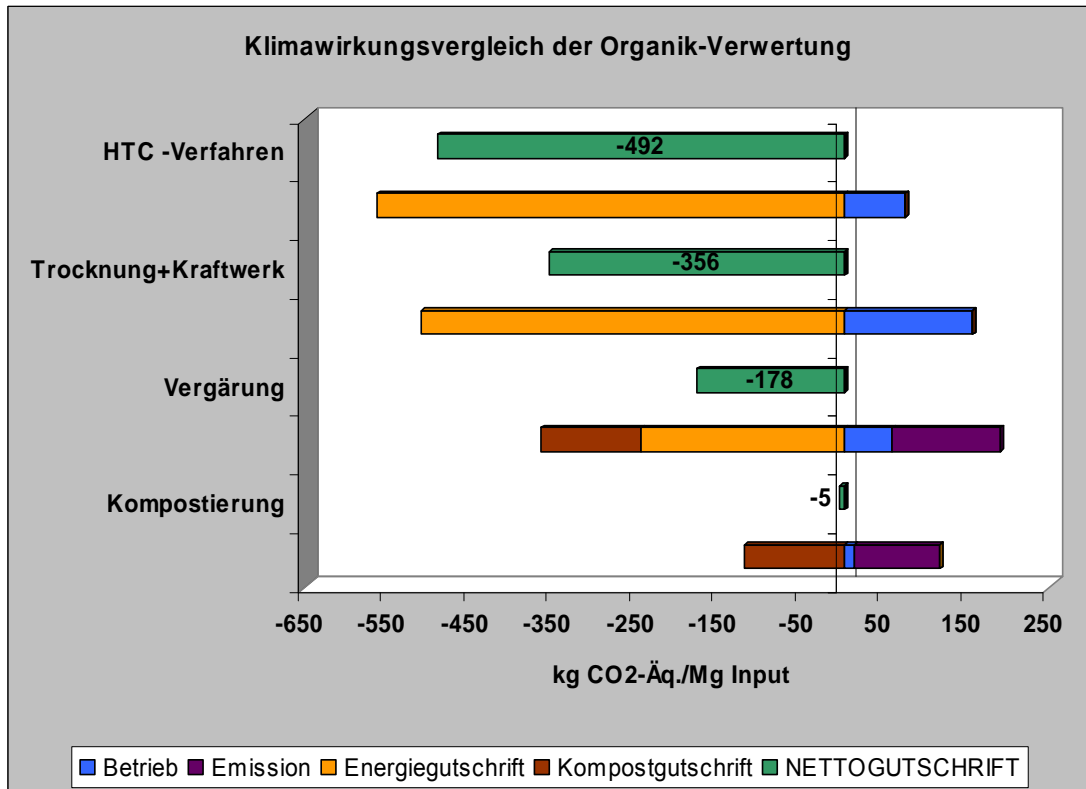


Abbildung 5: Klima-Emissionsvergleich der Verfahren (**Input 40 % TS, 60 % Feuchte**)

**Negative** (Netto)Werte bilden eine Minderung der Treibhausgas-Emission ab, sind also umso positiver zu bewerten, je höher der negative Betragswert ist. Für das HTC-Verfahren ist nur die Variante „Braunkohlestaub-Ersatz“ eingestellt, für die Variante Verbrennung nur diejenige mit Trocknung.

### 7.3.5 Ergebnis des Vergleichs

Die Kompostierung weist die schlechteste Klimabilanz auf, weil keine Nutzung des organischen Energieinhalts erfolgt – Gutschriften für Kompost und Lastschriften gleichen sich aus, das Nettoergebnis ist nahe Null.

Alle **thermischen Verfahren** fallen in der Klimabilanz besser aus als die Vergärung, weil die organische Trockensubstanz nicht nur zu 50 %, sondern bis zu 100 % per Verbrennung genutzt wird. Dieser Mehrbetrag kann zu Strom und nutzbarer Wärme umgesetzt werden und erbringt dort mehr Gutschriften als der erzeugte Kompost bei der Vergärung.

Die **Vergärung** rangiert im Bereich zwischen 150 und 200 kg Netto-Entlastungswirkung. Dieser Betrag resultiert bereits aus einer anteiligen Reduzierung der Methanemission im Betrieb. Bei Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der TA-Luft von 50 mg TOC/m<sup>3</sup> - wie dies unten in Kapitel 9 zur Definition der "Höherwertigkeit" bei der Vergärung eingefordert wird – sinkt damit die freigesetzte Methanmenge auf unter 1 kg pro Tonne Input und der Netto-Nutzwert der Vergärung kann nochmals um gut 50 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Mg Input steigen.

Die **Trocknung** des organischen Rohmaterials verbraucht einen hohen Energiebetrag, um die überschüssige Feuchte zu verdampfen, diese verdampfte Wassermenge ist stark vergrößernd die Hälfte des gesamten Organik-Inputs. Je Gewichtstonne Wasserverdampfung werden rund 1.100 kWh (Erdgas)-Energie verbraucht.

Das **HTC-Verfahren** verliert zwar – im Gegensatz zur rein physikalischen Trocknung – zwischen 15 und 20 % der im Material gebundenen organischen Masse durch die schwach exotherme Reaktion im HTC-Prozess. Das brennbare Produkt „Biokohle“ wird aber überwiegend in der Flüssigphase vom „belastenden“ Wasser getrennt – je kg Wasser wird damit wesentlich weniger Energie gegenüber einer Verdampfung benötigt. Daher liegt das HTC-Verfahren bei den CO<sub>2</sub>-Lastschriften aus dem Energieverbrauch nur knapp bei der Hälfte des Trocknungs-Verfahrens.

Bei den Gutschriften liegt das HTC-Verfahren im Bereich des Trocknungskonzeptes. Die Unterschiede in der Biokohle-Nutzung resultieren aus dem Gutschrift-Ansatz: Bei Braunkohlestaub-Ersatz wird dessen direkte Emission bei der Verbrennung inkl. Vorkette gutgeschrieben, bei Einspeisung von Biokohle in ein Kraftwerk und Standard-Gutschrift für die erzeugten Energieprodukte Strom und Wärme entsteht ein etwas ungünstigeres Bild bei den Gutschriften, das aber methodisch direkt mit dem Trocknungskonzept vergleichbar ist.

Im Vergleich der „leistungsbenachbarten“ Konzepte „Trocknung+Verbrennung“ und „HTC-Verfahren“ ist festzuhalten, dass das HTC-Verfahren zwar die dreifache Menge an (hier rechnerisch kohleerzeugtem) Strom gegenüber der Trocknung aufnimmt, demgegenüber aber nur 5-10 % der Erdgasmenge der Trocknung. Erdgas ist ein vergleichsweise CO<sub>2</sub>-armer Energieträger, so dass der Vergleich der Klima-Lastschriften für die Trocknung vorteilhafter ausfällt als der Vergleich des Primärenergieverbrauchs. Betrachtet man Erdgas als begrenzten, klimaökologisch hochwertigen Energieträger, der auch an anderer Stelle substituierend für Öl oder Kohle eingesetzt werden kann, nimmt das HTC-Verfahren von diesem begrenzten Anteil weniger in Anspruch.

### 7.3.6 Ergebnisüberprüfung für feuchteres Inputmaterial

Die oben dargestellten Ergebnisse (Tabelle 18 und Abbildung 5) bezogen sich auf ein Material mit relativ niedriger Feuchte von 60 %. Nachstehend wurde in Tabelle 19 das Ergebnis aufgearbeitet für einen Rohstoffansatz mit 75 % Feuchtegehalt, dies nähert sich den Werten für frisches Mähgut an.

Generell liegen der Energieertrag und damit nach Abbildung 6 die Klima-Gutschrift umso niedriger, je geringer der Anteil an Trockensubstanz und (da mit 65 % der TS konstant gehalten) an OTS im Rohstoff liegt.

Allerdings steigt offenbar der **relative Vorteil des HTC-Verfahrens mit zunehmender Feuchte des Rohmaterials**. Während die Energiegutschriften bei den beiden Verbren-

nungskonzepten weiter etwa gleichauf bleiben, steigen beim Trocknungskonzept notwendigerweise der Energieaufwand zur Wasserverdampfung und damit die Klima-Lastschriften. Da das HTC-Verfahren nur eine Erwärmung des Gesamtmaterials auf die Prozesstemperatur zu leisten hat, unterscheidet sich der Energieeintrag nur in der höheren Wärmekapazität des Wassers gegenüber der Trockensubstanz.

Die Vergärung fällt bei geringerem umsetzbaren OTS-Anteil der Feuchtmasse durch verminderte Energiegutschriften ab, wobei die Betriebs-Lastschriften nur wenig sinken (die CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O-Emissionen folgen dem OTS-Gehalt der Feuchtmasse). Sie erreicht jedoch mit steigender Feuchte das Niveau der direkten und vorgetrockneten Verbrennung, so dass bei den genannten 25 % TS etwa von Gleichstand zwischen den Verfahren Vergärung und Verbrennung gesprochen werden kann. Noch feuchteres Material wird der Vergärung einen Vorsprung verschaffen.

Die Kompostierung fällt bei feuchterem Material in den Lastschriftbereich ab, da bei gleichen Lastschriften weniger Kompost produziert werden kann.

Tabelle 19: Vergleich der Behandlungsverfahren bei 25 % TS Gehalt der Grünreste

Vergleich der Behandlungsverfahren je Gewichtstonne Organik-Input							25 %TS	
Bilanzgröße	Einheit (Bezug: Mg Input)	Einfach-Kompostierung	Vergärung mit Wärmenutz.	Verbrennung		HTC	HTC	
				mit Trocknung	ohne Trocknung	BK-Staub-Ersatz	Kraftwerks-Einsatz	
Energiebedarf Strom	kWh/Mg	0	60	20	5	48	43	
Energiebedarf Erdgas	kWh/Mg	0	0	764	0	57	51	
Energiebedarf Diesel(10 kWh/l)	kWh/Mg	40	15	5	5	0	0	
Energiebedarf Wärme	kWh/Mg	0	55	0	0	0	0	
Energieertrag Biogas/Tr.-gut	kWh/Mg	0	366	776	292	0	0	
Energieertrag elektrisch	kWh/Mg	0	150	272	55	0	280	
Energieertrag Wärme nutzbar	kWh/Mg	0	51	233	114	0	240	
Energieertrag Kohleverwert.	kWh/Mg	0	0	0	0	800	0	
<b>Lastschrift Strom</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>38</b>	
<b>Lastschrift Erdgas</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>179</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	
<b>Lastschrift Diesel</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	
<b>Lastschrift Energiebedarf</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>198</b>	<b>6</b>	<b>58</b>	<b>53</b>	
<b>Lastschrift sonstige</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>102</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Lastschrift Summe</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>115</b>	<b>139</b>	<b>198</b>	<b>6</b>	<b>58</b>	<b>53</b>	
Gutschrift Strom	kg CO2/Mg	0	133	241	49	0	248	
Gutschrift Wärme	kg CO2/Mg	0	17	78	38	0	80	
Gutschrift BK-Staub	kg CO2/Mg	0	0	0	0	353	0	
Gutschrift Kompost	kg CO2/Mg	75	75	0	0	0	0	
<b>Gutschrift Summe</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>75</b>	<b>225</b>	<b>319</b>	<b>87</b>	<b>353</b>	<b>329</b>	
<b>Netto-Gutschrift</b>	<b>kg CO2/Mg</b>	<b>-40</b>	<b>86</b>	<b>121</b>	<b>81</b>	<b>294</b>	<b>276</b>	

In Abbildung 6 sind die Resultate grafisch ausgewiesen.

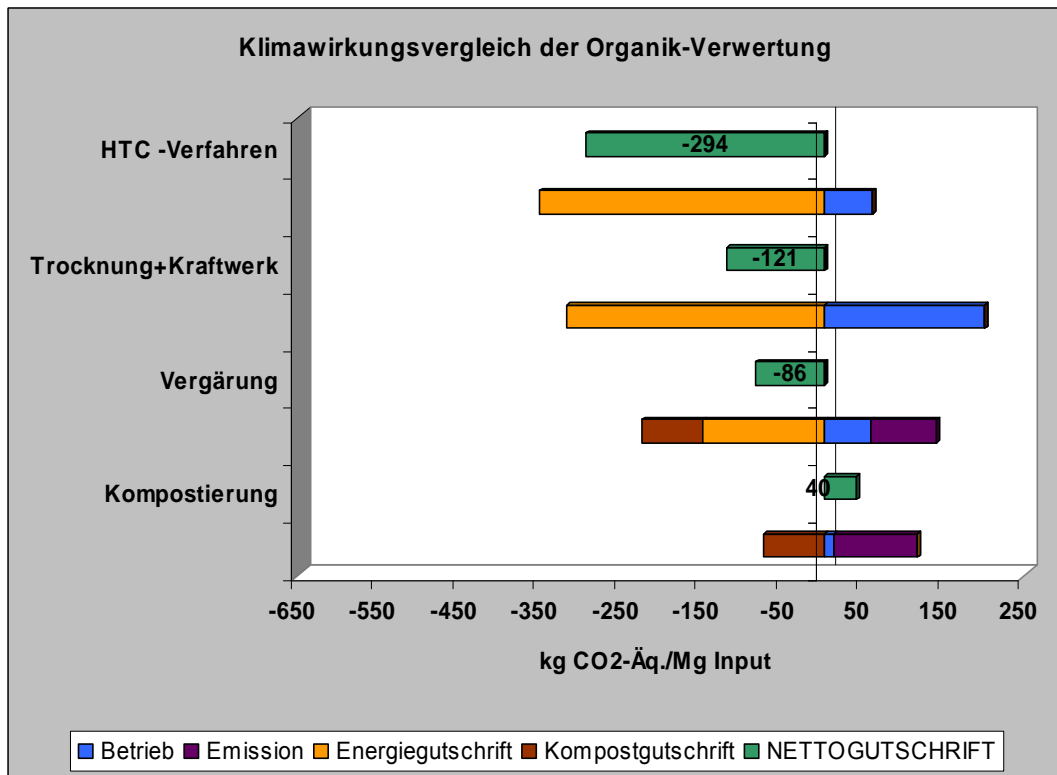


Abbildung 6: Klima-Emissionsvergleich der Verfahren (Input 25 % TS, 75 % Feuchte)

### 7.3.7 Abwärme-Nutzung

Interessant sind neben den mit Klima-Gutschriften besetzten, genutzten Abwärmemengen die Beträge an nicht genutzter Abwärme, die bei den verschiedenen Verfahren anfallen. Dieser Aspekt ist in der nachstehenden Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Ungenutzte Abwärmemengen der Verfahren

Ungenutzte Abwärme für die Aufbereitung	40 %TS im Input	Einheit	Vergärung mit Wärmenutz.	Trocknung vor Verbrennung	Aufbereitung Biomasse zu Biokohle
Überschusswärme Kühlwasser BHKW		kWh/Mg	98	0	0
Feststoffe (Gärrest/Biokohle, 30 K)		kWh/Mg	15	0	4
Abwasser (Vergärung 30 K, Biokohle 85 K)		kWh/Mg	9	0	49
Abgas (BHKW, Trocknung, Kühlturm SC)		kWh/Mg	94	573	93
<b>Summe Abwärmeverluste Aufbereitung</b>		<b>kWh/Mg</b>	<b>216</b>	<b>573</b>	<b>147</b>

Bei der **Vergärung** werden diese Verluste dominiert von den Kühlwasser- und Abgasverlusten des BHKW (nachdem bereits eine recht optimistische Gutschrift für 50 % der abgegebenen Kühlwasser-Abwärme erfolgte). Hinzu kommen kleinere Verluste durch die fühlbare Wärme von Abwasser und Gärrest. Summiert sind gut 200 kWh ungenutzter Abwärme je Tonne Input (im gerechneten Modellfall) für die Vergärung zu erwarten.

Bei der **Trocknung** vor der Verbrennung fällt praktisch die gesamte zur Trocknung eingesetzte Energie als nicht nutzbare Abwärme an, da eine Abkühlung der rd. 110 °C heißen Brüden unter den Taupunkt zwar einen zusätzlichen Energiegewinn erschließen ließe, dann aber über Kondensatbildung wiederum Abwasser erzeugt und dies korrosionsbeständige, teurere Werkstoffe erfordert. Falls realisierbar, würde eine 50 %ige Abwärmennutzung der Brüden - unter den o.g. Gutschriftbedingungen für Fernwärme - den Netto-Nutzen des Trocknungskonzeptes um rd. 100 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Input heraufsetzen.

Das HTC-Verfahren setzt dem gegenüber mit rd. 150 kWh am Aufbereitungsstandort relativ geringe Mengen ungenutzter Abwärmemengen frei. Es ist sinnvoll, für diese Abwärme lokale Nutzungsmöglichkeiten zu suchen. Über diese könnten – überschlägig nach Temperaturniveau der Medien – nochmals rd. 25 % der Abwärme verwertet werden. Jedoch lässt sich vergrößernd festhalten: **Das HTC-Verfahren verliert - ohne jedes Bemühen zur Abwärmennutzung - höchstens etwa dieselbe Abwärmemenge wie eine Vergärung, die bereits 50 % der Abwärme verwertet hat.**

## 8 Kostenabschätzung für eine klimaschonende Verwertung

Im Folgenden wird eine orientierende Kostenentwicklung für die bezirklichen Grünflächenämter bei Umstellung auf die im Kapitel 7 aufgezeigten höherwertige Verwertung beschrieben. Es ergeben sich Kostenänderungen, die umfassen:

- Kosten des geänderten Verwertungsverfahrens gegenüber der bisherigen Kompostierung incl. zusätzlicher Transportkosten zum Standort der Verwertung,
- ggf. Kosten für Zukauf von Kompost als Bodenverbesserungsmittel anstelle des bislang selbst erzeugten.

### 8.1 Ermittlung der spezifischen Behandlungskosten

Überschlägig können die **derzeitigen Kosten** der eigenen **Kompostierung** mit rd. 7 €/m<sup>3</sup> angesetzt werden. Volumenbezogen erfolgt auch die Be- und Abrechnung externer Kompostierung. Die Kosten der Fremdkompostierung für Laub und Mähgut werden bei zwei unabhängigen Kompostierungsanlagen im Berliner Raum mit rund 6 €/m<sup>3</sup> frei Kompostplatz angegeben (Preise aus Internetrecherche 2011). Beide Preise für Fremdkompostierung und Kompostierung auf eigenem Kompostplatz liegen also in der gleichen Größenordnung. Nimmt man eine mittlere Dichte von 300 kg/m<sup>3</sup> an, sind je **Megagramm rd. 23 €** anzusetzen.

Für die künftige, **höherwertige Verwertung frei Anlage** werden nach orientierenden Abschätzungen der einzelnen Verfahrensanbieter, die die konkreten Andienungsformen der Grünreste insbesondere bezüglich des Wassergehaltes noch nicht abschließend festgelegt haben, die Kosten mit rund **10 – 30 € pro Tonne** angesetzt. Überschlägig wird inklusive einem Transportkostenzuschlag von rd. 6 €/Mg gesamt von **26 €/Mg** für eine Abschätzung der künftigen Verwertungskosten ausgegangen.

### 8.2 Optionale Kosten für benötigten Kompost

Den Verarbeitungskosten zuzurechnen sind die entstehenden **Kosten für Kompost** als benötigtes Bodenverbesserungsmittel, wenn dafür ein relevanter Bedarf besteht und dieser nicht mehr über die eigene Kompostierung erzeugt werden sollte.

In der Biomassestudie von 2008 wurde von den Bezirken Charlottenburg - Wilmersdorf, Mitte, Steglitz - Zehlendorf, Tempelhof - Schöneberg und Treptow - Köpenick angegeben, dass annähernd alles selbst kompostierte Material als Kompost wieder eingesetzt wurde. Im Jahr 2008 wurde von diesen fünf Bezirken rund 11.500 m<sup>3</sup> Kompost erzeugt, wovon ca. 10.000 m<sup>3</sup> als Eigenbedarf gemeldet wurden.

Für das Jahr 2011 gibt das Grünflächenamt des Bezirkes Tempelhof-Schöneberg einen Eigenbedarf von 60% des selbst erzeugten Kompostes an, der restliche Kompost wird derzeit an andere Bezirke, Schulen oder Initiativen abgegeben, die sich damit den Zukauf von Kompost sparen können.

Dagegen sehen andere Grünflächenämter aufgrund der derzeitigen finanziellen und personellen Situation keine Möglichkeit, den bereits selbst erzeugten Kompost einer entspre-

chenden Nutzung zuzuführen. In diesen Bezirken wird der erzeugte Kompost derzeit ungenutzt zwischengelagert. Angesichts dieser teilweise langjährig reichenden Kompostreserven sehen diese Bezirke keinen Bedarf, zusätzlichen Kompost auf dem Markt zu kaufen.

Angesichts der unterschiedlichen Einschätzungen dieser bezirklichen Situationen wird lediglich optional als zusätzliche Kostenposition in der Verfahrensänderung zur Grünrestnutzung ein pauschaler mittlerer Bedarf von 1.500 m<sup>3</sup>/a an Kompost je Bezirk angesetzt. Es wird von Kosten von rd. **8 €/m<sup>3</sup>** bzw. bei 600 kg/m<sup>3</sup> von rd. **13 €/Mg** Kompost ausgegangen.

### 8.3 Hochrechnung der Verwertungskostenänderung

Aus den in Kap. 4.5 abgeschätzten Mengen an Laub und Mähgut je Bezirk werden in Tabelle 21 die Kosten der derzeitigen Kompostierung (Fremd- und Eigenkompostierung) den orientierenden Kosten einer zukünftigen klimaschonenden Behandlung gegenübergestellt.

Zunächst sind in den ersten drei Spalten die bezirklichen Mengen an Mähgut und Laub wiedergegeben. Multipliziert mit den Behandlungskosten von 23 €/Mg ergeben sich die „derzeitigen Kosten“ - als Summe für alle Bezirke rd. 940.000 €/a.

Tabelle 21: Kostenprognose der Behandlung

Kostenprognose der Behandlung	Mengen			derzeitige Kosten Behandlung			zukünftige Kosten Behandlung			Mehrkosten durch Änderung
	Mähgut PK 3, 4, 5	Laub 25% erfassbar	Summe Mähgut und Laub	Mähgut	Laub	Summe	Mähgut	Laub	Summe	
	[Mg/a]	[Mg/a]	[Mg/a]	23,0 €/Mg €/a	23,0 €/Mg €/a	€/a	26,00 €/Mg €/a	26,00 €/Mg €/a	€/a	
Bezirk	[Mg/a]	[Mg/a]	[Mg/a]	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a	€/a
Charlottenburg-Wilmersdorf	1.312	1.430	2.742	30.166	32.890	63.056	34.101	37.180	71.281	8.225
Friedrichshain-Kreuzberg	794	723	1.516	18.256	16.618	34.874	20.637	18.785	39.422	4.549
Lichtenberg	2.647	975	3.622	60.875	22.425	83.300	68.815	25.350	94.165	10.865
Marzahn-Hellersdorf	3.264	1.250	4.514	75.080	28.739	103.818	84.873	32.487	117.360	13.542
Mitte	2.512	871	3.383	57.784	20.033	77.817	65.321	22.646	87.967	10.150
Neukölln	1.606	625	2.231	36.932	14.375	51.307	41.749	16.250	57.999	6.692
Pankow	3.260	1.371	4.630	74.971	31.527	106.497	84.750	35.639	120.388	13.891
Reinickendorf	2.510	1.430	3.940	57.732	32.890	90.622	65.262	37.180	102.442	11.820
Spandau	2.980	855	3.835	68.540	19.659	88.200	77.481	22.224	99.704	11.504
Steglitz-Zehlendorf	2.706	1.750	4.456	62.243	40.250	102.493	70.361	45.500	115.861	13.369
Tempelhof-Schöneberg	1.132	750	1.882	26.038	17.250	43.288	29.435	19.500	48.935	5.646
Treptow-Köpenick	3.015	1.104	4.120	69.348	25.403	94.751	78.393	28.716	107.109	12.359
<b>Bezirke o. Kompostzukauf</b>	<b>27.738</b>	<b>13.133</b>	<b>40.871</b>	<b>637.965</b>	<b>302.058</b>	<b>940.023</b>	<b>721.178</b>	<b>341.457</b>	<b>1.062.634</b>	<b>122.612</b>
<b>Option Bezirke mit Kosten für zugek. Kompost *)</b>			zzgl.	144.000 €/a Kompost-Kosten					<b>1.206.634</b>	<b>266.612</b>
*)pauschal 1.500 m <sup>3</sup> /a je Bezirk, bei 8 €/m <sup>3</sup> je Bezirk 12.000 €/a										

Im Tabellenblock „zukünftige Kosten“ sind für Mähgut und Laub gleichermaßen und unabhängig von den unterschiedlichen technischen Behandlungsvarianten Behandlungskosten mit den o.g. 26 €/Mg veranschlagt. Die Verwertungskosten für eine hochwertige und schadlosen Verwertung erhöhen sich damit (bei gleichen Mengen) im Verhältnis der Entsorgungskosten (26:23) um lediglich 13 %.

Optional wurden zudem konservativ und pauschal Kosten für 1.500 m<sup>3</sup>/a an Kompost je Bezirk bei 8 € je m<sup>3</sup>.berücksichtigt, unter der Prämisse, dass ein Bedarf bei diesen bezirkli-

chen Einrichtungen nach Kompost vorhanden wäre. Damit stünden in dieser Berechnung allen Berliner Bezirken in Summe 18.000 m<sup>3</sup>/a Kompost zur Verfügung.

In dieser optionalen Modellberechnung würden die Kompost-Beschaffungskosten mit 15 % Mehrkosten stärker als die Kosten der Verfahrensoptimierung ins Gewicht fallen. Summarisch würden sich die Kosten für die „zukünftige Behandlung“ um rd. 270.000 €/a bzw. um 28 % erhöhen.

#### 8.4 Bewertung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

Die o.g. Zahlenverhältnisse erlauben eine Orientierung, in welcher Größenordnung sich der Aufwand für eine verbesserte Grünreste-Nutzung in spezifische Kosten der Treibhausgas-Minderung umsetzt:

Je Megagramm Grünreste können gegenüber der derzeitigen Kompostierung nach Abbildung 5 bis zu 500 kg CO<sub>2</sub> eingespart werden. Setzt man wie oben beschrieben einen konservativen Arbeitswert von 300 kg an und multipliziert diesen mit dem Aufkommen von rd. 41.000 Mg/a aus Tabelle 21, ergibt dies rund 12.300 Mg CO<sub>2</sub>-Reduktion pro Jahr. Dieses Ziel wird nach Tabelle 21 mit Mehrkosten von rund 120.000 € (ohne Kompostzukauf) bzw. rund 270.000 € (mit Kompostzukauf) pro Jahr erreicht, mithin würde also nach dieser Kalkulation mit **10 € bzw. 22 € pro Megagramm CO<sub>2</sub>-Minderung ein außerordentlich niedriger Kosten-Wert** erreicht werden. Durch ggf. Abweichungen der Realität von der o.g. Schätzung dürften sich die genannten **Mehrkosten** auch verdoppeln - sie lägen auch dann noch **deutlich** unter den Kosten vergleichbarer Verwertungsprojekte organischer Abfälle. So rangiert z.B. der Aufwand zur CO<sub>2</sub>-Minderung bei der künftigen Bioabfallvergärung gegenüber der vorherigen Bioabfallkompostierung um 400 €/Mg CO<sub>2</sub><sup>6</sup> und damit etwa auf dem Niveau der Photovoltaik.

---

<sup>6</sup> Aus geschätzt 40 € Mehrkosten je Tonne Bioabfall und lt. Anhang zur Pressemitteilung der BSR zum Erörterungstermin des Genehmigungsverfahrens (2011) 5.050 Mg/a CO<sub>2</sub>-Einsparung für 60.000 Mg/a Bioabfall.

## 9 Umsetzung einer optimierten Verwertung bei kommunalen Einrichtungen

Die oben geschilderte Ausgangslage einer optimierten Verwertung lässt sich zunächst mit folgenden Konsequenzen zusammenfassen:

1. Zukünftig muss die Grüngutverwertung der kommunalen Einrichtungen sowohl für die bei Eigenleistung anfallenden Mengen als auch für die vom beauftragten Dienstleister mit entsorgten Mengen ein hohes ökologisches Niveau erfüllen.
2. Zur hochwertigen Verwertung können künftig folgende zwei technische Verwertungstypen zum Einsatz kommen:
  - a) die Vergärung als biologische, kombiniert stofflich-energetische Verwertungsform,
  - b) die rein energetische Verwertung als Verbrennung, meist mit einer Vorbehandlung – entweder mit Trocknung oder als hydrothermale Karbonisierung.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Vergärung ggf. vom Verwerter eine höhere Sortenreinheit eingefordert wird. Der damit einhergehende Mehraufwand bei der Erfassung ist zu berücksichtigen.

3. Im Großraum Berlin ist derzeit der Angebotsmarkt höherwertiger Verwertungsverfahren noch nicht vollständig entwickelt, da diese Verwertungsqualität bislang von kommunalen Einrichtungen noch nicht nachgefragt wurde. Daher können erst nach der Installation bzw. nach der Umrüstung bestehender Behandlungsanlagen entsprechende Ausschreibungen mit derartigen ökologischen Mindestkriterien durchgeführt werden. Nach unserer fachlichen Einschätzung wird dies erst Mitte 2012 bzw. Anfang 2013 der Fall sein. Erst zu diesem Zeitpunkt sollte den kommunalen Auftraggebern das erarbeitete Leistungsblatt mit ökologischen Kriterien für derartige Ausschreibungen nach dem Ausschreibungs- und Vergabegesetz verbindlich vorgegeben werden.
4. Die Bezirksämter stehen unter erheblichem Kostendruck und daher mittelbar unter der Maßgabe, Schnitte von Grünflächen und Entsorgungskosten (durch Flächenmulchung) einzusparen. Die davon bestimmte Pflegepraxis wird zunächst als gegeben hingenommen, obwohl bei dichterem Schnittfolge wie auch bei Abtransport größerer Mengen aus den Pflegeflächen (anstelle der Mulchung) deutliche Mehrmengen an Organikresten erzielbar wären.

## 9.1 Leistungsblatt zur Ausschreibung einer klimaschonenden Verwertung

Die qualitativ höherwertige Verwertung der Biomasse im Sinne der o.g. Punkte 1 und 2 sollte - im Gegensatz zur derzeit ausschließlich durchgeführten umweltbelastenden Kompostierung – zukünftig Gegenstand entsprechender Ausschreibungen durch die Bezirke sein. Die entsprechenden Ausschreibungen können folgende Tätigkeitsbereiche umfassen:

- Beauftragung zur externen Verwertung der Grünreste ab den festgelegten Übergabepunkten, sofern die Eigenleistung der Pflege durch die Bezirke erbracht wird.
- Fremdbeauftragte Grünflächenpflege mit anschließender Verwertung der mitgenommenen Grünreste.

Basierend auf der Ermächtigungsgrundlage des Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetzes enthält die vom Land Berlin erarbeitete Verwaltungsvorschrift für ein umweltverträgliches Beschaffungswesen (Verwaltungsvorschrift VwVBU - Beschaffung und Umwelt – VwVBU) im Anhang 1 verbindliche Leistungsblätter mit ökologischen Mindestkriterien für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen.

Spätestens ab 1. Januar 2013 ist das Leistungsblatt zur hochwertigen und klimaschonenden Verwertung der bei kommunalen Einrichtungen anfallenden Grünreste Mähgut und Laub in die VwVBU aufzunehmen, so dass ab diesem Zeitpunkt dieses Leistungsblatt von allen kommunalen Einrichtungen bei der Beauftragung einer Dienstleistung zur Verwertung dieser Biomasse verbindlich angewendet werden muss. Bis zum Inkrafttreten dieser Vorgabe sollten insbesondere die Grünflächenämter möglichst eine klimaschonende Verwertung - wie beschrieben - in Form **von Nebenangeboten** abfragen, um den Ausbau entsprechender Behandlungskapazitäten in Berlin zu beschleunigen.

Zur Einforderung einer klimaökologisch höherwertigen Verwertung sind deren Leistungswerte festzulegen und zu bestimmen. Diese sollten grundsätzlich

- eindeutig und möglichst einfach zu prüfen sein,
- für Stoffe jeder Konsistenz, insbesondere jedes Wassergehaltes anwendbar sein,
- kein Verfahren bevorteilen oder diskriminieren.

Prinzipiell könnte dafür für jedes angebotene Verfahren eine komplette **Klimabilanz** erstellt bzw. eingefordert werden. In diese fließen Emissionsdaten der Vorbehandlung ein wie auch Last- und Gutschriften der eingesetzten und produzierten Energieträger. Diese Berechnung erfordert eine erhebliche Anzahl von Parameter-Vorgaben und einen sehr umfassenden Datenbestand beim Bieter über alle emissionsseitigen und energetischen Einzelheiten seines Verfahrens. Eine Klimabilanz kann demnach im wissenschaftlichen Bereich für eine Rangfolgen-Bestimmung der Verfahren herangezogen werden, ist aber für eine verfahrensoffene Ausschreibung ungeeignet. Die hier erstellten ökologischen Mindestanforderungen sind also demzufolge nicht auf Vollständigkeit abgestellt, sondern auf **eindeutige und vereinfachte Beantwortung der Frage, ob ein Verfahren als klimaökologisch hochwertig einzustufen ist**.

Für das Leistungsblatt werden unter diesem vergaberechtlichen Aspekt folgende ökologische Mindestkriterien bei einer Ausschreibung den Bietern verbindlich vorgegeben werden:

**1. Einhaltung der Emissionsgrenzwerte:**

*Alle für die Anlagen der Grünrestverwertung geltenden Emissionsgrenzwerte, insbesondere die Vorschriften nach BImSchG und alle Vorgaben der TA-Luft sind vollständig einzuhalten.*

**2. Einhaltung einer Mindestenergieeffizienz:**

*Aus der in der Trockensubstanz der Grünreste gebundenen Energie müssen in der abschließenden energetischen Verwertungsstufe mindestens 55 % als nutzbare Energie ausgebracht werden. Hierzu gehören Strom, Wärme und die organische Trockensubstanz eines erzeugten Gärrestkompostes. Die Vorbehandlung und der Transport werden hierbei nicht berücksichtigt.*

**3. Nachweis zur Einhaltung der obigen Vorgaben:**

*Zur Dokumentation der Einhaltung der beiden obigen Vorgaben sind folgende Nachweise vorzulegen:*

- *zu Punkt 1) ein Messbericht über alle Abluftströme, aus dem anschaulich hervorgeht, dass alle entsprechenden Grenzwerte – hier insbesondere der für die klimaschonende Vergärung wichtige TOC-Grenzwert von 50 mg pro Kubikmeter Abgas gem. TA-Luft (Nummer 5.2.5) – eingehalten werden.*
- *zu Pkt 2) ein aussagekräftigen Bericht über die Einhaltung der obigen Mindestenergieeffizienz sowie Ausweisung der relevanten Energieströme der thermischen Anlage unter transparenter und stoffbezogener Ausweisung der Energieerträge und -aufwendungen bei der Behandlung der betroffenen Grünreste.*

Im folgenden werden diese Mindestanforderungen begründet.

**1. Einhaltung der Emissionsgrenzwerte:**

Hier wird insbesondere die strikte Einhaltung der TA-Luft-Grenzwerte des organischen Kohlenstoffs (**TOC**) in der Abluft eingefordert, der 0,5 kg/h oder **50 mg/m<sup>3</sup>** nicht überschreiten darf - als für alle nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigten Anlagen geltende Forderung der TA-Luft (Nummer 5.2.5). Damit wird eine ausreichende Reduzierung der klimaschädlichen Methanemission insbesondere bei der Vergärung erreicht - hinsichtlich der direkt emittierten Klimagase steht damit die Vergärung auf etwa demselben Emissionsniveau wie die übrigen (thermischen) Verfahren.

**2. Einhaltung einer Mindestenergieeffizienz:**

Zur Berechnung der vereinfachten (!) Energieeffizienz mit mindestens 55 % wird eine Formel herangezogen, die in der Grundform dem Anhang der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98 EG zur Bewertung von Verbrennungsprozessen entstammt.  $E_p$  ist die Summe aller produzierten Energie. Die Umrechnungsfaktoren für Wärme und Strom werden laut EU mit 2,6 und 1,1 angesetzt.

Tabelle 22: Vereinfachte Berechnung der Energieeffizienz (als Vergabekriterium)

Vereinfachte Formel zur Energieeffizienz	
<b>Effizienz =</b>	$\frac{E_p}{E_w}$
<b>Effizienz</b>	Wert zwischen 0 und 1, Soll: 0,55 = 55 %
<b>E<sub>p</sub> [kWh]</b>	Produz. Energie (Strom/Wärme/Kompost)
<b>E<sub>w</sub> [kWh]</b>	Energie aus Abfall (Hu der TS)
<b>2,6</b>	Primärenergie-Faktor für Strom
<b>1,1</b>	Primärenergie-Faktor für Wärme
<b>0,8</b>	Primärenergie-Faktor für Hu oTS Kompost

Die EU-Effizienzberechnung bezieht sich auf den **unteren** Heizwert eines Brennstoffs - für Verbrennungsprozesse ist dies angemessen, weil wegen der verfahrenseigenen Verdampfung der Feuchte kein anderer Bezug in Frage kommt. Vergärung und HTC gewinnen dagegen Energie aus Abfällen, **ohne** deren Wassergehalt verdampfen zu müssen. Damit kann im Vergleich der Verfahren nicht mehr der untere Heizwert des Feucht-Inputs als Bezugswert E<sub>w</sub> herangezogen werden, sondern der Heizwert der Trockensubstanz ohne Abzug der Verdampfungsenergie.

Um die stoffliche Verwertung über die Vergärung zu berücksichtigen, ist der oTS-Heizwert des Kompostes/Gärrestes mit dem Faktor 0,8 eingebracht.

In einer Ausschreibung werden die Stoffdaten des zu behandelnden Materials vorgegeben – hier realitätsnah mit 30 % Trockensubstanz und über den oTS-Anteil mit einem Heizwert von rd. 4 kWh/kgTS. Den Bietern obliegt der verbindliche Eintrag, welche Energiebeträge aus einem erzeugten Brennstoff über Strom und Wärme gewonnen werden.

Tabelle 23 weist die Ergebnisse einer potentiellen Bieterangabe für die verschiedenen Verfahren aus. Wie oben bereits geschildert, geht es hier einzig darum, energetisch gewünschte Verfahren **vergaberechtlich** eindeutig oberhalb eines numerischen Wertes zu positionieren, wohingegen die alleinige Kompostierung ohne Energienutzung diesen Wert nicht erreicht. Die hier ermittelten Werte der Energieeffizienz sind dagegen **nicht** zur Rangfolgenbildung der Verfahren untereinander geeignet, da der energetische Verfahrensaufwand keinen Eingang in diese Berechnung findet.

Tabelle 23: Ergebnisübersicht einer virtuellen Bieterabfrage

<b>Organik-Rohstoff:</b>		TS-Gehalt: <b>30%</b>		oTS Gehalt: <b>85%</b>		
		Hu oTS: <b>18,00 MJ/kg</b>		Hu TS: <b>4,25 kWh/kg</b>		
<b>Ermittlung der Energieeffizienz der Verfahren</b>		<b>Vergärung</b> (mit Gutschrift für Kompostproduktion)	<b>Hydrothermale Karbonisierung (HTC)</b>	<b>Verbrennung mit Trocknung</b>	<b>Verbrennung ohne Trocknung</b>	<b>Kompostierung</b>
Energieträger		<i>Biogas</i>	<i>Bio-Kohle</i>	<i>Trockengut</i>	<i>Rohmaterial</i>	<i>entfällt</i>
Menge	kg/Mg	128	238	353	1.000	0
Energieoutput Hu	kWh/Mg	574	1.227	931	789	0
eta Strom	%	35%	0%	25%	20%	0%
eta Nutzwärme	%	5%	85%	20%	38%	0%
Strom	kWh/Mg	201	0	233	158	0
Wärme	kWh/Mg	29	1.043	186	300	0
Strom, Faktor 2,6	kWh/Mg	522	0	605	410	0
Wärme, Faktor 1,1	kWh/Mg	32	1.148	205	330	0
OTS in Kompost	kg/Mg	89	18	1.607	446	110
Energie Kompost	kWh/Mg	357	0	0	0	440
Strom und Wärme	kWh/Mg	554	1.148	810	740	0
<b>Summe Energie</b>	<b>kWh/Mg</b>	<b>911</b>	<b>1.148</b>	<b>810</b>	<b>740</b>	<b>440</b>
<i>Energieinput TS</i>	<i>kWh/Mg</i>	<i>1.275</i>	<i>1.275</i>	<i>1.275</i>	<i>1.275</i>	<i>1.275</i>
<b>Effizienz Input/Output</b>		<b>71%</b>	<b>90%</b>	<b>64%</b>	<b>58%</b>	<b>35%</b>
<b>Kriterium 55 % erfüllt ?</b>		<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>nein</b>

**3. Nachweis zur Einhaltung der obigen Vorgaben:**

zu Punkt 1) Messberichte über Abluftströme bereit zu stellen, ist nach BImSchG und TA-Luft übliche Routine und hier insbesondere für den Treibhausgas-relevanten TOC-Grenzwert von 50 mg pro Kubikmeter Abgas von Bedeutung.

zu Pkt 2) Ein Bericht über die energetischen Eckwerte der erklärten Mindestenergieeffizienz sowie die Ausweisung der relevanten Energieströme stellt keine besonders schwierig zu erfüllende Anforderung dar, da dies mit einfachen Berechnungen aus der Jahresbilanz an Energieerträgen und -aufwendungen sowie den Stoffdaten der behandelten Grünreste abgeleitet werden kann.

Unter der Anwendung dieser ökologischen Mindestkriterien kann zukünftig eine hochwertige und klimaschonende Verwertung der anfallenden kommunalen Grünreste gewährleistet werden.

## 9.2 Konzept zur Organisation

Tabelle 24 stellt den IST-Stand und das künftige Konzept einer höherwertigen Verwertung der Grünreste anschaulich dar.

Die Spannbreite der Aufteilung in „Eigenleistung“ und „Fremdleistung“ ist von Bezirk zu Bezirk und je nach Pflegekategorie stark unterschiedlich und kann damit nicht allgemeingültig (farblich) in der Tabelle verankert werden.

Diese Aufteilung soll – was die **Pflegemaßnahme** selbst angeht – hier nicht mit Empfehlungen versehen werden, weil sie vorrangig von personellen, operativen und wirtschaftlichen Aspekten der jeweiligen Bezirke beeinflusst wird. Die ökologische **Qualität der klimaschonenden Verwertung** der Grünabfälle ist dagegen eine generelle Mindestanforderung und gilt unabhängig davon, ob die Pflegeleistung selbst erbracht oder fremdbeauftragt wurde.

### 9.2.1 Bereitstellung des Mähgutes seitens der Bezirksämter

Die Erfassung des Mähgutes durch die bezirklichen Einrichtungen wird in den verschiedenen Pflegekategorien wie bisher realisiert.

Der Transport des Mähgutes erfolgt wie bisher zu den Sammel- bzw. Kompostplätzen, die künftig nur mehr als Sammelplätze bzw. Umschlagstationen dienen.

Die Verladung in Container erfolgt je nach Ausstattung der Ämter entweder in Eigenleistung, oder die Beladung ist Leistungsgegenstand des Transportunternehmens/Entsorgers.

Die Ämter ermitteln – wenn noch nicht detaillierter vorliegend – jeweils den wöchentlichen Anfall an Mähgut zu den Sammelplätzen im Jahrgang als logistische Grundgröße für eine entsprechende Leistungsbeschreibung. Je nach den technischen Möglichkeiten der Ämter sollte die Anzahl der Sammelplätze möglichst gering ausfallen, um die Abholung durch den (externen) Transporteur zu vereinfachen und so die damit zusammenhängenden Kosten zu senken.

Mit der künftigen nahezu vollständigen Einspeisung des vorhandenen Mähgutes in höherwertige, externe Verfahren wird anhand der Preise und Logistik-Bedingungen eine konkretere Beurteilung dahingehend möglich sein, ob eine Ausweitung der derzeitigen Mähgut-Mengen durch Nutzungsänderung aus wirtschaftlichen Aspekten möglich ist. Es ist dann in Auswertung der sehr spezifischen Flächen und Pflegeverhältnisse für jeden Bezirk die wirtschaftlichste Rangfolge herauszuarbeiten, in der Flächen durch Änderung der Pflegeverhältnisse auch zur verstärkten Grünmasseproduktion herangezogen werden können.

### 9.2.2 Bereitstellung des Laubes seitens der Bezirksämter

Die extern zur Verwertung verbrachte Laubmenge liegt abgeschätzt bei einem Viertel des Gesamt-Laubanfalls. Der Rest wird weit überwiegend auf Beeten gemulcht. Diese Form der Verrottung hat gegenüber der zentralisierten Laubkompostierung zumindest den Vorteil einer deutlich geringeren Methanfreisetzung.

Tabelle 24: Übersicht der Verfahrensänderung zur Sammlung und Verwertung

Bisherige Arbeitsweise (Muster für Bezirk mit eigener Kompostierung)			
Ort/Maßnahme	Mähgut	Laub	
<b>Vor Ort</b>	A: Mähen und Mulchen B: Mähen, abtransportieren nach Schnitt	Flächen-Mulchung (Beete und Gehölzflächen)	Einsammeln, Lagern
<b>Aufbereitung vor Ort</b>	---	---	---
<b>Transport</b>	Kleintransporter für nicht gemulchtes Material	---	Kleintransporter
<b>Kompostplatz</b>	Abkippen in freiem Bereich	---	Abkippen in freiem Bereich
<b>Verarbeitung</b>	Bei ausreichender Menge auf dem Platz wird vom Lohnunternehmen das bereitliegende Material geshreddert und zu Mieten aufgesetzt; anschl. Kompostierung	---	Gemischt mit der übrigen Grünschnittverarbeitung
<b>Produkt</b>	Kompost, ggf. Lohnunternehmen für Siebung	langjährige Humusbildung	Kompost
<b>Verwertung</b>	Eigenverwertung	Eigenverwertung	
<b>gelb</b>	durch NGA		
<b>grün</b>	externer Dienstleister / Entsorger		

Konzept für künftige Arbeitsweise			
Ort/Maßnahme	Mähgut		Laub
<b>Vor Ort</b>	Mähen und in Containern lagern, max. 3-4 Tage		Sammeln in dezentralen Containern, ggf. künftig Ballenlagerung
<b>Aufbereitung vor Ort</b>	ggf. Silierung		künftig anteilige Ballierung
<b>Transport</b>	Transport per Dienstleister ...	... oder Eigen-transport	Transport per Dienstleister
<b>Kompostplatz</b>	Verwendung als Zwischensammel- und Umschlagplatz		zusätzlich ggf als Ballenlager
<b>Verarbeitung</b>	je nach Angebot <b>Vergärung</b> / (Biomasse-) Kraftwerk; Mitverbrennung; HTC-Verfahren*		(Biomasse-) Kraftwerk; Mitverbrennung; HTC-Verfahren*
<b>Produkt</b>	Biogas und Kompost	Biogas/ Kompost; Energiegewinnung; Biokohle zur Energiegewinnung	Energiegewinnung; Biokohle zur Energiegewinnung
<b>Verwertung</b>	extern		extern
* HTC: Hydrothermale Karbonisierung			

Für die Verwertung von Laub kommt als höherwertiges Verwertungsverfahren vorrangig die energetische Verwertung in Betracht, also thermische Verfahren. Für diese ist es wiederum **nicht** von Bedeutung, dass das Laub **sortenrein** anfällt – d.h. ein mit Laub vermischter letzter Grünflächenschnitt ist für diesen Verwertungsweg ebenfalls gut geeignet.

Die Erfassung des Laubes erfolgt in den verschiedenen Flächenstrukturen wie bisher realisiert, die Einbindung von Mähgutanteilen in das Laub ist verwertungstechnisch unkritisch. Der Transport des Laubes erfolgt wie bisher zu den Sammel- bzw. Kompostplätzen, die künftig nur mehr als Sammelpunkte bzw. Umschlagstationen dienen. Auch beim Laub erfolgt die Verladung in Container je nach Ausstattung der Ämter entweder in Eigenleistung, oder als Leistungsgegenstand des Transportunternehmens/Entsorgers. Analog zum Mähgut ermitteln die Ämter jeweils den wöchentlichen Anfall an Laub in den Monaten Oktober bis Dezember für eine entsprechende Leistungsbeschreibung

Die im Herbst anfallenden Laubmengen werden eine verstärkt ausgebaute höherwertigere Verwertungs-Infrastruktur nicht zwangsläufig überfordern:

- So kann z.B. auf Seiten der Zulieferer von Biomassekraftwerken eine zeitweise Zwischenlagerung von Altholz erfolgen, wenn das Biomassekraftwerk das Herbstlaub abarbeitet.
- Anbieter z.B. der hydrothermalen Karbonisierung arbeiten mit Kompostwerksbetreibern zusammen, die die entsprechenden Zwischenlagerflächen vorhalten können.

Falls dennoch nötig, kann eine solche Zwischenlagerung über zwei bis drei Monate bis zur Vegetations- und Grünanfall-Pause (Januar-März) bedarfsweise über Ballierung effektiviert werden. In der Verpressung von Laub in Rundballen wurden in Einzelversuchen gute Ergebnisse mit Dichten über  $0,5 \text{ Mg/m}^3$  erzielt. Im Herbst 2011 sollten demnach abgestimmt mit den Bezirken Ballierungsversuche mit Laub unter Einsatz der in Berliner Landwirtschaftsbetrieben vorhandenen Ballenpressen durchgeführt werden. Daraus können auf die spezifische Berliner Situation abgestimmte Kosten- und Betriebswerte ermittelt werden.

### 9.2.3 Umsetzung in die Leistungsbeschreibung

Die Leistungsbeschreibung in der Ausschreibung kann orientierend nach Tabelle 25 erfolgen; aufgeteilt nach der externen Verwertung selbst gemähten Grünschnitts (dann mit und ohne Transport in Eigenleistung) oder als Verwertung der Grünreste als Bestandteil der externen Pflegeleistung.

Tabelle 25: Beispielhafte Übersicht der Anforderungen in der Ausschreibung

Maßnahme / Ausschreibungsinhalt	Mähd in Eigenleistung		Mähd als Fremdleistung mit Transport und Verwertung
	Ausschreibung der Verwertung mit Transport	Ausschreibung der Verwertung ohne Transport	
Bearbeitungszeitraum Angebot	3 Monate		3 Monate
Mindestkriterien der Verwertung	gem. Kap 9.1	gem. Kap 9.1	gem. Kap 9.1
Laufzeitbeginn (Beispiel)	Jan 13	Jan 13	Jan 13
Vertragsdauer Jahre	3	3	3
Beschreibung Mähgut / Grünreste	TS, OTS, Störstoffe		Bietereintrag
Mengenanfall pro Woche m <sup>3</sup> (Beispiel)	60	60	Bietereintrag
Mengenanfall pro Woche m <sup>3</sup> max	100	100	
Standort Grünrest-Übergabe	Beschreibung Amt	Beschreibung Bieter	entfällt
Containerstellung	Beschreibung Bieter	entfällt	entfällt
Wochentag Abholung	n.V.	entfällt	entfällt
Eingesetztes Verwertungsverfahren	Beschreibung Bieter		Beschreibung Bieter
Zusicherung Erfüllung Kriterien	Werteeintrag / Bestätigung Bieter		Werteeintrag / Bestätigung Bieter
Preisangabe Pflege € /ha	nein	nein	ja
Preisangabe Transport €/m <sup>3</sup>	ja	nein	ja
Preisangabe Verwertung €/m <sup>3</sup> oder €/Mg	ja	ja	ja

Die Mindestlaufzeit für die Beauftragung hochwertiger Verwertungsverfahren sollte zumindest 3 Jahre umfassen, um derartige moderne Verfahren dauerhaft auf dem Entsorgungsmarkt zu etablieren. Für die externe Verwertung von Laub kann die Ausschreibung analog aufgebaut werden.

Zur Erzielung von günstigen Konditionen sollte die Entsorgung dieser beiden Biomasseströme möglichst gemeinsam ausgeschrieben werden.

## 10 Fazit

Im Rahmen des Projektes wurden die Konzepte und Anbieter höherwertiger Verwertungstechnologien recherchiert: Teils handelt es sich um Vergärungs-, teils um rein energetische Verfahren.

Mit Mähgut und Laub der bezirklichen Grünflächenämtern können zumindest rund 41.000 Mg/a erfasst und über eine höherwertige Verwertung als die Kompostierung behandelt werden. Durch diese hochwertige Verwertung werden rund 12.000 Mg/a an schädlichem CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermieden. Durch Ausbau der Erfassung von Grünresten, speziell von Laub, kann dieser Einsparungsbetrag perspektivisch auf 20.000 Mg/a erhöht werden.

Die absehbaren Mehrkosten der höherwertigen Verwertung sind geringfügig und werden für alle bezirklichen Einrichtungen mit rund 120.000 € (ohne Kompostzukauf) bzw. rund 270.000 € (mit Kompostzukauf) pro Jahr vorkalkuliert. Auch bei Sensitivitätsschwankungen der Abschätzungen lässt sich eine sehr wirtschaftliche Maßnahme zur Treibhausgas-Reduzierung darstellen, die je nach Kompostzukauf zwischen rund 10 und rund 22 € pro Mg CO<sub>2</sub> liegen wird. So liegt der finanzielle Aufwand zur CO<sub>2</sub>-Minderung bei der künftigen Berliner Bioabfallvergärung gegenüber der vorherigen Bioabfallkompostierung bei 400 €/Mg CO<sub>2</sub><sup>1</sup> und damit etwa auf dem Niveau der Photovoltaik.

Zur Umsetzung der klimaschonenden Verwertung von Mähgut und Laub wurden anspruchsvolle Kriterien zur Einforderung einer höherwertigen Verwertung über künftige Ausschreibungen entwickelt und mit einem skizzierten Anforderungskatalog zur Umsetzung der verbesserten Verwertung ergänzt.

Die Maßnahmen sollten baldmöglichst umgesetzt werden. Spätestens jedoch ab Januar 2013 werden die ökologischen Mindestkriterien durch die vom Land Berlin geplante Verwaltungsvorschrift für ein umweltverträgliches Beschaffungswesen bei Ausschreibungen zur Beauftragung von Dienstleistungen zur Grünflächenpflege allen kommunalen Auftraggebern –insbesondere den bezirklichen Grünflächenämtern - als konkrete Hilfestellung verbindlich vorgegeben.

Ergänzend zu dieser Studie werden die wesentlichen Ergebnisse in Form eines separaten **Handlungsleitfadens** zur hochwertigen und klimaschonenden Verwertung von Rasenschnitt und Laub für die bezirklichen Grünflächenämter zusammengestellt.

---

<sup>1</sup> ICU-Abschätzung basiert auf geschätzten 40 € Mehrkosten pro Mg Bioabfall sowie auf der BSR- Pressemitteilung zum Erörterungstermin des Genehmigungsverfahrens (Frühjahr 2011) über eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 5.050 Mg/a für 60.000 Mg/a Bioabfall..

## 11 Quellenverzeichnis

IFEU/Öko-Institut: Klimaschutzpotentiale der Abfallwirtschaft; Studie im Auftrag des BDE unter Förderung des Umweltbundesamtes, FKZ 3708 31 302; Darmstadt/Heidelberg/Berlin 2010

Witzenhausen-Institut/ICU: Nutzung von Biomasse in Berlin; Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin 2009

Cuhls, Carsten: Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, Abschlussbericht FKZ 206 33 326 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Hannover 2008

bifa-Umweltinstitut: Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen und Grüngut in Bayern; Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit; bifa-Text Nr. 47; Augsburg 2010

Suncoal-Industries: Feasibility-Study of CarboREN-Process; Ludwigsfelde 2010 (unveröff.)

Vogt, Regine (IFEU): Bewertung von energetischer und stofflicher Nutzung von Biomasse sowie Kombinationen/Vergleich verschiedener Verfahren und Ökobilanzierung; Vortrag zur Jubiläumstagung der Stadtwerke Düsseldorf, 2009

## 12 Anhang

- 1) Steckbriefe der regionalen Anbieter höherwertiger Verwertungsverfahren
- 2) Kurzbeschreibung Ökobilanz

## **12.1 Steckbriefe der regionalen Anbieter höherwertiger Verwertungsverfahren**

## **Anbieter: Plan-E Büssow & Co. KG - Biogasanlage, Hennickendorf**

---

**Verfahren:** Bei der Hennickendorfer Vergärungsanlage handelt es sich um eine Trockenfermentationsanlage im Batchverfahren, bestehend aus 6 Fermentern in „Garagenbauweise“ mit Abmessungen von B=7m x H=5m L=30m und einer jährlichen Inputmenge von 18.000 Mg Die Anlage wurde von der Firma BIOFerm/ Viessmann errichtet und im Mai 2011 nach Fertigstellung in Betrieb genommen.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Die Vergärungsanlage ist als Feststoffvergärung (bis 40 % TS) ausgelegt und soll mit den derzeit zur Kompostierung angelieferten, zur Vergärung geeigneten biogenen Abfallstoffen, wie gasbildenden Grünresten, Laubsackinhalten, Markt- und Küchenabfälle, Abfällen aus der Biotonne und nichtverwertbaren Abfälle aus der Nahrungsmittelherstellung, beschickt werden.

**Kurze Beschreibung:** Das in die Fermenter per Radlader eingebrachte, mit Gärresten - im Verhältnis 50:50 – beimpfte vorgemischte Material wird im gasdicht geschlossenen „Garagensystem“ mit Perkolatflüssigkeit aus dem Vorratstank beriebelt. Nach einer Startphase beginnt die Vergärung des Fermenterinhalt und die Biogasproduktion. Das entstehende Biogas wird in einem Foliensack gespeichert und in zwei BHKW mit einer Gesamtleistung von 610 kW<sub>el</sub> verstromt. Die entstehende Wärme wird für die Systembeheizung und Hygienisierung des flüssigen Gärrestes verwendet. Als externes Wärmekonzept wird eine Komposttrocknungsanlage (Schubwendetrockner) und die Beheizung der Büroräume betrieben. Der Vergärungsprozess dauert ca. 28 Tage. Nach Abschluss der Vergärung wird der Fermenter-Oberraum mit Frischluft gespült. Die Abluft wird zunächst als Schwachgas mit verbrannt, danach über eine Fackel und letztlich über Biofilter gereinigt abgelassen.

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** Grundsätzlich hat die Firma Plan-E Büssow & Co. KG Interesse an getrennt gesammelten, gasbildungsfähigen Chargen der Berliner Grünflächenämter. Wesentlich Aspekte sind die getrennte Erfassung und die zeitnahe Abholung der Grünreste von den Grünflächenämtern. Ein Entsorgungskonzept über Containergestellung würde von der Firma übernommen werden.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Durch die Synergie der Vergärungsanlage mit der Kompostanlage (Inputkapazität 86.000 Mg/a) bestehen keine Einschränkungen hinsichtlich der anzunehmenden Mengen. Durch die Lage der Vergärungsanlage im Osten Berlins werden wegen der Transportentfernung Grünreste aus den östlich gelegenen Bezirken bevorzugt in Frage kommen.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** Durch die robuste Beschickung der Vergärungsanlage per Radlader gibt es außer der Anforderung der „getrennten Erfassung“ und der „zeitnahen Anlieferung“ vergärbarer Grünreste keine weiteren Anforderungen. Verrottetes oder verschimmelter Material ist nicht geeignet. Laub wird wegen der geringen Gasbildung nicht als geeignet eingestuft.

**Preise:** Die Annahmepreise sollen im auch sonst üblichen Rahmen liegen - genauere Angaben waren nicht zu erhalten.

## **Anbieter: GASAG - Vergärungsanlagen, Berlin / Brandenburg**

**Verfahren:** Die Berliner GASAG will bis zum Jahr 2020 fünfzehn NAWARO-Vergärungsanlagen errichten. Diese Anlagen sollen zur Herstellung von Bio-Methangas eingesetzt werden.

Die GASAG hat 2009 die erste Bio-Erdgasanlage unter der Beteiligung der GASAG-Tochter EMB in Rathenow in Betrieb genommen. Im Herbst 2011 soll eine weitere Vergärungsanlage in Schwedt an der Oder mit einer Methanproduktion von 700 Nm<sup>3</sup>/h in Betrieb gehen. Eine weitere Anlage ist im Bereich Strausberg, östlich von Berlin geplant.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Zur Vergärung geeignete Energiepflanzen wie Mais, Gras und Ganzpflanzensilage.

**Kurze Beschreibung:** In den Biogasanlagen der GASAG werden Energiepflanzen als Inputmaterial eingesetzt. Das bei der Vergärung entstehende Biogas wird mit einem geeignetem Verfahren, z.B. der Aminwäsche, zu Bio-Erdgas aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist.

**Beschreibung - zusätzliche Einsatzstoffe:** Die GASAG sieht derzeit wegen der großen Transportentfernung zu den GASAG-Anlagen und damit bzgl. der Nachhaltigkeit der GASAG-Biogasprojekte keine Einsatzmöglichkeit für vergärungsg geeignete Materialien wie z.B. Mähgut aus Berlin. Im Rahmen der weiteren Projektentwicklung und dem damit verbundenen Bau von näher am Stadtgebiet gelegenen Biogasanlagen sieht die GASAG jedoch Einsatzmöglichkeiten für Landschaftspflegematerialien aus Berlin.

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** Derzeit nur reine NAWARO-Stoffe unter Einhaltung der u.g. GASAG-Qualitätskriterien.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Derzeit besteht keine Bereitschaft zur Abnahme von Mähgut aus Berlin. Laub ist generell nicht geeignet. Für die nähere Zukunft (2015) könnten jedoch in den Sommermonaten in Berlin anfallende Mengen als Frischmaterial in nahe zu Berlin gelegene GASAG-Anlagen geliefert werden.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** Wesentlich für den Einsatz von Landschaftspflegegütern in den GASAG-Anlagen ist eine zeitnahe Anlieferung und eine hohe Produktreinheit. Die GASAG nennt für den Einsatz in den Vergärungsanlagen folgende Qualitätskriterien (analog zu NAWARO-Anforderungen):

- Häckslereinstellung (Schnittlänge): 6 bis 9 mm bis max. 15 mm
- Trockensubstanzgehalt: 31 bis 33 %, oTS > 89 %
- Verschmutzungen: max. 2%, nicht visuell erkennbar.
- Gasausbeute: 600 bis 660 Nm<sup>3</sup>/Mg oTS

**Preise:** Für geeignetes Landschaftspflegegut schätzt die GASAG derzeit ein, dass dieses zukünftig (s.o. ab 2015) kostenlos frei Standort der GASAG-Biogasanlagen angenommen werden kann.

---

**Anbieter: RWE - HHKW Neukölln, Berlin – Rudow**

**Verfahren:** Holzheizkraftwerk in Kraft-Wärme-Kopplung. Die Anlage entspricht den Anforderungen der 17. BImSchV.

Anlagendaten: **Brennstoffleistung:** 103 MW; **Thermische Leistung:** 65 MW<sub>th</sub>; **Elektrische Leistung:** 20 MW<sub>el</sub>.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Altholz A 1 - A 4, **Menge:** ca. 250.000 Mg/a

**Kurze Beschreibung:** Die Anlieferung für das Holzheizkraftwerk besteht aus einer eingehausten LKW-Kippstation für zwei LKW-Sattelzüge und einer Schiffsentladestelle. Das HHKW Neukölln verfügt über zwei Kessel mit einer Durchsatzleistung von ca. 15 - 17 Mg/h Altholz. Die Abgase werden über eine Rauchgasreinigung gem. den Anforderungen der 17. BImSchV gereinigt.

---

**Beschreibung - zusätzliche Einsatzstoffe:** Laub und Mähgut könnten über die LKW-Kippstation aufgegeben werden, würden dann auf den Aufbereitungsturm geleitet und danach in die Silos eingelagert. Dabei würde der Betrieb des Förder- und Aufbereitungsturms und die Verteilung auf die Silos so eingestellt werden, dass die zusätzlichen Einsatzstoffe mit dem Altholz vermischt würden, so dass eine homogene Mischung für die Verbrennung in den Kesseln sichergestellt würde.

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** Es wurden Versuche mit unterschiedlichen anderen biogenen Einsatzstoffen gemacht. Grundsätzlich besteht Interesse, andere biogene Stoffe einzusetzen. Wesentlich dabei ist die Transportfähigkeit über das vorhandene Transport-, Aufbereitungs- und Speichersystem.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Die Betreiber können sich die Substitution / Ergänzung der Altholzmengen durch den Einsatz von anderen biogenen Abfallstoffen vorstellen. Derzeit liegt eine Sondergenehmigung für die Mitverbrennung von 5.000 Mg biogenen Stoffen vor.  
Laub und Gasschnitt könnten bis zu einem Massenanteil von 10 % (bezogen auf die Tagesleistung) also ca. 25.000 Mg/a ggf. mehr mitverbrannt werden.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** Das Material darf eine max. Kantenlänge 150 mm nicht überschreiten. Sonstige Bedingung für den Einsatz von z.B. Laub und Mähgut ist die Transportfähigkeit im Beschickungssystem der Anlage und die Einhaltung der Brennbarkeit der erzeugten Mischung mit Altholz. Normalerweise liegt der Heizwert bei ca. 11 MJ/kg  
Zunächst sollten Versuche mit Laub bzw. Mähgut durchgeführt werden.

**Preise:** In der Regel muss das Altholz eingekauft werden, da für Laub bzw. Mähgut derzeit für die Kompostierung dem Entsorger 10 bis 20 €/Mg zugezahlt werden, dürfte dieser Betrag auch bei der Annahme durch das HHKW zur Verhandlung stehen.

## **Anbieter: Vattenfall - Braunkohlekraftwerk Jänschwalde, Lausitz**

---

**Verfahren:** Mitverbrennung im Braunkohlekraftwerk

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Braunkohle und biomassehaltige Alternativbrennstoffe (SBS)

**Kurze Beschreibung:** Vattenfall verfügt über diverse Braunkohlekraftwerke, wovon das Kraftwerk Jänschwalde seit 2005 neben Rohbraunkohle auch bis zu 500.000 Mg/a Sekundärbrennstoff aus **aufbereiteten** Abfallfraktionen mitverbrennt. Die Zugabe der Alternativbrennstoffe erfolgt über gesonderte Aufgabestationen mit automatisch arbeitenden Schubbodenbunkern, Schneckenförderern und Trogkettenförderern, die den SBS auf die Kohlebänder zur Mitverbrennung mit einer genehmigten Dosierate von 3,6 Ma-% aufgeben.

---

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** Generell störstoffbefreite, auf einen Trockestoffgehalt von > 80% getrocknete organische Materialien mit einer Schüttdichte über 0,25 Mg/m<sup>3</sup> und einer Korngröße < 30 mm.

**Verarbeitung der zusätzlichen Einsatzstoffe:** Bei Einhaltung der Qualitätsanforderungen wie die derzeit verarbeiteten Alternativbrennstoffe.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** im Rahmen des o.g. Mengengerüsts.

Nach Einschätzung von Vattenfall sind biogene Stoffe wie Laub und Rasenschnitt durch den erheblichen Konfektionierungsaufwand für die Mitverbrennung in den Vattenfall-Braunkohlekraftwerken der Lausitz unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und bei den aktuellen Zertifikatpreisen für CO<sub>2</sub> kaum wirtschaftlich erschließbar. Dies wird bei sich weiterhin verknappenden und verteuernenden CO<sub>2</sub>-Preisen regelmäßig neu bewertet. Vattenfall kann derzeit keine eigenen Kapazitäten für diese Konfektionierung anbieten.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** getrocknete aufbereitete Fraktionen mit einer Schüttdichte von mehr als 0,25 Mg/m<sup>3</sup>, Heizwert > 9 MJ/kg.

**Preise:** aus o.g. Gründen keine Angabe; unter den gegebenen Bedingungen erscheint die Verfolgung dieser Option nicht wirtschaftlich.

---

## **Anbieter: Vattenfall - Steinkohlekraftwerk Reuter C, Berlin**

---

**Verfahren:** Mitverbrennung in Vattenfall-Kraftwerk Reuter C

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Steinkohle

**Kurze Beschreibung:** Das Kraftwerk Reuter C wird mit Steinkohle betrieben, die über Kohlemühlen zerkleinert und in den Kessel eingeblasen wird.

---

**Beschreibung - zusätzliche Einsatzstoffe:** Es wurden planerisch die technischen Möglichkeiten untersucht, Grünreste und insbesondere Laub und Grünschnitt über eine Trocknungsanlage für den Einsatz im Kraftwerk aufzubereiten. Die Trocknung von Laub und Grünresten könnte auf dem Gelände des Kraftwerkes Reuter-West über Trommeltrockner erfolgen. Das Material müsste von Stör- und Inertstoffen befreit werden und könnte anschließend direkt in die Feuerung eingeblasen oder gemeinsam mit der Kohle verarbeitet werden. Allerdings schließt der Genehmigungsstand des Kraftwerkes nach 13. BImSchV derzeit die Mitverbrennung von Abfällen – dies sind eben Grünreste auch nach Trocknung – aus; für diese gelten die Vorschriften der 17. BImSchV.

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** (mind.) Straßenlaub, Laubsäcke Berlin, Grünschnitt

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Vattenfall hält die Brennstoffherzeugung aus zusätzlich erfassten Organikabfällen aus Berlin für ihre Berliner Kraftwerke für technisch möglich, allerdings erschwert der periodische Anfall der Biomasse die Aufbereitung zu einem Brennstoff, da die Aufbereitungstechnik durch den stark schwankenden Rohstoffanfall schwer kontinuierlich betrieben werden kann. Theoretische Mengenorientierung der o.g. Trocknung: 80.000 Mg/a, Laub und Grünreste - daraus ergäben sich nach Trocknung rd. 35.000 Mg/a getrockneten Biobrennstoffs. Voraussetzung wäre hierbei die Bereitschaft der Grünflächenämter, städtischen Grünschnitt zur Mitverbrennung bereitzustellen (einschließlich Transportlogistik).

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** breites Spektrum an organischen Einsatzmaterialien, bedarfsweise kann eine Zerkleinerung integriert werden, im Übrigen gilt:

- Die Brennstoff-Ausbeute steigt mit dem oTS-Gehalt der Feuchtmasse
- Der Energiebedarf der Trocknung steigt mit dem Wassergehalt der Inputstoffe
- Der mechanische Vorbehandlungsaufwand steigt mit Inertstoffanteil und dem Anteil grobstückiger Stoffe
- Die erforderliche temporäre Lagerung von Laub/Grünschnitt kann nicht auf dem Standort erfolgen und ist bislang ungeklärt.

**Preise:** Aufgrund einzelner ungeklärter Randbedingungen und Kostenfaktoren wie z.B. Zwischenlager kann derzeit kein Preis ermittelt werden.

---

**Anbieter: ALBA und BSR – MPS-Anlagen, Berlin–Reinickendorf, Berlin-Pankow**

---

**Verfahren:** Die MPS-Anlage ist eine Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlage, bestehend aus mechanischer Aufbereitung, Trocknung und Abtrennung unterschiedlicher Fraktionen.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Berliner Siedlungsabfälle mit einer Kapazität von 190.000 Mg/a je Anlage.

**Kurze Beschreibung:** Die im Tiefbunker angelieferten Siedlungsabfälle werden entschlackelt, zerkleinert und über einen Trommeltrockner mittels Einsatz von Erdgas getrocknet. Inertstoffe werden abgetrennt, der brennstoffhaltige Anteil wird zu Ersatzbrennstoff aufbereitet, der entweder im Zementwerk, oder zusammen mit der getrockneten Feinfraktion zur Mitverbrennung in Kraftwerken (derzeit insb. Kraftwerk Jänschwalde) eingesetzt wird.

---

**Zusätzlich verarbeitbare Einsatzstoffe:** Laub und Mähgut.

**Verarbeitung der zusätzlichen Einsatzstoffe:** Die MPS-Anlagen haben derzeit kleinere freie, zur Verfügung stehende Trocknungs-Kapazitäten, die für biogene Stoffe eingesetzt werden könnten. Die Abfall-Aufgabe würde dabei zusammen mit den Siedlungsabfällen über den Tiefbunker erfolgen, das zugegebene Material würde die MPS-Anlage zusammen mit den Siedlungsabfällen durchlaufen. Es könnten Laub oder Grünschnitt mitgetrocknet werden; diese würden dann zusammen mit den anderen in der MPS-Anlage abgetrennten und getrockneten Bestandteilen für die Mitverbrennung insb. im Kraftwerk Jänschwalde zur Verfügung gestellt werden.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Perspektivisch steht zumindest in der MPS Reinickendorf eine Kapazität von 3.300 bis 6.600 Mg/Monat als freie Kapazität ab 2012 zur Verfügung.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** Generelle Einschränkungen hinsichtlich der stofflichen Beschaffenheit bestehen nicht. Die Konsistenz würde sich - insbesondere über den Wasser- und Inertstoffgehalt – auf die Kosten auswirken.

**Preise:** Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können seriös keine Angaben zu Preisen gemacht werden. Eine zentrale Voraussetzung hierfür wäre die Durchführung eines Machbarkeitsversuchs, in dessen Rahmen die Auswirkungen auf den Betrieb und die Zusammensetzung der Ersatzbrennstoffe untersucht werden. Die Betreiber sind gerne bereit, einen solchen Versuch in der zweiten Jahreshälfte 2011 in Abstimmung mit der Senatsverwaltung durchzuführen, um im Anschluss technische Bedingungen und Preisangaben konkretisieren zu können.

---

**Anbieter: SUNCOAL – HTC-Verfahren, Ludwigsfelde**

**Verfahren:** Das SunCoal-Carboren Verfahren ist ein Verfahren zur Umwandlung von organischer Masse (Biomasse) in einen festen Brennstoff.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Als Einsatzstoff ist praktisch jede Art naturbelassener Biomasse geeignet, auch feuchte biogene Reststoffe wie z.B. Laub, Strauch-, Hecken- und Rasenschnitt, Holz aus der Landschaftspflege und die Biotonne.

**Kurze Beschreibung:** Die SunCoal Industries erzeugt aus naturbelassener Biomasse mittels des CarboREN-Verfahrens den standardisierten, homogenen und festen Biobrennstoff „SunCoal“, der kohleähnliche Eigenschaften hat. Er kann als Granulat, Staub oder Pellet bereitgestellt werden. Zusammensetzung und Eigenschaften von SunCoal sind mit denen von Braunkohlenstaub vergleichbar.

Das CarboREN-Verfahren nutzt die Eigenschaft organischer Abfallstoffe, sich bei hohem Druck und hoher Temperatur (20 bar, 210 °C) zu zersetzen (hydrothermale Karbonisierung - HTC). Die langkettige organische Substanz zerfällt zu „SunCoal“ und kann aus der Flüssigphase extrahiert werden. Die organische Trockensubstanz wird im CarboREN-Verfahren zu über 80% zu „SunCoal“ umgewandelt. Wird SunCoal als Substitut für Braunkohlenstaub eingesetzt, können je Tonne behandelter Grünreste rd. 500 kg CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart werden.

Das Unternehmen SunCoal Industries GmbH entwickelt aktuell ein erstes Projekt im industriellen Maßstab am Unternehmenssitz in Ludwigsfelde südlich von Berlin und erwartet bis Herbst 2011 die Baugenehmigung. Dort sollen aus jährlich 50.000 Mg feuchter Biomasse 20.000 Mg SunCoal erzeugt werden. Die Belieferung soll unter Einbindung von bestehenden Kompostwerken erfolgen, die bislang die vollständige Verarbeitung der Grünreste übernehmen und diese künftig für das CarboREN-Verfahren aufbereiten sollen.

---

**Beschreibung - zusätzliche Einsatzstoffe:**

- **(Straßen)Laub:** nach Abtrennung von Inertstoffen
- **Mähgut:** direkt, wenn praktisch keine Verunreinigungen enthalten
- **Gemischte Grünreste:** nach Zerkleinerung und Abtrennung von Inertstoffen

**Menge – Abnahmebereitschaft:** nach geplanter Errichtung bis zu 50.000 Mg/a

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** maximale Kantenlänge: 60 mm, grundsätzlich sind die folgenden Aussagen für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu beachten:

- Die SunCoal-Ausbeute steigt mit dem oTS-Gehalt der Feuchtmasse.
- Der Prozessenergiebedarf steigt mit dem Wassergehalt der Inputstoffe.
- Der mechanische Vorbehandlungsaufwand steigt mit Inertstoffanteil und dem Anteil grobstückiger Stoffe.

**Preise:** In Abhängigkeit von oTS Gehalt und Aufbereitungsaufwand 10 bis 25 €/Mg.

---

**Anbieter: CARBONSOLUTIONS - HTC Verfahren, Teltow/Kleinmachnow**

---

**Verfahren:** Das CS-HTC-Verfahren ist ein Verfahren zur Umwandlung von Biomasse in Kohle oder in andere auf Kohle basierende Produkte. CarbonSolutions hat das Verfahren zur industriellen Anwendbarkeit entwickelt und beschäftigt sich seit 2008 ausschließlich mit dem Bau von Anlagen zur Hydrothermalen Karbonisierung (HTC)

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Als Einsatzstoff ist praktisch jede Art von organischen Stoffen geeignet, insbesondere feuchte biogene Reststoffe wie z.B. auch Laub, Strauch-, Hecken- und Rasenschnitt aus der Landschaftspflege. CS hat sich auf die Verwertung von Abfallstoffen spezialisiert, die heute keiner oder nur sehr klimabelastenden Verwertungen zugeführt werden.

**Kurze Beschreibung:** HTC ist ein Verfahren, bei dem unter Druck und Temperatur in flüssiger Phase durch Wasserabspaltung aus Kohlenstoffmolekülen Biomasse in Kohle umgewandelt wird. Die Prozessbedingungen liegen im Bereich von 20 bar Druck und 200 °C. Erzeugt wird so aus unterschiedlichsten Biomassen ein standardisierbarer, homogener und fester Biobrennstoff, dessen Eigenschaften mit denen von Braunkohlenstaub vergleichbar sind. Kennzeichnend für das CS-Verfahren ist die kontinuierliche Prozessführung mit einer Umsetzungszeit von nur 90 min, was zu sehr kompakten Anlagengrößen führt.

Eine Anlage im industriellen Maßstab, mit rd. 1.500 kg Durchsatz je Stunde ist in Teltow südlich von Berlin installiert. Aktuell sind zwei Anlagen mit jeweils rd. 20.000 Mg/a in Planung, die industrielle organische Rückstände zu Brennstoff aufarbeiten – Fertigstellung und Inbetriebnahme sind für 2012/13 geplant.

---

**Beschreibung von Einsatzstoffen:** siehe oben.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Nach Marktlage Interesse an Errichtung einer geeigneten Anlage in/bei Berlin. Anlagen mit ca. 20.000 Mg Input im Jahr sind nach erfolgter Standortwahl in ca. 12 Monaten realisierbar.

**Qualitätsanforderung :** Vorzugsweise wird feuchte Biomasse mit kleiner Kantenlänge verarbeitet, die leicht in einen pumpbaren Zustand überführt werden kann. Im Bedarfsfall wird eine Zerkleinerung und Inertstoffabtrennung vorgeschaltet. Grundsätzlich sind die folgenden Aussagen für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu beachten:

- Die Brennstoffausbeute steigt mit dem oTS-Gehalt der Feuchtmasse,
- Der mechanische Vorbehandlungsaufwand steigt mit dem Inertstoffanteil,
- Mindestinput pro Anlage und Jahr bei ca. 2.500 – 4.000 Mg TS .

**Preise:** In Abhängigkeit von oTS-Gehalt und Aufbereitungsaufwand 15 bis 30 €/Mg.

---

**Anbieter: ABH-GmbH - MBA Schwanebeck – Nauen**

---

**Verfahren:** Aerobe mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage mit Tunnelrotte und überdachtem Nachrottebereich.

**Derzeitige Einsatzstoffe:** Siedlungs- und Gewerbeabfälle mit einer Kapazität von rd. 70.000 Mg/a.

**Kurze Beschreibung:** Die mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage in Schwanebeck bei Nauen verarbeitet in einer konventionellen, aeroben MBA überwiegend Hausmüll und Hausmüllfraktionen. Erzeugt werden ein ablagefähigere Deponiematerial und ein als Ersatzbrennstoff abgetrennter Siebüberlauf.

---

**Beschreibung - zusätzliche Einsatzstoffen:** Die die Anlage betreibende abh-mbh erwägt mittelfristig eine Optimierung der Anlage, in Folge derer Aufnahmekapazitäten für Grünreste freigesetzt werden können. Die rd. 30 km westlich Berlins liegende Anlage könnte damit u.a. einen Beitrag zur Trocknung, Zwischenlagerung und Aufbereitung von Grünresten, speziell von Spitzenmengen an Laub, leisten.

**Zusätzliche geeignete Einsatzstoffe:** Nach Anlagenoptimierung: Grünreste, Laub und andere biogene Abfallstoffe.

**Menge – Abnahmebereitschaft:** Perspektivisch stünde eine Kapazität von bis zu 25.000 Mg/Jahr als freie Kapazität zur Verfügung.

**Qualitätsanforderung Zusatzmaterial:** Die MBA muss *technisch* grundsätzlich keine spezifischen stofflichen Anforderungen stellen, Aufbereitungsaufgaben (biologische Trocknung und Lagerung, Kompostierung von Teilströmen) sind in einem breiten Spektrum leistbar.

**Preise:** Für eine biologische Behandlung wird ein Preisbereich um 30 €/Mg angegeben, der Preis für eine Lagerung unter Dach richtet sich nach den angefragten Bedingungen.

## 12.2 Kurzbeschreibung Ökobilanz

### am Beispiel der Bioabfallsammlung

Diese Beschreibung dient der Verdeutlichung der Systematik, die genannten Zahlen sind modellhaft zu verstehen.

**In einer Ökobilanz sind vergleichend zu bewerten:**

Bioabfall wird entweder

- getrennt gesammelt und per Kompostierung/Vergärung verwertet - Szenario „Bio“
- oder im Restmüll-Mix per Abfallverbrennung – behandelt - Szenario „Rest“

#### 1. Schritt – Bilanzraum festlegen

Es wird zunächst festgelegt, wie der Bioabfall beschaffen ist (z.B. Wassergehalt, Heizwert, Schwermetallgehalt), wie er erfasst und wie er in den beiden Szenarien behandelt wird. Alle Stoffströme, Prozesse und deren Emissionen werden als Voraussetzung der Sachbilanz definiert. (s. beispielhafte Abbildung im Anhang)

#### 2. Schritt - Sachbilanz

Jede Form der Behandlung erzeugt zunächst einen **Umweltschaden** durch Emissionen – beim Transport (Dieselverbrennung), bei der Verbrennung (Abgase), bei der Kompostierung oder Vergärung (Methanfreisetzung, Blei auf dem Acker). Diese **Lastschrift** an den verschiedenen freigesetzten schädlichen Stoffen lässt sich für alle Abläufe beider Szenarien beziffern. Der **Umweltnutzen** besteht darin, dass man Produkte oder Energie gewinnt, deren sonstige Herstellung („Äquivalenzprozess“) ebenfalls einen Umweltschaden erzeugt, der nun eingespart wird. Diese **Gutschrift** ist von der Lastschrift abzuziehen, es bleibt eine **Nettowirkung** (siehe Abb. 1). Ist deren Wert positiv, verbleibt ein zusätzlicher Umweltschaden – ist er negativ, wird ein Vorteil für die Umwelt erzielt. Diese Berechnung kann man für alle Einzelstoffe durchführen, als Grundlage der folgenden Wirkungsbilanz.

#### 3. Schritt - Wirkungsbilanz

Die verschiedenen umweltschädlichen Stoffe, ermittelt in der Sachbilanz, entfalten ihre Wirkung in verschiedenen Umweltbereichen: Methan schädigt das Klima, „abregnendes“ Ammoniak überdüngt Biotope, Cadmium belastet den Boden. Man definiert daher rd. 15 Wirkungsbereiche, in denen die Schädlichkeit der Stoffe zusammengefasst in Erscheinung tritt. Im Wirkungsbereich „Treibhauseffekt“ werden so z.B. Kohlendioxid, Methan und Lachgas in ihrer gewichteten Wirkung als CO<sub>2</sub>-Äquivalent zusammengefasst (1 kg Methan wirkt so stark wie 21 kg CO<sub>2</sub>, also entspricht 1 kg Methan 21 kg CO<sub>2</sub>Äq ).

Diese Wirkungsbereiche werden wiederum als unterschiedlich wichtig bzw. sanierungsbedürftig eingestuft – in vier Klassen A-D. Die „A“-Klasse – darunter „Treibhauseffekt“, wird als bedeutsamer eingestuft als die „C“-Klasse (darunter z.B. „Blei“). Die Einstufung nach Klassen erfolgt meist danach, wie bedenklich die Umweltsituation in einem Wirkungsbereich bereits geworden ist.

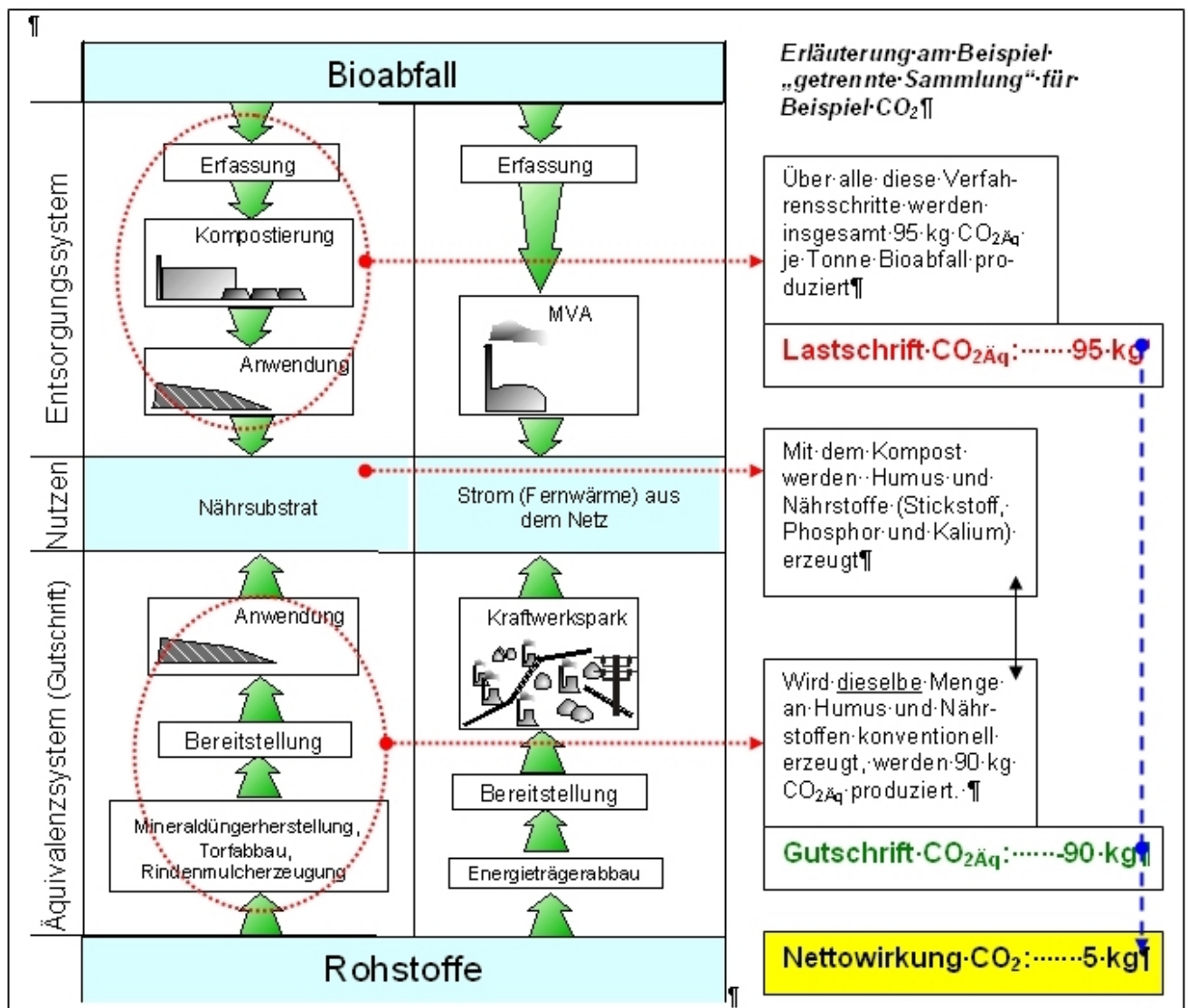


Abb. 1: Lastschrift durch Entsorgungssystem und Gutschrift aus Äquivalenzsystem für Treibhausgase (aufgearbeitet nach IFEU)

Grafisch wird das Bilanzergebnis i.d.R. wie in der nachstehenden Abbildung dargestellt: Rechts von der Vertikalachse die Lastschriften, nach links die (negativen) Gutschriften, und als Saldo-/Nettoergebnis die Differenz beider Werte – hier im Vergleich die Klimawirkung von Kompostierung und Vergärung.

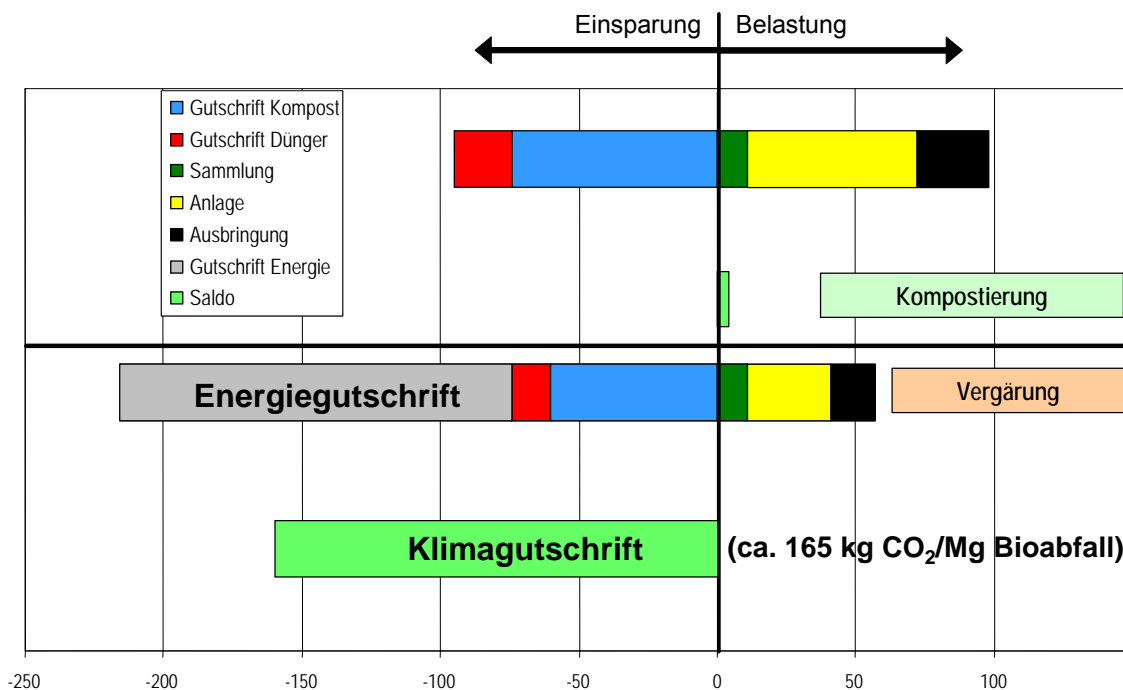


Abb. 2: Vergleichende Klimabilanz bei der Bioabfallbehandlung: Kompostierung – Vergärung (IFEU 2008)

### 5. Schritt Vergleich der Szenarien

Nachdem man nun beide Szenarien getrennt voneinander nach Sachbilanz ermittelt, in Wirkungsbereiche und deren Klassen verteilt hat, folgt der abschließende Vergleich zwischen den Konzepten: Je Wirkungsbereich wird vom „Bio“-Netto-Wert der „Rest“-Netto-Wert abgezogen. Ist dieser Differenzwert positiv, ist „Rest“ besser, ist er negativ, ist „Bio“ besser. Auch die beiden Behandlungsverfahren „Kompostierung“ und „Vergärung“ innerhalb von „Bio“ können auf diese Weise miteinander verglichen werden.

#### Bewertungseinflüsse im Bereich „Treibhausgase“:

Wie gut eine Verwertungsmaßnahme in der „inneren“ Klima-Bilanz abschneidet (d.h. vor Vergleich mit einer anderen Verwertungsmaßnahme), hängt ab von

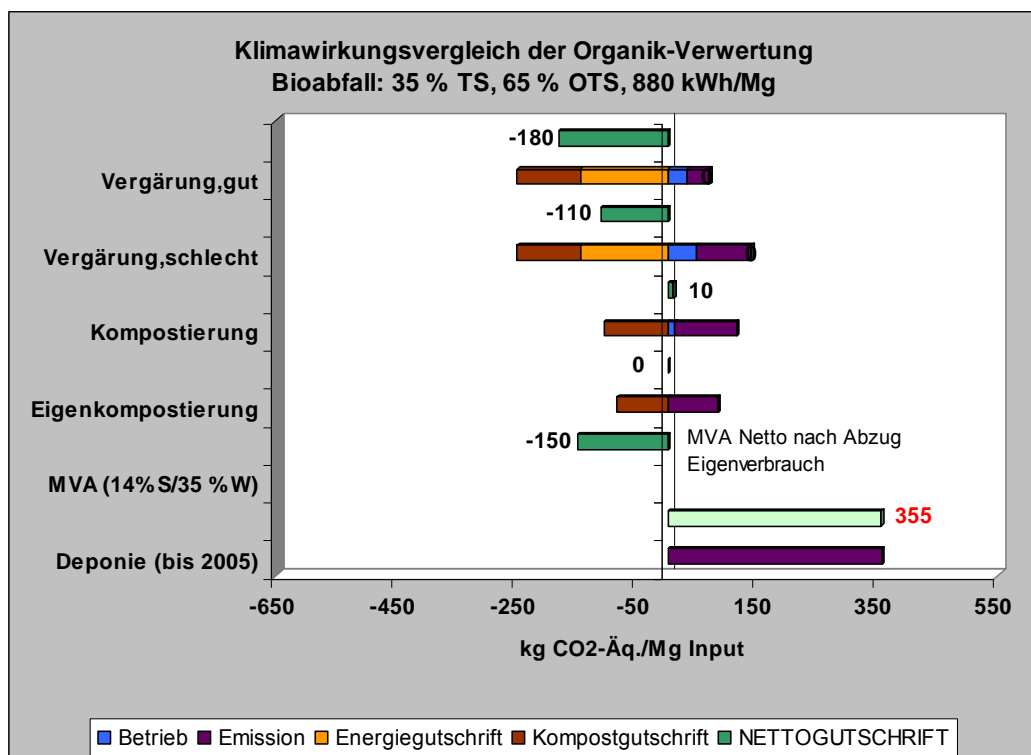
- der Minderung der Lastschriften, d.h. die Treibhausgas-Emissionen im Verfahren selbst müssen möglichst gering gehalten werden,
- der Art des ersetzten Energieträgers. Wird mit der aus der Biomasse erzeugten Energie „klimaschmutzige“ Kohle ersetzt (mit rd. 400 kg CO<sub>2</sub>Äq/MWh), ist der Gutschrifteneffekt deutlich höher als bei Ersatz von „klimasauberem“ Erdgas ( mit nur rd. 230 kg CO<sub>2</sub>Äq/MWh).

Auch erzeugter Kompost z.B. aus Gärresten erhält eine Klimagutschrift. Die nach Vergärung im Kompost verbleibende Organik (rd. 40 % der ursprünglich im Bioabfall enthaltenen organischen Trockensubstanz) erzielt aber – nach der derzeitigen wissenschaftlichen Bewertungspraxis - einschließlich der darin enthaltenen Nährstoffe i.d.R. keine so hohe

Klimagutschrift, wie sie die vollständige, energetisch gut genutzte Verbrennung (i.d.R. mit Kohlesubstitution) per Energiegutschrift auch für diese 40 % Organik erreicht.

In der vergleichenden Klima-Bilanz ist zu betrachten, was mit der Organik passiert wäre, wenn man sie wie bisher - oder auch gar nicht in getrennt gesammelter Form - erfasst und verwertet hätte. Vor 2005 stand der Bioabfall-Verwertung die Deponie gegenüber, die erhebliche Lastschriften per Methanfreisetzung produzierte. Diese Lastschrift war so hoch, dass auch die schlechteste Kompostierung des Bioabfalls bessere Klimaergebnisse produzierte. Seit 2005 wird praktisch der gesamte Restmüll incl. darin enthaltener Organik unter Energierückgewinnung thermisch behandelt. Das erbringt - rückgerechnet auf die reine Organik – eine Klimagutschrift, die in jedem Fall deutlich höher ist als diejenige der Bioabfall-Kompostierung.

Die nachstehende Grafik fasst die Größenordnungen der Behandlungsverfahren hinsichtlich des Klimaeffektes zusammen.



Eine optimierte Verwertung des Bioabfalls - wie geplant per Vergärung –

- ist deutlich klimaschonender als die derzeitige Bioabfall-Kompostierung,
- ist ebenfalls, trotz des Sammlungsaufwandes, klimaschonender als die Hausgartenkompostierung,
- muss sich anstrengen, um eine „integrierte Verwertung“ der Organik über die Verbrennung des Restabfalls klimaökologisch zu überbieten.

Anhang: Beispielhafte Darstellung zur Entwicklung des Bilanzraumes, Betrachtungsstand 2006 (IFEU)

