

Chancen für die Verwertung biogener Abfälle nach EEG und TEHG

Michael Kern und Thomas Raussen

veröffentlicht in: Müll und Abfall (2/2005), S.2-9

1 EINLEITUNG

Im November 2004 schloss Russland den Ratifizierungsprozess des Kyoto-Protokolls zum Klimaschutz ab. Damit ist der Weg frei für das völkerrechtliche Inkrafttreten des Abkommens zum Anfang des Jahres 2005.

Im Juli 2004 traten in Deutschland das novellierte Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) und das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TGEH) in Kraft. Beide bieten Wertschöpfungsoptionen für die energetische Nutzung biogener Abfälle für Anlagenbetreiber. Obwohl derzeit noch um die Auslegung der Gesetze in Detailfragen gerungen wird, zeigen sich klare Tendenzen für die Abfallwirtschaft, die nachfolgend aufgezeigt werden.

2 RAHMENBEDINGUNGEN

Die Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft unterliegen einem raschen Wandel. Insbesondere im rechtlichen Umfeld hinsichtlich der energetischen Nutzung von Abfallfraktionen sind aktuell Neuerungen von besonderer Bedeutung. Diese und die aktuellen Entwicklungen bei der Verfügbarkeit und den Kosten fossiler Energieträger erfordern eine kritische Überprüfung bestehender Konzepte anhand aktualisierter ökonomischer und ökologischer Rahmendaten.

2.1 Rechtslage

Die in den letzten Jahren erfolgten Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen für die biologische Abfallbehandlung und Verwertung haben zum Teil erhebliche Auswirkungen auf die Behandlung von Bioabfällen ^{/16/}.

2.1.1 Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz und Zuteilungsgesetze

Das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) trat am 15.07.2004 in Kraft. Es dient der nationalen Umsetzung der EU-Richtlinie über das europäische Handelssystem mit Treibhausgas-Emissionsberechtigungen. Direkt betroffen von den neuen Regelungen sind nur Anlagen größer 20 MW Feuerungsleistung bestimmter Industriebereiche. Diese benötigen ab 2005 CO₂-Emissionsrechte. Ergänzt wird das TEHG durch das am 31.08.2004 in Kraft getretene Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen.



Dipl.-Ing. Michael Kern

Studium Landwirtschaft und Ökologische Umweltsicherung an der FH Nürtingen und der Universität Kassel, vier Jahre wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Abfallwirtschaft und Recycling, Universität Kassel, seit 1989 geschäftsführender Gesellschafter des Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie.



Dipl.-Ing. Thomas Raussen

Studium Landwirtschaft und Umweltmanagement (M.Sc.) an der Universität Kassel und am Wye College, University of London. Tätigkeiten in der Agrar- und Umweltforschung im In- und Ausland. Seit drei Jahren für den Bereich nachwachsende Rohstoffe beim Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie verantwortlich.

Ausdrücklich schließt § 2 Abs. 5 TEGH Anlagen nach dem § 2 EEG vom Anwendungsbereich des TEHG aus. Ebenso nicht betroffen sind Anlagen, die ausschließlich der Verbrennung gefährlicher Abfälle oder Siedlungsabfälle dienen, unabhängig ob zur Beseitigung oder Verwertung. Der Einsatz von Abfällen in Mitverbrennungsanlagen der betroffenen Industriebereiche unterliegt dem TEHG, soweit eine Feuerungsleistung von 20 MW überschritten wird.

2.1.2 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG)

Die im August 2004 in Kraft getretene Novellierung des EEG dürfte den bei weitem größten Einfluss auf die energetische Nutzung von Bioabfällen haben. Das novellierte Gesetz begünstigt zusätzlich kleinere Anlagen, Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und innovative Techniken. Insgesamt werden dadurch Teilströme aus dem Grün- und Bioabfall als Brennstoffe bzw. Gärsubstrate für die dezentrale Nutzung noch attraktiver.

Tabelle 1: Vergütung für Strom aus Biomasse nach dem EEG (vom 21.07.2004)

Leistung	Mindestvergütung (€ / MWh)	Bonus (€ / MWh) für			
		Brennstoffe		KWK	innovative Technologie*
		NawaRo	Holz		
< 150 kW	115	+ 60	+ 60	+ 20	+ 20
< 500 kW	99	+ 60	+ 60	+ 20	+ 20
< 5 MW	89	+ 40	+ 25	+ 20	+ 20
< 20 MW	84	-	-	+ 20	-

* nur in Verbindung mit KWK

Die Zusatzvergütung für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird u. a. für sämtliche Arten pflanzlicher Stoffe, einschließlich Landschaftspflegegut, gewährt wenn ausschließlich diese Materialien zum Einsatz kommen. Voraussetzung ist u. a. jedoch, dass diese Stoffe nur im Zuge der Ernte, im Rahmen der Konservierung oder zur Nutzung in der Biomasseanlage aufbereitet oder verändert werden. Bei einer Abtrennung von Grüngutfractionen vor der Kompostierung ist daher von der Gewährung der Zuzahlung auszugehen. Dies ist bei einer Abtrennung beispielsweise von Überkornfraktionen nach der Kompostierung nicht der Fall.

Das EEG ist im Bereich Bioenergie beschränkt auf Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 20 Megawatt und verlangt die ausschließliche Nutzung von Biomasse. Biomasseanteile in Brennstoffen führen nicht zu einer Vergütung nach dem EEG.

Stromerzeugung auf Basis von Althölzern der Kategorien A III und A IV wird in Anlagen, die nach dem 30.06.2006 in Betrieb gehen, nur noch mit mindestens 39 €/MWh vergütet. Nach diesem Termin in Betrieb gehende Anlagen werden daher verstärkt unbelastete Hölzer nachfragen.

Für Strom aus Deponiegas- und Klärgasanlagen bis 5 MW Leistung wird ebenfalls eine Mindestvergütung festgelegt (< 500 kW: 76,7 €/MWh und < 5 MW 66,5 € / MWh) mit der Möglichkeit eines Bonus von 20€/MWh für die Verwendung innovativer Technologie.

2.1.3 Andere relevante gesetzliche Bestimmungen

TA-Luft

Durch die Neufassung der TA-Luft 2002 kommen mit Ablauf der Übergangsfrist, spätestens im Jahr 2007, verschärfte Immissionsschutzanforderungen auf eine große Zahl bestehender Kompostierungs- und Vergärungsanlagen zu. Die in diesem Zusammenhang geforderten Nachrüstungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen betreffen insbesondere

- die Kapselung von Kompostanlagen ab einer Durchsatzleistung von 10.000 t/a (Bunker, Hauptrotte).
- die ausreichende Dimensionierung der Lagerkapazität
- die geschlossene Bauweise des Aufgabebunkers mit Fahrzeugschleuse
- das Reinigen der Abgase aus Reaktoren und belüfteten Mieten mittels Biofilter
- die Geruchsstoffkonzentration im Abgas unter 500 GE/m³ (bei Kompostanlagen ab einer Durchsatzleistung von 10.000 t/a und bei Vergärungsanlagen ab einer Durchsatzleistung von 30 t/d)
- den Grenzwert für staubförmige Emissionen im Abgas die eine Massenkonzentration von 10 mg/m³ nicht überschreiten dürfen.

Die vorgenannten Anforderungen gelten für neu zu genehmigende Anlagen unbefristet und unmittelbar. Für Anlagen, die beim In-Kraft-Treten der TA-Luft 2002 dem Stand der Technik entsprachen, sollen die zuständigen Behörden die erforderlichen Anordnungen zur Erfüllung der Pflichten gemäß § 5 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 BImSchG treffen. Demzufolge wird die TA-Luft 2002 im Regelfall einen erheblichen Nachrüstungsbedarf nach sich ziehen. Dies gilt vor allem für bisher nicht gekapselte Kompostierungsanlagen mit einer Durchsatzleistung von mehr als 10.000 Mg/a.

Altholzverordnung

Die zum 01.03.2003 in Kraft getretene Altholzverordnung lässt grundsätzlich die Deponierung von Altholz nicht mehr zu und verlangt bei einem Anfall von mehr als 1 m³ Schüttvolumen oder mehr als 0,3 Tonnen pro Tag zumindest dessen Zuführung zur thermischen Behandlung.

2.2 Märkte und Preisentwicklungen

Die Verwertung biogener Abfälle liegt im Spannungsfeld gesellschaftlicher und politischer Anforderungen. Die derzeitige Diskussion ist geprägt von Forderungen nach Kosteneinsparung verbunden mit ökologisch vorteilhaften Verfahren. Aufgrund der in den letzten Jahren in den Vordergrund gerückten Beschlüsse zum Klimaschutz und zum Ausbau erneuerbarer Energien ergeben sich neue Optionen für die Verwertung von Biomasse. Demgegenüber wurden die Anforderungen an die Kompostierung und die produzierten Komposte, wie oben dargestellt, verschärft.

Im Bereich der Biomasse sind folgende Tendenzen zu beobachten:

- Die im Altholzmarkt zur Verfügung stehenden Sortimente haben weitgehend feste Abnehmer gefunden.
- Die Nachfrage nach naturbelassenen Hölzern zur energetischen Verwertung steigt kräftig; preislich attraktive Sortimente sind in vielen Bereichen bereits ausgeschöpft; aus der Forstwirtschaft stehen noch erhebliche Mengen zur Verfügung, wobei deren Bereitstellungskosten als Benchmark angesehen werden können.
- Durch das novellierte EEG gewinnt der Anbau von Energiepflanzen in der Landwirtschaft an Bedeutung.

3 AUFKOMMEN BIOGENER ABFÄLLE IN DEUTSCHLAND

Biogene Abfälle aus den Haushalten werden sowohl über Getrenntsammlsysteme als auch über den Restmüll erfasst. Derzeit wird in 77 % der über 400 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Deutschland eine separate Erfassung für Bio- bzw. Grünabfälle flächendeckend bzw. in Teilgebieten angeboten. Dabei ist der Anschlussgrad der Kreise und kreisfreien Städte in den Alten Bundesländern mit 82 % deutlich höher als in den Neuen Ländern mit nur 63 %.

3.1 Getrennt erfasste biogene Abfälle

Das insgesamt über Getrenntsammlsysteme erfasste Bio- und Grünabfallaufkommen beläuft sich nach Auswertung der Abfallbilanzen der Länder auf jährlich rund 8 Mio. Tonnen. Die höchsten Mengen werden i. d. R. in den einwohnerstarken Ländern, die geringsten Mengen in den dünn besiedelten Flächenländern erfasst.

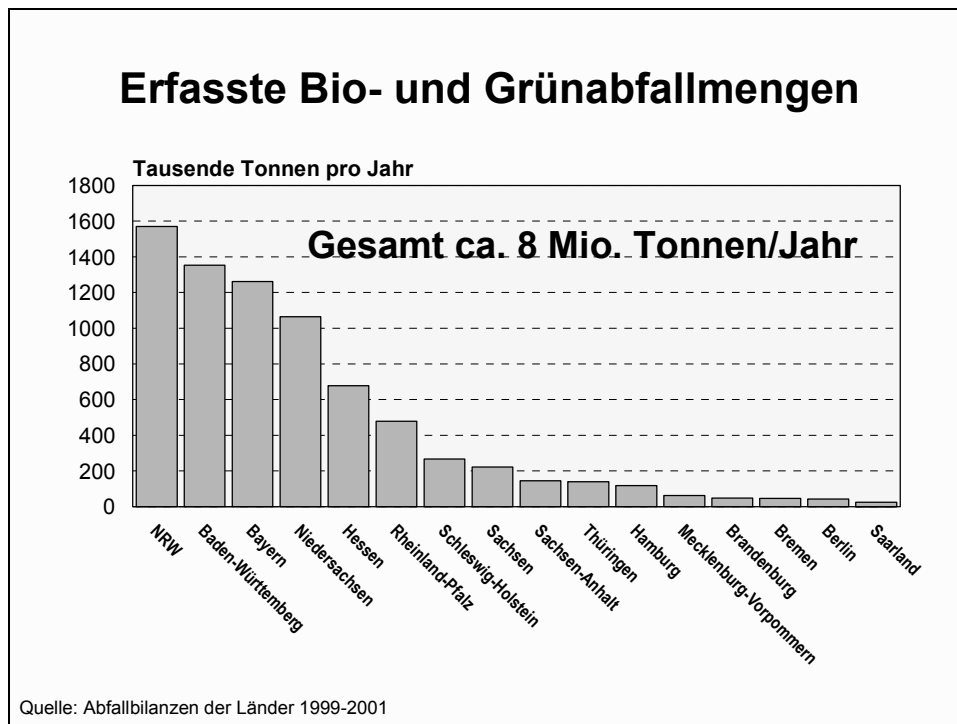


Abb. 1: Erfasste Bio- und Grünabfallmengen in den verschiedenen Bundesländern

Im Mittel ergibt sich aus den Sammelmengen der einzelnen Bundesländer ein spezifisches Bio- und Grünabfallaufkommen von 73 kg Bio- und Grünabfall je Einwohner und Jahr. Dabei ist hinsichtlich der pro Kopf erfassten Mengen ein deutliches West-Ost-Gefälle zu beobachten. Während beispielsweise in Niedersachsen und Baden-Württemberg ca. 130 kg/E*a gesammelt werden, sind es in Brandenburg und Berlin noch nicht einmal 20 kg/E*a.

Im bundesweiten Mittel bestehen die erfassten Bio- und Grünabfallmengen zu 48 % aus Grünabfällen sowie zu 52 % aus Bioabfällen. Aber auch hier sind im Hinblick auf die einzelnen Länder deutliche Unterschiede festzustellen. So sind beispielsweise in Baden-Württemberg, dem Land mit der zweithöchsten Absolut- und Pro-Kopf-Sammelmenge, nur rund 30 % der erfassten Menge Bioabfälle. Der Rest besteht aus Grünabfällen. Auch in Brandenburg, einem Land mit auffallend geringen Sammel-mengen, handelt es sich überwiegend um Grünabfälle.

Die Verwendung der jährlich erzeugten 4,5 Mio. Tonnen Komposte ist in Abb. 2 dargestellt. Der Hauptanteil von 1,8 Mio. Tonnen Kompost findet in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung. Es ist davon auszugehen, dass für diesen Anteil keine Wertschöpfung erzielt wird, sondern in der Regel eine Zuzahlung seitens des Kompostierers notwendig ist. Ohne diesen Verwertungsweg bestünde ein deutliches Überangebot an Komposten.

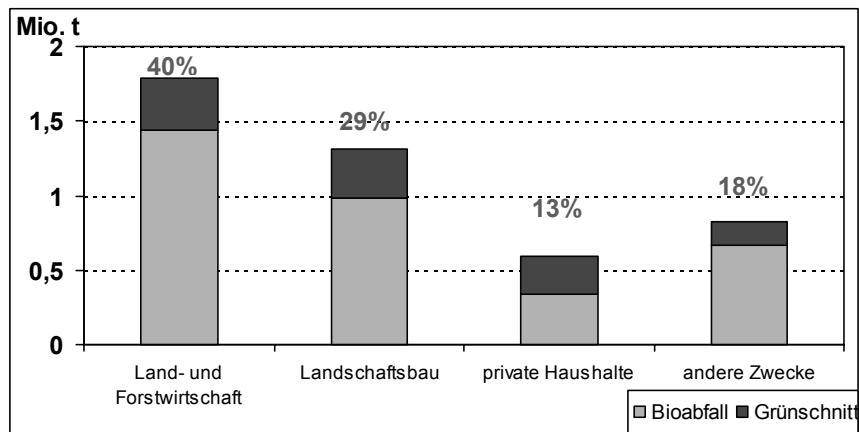


Abb. 2: Verwendung von Komposten (Quelle: /21/)

Die landwirtschaftliche Verwertung der Komposte leistet, entgegen einem weit verbreiteten Argument, auch keinen wesentlichen Beitrag zur Humuswirtschaft auf den Ackerflächen. Den 1,8 Mio. Tonnen Kompost für die landwirtschaftliche Verwertung stehen nämlich 11,8 Mio ha Ackerfläche gegenüber, so dass rechnerisch jährlich 0,15 Tonnen Kompost je ha Ackerfläche zur Verfügung stehen; eine gegenüber den auf dem Acker verbleibenden über- und unterirdischen Ernterückständen völlig zu vernachlässigende Größenordnung. Auch viehlose Betriebe, die keine Wirtschaftsdünger erzeugen, können ihre Humusbilanz durch ackerbauliche Maßnahmen ohne Kompost positiv gestalten.

Es erscheint daher sinnvoll, zu der wirtschaftlich und ökologisch wenig attraktiven Verwertung von Komposten in der Landwirtschaft Alternativen im Bereich der energetischen Nutzung zu suchen. Die Erzeugung und Verwertung hochwertiger Komposte und Erden wird dadurch in keiner Weise eingeschränkt.

3.2 Biogene Anteile im Restmüll

Auf der Grundlage der Ergebnisse von Sortier- und Laboranalysen sowie Angaben aus der Literatur wurden der jeweilige regenerative Anteil und der Heizwert auf Stoffgruppenebene (PPK, Verbunde, Holz etc.) abgeleitet und nach Resthaus-, Sperr- und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen gegliedert.

Von dem gesamten Restabfallaufkommen von ca. 24 Mio. Tonnen sind ca. 13,3 Mio. Tonnen regenerativen Ursprungs. Dies entspricht ca. **55% der Mengenanteile** (Abb. 3), wobei der überwiegende Anteil regenerativen Ursprungs aus der Fraktion Organik stammt, gefolgt von Papier/Pappe/Karton und Holz. Betrachtet man das gesamte Energiepotenzial aus Restmüll von ca. 202 PJ (Petajoule = 10^{12} kJ) pro Jahr basieren hiervon ca. 103 PJ auf regenerativen Anteilen (**51% des Energiegehaltes**). Die Energiepotenziale der verschiedenen Abfallfraktionen fallen hierbei unterschiedlich aus. Während bei Resthaus- und Sperrmüll der regenerative Energieanteil mehr als die Hälfte des gesamten Energiegehaltes ausmacht, sind es bei hausmüllähnlichem Gewerbeabfall lediglich 40%.

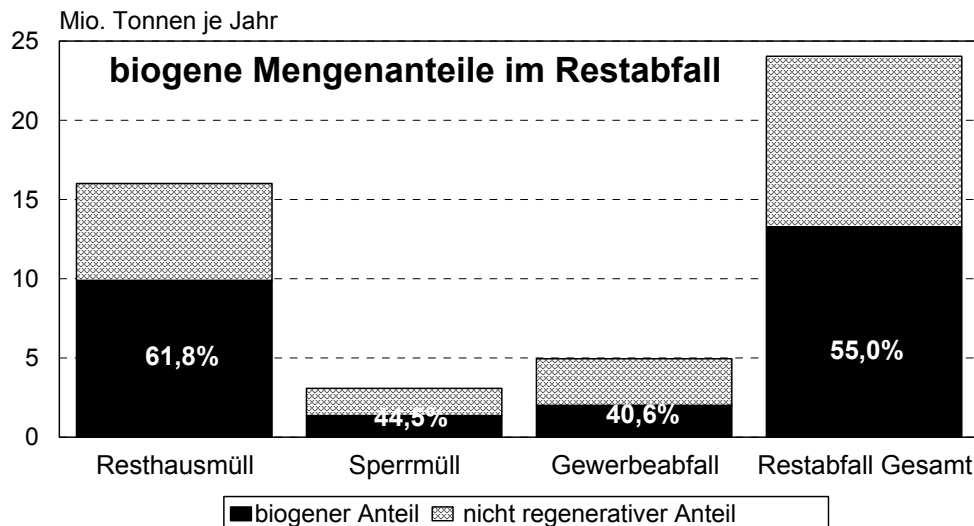


Abb. 3 Biogene Mengenpotenziale im Restabfall ^{/15/}

4 NUTZUNGSKONZEPTE FÜR BIOGENE ABFÄLLE

Neben den biochemischen Verfahren der Vergärung sind die Verbrennung und zukünftig auch thermo-chemische Verfahren wie Pyrolyse und Vergasung für die energetische Nutzung biogener Abfälle geeignet. Dabei sind feuchte und strukturärmere Fraktionen eher für die Vergärung und trockenere, strukturreiche Abfälle für die Verbrennung geeignet. Vergasung und Pyrolyse benötigen Eingangsmaterialien mit nahezu 90% Trockensubstanz ^{/4/}.

Zur Abschätzung der Energiepotenziale von getrennt erfassten biogenen Abfällen können durchschnittliche Heizwerte von etwa 3.500 kJ/kg für Bioabfall und von 8.000 kJ/kg für die Gesamtheit des Grünabfalls angenommen werden. Damit ergeben sich theoretische Energiepotenziale von jährlich ca. 4 TWh für Bioabfall und 10 TWh für Grünabfall. Zu berücksichtigen ist, dass Bioabfälle für die Verbrennung zuvor getrocknet werden müssten. Dazu werden derzeit Verfahren entwickelt ^{/7/}. Dennoch ist davon auszugehen, dass feuchter Bioabfall vorwiegend über Vergärungsverfahren genutzt wird. Für die Verbrennung und thermo-chemische Verfahren ist Grünabfall attraktiver. Aus diesem kann durch geeignete Aufbereitung energiereicheres Material ausgeschleust werden, dessen Heizwert mit über 11.000 kJ/kg zu veranschlagen ist.

4.1 Grüngut

4.1.1 Voraussetzungen für die energetische Nutzung

Verschiedene Untersuchungen und praktische Versuche zeigen ^{/2/ /23/}, dass nach der Erfassung von Baum- und Strauchschnitt dessen teilweise Zuführung zur energetischen Verwertung ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist. Grundsätzlich sind hier zwei Ansätze zu unterscheiden:

- 1) Durch umfangreiche Aufbereitung des Materials einen hochwertigen, standardisierten Brennstoff zu erzeugen, der für ein breites Anlagenspektrum tauglich ist.
- 2) Durch einfache Aufbereitungsschritte einen Brennstoff zu erzeugen, der in Anlagen verwertet werden kann, die weniger auf standardisierte Stückigkeit und Feuchte angewiesen sind.

Im ersten Ansatz stehen höheren Aufbereitungskosten geringere Anlageninvestitionen gegenüber. Im zweiten Fall ist dies umgekehrt. Im Folgenden soll der zweite Ansatz genauer beschrieben werden, da dieser mit den Anlagen und Geräten, die üblicherweise in Kompostierungsanlagen zur Verfügung stehen, ohne zusätzliche Investitionen durchführbar ist.

Dabei steht nicht die energetische Nutzung der getrennt erfassten biogenen Abfälle insgesamt zur Diskussion, vielmehr ist die Nutzung besonders geeigneter Fraktionen an Standorten mit kurzen Verwertungswegen interessant. Hier steht besonders das im Winterhalbjahr anfallende holzreiche Grüngut, im Umfang von etwa 2 Mio. t/a im Vordergrund. Aus diesem Material kann der energiereiche Anteil vergleichsweise einfach ausgeschleust werden.

Die Materialzerkleinerung wird durch Schreddern bzw. Hacken durchgeführt, wobei anders als bei der Aufbereitung für die Kompostierung, grobes Schredder- oder Hackgut erzeugt werden soll. Durch Verringerung der Anzahl der Schlägel und andere Umbauten an den Zerkleinerungsaggregaten kann dies kostenneutral erreicht werden. Anschließend erfolgt i. d. R. eine Abtrennung des Grobmaterials, beispielsweise durch einen geeigneten Siebschnitt (vgl. Abb. 4).

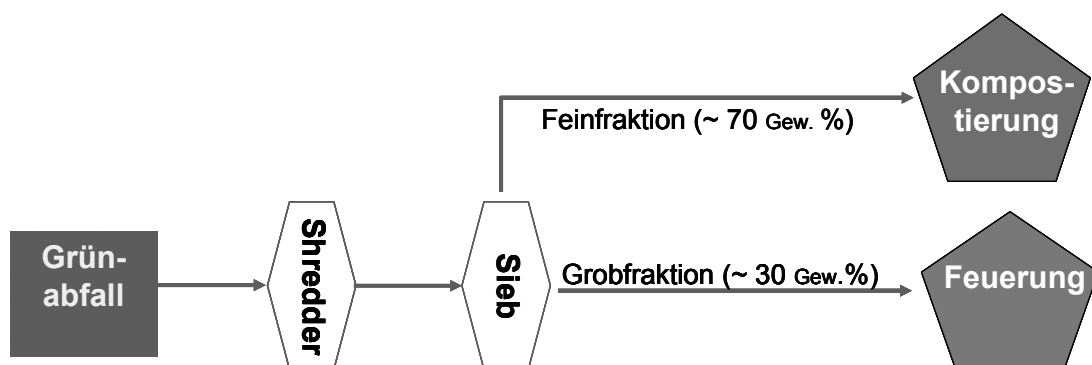


Abb. 4: Aufbereitungsschritte für die Ausschleusung von energetisch nutzbaren Teilströmen aus dem Baum- und Strauchschnitt

Auf diese Weise lassen sich ohne zusätzliche Investitionen in Anlagentechnik preislich interessante Brennstoffe gewinnen. Wegen des geringen Verunreinigungsgrads kann auf eine Störstoffentfrachtung des Materials in der Regel verzichtet werden. Der Energieaufwand für Aufbereitung und Transport des Grünguts zu einem verwertbaren Brennstoff ist gering.

In der Praxis wird eine derartige Ausschleusung holzigen Brennmaterials als Brennstoff bereits an einer Reihe von Standorten durchgeführt. Dabei wird derzeit ein Preis von etwa 10 bis 20 €/t (frei Anlage) für den Brennstoff erzielt. Dieser liegt deutlich unter den Kosten von Holzhackschnitzeln, die für etwa 30 bis 70 €/t gehandelt werden ^{/6/}. Häufig wird das aufbereitete Grüngut in einem Brennstoffmix mit anderen trockeneren Materialien verwendet. In dafür ausgelegten Heiz(kraft)werken kann das Material aus dem Baum- und Strauchschnitt 50 bis 70 % des Brennstoffs ausmachen.

4.1.2 Vergütung nach EEG

Die energetische Verwertung aufbereiteten Grünguts in Heizwerken ist wegen der aufwendigeren Anlagentechnik ab einer Größenordnung von etwa 300 kW_{FL} ökonomisch. In dieser Größenordnung liegen bisher kaum Erfahrungen mit Kraft-Wärmekopplungsanlagen vor. Allerdings sind mittelfristig einige praxistaugliche Technologien zu erwarten (Stirlingmotor, Vergasung mit BHKW etc.). In der Praxis bereits umgesetzt werden Biomassefeuerungen mit nachgeschalteter ORC-Technik ^{/19/}. Diese sind ab einer Leistung von etwa 2 MW_{FL} mit etwa 20 % Stromauskopplung wirtschaftlich und erprobt. Der Brennstoffbedarf liegt bei etwa 5.000 Tonnen pro Jahr. Die Investitionskosten dürften sich im Bereich von 3 bis 4 Mio. € bewegen.

Unter der Annahme, dass 50 % der Wärme genutzt wird, würde nach dem EEG somit folgende Vergütung erzielt:

Tabelle 2: Vergütung nach EEG für ein 2 MW_{FL} Holzheizwerk mit ORC-Modul und teilweiser Nutzung der ausgekoppelten Wärme

Leistung	Mindestvergütung (€ / MWh)	Bonus (€ / MWh) für			GESAMT (€ / MWh)
		Brennstoff Holz	KWK *	innovative Technologie	
< 500 kW	99	+ 60	+ 10	+ 20	189

* anteilig zur Wärmenutzung

Intensiv diskutiert wird derzeit, welche Materialien für den Brennstoffbonus in Frage kommen. Ob Grünabfall dem Kriterium „aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte,

Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden“ entspricht oder ob nur Materialien aus der öffentlichen Landschaftspflege den Bonus rechtfertigen, lässt sich derzeit nicht abschließend beurteilen. Aus unserer Sicht lässt sich aus der Rechtslage eine Unterscheidung in privaten Grünabfall und öffentliches Landschaftspflegegut nicht ableiten. So bezieht sich § 1 des Bundesnaturschutzgesetzes ausdrücklich auf Landschaftspflege in besiedelten und unbesiedelten Bereichen während die §§ 9 und 29 auch Einschränkungen im privaten Bereich definieren, die zum Zwecke der Landschaftspflege zu dulden sind.

Sollte sich allerdings die Auffassung durchsetzen, dass nur Material aus der öffentlichen Landschaftspflege für den nachwachsende-Rohstoffe-Bonus in Frage käme, säne die Mindestvergütung für die untersuchte Beispielanlage mit 5.000 Jahrestonnen Input um 30 % bzw. 192.000 € pro Jahr.

Bei einer Jahreslaufleistung von ca. 8000 Stunden ist eine Stromproduktion von 3200 MWh mit einer Mindestvergütung von 604.800 €/a zu erreichen. Über die Wärmeauskopplung mit einer angenommen 50 %-Nutzung und einem Kesselwirkungsgrad von 85 % würden 5440 MWh bereitgestellt, über die eine Wertschöpfung von etwa 200.000 €/a erzielt werden könnte.

Bezogen auf Heizöl werden somit 1450 t/a zum Marktpreis von etwa 650.000 € substituiert. Bei dessen Verbrennung entstünden 3782 t/a an CO₂-Emissionen. Eine Wertschöpfung durch Berücksichtigung im Emissionshandel ist nach dem TEHG nicht vorgesehen.

4.2 Bioabfall

Getrennt erfasster Bioabfall eignet sich hervorragend für die Vergärung. Vergärungsanlagen, meist in großem industriellen Maßstab realisiert, werden für die Vergärung von Bioabfällen und Speiseresten eingesetzt. Je nach Jahreszeit variiert der Inhalt der Biotonne, in die Küchen- und/oder Gartenabfälle aus Privathaushalten eingegeben werden ^{12/}.

4.2.1 Voraussetzungen für die energetische Nutzung

Vor dem eigentlichen Vergärungsprozess müssen der Bioabfall und die Speisereste vorbehandelt werden. Sieben, Mahlen bzw. Häckseln, Störstoffentfrachtung und Homogenisieren sind Bestandteile der Vorbehandlung. Inputmaterial mit einem hohen TS-Gehalt wird häufig mit Wasser verdünnt, um eine problemlose Verfahrenstechnik zu gewährleisten. Ebenso wird zur Einstellung eines günstigen C/N-Verhältnisses bis zu 30% Grünabfall beigefügt. Dieser stünde auch bei Umsetzung der unter 4.1 dargestellten teilweisen energetischen Nutzung des Grünabfalls weiterhin zur Verfügung.

Neben einstufigen Vergärungsverfahren kommen zunehmend auch zweistufige Verfahren zum Einsatz, bei denen das Inputmaterial zunächst in einen Hydrolysebehälter und im Anschluss in den Fermenter gelangt. Der erste biologische Prozess ist die Hydrolyse. Bei dieser Art der Versäuerung besteht das entstehende Gas zum größten Teil aus CO₂ und trägt nicht zur Energiegewinnung bei. Die eigentliche Produktion erfolgt anschließend im Fermenter.

Zur Verwertung des entstandenen Gases werden bei Vergärungsanlagen meist Gasmotoren eingesetzt, die eine Leistung im MW-Bereich haben können. Als innovative Technik im Sinne des EEG sind hier Mikroturbinen zu nennen, die vor dem Durchbruch zur Praxisreife stehen. Das Gas wird meist in großen Gasbehältern zwischengespeichert, und zur Verbrennung des überschüssigen Biogases ist die Anlage mit einer Notfackel ausgestattet. Weitere Komponenten des Systems sind: Kühler, Kondensatschacht, Entschwefelung, Gasmesseinrichtung, etc.

Im Anschluss an den Vergärungsprozess wird das Substrat entwässert. Der feste Teil kann als Kompost an Privathaushalte, Baumschulen, Gärtnereien, Weinbaubetriebe oder Landschaftsgärtnereien verkauft werden. Der flüssige Teil wird wiederum zum Prozessbeginn zurückgepumpt, um das Inputmaterial zu verflüssigen. Potenzielles Problem dieser Prozesswasserkreislaufführung ist, dass sich in der Flüssigkeit eine Menge gelöster Salze befinden und sich nach mehreren Zyklen hohe Konzentrationen aufbauen, die sich hemmend auf das Bakterienwachstum auswirken können.^{12/11}

Biogas entsteht durch den Stoffwechsel der bei der Vergärung beteiligten Mikroorganismen. Die Gasmenge ist stark abhängig vom Inputmaterial. Die durchschnittliche Biogaszusammensetzung ist in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Zusammensetzung von Biogas

Stoff	Anteil in Vol.-%
Methan (CH ₄)	50 - 75
Kohlendioxid (CO ₂)	25 - 50
Stickstoff (N ₂)	< 3
Sauerstoff (O ₂)	< 1
Wasserstoff (H ₂)	< 1
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	< 1
Ammoniak (NH ₃)	< 1

Außerdem können noch organische Verbindungen, wie z. B. niedere Alkohole oder Schwefelverbindungen (Merkaptane), in Spuren enthalten sein.

Der Energiegewinn aus einer Kraft-Wärme-Kopplung (Blockheizkraftwerk) ist bei allen Vergärungsanlagen im Verhältnis zum Eigenbedarf (ca. 20 % der gesamten durch Biogasnutzung erzeugten Energie) hoch. Die erzeugbare Menge Biogas ist stark abhängig vom Inputmaterial. Der Energieüberschuss pro Tonne Input beträgt ca. 100 bis 200 kWh elektrische Energie und 150 bis 450 kWh Wärme.

Tabelle 4: Beispiel einer Energiebilanz bei der Vergärung von Bioabfällen mit Kraft-Wärme-Kopplung ^{14/}

Beispielhafte Energiebilanz einer Vergärungsanlage		
Biogasertrag	ca. 100 Nm ³ /t Bioabfall	
Energieinhalt	ca. 6 kWh/Nm ³ Biogas (Methangehalt 65 %)	
Energiegewinn [kWh/t]		
gesamt thermisch	600	
nach Umwandlung in BHKW:		
elektrisch (33 %)	198	
Wärme (58 %)	348	
Verlust (9 %)	54	
Bilanz [kWh/t]		
	Elektrizität	Wärme
Energieproduktion	198	348
Verbrauch Vergärungsanlage	48	48
Überschuss	150	300

4.2.2 Vergütung nach EEG

Anlagen werden häufig in einer Größenordnung von 300 kW_{el} und 500 kW_{th} mit einer Inputmenge von etwa 15.000 Jahrestonnen umgesetzt. Bei den Blockheizkraftwerken kommen in der Regel Zündstrahlaggregate zum Einsatz.

Unter der Annahme, dass 50% der Wärme genutzt werden, würde nach dem EEG somit folgende Vergütung erzielt.

Tabelle 5: Abschätzung von Leistung und Wertschöpfung von mit Bioabfall zu betreibenden Biogasanlagen in Deutschland

Leistung	Mindestvergütung (€ / MWh)	Bonus (€ / MWh) für			GESAMT (€ / MWh)
		Brennstoff	KWK *	innovative Technologie	
< 500 kW	99	0	+ 10	0	109

* anteilig zur Wärmenutzung

Nach dem EEG kann die gesamte Stromerzeugung, einschließlich des Anteils aus dem für den Betrieb des Zündstrahlmotors notwendigen fossilen Kraftstoffs, mit der oben angegebenen Vergütung abgerechnet werden.

Bei einer Jahreslaufleistung von ca. 7000 Stunden ist eine Stromproduktion von 2100 MWh mit einer Mindestvergütung von rund 230.000 €/a zu erreichen. Über die Wärmeauskopplung mit einer angenommen 50%-Nutzung würden 1750 MWh/a bereitgestellt, über die eine Wertschöpfung von etwa 70.000 €/a erzielt werden kann.

Bezogen auf Heizöl werden ca. 600 t/a zum Marktpreis von etwa 250.000 € substituiert. Bei dessen Verbrennung entstünden über 1500 t/a an CO₂ Emissionen. Eine Wertschöpfung durch Berücksichtigung der vermiedenen Kohlendioxidemissionen im Emissionshandel ist nach dem TEHG nicht vorgesehen.

4.3 Ersatzbrennstoffe

Mittelfristig ist mit einem Aufkommen von bis zu 2 bis 4 Mio. t/a an Sekundärbrennstoffen aus Siedlungsabfällen zu rechnen. Hierbei ist zwischen Sekundärbrennstoffen in Form der hochkalorischen Fraktion aus der MBA und Trockenstabilat zu unterscheiden. Während beim Trockenstabilat 50-70 % regenerative Anteile enthalten sind ist bei der hochkalorische Fraktion lediglich von einem regenerativen Anteil von 10 bis 30% auszugehen. Eine Vergütung nach dem EEG ist ausgeschlossen, so dass sich hier eine zusätzliche Wertschöpfung durch den Emissionshandel anbietet.

Obwohl nach TEHG nur die Mitverbrennung von Abfällen in Anlagen, die dem sachlichen Anwendungsbereich des TEHG unterliegen, geregelt ist, steht zu erwarten, dass auch die Monoverbrennung von Sekundärbrennstoffen in Anlagen, deren Hauptzweck die Energieerzeugung oder stoffliche Produktion ist, dem TEHG unterliegen werden. Dazu wird es notwendig sein, eine bestimmte Qualität des Sekundärbrennstoffes (Biomasseanteil, Kohlenstoffgehalt, unterer Heizwert) technisch zu definieren und sicherzustellen. Damit würde eine Anerkennung als Regelbrennstoff mit einem etablierten Emissionsfaktor oder einer anerkenntnis- und nachweisfähigen individuellen Berechnung des Emissionsfaktors möglich.^{/20/}

Der Faktor ist u. a. stark von der Art des eingesetzten MBA-Verfahrens abhängig. Dennoch dürfte der CO₂-Emissionsfaktor für Trockenstabilat nach unserer Einschätzung zwischen 25 und 40 t CO₂/TJ, d.h. zwischen 0,45 und 0,68 t fossiles CO₂ je Tonne eingesetzten Trockenstabilats, liegen. Zum Vergleich der Emissionsfaktor für Erdgas liegt bei 55 t CO₂/TJ und der für Rest-Siedlungsabfall bei 45 t CO₂/TJ. Der Emissionsfaktor für die hochkalorische Fraktion aus der MBA dürfte zwischen 55 und 65 t CO₂/TJ liegen.

Ein typisches Industriekraftwerk mit 100 MW Leistung und einem jährlichen Input von 240.000 Tonnen Trockenstabilat pro Jahr würde

- bei Erdgasbetrieb etwa 165.000 Tonnen fossiles CO₂ pro Jahr und
- bei Einsatz eines Ersatzbrennstoffes etwa 100.000 Tonnen fossiles CO₂ emittieren.

Überschlägig ergäbe sich somit eine jährliche Einsparung von 65.000 Tonnen fossilem CO₂. Legt man den aktuellen Preis für CO₂ beim European Energy Exchange von 8,70 €/t CO₂ zugrunde, so ergibt sich ein Einsparpotenzial durch handelbare Emissionszertifikate von jährlich über 500.000 €.

Die realisierbaren CO₂-Einsparungen sind von vielen Faktoren abhängig, insbesondere dem zu ersetzenden fossilen Brennstoff. Bei Ersatz von Braunkohle beispielsweise mit einem CO₂-Emissionsfaktor von etwa 100 t CO₂/TJ ergäbe sich in dem dargestellten Szenario eine Einsparung an fossilem CO₂ von etwa 200.000 t/a.

5 FAZIT

Durch die Ausnutzung der Möglichkeiten von EEG und TEHG ließe sich die Wirtschaftlichkeit der Abfallverwertung verbessern. Während durch Ausnutzung der Potenziale im Bereich der getrennt gesammelten Bio- und Grünabfälle durch das EEG eine relevante Wertschöpfung zu erzielen wäre, fällt die spezifische Wertschöpfung für Sekundärbrennstoffe durch handelbare CO₂-Einsparungen über den Emissionshandel vergleichsweise gering aus.

Dennoch wird in dieser Übersicht deutlich, dass die Wertschöpfungspotenziale für getrennt erfasste biogene Abfälle durch das EEG nachhaltigen Einfluss auf die biologische Abfallbehandlung haben werden.

Den hier angedeuteten möglichen Einnahmen müssen die Kapitalkosten aber auch mögliche Einsparungen bei alternativen Verwertungswegen gegenüber gestellt werden. Dies umfasst weit reichende Untersuchungen, die auch die jeweiligen lokalen Bedingungen, wie Abfallaufkommen, Zustand bestehender Anlagen, Wärmesenken usw. berücksichtigen müssen.

Insgesamt, können aus dem getrennt erfassten Bio- und Grünabfall erhebliche Energiemengen erzeugt werden ohne sinnvolle stoffliche Verwertungsmöglichkeiten signifikant einzuschränken.

6 LITERATUR

- /1/ ATV-DVWK: Technische Rahmenbedingungen für die Vergärung biogener Abfälle. Merkblatt 372 des ATV-DVWK. 2003
- /2/ A + S Natur Energie GmbH. Entwicklung einer Logistikkette zur Versorgung von Holzheizwerken mit Biomasse aus der Landschaftspflege, DBU Datenbank <http://datenbanken.wiminno.com/cgi-shl/xworks.exe>. 2002
- /3/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.). Vom Grüngut zum Kompost – Leitfaden für die Kompostierung von pflanzlichen Rückständen. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München. 1991
- /4/ Buddenberg, J. und M. Kralemann. Welches Potenzial bietet der Energieholzmarkt wirklich? Status und Entwicklungstendenzen des Energieholzmarktes in Deutschland am Beispiel Niedersachsen. In: Wiemer, K. und M. Kern (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung VII biologisch – mechanisch – thermisch. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. 414-421, Witzenhausen. 2003
- /5/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen, Stand März 2003. Berlin. 2003
- /6/ C.A.R.M.E.N. Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html . 2004
- /7/ Dach, J. und A. Warnstedt. Aufbereitung von Bioabfällen für die Verwertung in Biomassekraftwerken. In: Wiemer, K. und M. Kern (Hrsg.). Bio- und Restabfallbehandlung VIII. Biologisch – mechanisch – thermisch. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. 272-285, Witzenhausen. 2004
- /8/ Fachverband Biogas. Beispielhafte Liste von Stoffen, die zum Bezug des NawaRo Bonus berechtigen. 2004
www.godis.de/fvb_datenbank/file/notmember/fach/StofflisteEEG_230604_v1.pdf
- /9/ Institut für Energetik und Umwelt. Endbericht: Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), Leipzig. 2003
- /10/ Kern, M., T. Raussen, T. Turk und K. Fricke. Energiepotenzial für Bio- und Grünabfall. In: Fricke et al. (Hrsg.) Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen. Schriftenreihe des ANS, 355-374. 2003

- /11/ Kern, M. und W. Sprick. Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll. In: Wiemer, K. und M. Kern (Hrsg.). Bio- und Restabfallbehandlung V. Biologisch – mechanisch – thermisch. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen. 2001
- /12/ Krieg und Fischer. Beschreibung einer Vergärungsanlage. www.kriegfischer.de/descr_digest_d.html. 2004
- /13/ Mantau, U. und H. Weimar. Altholz- und Sägerestaufkommen in Deutschland. In: Bundesinitiative BioEnergie (Hrsg.). HolzEnergie 2002-Tagungsband, 113-122, Bonn. 2002
- /14/ Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, Leidfaden Bioabfallvergärung. Luft-Boden Abfall. Heft 45, 1996
- /15/ Kern, M. Sprick, W. Glorius, T. (2001): Regenerative Anteile in Siedlungsabfällen und Sekundärbrennstoffen. In: Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. Karl. J. ThoméKozmiensky (Hrsg.)
- /16/ Raussen, T. und K. H. Hack. Rahmenbedingungen und Konzepte für die energetische Verwertung von Grünabfallfraktionen. In: Wiemer, K. und M. Kern (Hrsg.). Bio- und Restabfallbehandlung VIII. Biologisch – mechanisch – thermisch. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. 286-301, Witzenhausen. 2004
- /17/ Rösch, Ch. Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen – unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Baden-Württemberg. Forschungszentrum Karlsruhe, Selbstverlag, Karlsruhe. 1996
- /18/ Salm-Salm, M. Nachhaltige Energie aus dem Wald – Anforderungen des Umwelt- und Naturschutzes. In: Bundesverband Bioenergie (Hrsg.): Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz?! Eine Standortbestimmung, Berlin, 10.02.2004, 29-33, Bonn. 2004
- /19/ Sanzenbacher, H. Einsatz von ORC-Modulen vorteilhaft für Betriebe mit Holzresten. Holz-Zentralblatt (97), 1402. 2003
- /20/ Schlüter, J. Welche Chancen bietet das Emissionshandelsrecht für Ersatzbrennstoffe aus Restmüll? In: Abfall- und Energiewirtschaft Lahn-Dill (Hrsg.): 6. Wetzlarer Abfalltag. 13.09.2004
- /21/ Statistisches Bundesamt. Umwelt – Abfallentsorgung. Fachserie 19 / Reihe 1

/22/ Vogt, R., F. Knappe, J. Giegrich und A. Detzel. Ökobilanz Bioabfallverwertung. DBU Initiativen zum Umweltschutz 52, Osnabrück. 2002

/23/ Witzenhausen – Institut. Konzepte zur ökologisch und ökonomisch optimierten Verwertung von Baum- und Strauchschnitt im Rhein-Hunsrück-Kreis. Gutachten im Auftrag des Abfallwirtschaftsbetriebs Rhein-Hunsrück. 2003

Autoren:

Dipl.-Ing. Michael Kern, Geschäftsführer

Dipl.-Ing. Thomas Raussen

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Werner-Eisenberg-Weg 1

37213 Witzenhausen,

Tel: 05542/9380-0

www.Witzenhausen-Institut.de

info@Witzenhausen-Institut.de