

***Schriftenreihe
des Fachgebietes Abfalltechnik***

UNIK-AT

Band 11

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban, Kassel

Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft



Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban
Dipl.-Ing. Gerhard Halm

Redaktion:
Christiane Voigt
Dr. Obladen und Partner
Tauentzienstraße 7a, 10789 Berlin
<http://www.obladen.de>

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

ISBN print: 978-3-89958-910-8
ISBN online: 978-3-89958-911-5

2010, kassel university press GmbH, Kassel
<http://www.upress.uni-kassel.de>

Umschlag: Dieter Sawatzki, inforbiz Werbeagentur GmbH, Essen
Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel

Veranstalter:
Verein zur Förderung der Fachgebiete
Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
an der Universität Kassel e.V.
Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Berücksichtigung der freien Verwendbarkeit benutzt.

© Alle Rechte vorbehalten. Wiedergabe und Übersetzung nur mit Genehmigung des Vereins zur Förderung der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Universität Kassel e.V., Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
Arnd I. Urban, Gerhard Halm	

Die Rahmenbedingungen des Klimaschutzes

Die Antworten der Abfallwirtschaft auf den Klimagipfel von Kopenhagen	9
Martin Treder	
Rechtliche Rahmenbedingungen für eine klimafreundliche Abfallwirtschaft	31
Hartmut Gaßner, Peter Neusüß	
Abfallwirtschaft als Klimaschutz.....	41
Barbara Zeschmar-Lahl, Uwe Lahl	

Klimarelevanz bei Entsorgungsanlagen

Klimaschutzzpotenziale der Abfallwirtschaft.....	53
Günter Dehoust, Doris Schüler, Regine Vogt, Jürgen Giegrich, Anette Ochs, Marlene Sieck, André Radde	
Die Neuordnung von Entsorgungsstrukturen zur CO₂-Reduktion	65
Karlheinz Scheffold	
Methodik und Aussagekraft von Klimabilanzen	75
Paul Mußler, Sebastian Wolfgarten, Dr. Andrea Paulus	

Sammlung und Transport

Ressourcenschonung durch ortsnah Entsorgung und Tourenoptimierung	91
Markus Weber	
Potentiale der Treibstoffeinsparung durch Fahrertraining	101
Bernd Sackmann	
Klimaschutz durch innovative Antriebe und Logistikkonzepte.....	107
Geerd Hübner	

Abfallsammelfahrzeug mit dieselelektrischem Antriebssystem – Ein Beitrag zum Klimaschutz.....	119
Leif Börger	

Stoffströme

Kompostieren - Vergären - Verbrennen: Was ist vernünftig.....	135
Hubert Seier	
Ökoeffizienter Umgang mit Bio- und Grünabfällen	139
Wolfgang Rommel, Thorsten Pitschke, Siegfried Kreibe, Jochen Cantner, Dieter Tronecker	
Das Müllheizkraftwerk – ein optimaler Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlage.....	151
Uwe Athmann, Werner P. Bauer, Thomas Kroner, Peter Quicker	
Klimaschutzzpotenziale der thermischen Abfallbehandlung.....	163
Marlene Sieck	

Klimaneutrale Betriebshöfe

Klima- und Ressourcenschutz bei der Planung des neuen Betriebshofes Koblenz	171
Edgar Mannheim, Ulrich Krath	
Klima- und Ressourcenschutz am Beispiel des Recyclinghofes der Stadtreiniger Kassel.....	179
Stephan Brede	
Das BSR Biogasverwertungskonzept.....	201
Thomas Rücker, Alexander Gosten	
Autoren- und Referentenverzeichnis.....	217
Schriftenverzeichnis	221

Vorwort

Die Diskussionen um Klima- und Ressourcenschutz steht nicht nur bei den Fachleuten im Vordergrund, sondern beschäftigt viele Teile der Bevölkerung - der Klimawandel ist in aller Munde. Abfallwirtschaft trägt aktiv zum Klima- und Ressourcenschutz bei und zu diesen Entwicklungen gibt es keine Alternative.

In die Klimabilanz eines abfallwirtschaftlichen Betriebes gehen viele Emissionsquellen ein. So ist eine umfassende CO₂-Bilanz nur unter Berücksichtigung der Potenziale im Fuhrpark, in der Logistik sowie Anlagentechnik zu sehen und bezieht u. a. auch Quellen wie Betriebsgebäude ein.

Die Abfallwirtschaft berücksichtigt zunehmend den Klimaschutz und nimmt dabei eine Vorreiterrolle ein. So tragen z. B. abfallwirtschaftliche Strategien wie das Ende der Deponierung zu einer erheblichen CO₂-Reduzierung bei. Die Beiträge könnten aber umfassender sein. Umfangreiche Studien und Untersuchungen zur Klimarelevanz weisen hinsichtlich der Optimierung der stofflichen und energetischen Nutzung von Siedlungsabfällen auf ungenutzte Potenziale hin.

Während der Veranstaltung werden zunächst die Rahmenbedingungen des Klimaschutzes und die Möglichkeiten für abfallwirtschaftliche Betriebe aufgezeigt. Darüber hinaus werden an bestimmten Beispielen im Zusammenhang mit der Transportlogistik Potenziale aufgezeigt.

Im zweiten Teil wird die Anlagentechnik untersucht. Was ist vernünftig: Kompostieren oder Vergären oder Verbrennen oder eine Kombination. Motive und Anreize des Handelns werden dargestellt, um abschließend am Beispiel von klimaneutralen Betriebshöfen Hinweise zu geben.

Unser herzlicher Dank gilt den Autoren für ihre interessanten Beiträge aber auch den engagierten Organisatoren und Helfern von Dr. Obladen und Partner, von den Stadtreinigern Kassel sowie vom Fachgebiet Abfalltechnik der Universität Kassel, die eine rechtzeitige Herausgabe des Buches und einen gelungenen Ablauf der Veranstaltung erst möglich machen.

Kassel, Juni 2010

Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban

Dipl.-Ing. Gerhard Halm

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Die Antworten der Abfallwirtschaft auf den Klimagipfel von Kopenhagen

Dipl.- Ing. Martin Treder
MVA Hamm Betreiber GmbH

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einführung

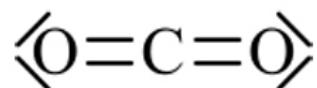
Eine effektive und effiziente Abfallwirtschaft ist nicht nur in Deutschland ein wichtiger Baustein zum Klimaschutz. Gerade in den Entwicklungsländern hat Abfallwirtschaft zahlreiche Verknüpfungspunkte zu anderen Umweltbereichen – Energieversorgung, Bodenfruchtbarkeit, Trinkwasserschutz, Methanvermeidung bzw. -nutzung, Recycling von Rohstoffen, etc. Bei all diesen Prozessen greift der Mensch in den Klimahaushalt ein – ob positiv oder negativ. Der vorliegende Beitrag versucht mal eine andere Blickweise auf das Thema zu werfen, wie man dies normalerweise nur selten im Zusammenhang zwischen Abfallwirtschaft und Klimaschutz in Verbindung bringt.

2 Kohlendioxid

Kohlendioxid - ein Treibhausgas - wird häufig als Schadstoff bezeichnet. Dies ist nicht korrekt, entscheidend ist – wie so häufig – die Konzentration.

2.1 Kohlendioxid – ein wunderbarer Stoff

Kohlenstoffdioxid (mit der chemischen Formel CO₂) ist eine Verbindung aus einem Kohlenstoff-Atom mit zwei Sauerstoff-Atomen. Kohlendioxid ist ein faszinierender Stoff, der dank seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften unsere Erde maßgeblich beeinflusst hat und auch weiter prägen wird.



Kohlenstoff (C) ist das Schlüsselement allen Leben, da es selbst ohne großen Energieverbrauch lange stabile Ketten bilden kann. Kohlenstoffatome können auch in stabile Stoffe eingeschlossen werden, wie Kalkstein, Steinkohle oder Diamant. Die Masse an Kohlenstoff beträgt etwa 100 Mio. Gt (1Gt = 1 Milliarde Tonnen), davon sind:

- Ca. 55.000 Gt in die globalen Kohlenstoffkreisläufe involviert.
- Ca. 10.000 Gt sind als fossile Brennstoffe vorrätig, aber nur 3.700 Gt förderbar.
- Ca. 37.000 Gt sind in Ozeanen und Gewässern gelöst.
- Ca. 1.500 Gt befinden sich als Huminstoffe im Boden.
- Ca. 760 Gt sind als CO₂ in der Atmosphäre (0,038% oder 380 ppm).
- Ca. 560 Gt sind als Biomasse gespeichert.

Sauerstoff (O_2) ist das häufigste und am weitesten verbreitete Element auf der Erde, ohne den es keine Atmung oder Verbrennung gäbe. So ist Kohlendioxid (der gasförmige Zustand des Kohlenstoffs) **der** Grundstoff des Lebens.

CO_2 ist unsichtbar und geruchlos. Das in Wasser gelöste CO_2 schmeckt leicht säuerlich, es wirkt sogar als Säure. Mineralwasser, in dem viel „Kohlensäure“ gelöst ist, ist i. d. R. somit auch „sauberer“ (seltener mit Mikroorganismen verunreinigt, da CO_2 das Wachstum behindert). Nicht immer stammt die Kohlensäure aus derselben Quelle wie das Mineralwasser. Man unterscheidet folgende Stufen:

- „Natürliches kohlensäurehaltiges Mineralwasser“ – hier stammt das CO_2 und das Wasser aus derselben Quelle.
- „Mit quelleigener Kohlensäure“ – CO_2 wurde nachträglich noch angepasst
- „Mit Quellkohlensäure versetzt“ – CO_2 stammt aus einer anderen Quelle.
- „Mit Kohlensäure versetzt“ – (Leitungs-)Wasser mit industrieller Kohlensäure (beispielsweise aus Erdölraffinerien) versetzt.

Leben ist ohne Energie nicht möglich. Pflanzen produzieren aus CO_2 , Wasser und Sonnenlicht organische Kohlenstoffverbindungen und Sauerstoff. Vor etwa dreieinhalb Milliarden Jahren wurde durch den Beginn der Photosynthese der CO_2 Gehalt in der Uratmosphäre langsam abgebaut bei gleichzeitiger Produktion von Sauerstoff. Wir Menschen z. B. nutzen den Sauerstoff und die organischen Kohlenstoffverbindungen um daraus die lebensnotwendige Energie zu gewinnen. Dabei wird mit jedem Atemzug CO_2 freigesetzt.

Schon mit dem ersten Atemzug nach der Geburt greift der Mensch in den Kohlenstoffkreislauf ein. Der normale Sauerstoffgehalt in der Luft liegt bei 21%, der CO_2 Gehalt bei 0,038%. Ein Erwachsener nimmt mit jedem Atemzug ca. 0,5 Liter Luft auf, dies entspricht über 9.000 Liter Luft pro Tag. In unserer Atemluft befinden sich noch ca. 15% O_2 , aber rund 4% CO_2 . Der Sauerstoffgehalt nimmt somit um ein Drittel ab, wogegen der CO_2 Gehalt um das Hundertfache zunimmt. Dementsprechend erzeugt ein Mensch täglich etwa 0,7 kg bzw. 260 kg jährlich an CO_2 durch die Verbrennung von Kohlenstoff aus der Nahrung. Bei rund 6,7 Milliarden Menschen werden somit knapp 2 Milliarden Tonnen CO_2 (2 Gt) pro Jahr durch das Atmen emittiert. Aber dieser Eingriff in den Kohlenstoffhaushalt ist vergleichsweise gering, außerdem stammt das CO_2 aus „nachwachsender Biomasse“. Dagegen entstehen jährlich über 30 Gt CO_2 durch die Verbrennung von fossilen Energien, Industrieprozesse und Brandrodung.

2.2 Kohlendioxid – ein gefährlicher Stoff

Klima- und Wetterprozesse bilden die Grundlage für sämtliches Leben. Sie finden auf der Erde in Bodennähe (Troposphäre, bis ca. 10 km Höhe über N.N.) statt und werden i.d.R. nach zeitlichen Vorgängen unterschieden:

- Wetter: Stunden bis Tage,
- Witterung: Wochen bis Monate,
- Klima: Monate bis mehrere Jahre (Jahrzehnte).

Aussagen zu Klimaveränderungen werden in einem Mindestintervall von 30 Jahren getroffen. Die Klimaprozesse sind äußerst komplex und in ihrer zeitlichen Änderung i.d.R. träge. Sie hängen von vielen Einflussgrößen ab, die sich gegenseitig beeinflussen können, wie beispielsweise Vegetation, Eis- und Schneebedeckung, Salzgehalt der Meere, Vulkanismus und anthropogene Einflüsse. Klimaprozesse muss man auch im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt sehen.

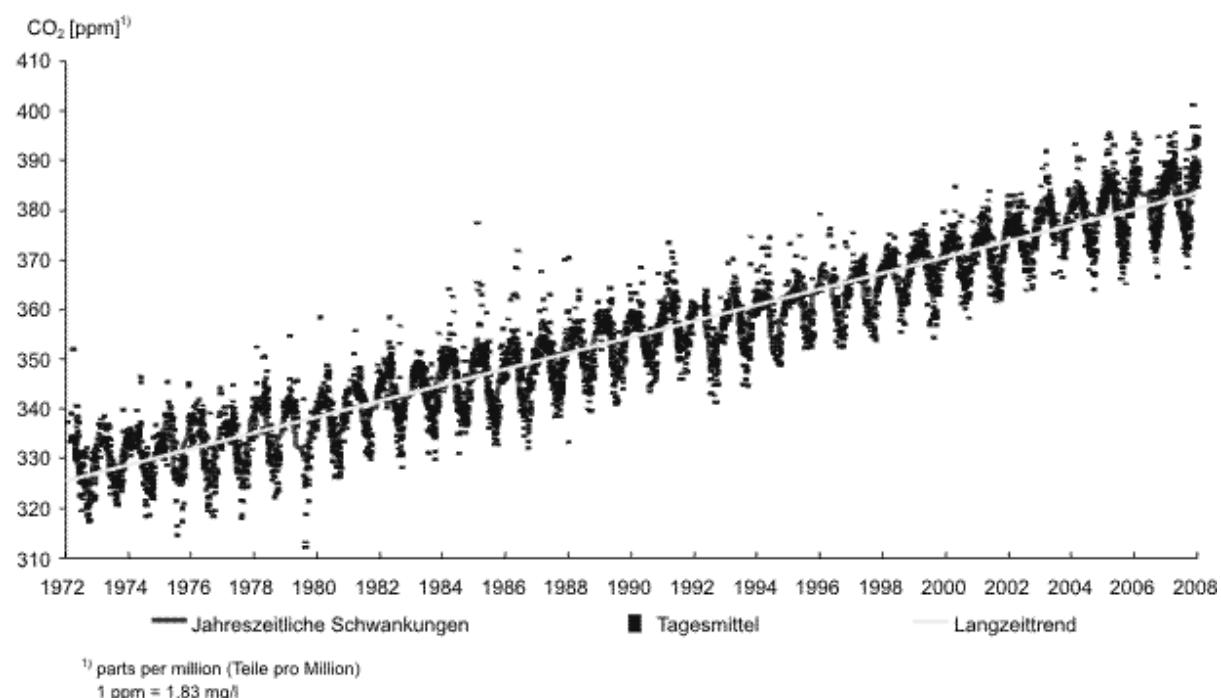
Der natürliche Treibhauseffekt ist für die Menschen lebensnotwendig, da durch die Existenz der Treibhausgase Infrarotstrahlung von der Erde teilweise zurückgestrahlt wird. Eine Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt nun dazu, dass der Anteil der zur Erde zurückgesendeten Infrarotstrahlung zunimmt und somit ein zusätzlicher Treibhauseffekt eintritt, der eine globale Erwärmung der Erdoberfläche verursacht. Dabei wird die Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre im Wesentlichen anthropogen verursacht.

Das Treibhausgas CO₂, das durch die Verbrennung fossiler Energieträger, wie Kohle, Gas und Erdöl sowie durch die Brandrodung der tropischen Regenwälder in die Atmosphäre gelangt, hat den größten Anteil am zusätzlichen Treibhauseffekt. Neben CO₂ gibt es weitere Klimagase, wie Methan, Lachgas und insbesondere Wasserdampf. Durch diese Klimagase wird die durchschnittliche Temperatur auf der Erde auf ca. 15 °C angehoben. Ohne sie läge die mittlere Temperatur um ca. 33 °C niedriger, also bei -18 °C.

Während die Ursachen über den anthropogenen Treibhauseffekt relativ gut bekannt sind, werden die Auswirkungen der Treibhausgase auf das Klima in der Fachwelt sehr unterschiedlich diskutiert.

Messungen zeigen, dass die Konzentration der Treibhausgase ansteigt, wie folgende CO₂ Konzentrationen aus Deutschland zeigen (Daten zur Umwelt, UBA, www.uba.de):

Atmosphärische CO₂-Konzentrationen an der Messstation Schauinsland des Umweltbundesamtes



¹⁾ parts per million (Teile pro Million)

1 ppm = 1,83 mg/l

Quelle: Umweltbundesamt, Ergebnisse aus dem UBA-Luftmessnetz 2008

Bild 1: CO₂ Konzentration in Deutschland^[1]

Mit dem Anstieg der Treibhausgase ist auch ein Anstieg der globalen Temperatur feststellbar.

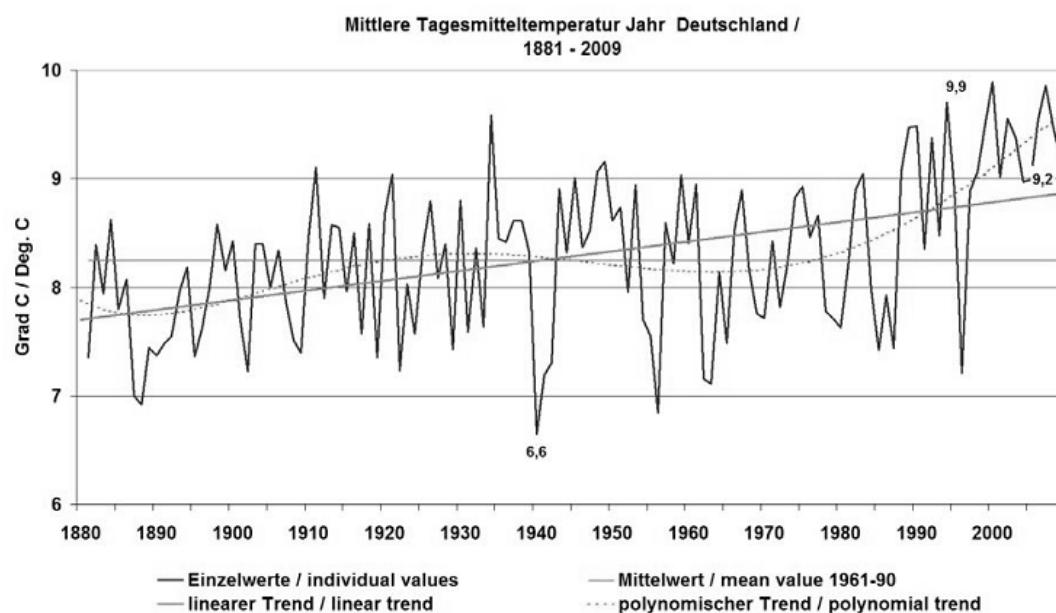


Bild 2: Tagesmitteltemperatur 1881 bis 2009 in Deutschland^[2]

Aber das CO₂ ist nicht nur als „Klimakiller“ problematisch, sondern CO₂ hat auch, je nach Konzentration in der Atemluft, gesundheitsrelevante Auswirkungen.

Die DIN EN 13779 teilt die Raumluft je nach Kohlenstoffdioxid-Konzentration in vier Qualitätsstufen ein:

- Bei Werten unter 800 ppm gilt die Raumluftqualität als gut,
- Werte zwischen 800 und 1.000 ppm gelten als mittel,
- Werte zwischen 1.000 und 1.400 ppm bis mäßige Qualität,
- bei Werten über 1400 ppm gilt die Raumluftqualität als niedrig.

Unterhalb der Maximalen Immissions-Konzentration (MIK) von 0,3% bestehen keine Gesundheitsbedenken bei dauerhafter Einwirkung. Die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration für eine tägliche Exposition von acht Stunden pro Tag liegt bei 0,5%. Bei höheren Konzentrationen kann es zu Müdigkeit, Kopfschmerzen und Schwindelgefühl kommen. Ab ca. 5% (50.000 ppm) besteht die Gefahr der Bewusstlosigkeit und ab 8% kann CO₂ tödlich sein.

Rauchgase aus Abfallverbrennungsanlagen haben einen Anteil von ca. 10 Vol.-% CO₂.

2.3 Kohlendioxid – ein zu reduzierender Stoff

Bedingt durch den Gesamtwirtschaftlichen Einbruch in 2009 um ca. 5% sind die CO₂ Emissionen in Deutschland um rund 8,5% gesunken. Insgesamt wurden etwa 70 Mio. t CO₂ weniger emittiert als in 2008, sodass die energie- und prozessbedingten CO₂ Emissionen von 1.056 in 1990 auf 769 Mio. t in 2009 sanken. Umgerechnet sank die CO₂ Emissionen je Einwohner erstmals unter 10 t auf 9,4 t (1990 13,3 t).

Betrachtet man die gesamten Treibhausgasemissionen (nach Kyoto-Protokoll sind dies noch weitere 5 Gase, wie z. B. Methan) lagen diese in 2008 (neuere Daten liegen noch nicht vor) bei ca. 965 Mio. t CO₂eq. Somit liegt Deutschland deutlich im Zielerreichungspfad von minus 21% gemäß Kyoto-Protokoll – derzeit bei ca. 28% (unter Berücksichtigung des Rückgangs in 2009)^[3]. Bezogen auf die Sektoren ergibt sich folgendes Bild:

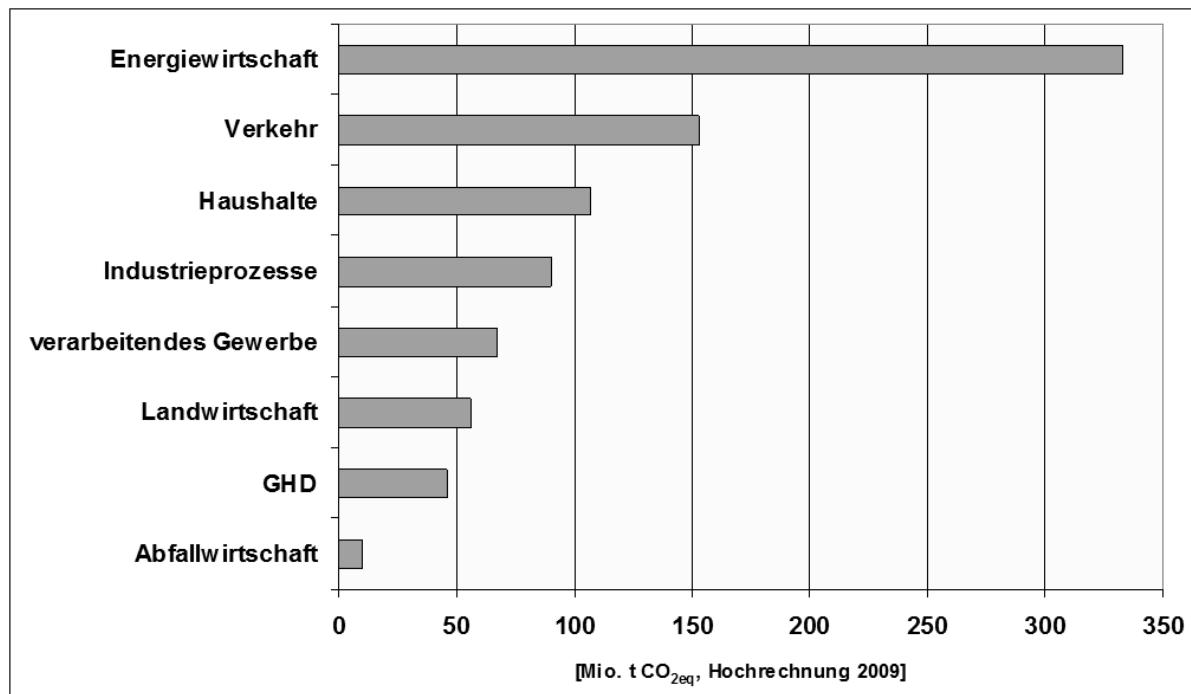


Bild 3: Treibhausgasemissionen nach Sektoren in 2009

Deutschland will den Ausstoß bis 2020 um 40% gegenüber 1990 senken. Möglicherweise könnte Deutschland mit allen bereits jetzt beschlossenen Maßnahmen das selbstgesteckte Ziel erreichen – aber die letzten Prozente sind bekanntlich die Schwierigsten.

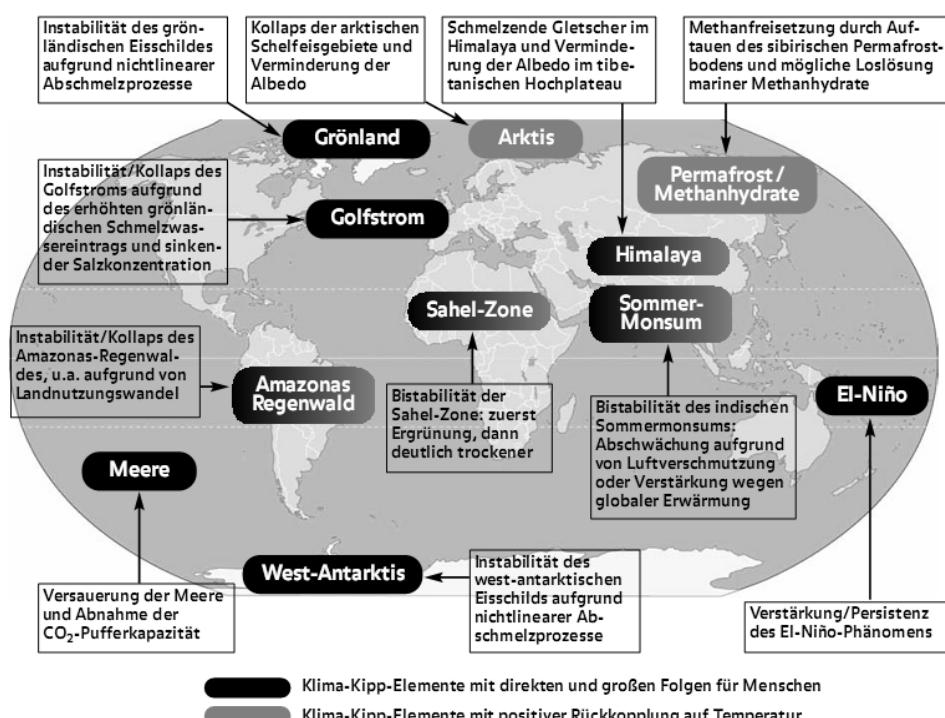
3 Klimawandel – quo vadis?

Die wichtigsten neuen Ergebnisse der Klimaforschung sind^[4]:

- Im Jahr 2008 wurden rund 40 Prozent mehr CO₂ aus fossilen Quellen freigesetzt als im Jahr 1990. Selbst wenn die Emissionen ab jetzt stabil blieben, würde schon innerhalb von 20 Jahren so viel CO₂ ausgestoßen, dass dadurch die globale Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% 2 °C überschritten würde – selbst bei Nullemissionen ab 2030. Mit jedem Jahr, in dem nichts unternommen wird, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass 2 °C Erwärmung überschritten werden.
- Während der vergangenen 25 Jahre sind die Temperaturen im Mittel um 0,19 Grad pro Jahrzehnt angestiegen.
- Satelliten- und direkte Messungen belegen eindeutig, dass sowohl der Grönländische als auch der Antarktische Eisschild immer rascher an Masse verlieren. Seit 1990 hat sich auch das Abschmelzen von Gletschern in anderen Regionen der Welt beschleunigt.
- Das arktische Meereis schwindet sommers deutlich schneller als nach den Projektionen von Klimamodellen zu erwarten war. Der Eisausdehnung in den

Sommern der Jahre 2007 bis 2009 war jeweils rund 40 Prozent kleiner als der Mittelwert der Simulationsrechnungen für den vierten Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC von 2007

- Satellitenmessungen belegen, dass der Meeresspiegel in den letzten 15 Jahren um 3,4 Millimeter pro Jahr gestiegen ist, das ist rund 80 Prozent rascher als in früheren IPCC-Projektionen. Diese Beschleunigung des Anstiegs ist konsistent mit einer Verdoppelung des Beitrags schmelzender Gebirgsgletscher sowie des Grönländischen und des Westantarktischen Eisschildes.
- Bis zum Jahr 2100 wird der Meeresspiegel wahrscheinlich mindestens doppelt so stark steigen wie vom 4. IPCC-Berichts projiziert; bei unverminderten Treibhausgas-Emissionen könnte er um mehr als einen Meter steigen. Die Obergrenze wurde als ca. zwei Meter bis 2100 abgeschätzt. Der Anstieg wird sich noch Jahrhunderte lang fortsetzen, nachdem die globalen Temperaturen stabilisiert wurden, und es muss mit einem weiteren Anstieg um mehrere Meter in den kommenden Jahrhunderten gerechnet werden.
- Bei dem Begriff "globaler Klimawandel" denkt man allgemein an einen allmählichen Anstieg der Temperaturen. Viele Forscher warnen jedoch vor sogenannten Kipppunkten im Klimasystem der Erde. Werden bestimmte Temperaturwerte überschritten, geraten zentrale Elemente unseres Klimasystems, z.B. der indische Monsun, aus dem Gleichgewicht. Es werden Prozesse in Gang gesetzt, die unumkehrbar sind und verheerende Folgen haben. Hinzu kommt, dass einige Kipp-Prozesse selbstverstärkend sind, wie das Auftauen der Permafrostböden in Nordamerika, Kanada und Russland.



(Quelle: Germanwatch verändert nach Schellnhuber 2007)

Bild 4: Klima-Kipp-Punkte^[5]

4 Jeder gibt so wenig er kann

Seit Ende der 70er Jahre wird über den anthropogenen Klimawandel in der Wissenschaft diskutiert. Der politische Prozess zum Schutz des Klimas begann mit der ersten Weltklimakonferenz 1979 und führte zum Abschluss der Klimarahmenkonvention in 1992 in Rio de Janeiro. Im Kyoto-Protokoll von 1997 einigten sich die Staaten erstmals auf ein quantitatives Reduktionsziel. Mit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls und dem Beginn des europäischen Emissionshandelssystems in 2005 wurde der Klimaschutz populär.

Der EU-Emissionsrechtehandel erfolgt in mehrjährigen Handelsphasen, um Witterschwankungen auszugleichen und längerfristige Investitionssicherheit zu schaffen. Bisher ist die Pilotphase I (2005–2007) abgeschlossen. Momentan läuft Phase II (2008–2012). Im April 2009 wurden bereits die rechtlichen Rahmenbedingungen für Phase III (2013–2020) festgelegt.

4.1 Klimagipfel in Kopenhagen verfehlt die zentralen Ziele

Vertreter von über 190 Staaten, davon mehr als 120 Staats- und Regierungschefs, also die gesamte politische Führungselite der Welt, kamen im Dez. 2009 in Kopenhagen zusammen, um das Nachfolgeabkommen zum Kyoto-Protokoll ab 2013 zu verhandeln. Man sprach im Vorfeld davon, dass es sich um das wichtigste internationale Treffen seit dem 2. Weltkrieg sei. Es ginge um nichts weniger als die Rettung der Welt. Zentrale Kriterien, die für einen Erfolg oder Misserfolg der Konferenz maßgeblich sein würden, waren:

- Festlegung von Reduzierungszielen, die die Erderwärmung auf unter 2°C begrenzen soll,
- Zusagen für finanzielle Unterstützung zum Klimaschutz und zur Anpassung in den Entwicklungsländern,
- Weiterentwicklung des Emissionsrechtehandels,
- völkerrechtlich verbindliches Abkommen.

Der Klimawandel sei „eine der größten Herausforderungen unserer Zeit“, heißt es im Copenhagen Accord – dem „zur Kenntnis genommenen“ Abschlussdokument der Konferenz. Jetzt sei die Zeit, vom Reden zum Handeln überzugehen, hatte ein Regierungschef nach dem anderen beschworen.

Im Copenhagen Accord wird zwar erstmals die wissenschaftlich untermauerte Notwendigkeit anerkannt, die Erderwärmung auf weniger als 2°C zu begrenzen. Das Ziel wurde aber nicht in die notwendigen Reduktionsziele der einzelnen Länder bei den Treibhausgasen umgesetzt. Die bisherigen realen zuverlässigen Zusagen führen

aber eher in Richtung 3 bis 4°C Temperaturanstieg. Um das 2°C Ziel zu erreichen, müsste der globale Emissionsausstoß spätestens bis 2016 seinen Höhepunkt („Peak“) erreicht haben und danach schnell sinken. China und Indien blockierten die Peakjahr-Festlegung und auch das globale Reduktionsziel für 2050 (mindestens eine Halbierung der Emissionen).

Positive Signale setzten jedoch die EU, die unter bestimmten Voraussetzungen über ihr 20-20-Ziel (20% bis 2020) hinausgehen will. Brasilien hat als ein bedeutendes Schwellenland verbindlichen Reduktionsmaßnahmen zugestimmt. Japan ist bereit die Emissionen um 25% bis 2020 gegenüber 1990 zu senken.

Es wird gefordert, dass sich erstmals auch die Schwellenländer (wie China, dem Land mit der mittlerweile höchsten Emissionsfracht – noch vor den USA) und Entwicklungsländer (außer den ärmsten Staaten) zu ernsthaften Klimaschutzmaßnahmen, nicht aber schon zu Reduktionszielen, verpflichten sollen. Die Industrieländer verpflichten sich neben ernsthaften Reduktionszielen im Gegenzug zu substantieller Finanzierung für Klima- und Regenwaldschutz sowie für die Anpassung der gefährdeten Staaten, die vom Klimawandel am härtesten betroffen sind. Bzgl. Langfristfinanzierung liegen zumindest konkrete Zahlen vor - bis 2012 sollen von den Industrieländern jedes Jahr 10 Milliarden US-Dollar gezahlt werden, bis 2020 soll die Summe auf jährlich 100 Milliarden US-Dollar steigen. Das Geld soll für den Schutz des Regenwaldes, für Klimaanpassungsmaßnahmen, für Technologieentwicklung und -transfer gezahlt werden. Es wurden aber keine klaren Regeln für die Zusätzlichkeit und Transparenz der Geldströme vereinbart. Stattdessen soll ein hochrangig besetztes Gremium darüber wachen, ob die versprochenen Geldströme tatsächlich fließen.

Im Bereich der projektbezogenen Klimaschutzinstrumente (JI und CDM) konnten einige Reformen u. a. im Genehmigungsverfahren erreicht werden. Für den Bereich Forsten und Senken (für ca. 20% der Treibhausgasemissionen verantwortlich) konnte eine Methodologie vereinbart werden.

Die Einbeziehung des Luft- und Seeverkehrs in den Emissionsrechtehandel wurde nicht beschlossen, ebenso wenig wie die Ausweitung des Emissionsrechtehandels.

Der Copenhagen Accord (besteht aus lediglich 3 Seiten) wurde nicht als Entscheidung der Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties, COP) angenommen, sondern von der COP „zur Kenntnis genommen“. Somit wurde kein völkerbindliches Klimaabkommen beschlossen, sondern nur eine unverbindliche politische Absichtserklärung zur Kenntnis genommen. Umfangreiche Entscheidungen, die den Unterbau eines zukünftigen Abkommens bilden sollen, sind inzwischen bis auf wenige Streitpunkte vorbereitet. Diese könnten auf der nächsten Konferenz Ende 2010 in Mexiko gelöst werden.

4.2 Fazit: von „Hopenhagen“ zu „Floppenhangen“

Der größte Knackpunkt für ein zukünftiges umfassendes Klimaschutz-Abkommen, die Frage der Rechtsform, bleibt weiterhin offen. Das System der UN-Klimarahmenkonvention muss spätestens bis 2012 neu organisiert werden, wie nach dem Klimagipfel folgende aufkommende Fragen zeigen:

- Ist es sinnvoll, dass die Staaten, die 90% der Emissionen der Welt verursachen, einen Konsens von allen 193 Staaten brauchen, um Klimaschutzziele für sich selbst vereinbaren zu können?
- Warum kann China ein Veto gegen die Aufnahme der Selbstverpflichtung der EU aussprechen, die Emissionen bis 2050 um 80% zu senken.
- Warum müssen über die Regenwald- und Finanzierungsländer hinaus alle Staaten der Klimarahmenkonvention am Regenwaldschutz beteiligt sein?

Die EU muss sich die Frage stellen, ob sie den Klimaprozess weiter vorantreiben will (Ziel 30%), oder ob sie auf ihrer Position verharren will, den Ausstoß um 20% zu verringern.

Deutschland hatte für die Kopenhagen-Verhandlungen als Soforthilfe zum Ausbau des internationalen Klimaschutzes 1,26 Milliarden Euro für die Jahre 2010 bis 2012 zugesagt. Die Bundesregierung will ihre Klimahilfe für die ärmsten Staaten trotz des gescheiterten Gipfels in Kopenhagen aufstocken. Sie hat die Haltung der USA und China deutlich kritisiert. So sagte Bundesumweltminister Norbert Röttgen (CDU), den Chinesen sei es nicht um Klimaschutz gegangen, "sondern um Verhinderung". Gerade Deutschland muss ein Interesse daran haben, dass verbindliche weltweite Klimaziele festgelegt werden. Als Weltmarktführer bei vielen Umwelt- und Klimaschutztechnologien bestehen somit Chancen am exponentiellen Wachstum in diesen Bereichen teilzunehmen.

Selbst der Fernsehsender n-tv, der nun wahrlich nicht im Verdacht steht, besonders radikale ökologische Forderungen zu stellen, kommentiert:

- „Die Kopenhagener Vereinbarung ist ein banales Dokument des Scheiterns, der Unfähigkeit, des Mangels an guten Willen.“
- „Das kollektive Scheitern hat historische Dimensionen.“
- „Das zynische Taktieren, die albernen Spielchen der Staats- und Regierungschefs sind die falsche Strategie.“
- „Die Politik hat versagt. Der Klimaschutz muss weitergehen.“

Der Südafrikaner Kumi Naidoo von Greenpeace brachte es auf den Punkt: "Das ist ein Verrat an den Armen, ein Verrat an den besonders verletzlichen Ländern, ein

Verrat an den kleinen Inselstaaten und ein Verrat an allen Kindern und Enkelkindern dieses Planeten."

4.3 Petersberger Klimadialog

Wenige Monate nach dem Weltklimagipfel wollen Deutschland und Mexiko (Mexiko ist Gastgeber der nächsten UN-Klimakonferenz im Dezember in Cancún) den Verhandlungsprozess für ein neues Klimaschutzabkommen vorantreiben. Zu den dreitägigen informellen Gesprächen vom 2. bis 4. Mai 2010 auf dem Petersberg bei Bonn waren 45 Staaten vertreten.

Ziel war es, neuen Schwung in die seit der gescheiterten UN-Konferenz von Kopenhagen stockenden Verhandlungen zu bringen. Bundeskanzlerin Angela Merkel hat zum Auftakt ehrgeizigere Schritte im Kampf gegen die Erderwärmung gefordert. Röttgen machte deutlich, das Treffen solle vor allem der Vertrauensbildung dienen. Er forderte auch die EU auf, ihr Ziel für die CO₂ - Minderung bis 2020 von 20 auf 30 Prozent anzuheben.

Als prioritär für die weiteren UN-Verhandlungen wurden die folgenden Themenbereiche benannt:

- die Minderung von Treibhausgasen in Industrie- und Schwellenländern,
- den Aufbau eines internationalen Systems zur Kontrolle der Minderungsaktivitäten,
- die Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen in Entwicklungsländern und
- die Finanzierung internationalen Klimaschutzes.

In weiteren Bereichen wie der Verminderung von Entwaldung, der Förderung von klimafreundlichen Technologien und der Weiterentwicklung von Emissionshandelsystemen haben die Minister erhebliche Fortschritte in den UN-Verhandlungen gesehen, auf die in diesem Jahr aufgebaut werden kann.

Anmerkung: Peinlich ist nur, dass zeitgleich ein Kernstück der deutschen Klimaschutzpolitik wegen der knappen Kassen zusammengestrichen werden soll. Ende April wurden 115 Millionen Euro gesperrt, die eigentlich im laufenden Jahr in kommunale Klimaprojekte und den Bau von etwa 200.000 Heizanlagen mit erneuerbaren Energien fließen sollten. Die Haushaltssperre hat die Einstellung der Förderung für Solarkollektoren, Biomasseheizungen und Wärmepumpen zur Folge. Auch die Programme, die das Bundesumweltministerium im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative fördert und das Förderprogramm mit dem Bundeslandwirtschaftsministerium zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau, sind davon betroffen. Die Förderung von kommunalen Klimaschutzprojekten kann erst

2011 weiter fortgeführt werden, unter der Voraussetzung, dass im kommenden Jahr wieder Haushaltsmittel verfügbar sind.

5 Lösungsansätze gibt es ...

„Den“ Lösungsansatz gibt es nicht, zahlreiche einzelne Maßnahmen ergeben (vielleicht) ein Bild, wie der drohende Klimakollaps (vielleicht) noch vermieden werden kann. Jeder einzelne Baustein ist wichtig, angefangen bei den politisch strategischen Lösungsansätzen (one human – one emissions right) und der EU-Politik, über praktische Schutzmaßnahmen zu sehr geringen Kosten (Regenwaldschutz) bis, wo alles Materielle endet, bei der Abfallwirtschaft.

5.1 One human – one emissions right

Der „Copenhagen Accord“ enthält einige Kernelemente für den weiteren Aufbau einer neuen Klimastrategie:

- Umsetzung des Zwei-Grad-Zieles,
- Der baldigen Erreichung des Höhepunktes der globalen Emissionen,
- Bereitstellung nachhaltiger Finanzquellen für die Entwicklungsländer,
- Grundsatz der Kosteneffizienz,
- Anerkennung des Gerechtigkeitsgrundsatzes.

Das Potsdam-Institut Klimafolgenforschung (PIK) und der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WBGU) haben eine Diskussionsgrundlage für ein neues Weltklimaschutzsystem erarbeitet. Das bisherige Klimaschutzsystem (Kyoto-Protokoll) beinhaltet einige Konstruktionsmängel, die geändert werden müssen:

- Die internationalen Klimakonferenzen werden häufig als „Klimabasar“ bezeichnet – man gibt so viel, dass es nicht weh tut.
- Mangelnder Gerechtigkeitsaspekt durch Festlegung von Referenzjahren als Basis.
- Mangelnde Umsetzung der Verpflichtungen in den einzelnen Staaten – Durchsetzung und Überwachung der Ziele, Selbstverpflichtungen und Gesetze.
- Fehlende Anreize für Staaten, Unternehmen und Konsumenten zum klimabewussten Verhalten.
- Mindernachfrage von fossilen Energieträgern in den Industriestaaten führt zu Preissenkungen, sodass andere Marktteilnehmer diese Produkte billiger kaufen können, somit höhere Nachfrage.

- Gefahr der Verlagerung von emissionsrelevanten Industrien von „Ziel-Ländern“ in „Nicht-Ziel-Ländern“ (Leakage).

Im Folgenden wird der „Budgetansatz“ bzw. das „Peak and Trade“ Konzept des PIK und WBGU vorgestellt, um die internationale Klimastarre aufzutauen.

Das zentrale Ziel ist es, den Temperaturanstieg auf maximal 2°C („Leitplanke“) bis 2050 zu begrenzen. Dies kann nach Berechnungen des IPCC erreicht werden, wenn sich die weltweite Emissionshöchstgrenze (Peak) vor dem Jahr 2020 abschwächt und eine Halbierung (Basis 1990) der globalen Emissionen bis zum Jahr 2050 stattfindet. Das noch zur Verfügung stehende Restbudget wird dann gleichmäßig auf alle Menschen aufgeteilt – „one human – one emissions right“.

Das verbleibende Emissionsbudget beträgt etwa 750 Milliarden Tonnen bis zum Jahr 2050 (bei gleichbleibenden Emissionen wäre das Budget allerdings bereits in 25 Jahren erschöpft). Der globale Peak liegt bei 35 Mrd. Tonnen CO₂ im Jahr 2015. Von 2015 bis 2020 wird diese jährliche Emissionsmenge auf die 6,9 Mrd. Menschen gleichmäßig verteilt. Dies entspricht rechnerisch 5,1 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr.

Durch die kostenlose Pro-Kopf-Verteilung werden Niedrigemissionsländer große Überschüsse erhalten, die dann an die Hochemissionsländer über eine internationale Weltklimabank verkauft werden können. Die folgende Abb. zeigt das aktuelle (Stand 2006) Niveau von ausgewählten Staaten:

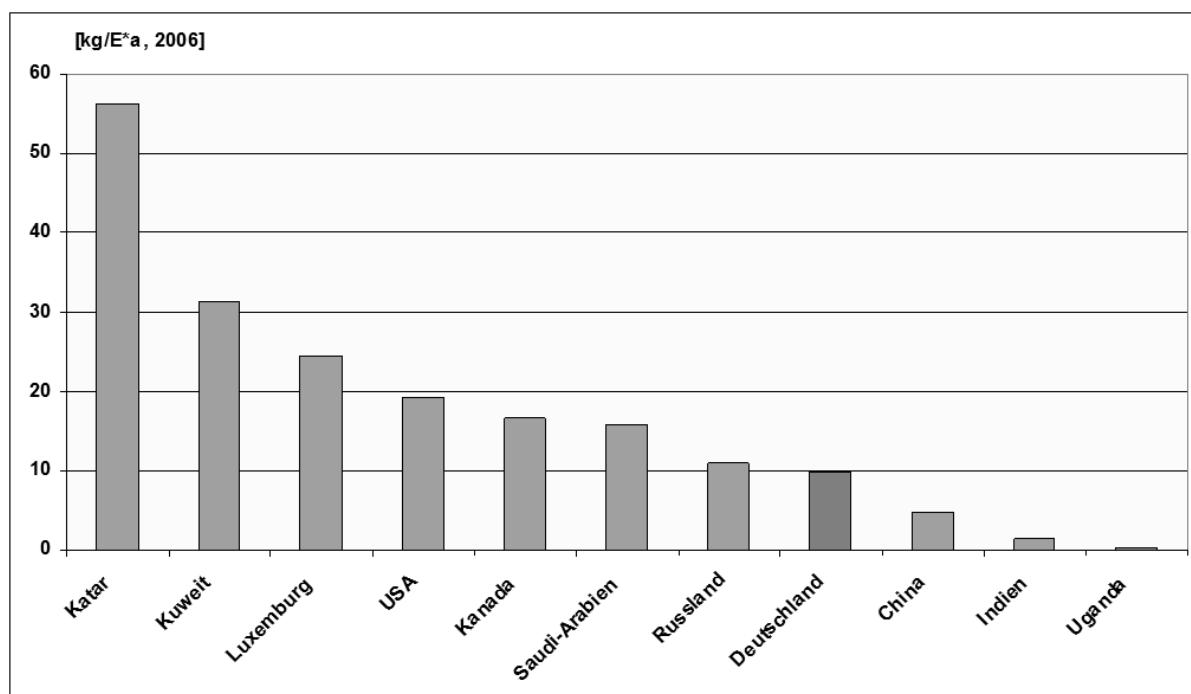


Bild 5: Pro-Kopf Emissionen an CO₂^[6]

Ähnlich wie beim jetzigen Emissionshandelssystem werden Brennstoffzertifikate für eine Handelsperiode (fünf Jahre) vergeben. Anders als beim EU-

Emissionshandelssystem, das in etwa nur 11.400 Emittenten umfasst, werden alle CO₂ Emissionsquellen einbezogen. Nicht der direkte am Schornstein erfasste CO₂ Ausstoß einer einzelnen Anlage, sondern der im Markt abgesetzte Kohlenstoff wird erfasst. Adressaten des Brennstoffzertifikatehandels sind daher u. a. Öl- und Erdgasimporteure, Raffinerien und Kohleunternehmen. Dieses „upstream“ Zertifikatesystem hat einige Vorteile, wie z. B.:

- Nur ca. 100 Marktteilnehmer,
- geringer Kontrollaufwand
- geringe Transaktions- und Monitoringkosten.

Diese neue Klimastrategie würde entscheidende Impulse zur weltweiten „Decarbonatisierung“ geben:

- Förderung des Substitutionsprozess (CO₂ ärmere Brennstoffe),
- Effizienzsteigerung und klimafreundliche Investitionen und
- die Entwicklungsländer hätten einen ökonomischen Vorteil und wären auch an einer klimafreundlichen Entwicklung interessiert.

Langfristig bis 2050 muss die Emission Pro-Kopf auf ca. 2 t reduziert werden.

5.2 Vorhaben der EU-Kommission in der Klima-, Energie- und Umweltpolitik 2010

Die Europäische Kommission hat am 31. März 2010 ihr Arbeitsprogramm für das Jahr 2010 unter dem Titel „Jetzt handeln“ veröffentlicht. Darin kündigt sie Maßnahmen für die künftige Ausrichtung der Energie- und Umweltpolitik an, wie die Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“. Dazu gehören u. a.:

- eine Strategie, die eine sichere, nachhaltige und wettbewerbsfähige Energieversorgung sicherstellt,
- die Überarbeitung der Energiesteuerrichtlinie (Energieprodukte sollen nach ihrem Energiegehalt und ihrer Kohlendioxidemission besteuert werden) und
- die Entwicklung einer Energiewende in Europa, die es bis 2050 zu einer kohlenstoffarmen, ressourcenschonenden und klimaneutralen Wirtschaft macht (geplant ist insbesondere die Entkarbonisierung des Energie- und des Verkehrssystems).

Die Kommission formuliert Initiativen, wie:

- ggf. Vorschlag für ein 30-Prozent-Reduktionsziel (legislativ),

- Vorschlag für eine Revision der bestehenden Gesetzgebung zur Integration von Treibhausgasminderung und Anpassung an den Klimawandel (legislativ),
- Programm für ein kohlenstoffarmes Energiesystem bis 2050 (nicht legislativ),
- Vorlage einer „Roadmap 2020“ zu Ressourceneffizienz und einem kohlenstoffarmen Europa (nicht legislativ)

5.3 Der Regenwald – Gefahr und Hoffnung

Dass Pflanzen und Böden Kohlendioxid speichern, ist zwar schon lange bekannt, und auch, dass tropischer Regenwald abgeholt wird, aber die Dimensionen wurden erst jüngst deutlich. Der Einfluss der brennenden Wälder auf das Klima wurde vielfach unterschätzt, die Daten dazu werden durch das Kürzel LULUCF (Land use, land use change and forestry) dokumentiert. Rechnet man die Emissionen aus der Abholzung in die Gesamtsumme der Emissionen ein, verändert sich der Blick auf die Klimasünder: Plötzlich steht Indonesien an Platz drei der CO₂-Statistik, Brasilien auf vier, und selbst Malaysia findet sich unter den zehn größten Klimasündern wieder.

„50% des gesamten Treibhausgasminderungspotenzials könnten mit der Reduzierung der Entwaldung erreicht werden“, schrieben UN-Wissenschaftler im Mai 2009. Der Regenwaldraubbau ist mit einem Anteil von bis zu 25% der zweit-größte Treibhausgasemitter nach der Verbrennung fossiler Rohstoffe. Jährlich werden ca. 13 Millionen Hektar entwaldet, dies entspricht etwa der Fläche von Griechenland (Ähnlichkeiten zur Finanzkrise sind rein zufällig).

Daher muss der Schutz von Wäldern in die internationalen Klimaverhandlungen einbezogen werden. REDD steht für Reducing Emissions from Deforestation and Degradation, die Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Schädigung von Wäldern. Die Grundidee von REDD ist relativ einfach. Sie basiert auf der Funktion der Wälder als Kohlenstoffspeicher. Indem dem in den Wäldern gespeicherten Kohlenstoff ein wirtschaftlicher Wert beigemessen wird, kann der Erhalt von Wäldern in wirtschaftliche Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Im Rahmen eines REDD Systems sollen die Emissionen aus tropischer Entwaldung anerkannt und bewertet werden, damit wirtschaftliche Anreize für den Stopp der Entwaldung geboten werden können. Obwohl die Theorie einfach klingt, ist die Umsetzung von REDD sehr komplex. Der Regenwald kann jährlich bis zu 1,8 Gt Kohlenstoff binden, fast 20% dessen, was durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern emittiert wird. Bei der Zerstörung (Brandrodung) eines Hektars Regenwald können ca. 1.000 t CO₂ freigesetzt werden. Ein Hektar Regenwald kostet etwa 100 €. Somit „kostet“ eine Tonne vermiedener CO₂ Emission 10 Cent, wenn man die Brandrodung stoppt.

6 Stellenwert Abfallwirtschaft

Alle abfallwirtschaftlichen Maßnahmen greifen sowohl positiv als auch negativ über die direkten Emissionen von Klimagasen (i. W. CO₂ und Methan) oder durch verminderte Emissionen in anderen Sektoren durch Recycling oder Energienutzung in das Bilanzsystem ein.

6.1 Thermische Abfallbehandlung im Spannungsfeld der Energiepolitik

Die thermische Abfallwirtschaft beschäftigt sich mit der Umwandlung von „ungenutzter Energie“ zu nutzbarer Energie, also die Verwertung der Abfallenergie. Physikalisch gesehen ist Energie da und kann nicht erzeugt werden. Ziel ist es, die vorhandene Energie effektiv umzuwandeln, bei möglichst geringen Wärmeverlusten.

Die wesentlichen Kriterien für die zukünftige Energieversorgung sind:

- sicher,
- bezahlbar,
- wettbewerbsorientiert,
- nachhaltig und
- umweltgerecht

Alle Kriterien werden durch die Nutzung der thermischen Abfallbehandlung erfüllt. Die Nutzung der vorhandenen „Sowieso-Energie“ aus Abfall hat jedoch vielfältige positive Effekte. Jede eingespeiste Megawattstunde, ob Strom oder Fernwärme, verdrängt auf der anderen Seite fossile Energieträger. Es entstehen keine zusätzlichen CO₂ Emissionen (und andere Schadstoffemissionen), Energieimporte können entsprechend vermindert werden, die Wertschöpfung erfolgt im Inland, die Preisentwicklung ist verlässlich und wird nicht durch Börsianer bestimmt – dies sind die wesentlichen positiven Effekte.

Die bekannten Ansätze betrachten die Klimarelevanz von der Abfallseite. Nimmt man aber an, dass die Abfallentsorgung als unverzichtbarer Bestandteil der Daseinsvorsorge vorhanden ist und versucht einen möglichst hohen Zusatznutzen zu erzielen, kann man die thermische Abfallbehandlung auch von der Energieseite betrachten. Somit wäre die Energienutzung ein „Abfallprodukt“, sodass die „Sowieso-Energie“ möglichst umweltverträglich und kosteneffizient nutzbar zu machen ist.

WWF und Greenpeace haben in der Schweiz untersuchen lassen, wie der Energieverbrauch minimiert werden kann und dies mit den besten verfügbaren Technologien^[7]. Die Abwärme aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen für die Strom- und Wärmenutzung wird als 100% erneuerbar betrachtet, weil der nicht-erneuerbare An-

teil bereits als „graue Energie“ in den als Abfall zu behandelnden ausgedienten nicht mehr recyclebaren Produkten enthalten ist. Es wird daher empfohlen, dass die effizienteren Kapazitäten bis zur Potentialausschöpfung zugebaut werden. Danach sollen teurere Technologien zur Anwendung kommen, also z. B. Strom aus MVA‘n vor Photovoltaik.

In der Studie „Ökobilanz für Energie aus Kehrichtverbrennungsanlagen“ wird die Energiegewinnung aus MVA‘n anhand einer speziellen Ökobilanz („Mikropunkte“ nach VUE), wie sie auch für andere erneuerbare Energien durchgeführt wird, untersucht^[8]. Demnach ist der Strom (biogener und fossiler Anteil) sogar weniger umweltbelastend als manche erneuerbare Energiequelle. Die Umweltbelastung ist um den Faktor 700 geringer als bei Wind- und Solarenergie und ca. 2.000-mal günstiger als bei modernen Gaskraftwerken. Eine Kilowattstunde Wärme erzeugt mehr Umweltbelastung als eine Kilowattstunde Strom (Faktor 10), da eine aufwändige Infrastruktur notwendig ist. Die Umweltbelastung im Vergleich zu Holzwärme ist um den Faktor 90 geringer, auch bei den Solarkollektoren ist sie um den Faktor 10 geringer.

Zweifellos ist die thermische Behandlung der Abfälle, die sich nicht mehr sinnvoll recyceln lassen, weitaus sinnvoller als die Deponierung. Aber hier hört der allgemeine politische Konsens schon auf. Die Energienutzung wird vielfach zwar gewollt, aber wenig respektiert und überhaupt nicht geliebt. Die Diskussion um die R1-Kennzahl im Rahmen der Novellierung der EU-Abfallrahmenrichtlinie (ist eine Verwertung in thermischen Anlagen zulässig?) und die Unterscheidung zwischen „guter“ und „schlechter“ Biomasse im novellierten Erneuerbaren-Energien-Gesetz zeigt die noch teilweise bestehenden ideologischen Sichtweisen.

Die Politik, Behörden und auch die Betreiber selbst betrachten MVA‘n mal als Abfallbehandlungsanlagen, mal als Energieerzeugungsanlagen. Man ist sich nicht sicher, wie die Anlage politisch, rechtlich und ökonomisch einzustufen ist. Dabei ist die thermische Abfallbehandlung ein unverzichtbarer Bestandteil der Daseinsvorsorge (umweltverträgliche und schadlose Entsorgung von Abfällen) und man versucht gleichzeitig einen möglichst hohen Zusatznutzen (effektive Umwandlung der vorhandenen „Abfallenergie“ in Nutzenergie bei möglichst geringen Wärmeverlusten) zu erzielen.

6.2 Beitrag der Thermischen Abfallbehandlung zum Klimaschutz

Die direkte oder indirekte Nutzung der Energie aus Abfällen erfolgt in ca. 5.000 Anlagen in Deutschland, davon verbrennt die überwiegende Anzahl der Anlagen Gase (Biogas, Deponie- und Klärgas). Nur ca. 90 Anlagen (MVA‘n und EBS-Kraftwerke) behandeln Siedlungs- und Gewerbeabfälle. Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit dem Thema „Wie klimarelevant ist die Abfallwirtschaft“. Je nach Intension, Bilanz-

grenze und Substitutionsbetrachtung kommen die unterschiedlichsten Ergebnisse heraus^[9].

Die ITAD führt bei den Müllverbrennungsanlagen eine jährliche Umfrage u. a. zu Abfallmengen und Energieproduktion durch. Eine erste Abschätzung für 2009 (vorläufige Zahlen, unveröffentlicht) ergibt die unten stehenden Abfallmengen und die Energiennutzung. Die Emissionsfaktoren der Abfallgruppen stammen aus einer bisher unveröffentlichten Studie der EdDE, die Substitutionsfaktoren aus der BMU Veröffentlichung zu Erneuerbaren Energien in Zahlen^[10], wobei der Prozessdampf zur Stromerzeugung an ein benachbartes Kraftwerk abgeschätzt wurde (Annahme: 40% Wirkungsgrad).

Tabelle 1: Klimarelevanz der deutschen MVA'n in 2009

Klimarelevante Belastung durch MVA in D 2009				
Abfallfraktion	Menge [t]	Emissionsfaktor		Emissionen [t CO _{2eq}]
		[t CO _{2eq} /t Abfall]	Bemerkung	
Haushmüll (AVV 200301)	12.800.000	0,315	Quelle EdDE/Biliteswki (2010)	4.032.000
AVV 191210 u. 191212	2.900.000	0,456		1.322.000
sonstige Abfälle	3.000.000	0,447		1.341.000
Summe/Durchschnitt	18.700.000	0,358		ca. 6.700.000
Fremdenergie (Abschätzung)				ca. 100.000

Entlastung durch Substitution 2009				
Energie	Menge [MWh]	Substitutionsfaktor		Emissionen [t CO _{2eq}]
		[t CO _{2eq} / MWh]	Bemerkung	
Strom (prod)	7.490.000	0,829	Quelle BMU (2009)	6.051.700
Prozessdampf zur Stromerzeugung	5.100.000	0,330		1.683.000
Wärme (exp)	9.040.000	0,289		2.612.560
Summe/Durchschnitt	21.630.000	0,478		ca. 10.500.000
Metallverwertung aus Schlacke (Abschätzung)				ca. 600.000
Saldo	Entlastung ca. 4,3 Mio.t bzw. 0,230 t CO_{2eq}/t Abfall			

6.3 Abfallwirtschaft im Spannungsfeld der Klimaverhandlungen

Durch die internationalen Klimaverhandlungen und den diskutierten Lösungsansätzen werden drei denkbare Szenarien aufgezeigt, die ggf. bedeutende Auswirkungen haben könnten.

Internationale Klimaschutzprojekte

CDM (Clean Development Mechanism – in Entwicklungs- und Schwellenländer) und JI (Joint Implementation- in Industrieländer) sind Klimaschutzinstrumente vom Kyoto-Protokoll. Prinzipiell wird in klimaschonende Projekte investiert, dafür erhält man Zertifikate, die man verkaufen kann. Ca. 100 CDM Projekte beschäftigen sich mit Deponegaserfassung und –verwertung. Alleine durch diese Projekte könnten mehrere hundert Millionen Tonnen CO₂eq eingespart werden^[11]. Würde die Abfallwirtschaft weiter durch Recycling, Kompostierung und thermischer Nutzung „klimatisiert“ werden, wäre der Nutzen noch weitaus größer.

Mit der Novellierung des EU-Emissionshandels ab 2013, die auch Anwendung findet, wenn kein Kyoto-Nachfolgeabkommen abgeschlossen wird, wird auch die Einbeziehung von Zertifikaten aus CDM und JI Projekte neu geregelt. Durch komplizierte Verteilungsmechanismen wird die Höhe der Einbeziehung geregelt. Nur wenn ein Kyoto-Nachfolgeabkommen abgeschlossen wird, kann eine relevante Anzahl an Zertifikaten im EU-System genutzt werden.

Förderung der hochwertigen Verwertung

Viel wichtiger als die Frage der Energieversorgung wird in den nächsten Jahren das Problem der Ressourcenverknappung. Energie ist weltweit im Überfluss vorhanden, man muss diese nur sinnvoll nutzen. Schaut man sich hingegen die Rohstoffversorgung insbesondere von seltenen Metallen an, fragt man sich, warum der Focus fast ausschließlich auf Energie und Klima liegt. Aus beiden Beweggründen heraus – Klima- und Ressourcenschutz – wird eine hochwertige Verwertung von Abfällen in der EU kommen. Es kann nicht sein, dass wir unseren Müll (E-Schrott, Kunststoffe, etc.) in die Entwicklungsländer liefern und dort unter geringsten Umweltauflagen (wenn überhaupt) nur mäßig effizient recycelt wird. Darüber hinaus geschieht die „Verwertung“ größtenteils unter menschenunwürdigen Bedingungen. Auch hier hilft die Klimaschutzbewegung hinsichtlich der Gerechtigkeitsdiskussion.

Anerkennung der Energie aus Abfall als ökologisch hochwertig

Verfolgt man den Ansatz zur Umstellung des Emissionsrechtehandels auf den Brennstoffzertifikatehandel sind die fossilen Bestandteile des Abfalls bereits bewertet worden (s. auch Ansatz der „grauen Energie“). Die Klimarelevanz der Plastikente

wurde bereits bei der Herstellung des Kunststoffs aus Erdöl berücksichtigt. Somit wäre folglich die weitere energetische Nutzung aller weiteren Prozesse, nach Ausschöpfung der hochwertigen Verwertung, ein zusätzlicher Beitrag zum Klimaschutz (s. Nutzung der „Sowieso-Energie“).

7 Fazit und Ausblick

Wenn die globale Erwärmung auf 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden soll, müssen die globalen Emissionen mindestens 2020 ihren Peak erreicht haben und anschließend rasch abnehmen. Um das Klima zu stabilisieren, muss die Dekarbonisierung der Gesellschaft – die Verringerung des Ausstoßes von Kohlendioxid und anderen langlebigen Treibhausgasen auf fast Null – deutlich vor Ende des Jahrhunderts erreicht werden. Die durchschnittlichen jährlichen Pro-Kopf-Emissionen müssen bis zum Jahr 2050 auf mindestens zwei Tonne CO₂ reduziert werden. Es zeichnet sich aber ab, dass es auch beim nächsten Weltklimagipfel im Nov./Dez. 2010 im mexikanischen Cancún kein neues Abkommen geben wird. Die Hoffnungen richten sich auf den Gipfel Ende 2011 in Südafrika. Der Exkurs zum Regenwaldschutz zeigt, wie kostengünstig der Klimaschutz zu haben ist und welcher überaus positive Zusatznutzen (Erhalt der Artenvielfalt) damit erzielt wird.

Die Abfallwirtschaft hat schon einen großen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz geleistet – zumindest in Deutschland. Andere europäische Staaten haben hier noch Nachholbedarf, insbesondere aber auch die Entwicklungsländer. Die Anforderungen an die Abfallwirtschaft werden weiter steigen. Ansätze hierzu sind durch den Referentenentwurf des Kreislaufwirtschaftsgesetzes erkennbar (5-stufige Abfallhierarchie, R1-Formel, Verwertungsquoten, etc.). Allerdings muss man aufpassen, dass die wirtschaftlichen Verteilungskämpfe (Privat gegen Kommune; Recycling gegen Thermik; EBS gegen MVA; etc.) unter dem Deckmantel des Klimaschutzes nicht die Nutzen-Kosten-Relation sprengt. Was nutzt es dem Klima, wenn wir in Deutschland das letzte Milchdöschen aufwendig stofflich verwerten, wenn gleichzeitig in Indonesien hektarweise der Tropenwald für unser Palmöl dran glauben muss, das wir als erneuerbare Energie als „hochökologisch abgecheckt“ unter EEG-Zulagen in BHKW's verbrennen? Wahrscheinlich liegt es aber daran, dass der Klimaschutz zu einer Art Ersatzreligion aufgestiegen ist. Dennoch:

Eine Klimastarre können und dürfen wir uns nicht leisten.

5 Literatur

- [1] UBA: Daten zur Umwelt, www.uba.de
- [2] DWD: Der KLIMA-Report 2009, April 2010; www.dwd.de

- [3] Ziesing: Drastischer Rückgang der CO₂ Emissionen, in Energiewirtschaftliche Tagesfragen 4/2010
- [4] The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science
- [5] www.germanwatch.de
- [6] UN Data: Carbon dioxide emissions (CO₂), metric tons of CO₂ per capita, <http://unstats.un.org>
- [7] Sturm: Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen, Ellipson Basel, im Auftrag von Greenpeace und WWF Schweiz, Basel (CH) April 2006
- [8] BUWAL, AWEL: Ökobilanz für Energie aus Kehrichtverbrennungsanlagen, Bern/Zürich (CH) Juni 2005
- [9] Treder: Der Beitrag der deutschen Abfallverbrennungsanlagen zum Klimaschutz - Status quo und Perspektiven, in Müllhandbuch Bd. 4, März 2009,
- [10] BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen, Juni 2009
- [11] Nutzen des CDM in der Abfallwirtschaft, www.jiko-bmu.de

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Rechtliche Rahmenbedingungen für eine klimafreundliche Abfallwirtschaft

RA Hartmut Gaßner
Dr. Peter Neusüß
Gaßner, Groth, Siederer & Coll., Berlin

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einleitung

Die Abfallwirtschaft leistet bereits einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz, indem sie sich mehr und mehr von einer reinen Abfallwirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft entwickelt und damit Treibhausgasemissionen in erheblichem Umfang einspart. Zudem werden Abfälle zur Vermeidung klimaschädlicher Methangasemissionen nicht mehr unmittelbar der Deponie zugeführt, sondern aufbereitet oder verbrannt. Dieser Prozess wurde durch den Gesetzgeber durch ordnungsrechtliche Vorgaben zunächst im Abfallgesetz und später im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz insbesondere mit der TASi und der Abfallablagerungsverordnung in Gang gesetzt. Jüngst hat das BMU den Entwurf eines Kreislaufwirtschaftsgesetzes vorgelegt. Dieser auf der Abfallrahmenrichtlinie 2008 (2008/98/EG) basierende Entwurf beinhaltet u. a. mit der Einführung einer ausdifferenzierten Abfallhierarchie und Ermächtigungsnormen zur Einführung einer gemeinsamen Wertstofftonne neue ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen für die Gestaltungs- und Handlungsspielräume einer klimafreundlichen Abfallwirtschaft^[2].

Neben diesem ordnungsrechtlichen Rahmen setzt der Gesetzgeber auch auf wirtschaftliche Anreize. Hier zu nennen sind das KWKG und das EEG, wie auch mittelbar das EEWärmeG. Durch diese können klimafreundliche Maßnahmen in der Abfallwirtschaft oder anlässlich der Abfallwirtschaft wirtschaftlich interessant werden.

Bei der Durchführung von klimafreundlichen Maßnahmen in der Abfallwirtschaft ist der Handlungsspielraum am größten für denjenigen, der die Maßnahmen selbst durchführt. Lässt ein öffentlicher Auftraggeber die Maßnahme von Dritten durchführen, so ist er dabei an das Vergaberecht und seine Vorgaben gebunden, die bei der Durchsetzung klimafreundlicher Maßnahmen zu beachten sind.

2 Ordnungsrechtliche Vorgaben für eine klimafreundliche Abfallwirtschaft

Ein erhebliches Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen wurde bereits durch ordnungsrechtliche Maßnahmen gehoben. Zu nennen ist hier zuvörderst die Reduzierung von klimaschädlichen Methangasemissionen von Deponien durch die Einstellung der Ablagerung unbehandelter Abfälle. Unter anderem durch diese Maßnahme sind die unmittelbaren Emissionen im Bereich „Abfall“ von 1990 bis 2006 von 40,4 Mio. auf 2,3 Mio. Tonnen CO₂-äq/a, das heißt um 70% zurückgegangen. Weitere Reduzierungen, wenn auch nicht mehr in dieser Größenordnung, können etwa durch Reduzierung des Transportaufwandes und andere flankierende Maßnahmen erreicht werden.

Große Potentiale liegen aber in einem anderen Bereich. Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft zeigt sich nicht nur in der Einsparung von Treibhausgasemissionen

durch die Abfallwirtschaft selbst, sondern vielmehr auch darin, inwieweit die Abfallwirtschaft durch die stoffliche oder energetische Verwertung dabei hilft, in anderen Bereichen Treibhausgasemissionen einzusparen.

Der Aspekt der Reduzierung von Treibhausgasemissionen wird bei der Wahl des Entsorgungsweges eine zunehmende Rolle spielen. Hierzu enthält auch der Entwurf für ein Kreislaufwirtschaftsgesetz und die Abfallrahmenrichtlinie 2008 durch die Einführung einer Abfallhierarchie ordnungsrechtliche Vorgaben. Gemäß Art. 4 der Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) und § 6 KrWG-E stehen Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft, Abfallbeseitigung und der sonstigen Abfallbewirtschaftung in folgender Rangfolge:

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Recycling,
- sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Bergversatz,
- Beseitigung.

Dabei soll ausgehend von der Rangfolge derjenigen Maßnahme der Vorrang eingeräumt werden, die den Schutz von Mensch und Umwelt vor den schädlichen Auswirkungen der Abfallvermeidung und Abfallbewirtschaftung unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleistet. Für die Betrachtung der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist der gesamte Lebenszyklus des Abfalls zu Grunde zu legen. Bei der Betrachtung der Auswirkungen ist insbesondere zu berücksichtigen:

- die zu erwartenden Emissionen,
- das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen,
- die einzusetzende oder zu gewinnende Energie sowie
- die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Die technische Möglichkeit, die wirtschaftliche Zumutbarkeit und die sozialen Folgen der Maßnahme sind zu beachten.

Besondere Aufmerksamkeit kommt dabei dem Verhältnis zwischen stofflicher und energetischer Verwertung zu. Nach der Abfallhierarchie ist der stofflichen Verwertung der Vorzug zu geben, nach den genannten Kriterien kann dies allerdings aufgeweicht werden. Beachtlich ist dabei die Vorgabe, dass der gesamte Lebenszyklus des Abfalls zu Grunde zu legen ist. Ob die energetische Verwertung unter diesen Aspekten sinnvoll ist, bestimmt sich daher nicht nur danach, ob die energetische Verwertung derart effizient ist, dass sie andere Energieträger ersetzt. Vielmehr sind

einer energetischen Verwertung die Energieeinsparungen entgegenzusetzen, die durch eine stoffliche Verwertung, dem Recycling, gegenüber einer Neuproduktion eingespart werden. Durch die zitierten Regelungen wird der Ausbau der Recyclingwirtschaft auch zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei der Produktion der Wertstoffe vorgegeben.

Die zu erschließenden Potenziale sind dabei jedenfalls für Teilstrome als hoch zu bewerten. Beispielsweise werden bei dem weitgehend praktizierten Recycling von Altpapier 24 MJ/kg Energie eingespart, der Heizwert von Altpapier liegt hingegen nur bei 13,2 MJ/kg, wobei je nach Effizienz der Anlage nur ein Teil davon genutzt werden könnte. Für verschiedene Kunststoffe (LD-PE/PVC/Polystyrol) ist die Energieeinsparung beim Recycling durch die Vermeidung der Neuproduktion ebenfalls jeweils erheblich höher als der Heizwert des jeweiligen Kunststoffs, geschweige denn im Vergleich zu der bei der Verbrennung tatsächlich genutzten Energie^[1].

Dies zeigt, dass Verfahren der Abfallbehandlung und ggf. -sortierung auch hinsichtlich ihrer klimatischen Folgen unter Berücksichtigung des jeweiligen Lebenszyklus des Abfalls zu beurteilen sind. Die genannten Beispiele verdeutlichen auch, dass das in § 8 Abs. 2 KrWG-E vorgeschlagene Heizwertkriterium nicht ausreichend ist. Es ist eindeutig, dass dieses Kriterium im Hinblick auf eine klimafreundliche Abfallwirtschaft nicht allein ausschlaggebend für eine energetische Verwertung sein darf. Wie die Beispiele belegen, kann trotz eines hohen Heizwertes das Recycling unter Gesichtspunkten des Klimaschutzes die weitaus bessere Maßnahme darstellen. Dies wird zwar auch im Gesetz durch § 8 Abs. 1 KrWG-E sichergestellt, wonach nicht nur das Heizwertkriterium, sondern sämtliche zuvor genannten Kriterien bei der Wahl des Verfahrens Anwendung finden. In der Praxis ist hingegen zu befürchten, dass entgegen der Gesetzeslage das Heizwertkriterium wie häufig in der Vergangenheit ausschlaggebend sein wird.

Eine andere Praxis wird sich nur durchsetzen lassen, wenn die Bundesregierung unter Zugrundelegung wissenschaftlicher Studien und wirtschaftlicher Gegebenheiten eine Verordnung über die Wahl des Verwertungsverfahrens erlässt, wie dies in § 8 Abs. 3 KrWG-E auch vorgesehen ist.

Wichtig für die Umsetzung dieser Vorgaben wird auch sein, ob eine klare und rechts sichere Zuständigkeit für die Entsorgung der Wertstoffe besteht. Der jetzige Entwurf wirft dabei Probleme auf. So ist die Frage, wer für die Einführung und Entsorgung einer Wertstofftonne im Bereich der privaten Haushaltungen zuständig ist, auf den Verordnungsgeber verlagert worden. § 10 Abs. 1 Nr. 3 und § 25 Abs. 2 Nr. 3 KrWG-E enthalten jeweils Ermächtigungsnormen zur Einführung einer Wertstofftonne, in der von Herstellern rücknahmepflichtige Abfälle (u. a. Verpackungsabfälle) und ande-

¹ Fricke/Bahr/Thiel/Kugelstadt, Stoffliche oder energetische Verwertung – Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft, abzurufen unter: <http://www.ggsc-seminare.de/pdf/Fricke-Ressourceneffizientes-Handeln-in-der-Abfallwirtschaft.pdf>

re gleichartige Wertstoffe gemeinsam gesammelt werden. Wer für die gemeinsame Wertstofftonne verantwortlich ist, wird in dem Gesetz nicht festgelegt. Diese grundlegende Weichenstellung für eine wertstofforientierte und damit klimafreundliche Abfallwirtschaft sollte der Gesetzgeber aber selbst und eindeutig regeln, um Rechtsunsicherheiten und damit verbundene Verzögerungen zu vermeiden. Im Hinblick auf die Überlassungspflichten gegenüber den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern ist hier eine eindeutige Zuweisung der Zuständigkeit für die Wertstofftonne an die Kommunen im Gesetz selbst geboten.

3 Wirtschaftliche Anreize durch KWKG, EEG und EEWärmeG

Im Bereich des KWKG und des EEG setzt der Gesetzgeber nicht auf ordnungsrechtliche Vorgaben, sondern auf wirtschaftliche Anreize. Dasselbe gilt aus der Warte der Abfallwirtschaft letztlich für das EEWärmeG. Mit diesem werden Eigentümer von Neubauten ordnungsrechtlich verpflichtet, einen Anteil der Wärme aus Erneuerbaren Energien zu erzeugen. Ob die Abfallwirtschaft aber dafür Erneuerbare Energien zur Verfügung stellt, ist ihre freiwillige, wirtschaftliche Entscheidung.

Die Förderung durch das EEG, das EEWärmeG und das KWKG können insbesondere bei folgenden abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten genutzt werden:

- Verbrennung von Bio- und/oder Restabfällen (EEG, KWKG, EEWärmeG),
- Verstromung gasförmiger Biomasse aus Bio- und/oder Restabfällen (EEG und EEWärmeG),
- Verstromung des Deponiegases (EEG),
- Photovoltaikanlagen auf Deponien (EEG),
- Kombination verschiedener Erneuerbaren Energien (EEG).

3.1 Verbrennung heizwertreicher Fraktionen von Bio- und Restabfällen (EEG, EEWärmeG, KWKG)

Die Verbrennung von heizwertreichen Fraktionen getrennt gesammelter Bioabfälle zur Stromerzeugung wird durch das EEG vergütet, bei der sinnvollen Nutzung der Abwärme durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird grundsätzlich ein Bonus gezahlt (§ 27 EEG). Für nachsortierte Restabfallfraktionen ist dies streitig, da eine Vergütung nur für Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung erfolgt, dort gemischte Siedlungsabfälle aber ausgenommen sind. Mit guten Gründen können nachsortierte Restabfälle aber nicht mehr als gemischte Siedlungsabfälle, sondern eben als Bioabfallfraktionen aufgefasst werden.

Dieser bereits zum EEG 2004 geführte Streit wird dadurch abgemildert, dass mit Einführung des EEG 2009 bei einer Mischverbrennung jedenfalls eine anteilige Vergütung für die getrennt gesammelte Fraktion zu gewähren ist. In der Anlage muss nicht mehr ausschließlich Biomasse i. S. d. Biomasseverordnung einsetzen werden, erlaubt ist eine Mischverbrennung mit sonstiger, als Erneuerbare Energien eingestufter Biomasse, zu der auch der nachsortierte biologisch abbaubare Anteil von Restabfällen gehört. Eine Mischverbrennung mit sonstigen Restabfällen hindert hingegen aufgrund des Ausschließlichkeitsprinzips jegliche Ansprüche nach dem EEG (§ 16 Abs. 1 EEG). Nach diesem Prinzip dürfen in einer geförderten Anlage ausschließlich Erneuerbare Energien zum Einsatz kommen.

Die Wärme, die in (Groß)anlagen mit getrennt gesammelten oder nachsortierten Bioabfällen erzeugt und ggf. per Fernwärme verteilt wird, kann zur Erfüllung der Pflichten des Hauseigentümers gemäß dem EEWärmeG, nach der bei Neubauten die Wärme zu einem Anteil aus Erneuerbaren Energien stammen muss, eingesetzt werden. Bei gleichzeitiger Stromerzeugung erfolgt zudem eine Vergütung nach dem EEG einschließlich des KWK- Bonusses.

Statt einer Inanspruchnahme einer Vergütung nach dem EEG kann bei modernisierten Anlagen eine Vergütung nach dem KWKG erfolgen, soweit die Kraft-Wärme-Kopplung hocheffizient ist. Auch hier ist eine Bedarfsdeckung nach dem EEWärmeG möglich. Wird keine Vergütung nach dem EEG angestrebt und soll nur Wärme nach dem EEWärmeG erzeugt werden, können in der Anlage neben Bioabfall auch andere Brennstoffe (Restabfall, fossile Brennstoffe) eingesetzt werden, da das EEWärmeG ein Ausschließlichkeitsprinzip nicht kennt. Die erneuerbare Wärme nach dem EEWärmeG errechnet sich dann anteilig, auch eine Förderung nach dem KWKG bleibt möglich.

Bei der Verbrennung von Biomasse ergeben sich also zahlreiche Möglichkeiten zur Nutzung einer Förderung.

3.2 Verstromung und Wärmeerzeugung durch Biogas

Zur Produktion von Gas und dessen anschließender Verstromung bzw. Wärmege-
winnung können getrennt gesammelte und nachsortierte Bioabfälle zum Einsatz
kommen. Technisch entsteht dabei das Biogas nahezu vollständig aus dem bio-
logisch abbaubaren Anteil. Wie bei der festen Biomasse ist es auch hier überzeugen-
der, eine Vergütung nach dem EEG für beide Arten der Gasproduktion zu gewähren,
d. h. das Biogas jeweils als Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung einzustu-
fen. Auch die Öffnung des Ausschließlichkeitsprinzips, nach dem auch sonstige Bio-
masse ohne Gefährdung einer (anteiligen) Vergütung zum Einsatz kommen darf,
spricht dafür. Jedenfalls ergibt sich aus der Gesetzessystematik, dass eine gemisch-

te Fermentierung mit anteiliger Vergütung für getrennt gesammelte Bioabfälle möglich sein muss, da § 27 EEG keinen Anhaltspunkt dafür liefert, gasförmige und feste Biomasse unterschiedlich zu bewerten. Das Gesetz ist davon geprägt, dass es allein darauf ankommt, aus welchem Stoff die Energie letztlich stammt. Deutlich wird dies an der neuen Möglichkeit, das erzeugte Biogas in ein öffentliches Gasnetz aufbereitet einzuspeisen und eine äquivalente Gasmenge an anderer Stelle wieder zu entnehmen und zur nach EEG vergütungsfähigen Stromerzeugung einzusetzen. Da auch die gasförmige Biomasse letztlich aus flüssiger oder fester Biomasse stammt, ist eine Ungleichbehandlung der verschiedenen Formen nicht schlüssig.

Die in der Gesetzesbegründung angeführte Logik, nach der es insoweit auf die Definition in der Biomasseverordnung mit dem dort normierten Ausschließlichkeitsprinzip für gasförmige Biomasse ankommt, überzeugt nicht. Die Biomasseverordnung, die nach Einführung des EEG 2009 nicht verändert wurde, spiegelt insoweit allein die Gesetzeslage nach dem EEG 2004 reflexartig wieder. Mit der Änderung des EEG 2009 ist daher auch insoweit eine andere Interpretation notwendig.

Im Ergebnis ist daher jedenfalls der Anteil des Biogases aus dem getrennt gesammelten Biogas vergütungsfähig, auch wenn im selben Fermenter auch nachsortierte Bioabfälle vergoren werden. Unproblematisch ist eine Mischverbrennung in einem BHKW beim Einsatz zweier verschiedener Fermenter, jeweils einer für getrennt gesammelte vergütungsfähige Bioabfälle und nachsortierte Bioabfälle.

Wie bei der festen Biomasse ist der Einsatz von aus Bioabfällen erzeugter Wärme nach dem EEWärmeG unabhängig davon, ob es sich um getrennt gesammelte oder nachsortierte Bioabfälle handelt. Denkbar ist nach der hier vertretenen Ansicht daher, Biogas aus Bioabfällen anteilig in Höhe des Einsatzes getrennt gesammelter Bioabfälle entsprechend dem EEG zu verstromen und anteilig in Höhe des Einsatzes nachsortierter Bioabfälle an nach dem EEWärmeG Verpflichtete zu verkaufen, wobei jeweils eine Einspeisung in das öffentliche Netz vorausgehen kann.

3.3 Deponegas

Die Verstromung von Deponegas wird weiterhin durch das EEG gefördert, die Mindestvergütung für Anlagen bis 500 kW ist durch das EEG 2009 sogar erhöht worden. Maßgebend für die Höhe der Mindestvergütung ist dabei der jeweilige Inbetriebnahme-Zeitpunkt. Abzustellen ist dabei auf den Motor/Generator, d. h. bei der Umsetzung einer bestehenden Anlage bleiben die Vergütungssätze wie vor der Umsetzung bestehen. Ein späterer Austausch des Generators oder anderer Teile führen nicht zu einem erneuten Vergütungsbeginn mit neuen Vergütungssätzen. Vielmehr bleibt es auch hier bei der für die ursprüngliche Anlage geltende Vergütungshöhe und -dauer.

Fotovoltaikanlagen auf Deponien

Neben der Nutzung von Deponiegas zur Verstromung wird auch die Nutzung der Deponieoberfläche zur Aufstellung von Solarmodulen durch das EEG gefördert. Um eine weitreichende Überbauung der Landschaft zu verhindern, hat der Gesetzgeber Vorgaben für die zu nutzenden Flächen gemacht. Eine planfestgestellte Deponie erfüllt gemäß § 32 Abs. 2 Nr. 2 EEG diese Voraussetzung. Bei Altdeponien, insbesondere in Ostdeutschland, für die kein Planfeststellungsverfahren durchgeführt wurde, muss es nach dem Zweck des Gesetzes ausreichen, wenn die Genehmigungsbehörde bestätigt, dass die Deponie als planfestgestellt gilt. Damit wird dem Zweck der Einschränkung, bisher ungenutzte Flächen zu überbauen, genüge getan.

Im Übrigen gilt mit dem EEG 2009 gemäß § 32 Abs. 2 eine Befristung bis zum 01.01.2015. Diese Befristung soll aber nach dem derzeitig vorliegenden Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des EEG aufgehoben werden. Mit dem EEG 2009 wurde auch die Vergütung für Fotovoltaik abgesenkt und unterliegt einer Regression für 2010 von 10% und für die darauf folgenden Jahre um 9%. Für 2010 errichtete Anlagen beträgt die Vergütung damit 28,75 Cent. Der genannte Entwurf enthält weitere Absenkungen ab dem 01.07.2010. Verträge, beispielsweise über den Kauf von Solarmodulen, sollten daher so ausgestaltet sein, dass sie unvorhergesehene Veränderungen bei der Vergütung abbilden.

3.4 Kombination mehrerer Erneuerbarer Energien

In § 16 EEG 2009 und dessen Begründung ist nunmehr klargestellt, dass in einer Anlage mehrere Arten Erneuerbarer Energien zum Einsatz kommen können. So ist beispielsweise eine Kombination von Bio- und Deponiegas wie auch eine Kombination von Biogas und Geothermie möglich. Die Vergütung erfolgt anteilig danach, welchen Anteil der jeweilige Energieträger zur Stromproduktion leistet. Es kommt dabei ausweislich der Gesetzesbegründung auf den Energiehalt des jeweiligen Energieträgers an. Im Einsatzfall ist dies näher zu bestimmen.

3.5 Zwischenfazit

Bei der Konzeptionierung von Anlagen lohnt sich ein Blick auf die Fördermöglichkeiten nach dem EEG, dem KWKG und dem EEWärmeG. Die Neuerungen mit dem EEG 2009 haben dabei zum Großteil Verbesserungen gebracht. Für die Abfallwirtschaft wäre es insbesondere ratsam, die Frage der Vergütungsfähigkeit von nachsortierten Bioabfällen offensiv zu vertreten.

4 Durchführung klimafreundlicher Maßnahmen in der Abfallwirtschaft

Der neben dem eigentlichen Abfallrecht bei der Durchführung von klimafreundlichen Maßnahmen in der Abfallwirtschaft zu beachtende rechtliche Rahmen ist vielfältig. Der größte Spielraum für klimafreundliche Maßnahmen, auch wenn diese nicht unmittelbar wirtschaftliche Vorteile bieten, eröffnet sich, wenn die jeweilige Aufgabe selbst durchgeführt wird. Lässt ein öffentlicher Auftraggeber hingegen Leistungen von Dritten erbringen, so spielt das Vergaberecht eine gewichtige Rolle. Es stellt sich die Frage, wie eine klimafreundliche Leistungserbringung in sinnvoller Weise in ein Verhältnis zur Wirtschaftlichkeit gebracht werden kann. Das Vergaberecht bietet dafür Spielräume, die genutzt werden können, um eine klimafreundliche Leistungserbringung auch dann durchzusetzen, wenn diese im Preiswettbewerb noch nicht vollends bestehen könnte, ohne die Gesamtwirtschaftlichkeit aus den Augen zu verlieren.

Eine dieser Möglichkeiten liegt darin, bereits in der Leistungsbeschreibung bestimmte Mindestanforderungen an den Klimaschutz festzulegen. Dies ist grundsätzlich möglich, wenn diese Vorgaben auftragsbezogen, transparent und nicht diskriminierend sind. Zu nennen wären beispielsweise Anforderungen an den Treibstoffverbrauch bei der Beschaffung von Müllfahrzeugen, an die Effizienz einer Müllverbrennungsanlage bei der Entsorgung von Hausmüll oder von Recyclingquoten bei der Entsorgung bestimmter Abfälle. Nicht möglich ist hingegen eine Beurteilung des „Klimabewusstseins“ des Bieters insgesamt ohne unmittelbaren Bezug zur Ausschreibung. Zulässig ist es dabei beispielsweise, bei der Ausschreibung von Sammlung und Transport von Hausmüll den Treibstoffverbrauch der für den Auftrag eingesetzten Fahrzeuge vorzuschreiben, auch wenn diese Fahrzeuge darüber hinaus in anderen Bereichen vom Unternehmen eingesetzt werden können. Anstelle von Mindestanforderungen kann ein öffentlicher Auftraggeber eine klimafreundliche Leistungserbringung auch durch entsprechende Zuschlagskriterien steuern. Auch hierfür ist es mittlerweile anerkannt, dass Umweltkriterien, die auftragsbezogen, transparent und nicht diskriminierend sind, allgemein zulässig sind. So wurde beispielsweise die Transportentfernung zwischen dem Ort des Abfallanfalls und der Behandlungsanlage von der Rechtsprechung für zulässig befunden.

Hierdurch können auch besonders klimafreundliche Behandlungsverfahren bevorzugt werden. So könnte beispielsweise ein hoher Anteil einer stofflichen Verwertung, bei dem eine hohe Energieeinsparung im Vergleich zur Neuherstellung der Produkte besteht, entsprechend honoriert werden. Dabei kann sich der öffentliche Auftraggeber zur vergaberechtlichen Rechtfertigung nicht nur auf den Schutz der Umwelt berufen, sondern auch auf die Einhaltung der Abfallhierarchie, wie sie oben dargestellt wurde. Es ließe sich sogar vertreten, dass ein öffentlicher Auftraggeber zur Einhaltung der abfallrechtlichen Vorgabe verpflichtet ist, entsprechende Vorgaben aufzunehmen. Denn die Abfallhierarchie lässt die Wahl des Verfahrens allein nach wirt-

schaftlichen Gesichtspunkten nicht zu. Allerdings ist hier darauf hinzuweisen, dass ein Bieter entsprechende Verpflichtungen wohl nicht durchsetzen wird können, da sie die Allgemeinheit und nicht den einzelnen Bieter schützen sollen.

Für den öffentlichen Auftraggeber ergeben sich allerdings weite Spielräume. Die Bewertung einer klimafreundlichen Leistungserbringung bei Zuschlagskriterien bietet auch den Vorteil, dass ein weniger klimafreundliches Verfahren bei entsprechend niedrigerer Preise weiterhin zum Zuge kommen kann. Der öffentliche Auftraggeber kann also sicherstellen, einen gewissen Grad an Einsparung von Treibhausgasemissionen nur dann zu akzeptieren, wenn dieser nicht unangemessen hohe Kosten verursacht.

Im Ergebnis steht das Vergaberecht einer klimafreundlichen Abfallwirtschaft nicht entgegen. Die bestehenden Spielräume sollten von öffentlichen Auftraggebern konsequent genutzt werden, um den Weg zu einer klimafreundlicheren Abfallwirtschaft konsequent weiter zu beschreiten. Unabdingbar ist dabei allerdings, die in den Verdingungsunterlagen gemachten Vorgaben und die Versprechungen des Auftragnehmers bei der Vertragsumsetzung konsequent zu kontrollieren und Verstöße durch entsprechende Sanktionen (z. B. Vertragsstrafen, Kündigungsrechte) zu ahnden. In Eigenregie lässt sich eine klimafreundliche Abfallwirtschaft aber wohl am einfachsten durchsetzen.

5 Fazit

Die rechtlichen Rahmenbedingungen bieten viele Vorgaben und Anreize, um den Weg hin zu einer klimafreundlichen Abfallwirtschaft weiter zu gehen, an einigen Stellen könnte eine konsequenterere Gesetzgebung aber einen weiteren Schub auslösen. Es bestehen entsprechende ordnungsrechtliche Vorgaben und in einigen Bereichen auch wirtschaftliche Anreize durch das EEG, das KWKG und das EEWärmeG. Auch die Umsetzung in die Praxis ist möglich, insbesondere das Vergaberecht lässt hier genügend Spielräume. Diese zu nutzen ist Aufgabe und Verpflichtung aller in der Abfallwirtschaft Tätigen.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Abfallwirtschaft als Klimaschutz

Dr. Barbara Zeschmar-Lahl
Prof. Dr. habil. Uwe Lahl
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oyten

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einführung

Die originäre Aufgabe der Abfallbeseitigung war und ist es, das im (Rest)Abfall vorhandene Potenzial an für Mensch oder Umwelt gefährlichen Organismen und Stoffen zu minimieren und damit die natürlichen Ressourcen wie Wasser, Boden und Luft vor Verunreinigung schützen. Im Kontext der nachhaltigen Entwicklung hat die Abfallbeseitigung mittlerweile eine weitere Aufgabe erhalten: Sie soll die bereits aus der Erdkruste ausgebeuteten Ressourcen effizient nutzen, damit Primärressourcen schonen und die mit der Primärproduktion verbundenen Emissionen minimieren.

2 Der Abfall

Unbehandelter Hausmüll in Deutschland besteht, auch wenn sich die Zusammensetzung seit 1980 verändert hat, immer noch zu über 50 Gew.-% aus organischen Bestandteilen wie Bioabfall, Papier und Pappe, Kunststoffe, Windeln und ähnlichem, vgl. Bild 1:

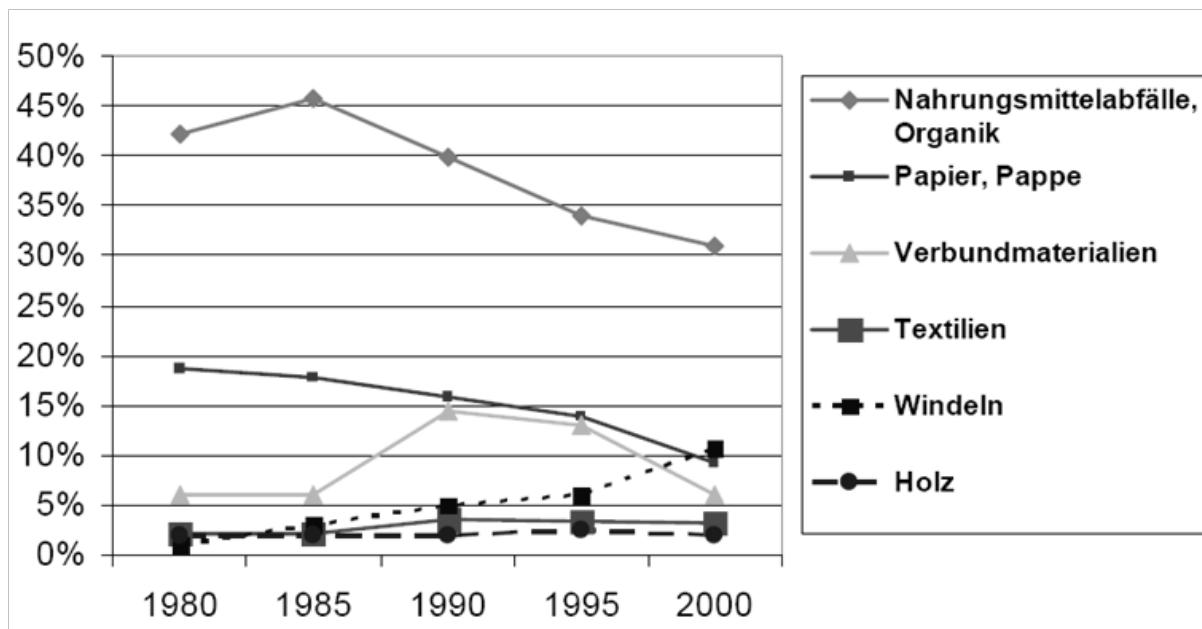


Bild 1: Zusammensetzung von Hausmüll^[1]

3 Die Abfallablagerung

Bei Ablagerung auf einer Deponie werden die leicht abbaubaren organischen Verbindungen im Abfall relativ schnell, die schwer abbaubaren Verbindungen dagegen erst im Laufe der Zeit abgebaut. Dieser Abbau findet im Deponiekörper zumeist unter Abwesenheit von Sauerstoff (d.h. anaerob) statt, ähnlich wie bei einer Vergärung. Dabei wird Methan gebildet. Dessen Treibhauspotenzial wurde vor wenigen Jahren mit 21 angegeben, dann mit 23, heute liegt es bei 25. D.h. Methan ist 25 Mal so kli-

mawirksam wie CO₂ aus fossilen Quellen. Und das gilt auch für Methan, das aus dem anaeroben Abbau von Biomasse stammt.

Methan aus Deponien stellt in Deutschland die mit Abstand wichtigste Einzelquelle an Treibhausgasen dar. Zwar wurde die Deponierung von unbehandeltem Siedlungsabfall Mitte der 1990er Jahre verboten, allerdings zog sich die Einstellung der Deponierung aufgrund von Ausnahmeregelungen und dem nicht wirklich zwingenden Rechtscharakter des Verbots (Verwaltungsvorschrift) über einige Jahre hin. Erst durch die Abfallablagerungsverordnung von 2001 wurde das Ende der Deponierung ohne Vorbehandlung zum 1.6.2005 wirklich durchgesetzt. So konnten wie Tab. 1 zeigt, die direkten Treibhausgasemissionen aus dem Abfallsektor von 1990 bis 2007 um rund 71,5% gesenkt werden.

Tabelle 1: Entwicklung der THG-Emissionen in Deutschland, in CO₂-Äquivalenten^[1]

Quellgruppen	THG [Mio. t CO _{2eq}]						Veränderung 1990 - 2007
	1990	1995	2000	2005	2006	2007	
Energie	987,9	870,4	826,1	791,8	803,3	773,7	-21,7%
Industrieprozesse	119,8	121,2	100,8	107,8	109,0	116,1	-3,1%
Lösemittel etc.	5,4	4,5	3,7	3,4	3,3	3,3	-38,9%
Landwirtschaft	61,6	54,4	55,4	52,8	52,1	51,5	-16,4%
Landnutzungsänderung	-28,2	-30,9	-32,1	-21,8	-15,6	-16,1	-42,9%
Abfall	40,4	34,3	22,1	13,1	12,3	11,5	-71,5%
Summe	1.186,9	1.053,9	976,0	947,1	964,4	940,0	-20,8%

Zur Erläuterung: Die Staaten, die das Kyoto-Protokoll unterzeichnet haben, haben sich damit auch verpflichtet, jährliche Erfolgsberichte zu erstellen. Im aktuellen Nationalen Inventarbericht Deutschlands (Berichterstattung der Bundesregierung zu allen THG - NIR)^[1] werden die klimarelevanten Emissionen aus der Abfallverbrennung in der Quellgruppe „Energie“ erfasst. In der Quellgruppe „Abfall“ werden im Wesentlichen die Methanemissionen aus den Deponien erfasst. Man erkennt den Rückgang der Emissionen im Abfallsektor von 40,4 auf 11,5 Mio. Mg CO_{2eq}. Die Abfallwirtschaft hat den größten prozentualen Beitrag zum Klimaschutz mit einem Rückgang der THG-Emissionen von über 70% bezogen auf den Ausgangswert 1990 geleistet. Absolut entspricht diese Reduktion von ca. 28,9 Mio. Mg CO_{2eq} beinahe 12% der Gesamtreduktion in Höhe von 246,9 Mio. Mg.

Der wichtigste Effekt ist dabei die Reduzierung der deponiebürtigen Methanemissionen. Bild 2 zeigt den Rückgang der Methanemissionen aus Deponien in Deutschland.

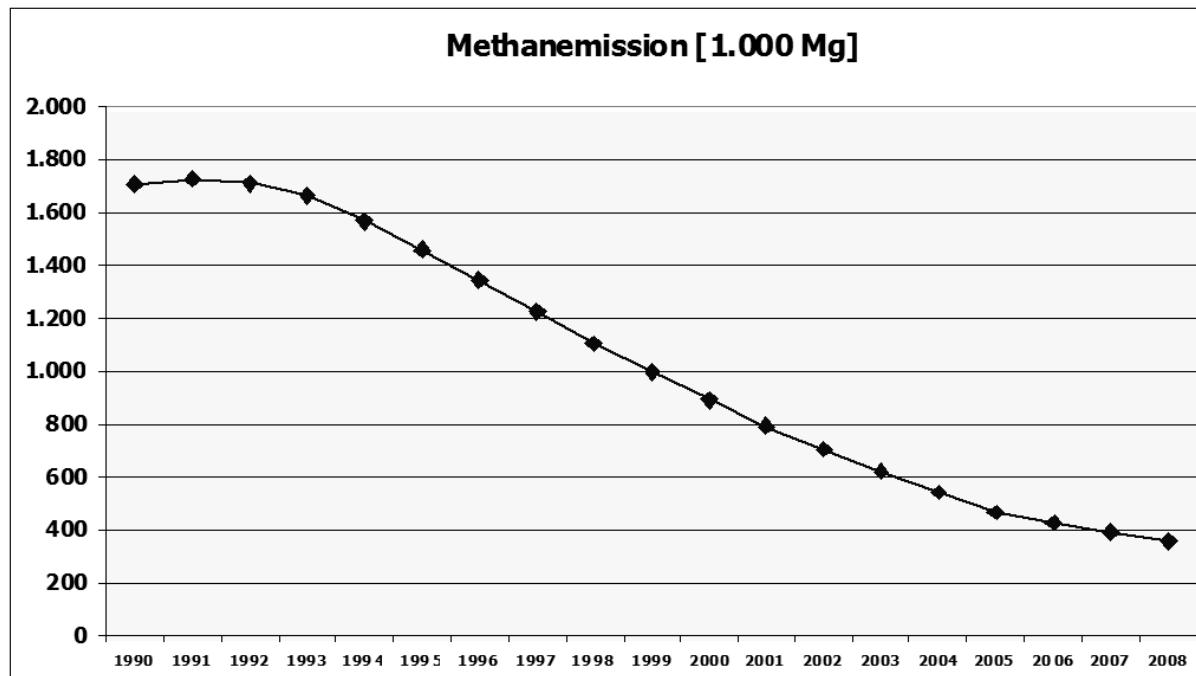


Bild 2: Methanemissionen aus Deponien in Deutschland [1.000 Mg]

Insgesamt wurden die Methanemissionen aus Deponien von 1,7 Mio. Mg im Jahr 1990 auf unter 0,4 Mio. Mg im Jahr 2007 reduziert. „Diese rückläufigen Methanemissionen der Quellgruppe 6.A.1 entsprechen 27 Mio. Jahrestonnen CO₂-Äquivalente und damit einer Minderung der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands um ca. 3%. Die Erfahrungen der deutschen Abfallwirtschaft zeigen, dass die Reduktion der abgelagerten Mengen biologisch abbaubarer Abfälle deutlich höhere Beiträge zum Klimaschutz erbringen kann als Fassung und Behandlung des Deponiegases.^[1]

Somit ist die Einstellung der Deponierung von Haus- und Gewerbemüll in Deutschland die mit Abstand wichtigste Einzelmaßnahme, um die Verpflichtung des Kyoto-Protokolls zu erbringen. Allerdings verfügen die bis Juni 2005 noch mit unvorbehandeltem Abfall verfüllten Deponien immer noch über ein erhebliches Methanemissionspotenzial. So zeigt die THG-Bilanz für das Jahr 2008, dass die Restemissionen der Abfalldeponierung von gut 7,5 Mio. Mg CO_{2eq} aus Methan immer noch dominierend in diesem Sektor sind^[2]. Die restlichen klimarelevanten Emissionen (hier Distickstoffoxid = Lachgas) in Tab. 2 stammen vor allem aus dem Abwasserbereich und aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sowie der Kompostierung.

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen (THG) in Äquivalenten, ohne CO₂ aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, für das Jahr 2008

2008	THG Emissionen		CH₄ Emissionen		N₂O Emissionen	
	Absolut [1.000 Mg CO _{2eq}]	in%	Absolut [1.000 Mg CO _{2eq}]	in%	Absolut [1.000 Mg CO _{2eq}]	in%
<i>Insgesamt</i>	958.850	100,00%	47.745	4,98%	60.166	6,27%
6. Abfall	10.859	1,13%	8.186	0,85%	2.673	0,28%
A. Abfalldeponierung	7.518	0,78%	7.518	0,78%		
B. Abwasserbehandlung	2.410	0,25%	100	0,01%	2.310	0,24%
D. M(B)A + Kompostierung	931	0,10%	568	0,06%	363	0,04%

4 Die biologische Abfallbehandlung

Wie Tab 2 zeigt, tragen auch die mechanisch-biologische Abfallbehandlung und die Kompostierung zur Emission von Treibhausgasen – neben Methan vor allem auch Lachgas – bei. Ihr Beitrag liegt bei knapp 10% der Gesamtemissionen aus dem Abfallsektor. Tab. 3 zeigt die im NIR THG 1990-2007 verwendeten Emissionsfaktoren. Die verwendeten Daten beruhen dabei auf einer Untersuchung des IFEU aus dem Jahr 2003^[3].

Tabelle 3: Verwendete Emissionsfaktoren für NIR THG 1990-2007^[1]

Anlage	N₂O [g/Mg]	CH₄ [g/Mg]
Bioabfallkompostierung	83*	2.500**
Grünabfallkompostierung	60,3*	3.360**
Offene MBA bis 2005	190	150
Geschlossene MBA bis 2004	375	150
Geschlossene MBA 2005	169	150
Geschlossene MBA ab 2006	100	55

* Unsicherheitsbereich mindestens 100%

** Unsicherheitsbereich 60%

Danach weist insbesondere die Kompostierung ein erhebliches Emissionspotenzial für organische Verbindungen und speziell auch klimarelevante Gase auf. Dies bestätigt auch eine im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführte Untersuchung des Emissionsverhaltens geschlossener beziehungsweise teilgeschlossener Kompostierungs- und Vergärungsanlagen, also der Anlagen mit dem höchsten Emissionschutzstandard. In dieser Studie^[4] lagen die Mittelwerte der geschlossenen Kompostanlagen bei 710 g Methan/Mg Bioabfall und bei 68 g Lachgas/Mg Bioabfall, was rechnerisch gut 36 kg CO₂-Äquivalente pro Mg Bioabfall ausmacht.

Bei einer offenen Kompostierungsanlage lagen während der Emissionsmessungen allerdings erhebliche Prozessstörungen vor, die insbesondere auf sehr hohe Wassergehalte in den Rottemieten zurückzuführen waren. Mit steigendem Wassergehalt

verringerte sich das Luftporenvolumen in den Mieten, sodass sowohl die Luftdurchlässigkeit in der Holzhäckselschicht als auch die Belüftung der Rottemieten unzureichend war. Die Emissionsfaktoren, die in dieser Anlage unter diesen Bedingungen ermittelt wurden, beliefen sich.

- für Methan auf 11.000 Gramm pro Megagramm Bioabfall und
- für Lachgas auf bis zu 300 g/Mg Bioabfall.

Diese Emissionsfaktoren stellen damit mögliche Werte dar, die in Kompostierungsanlagen mit rein aeroben Verfahren **bei Fehlsteuerung** erreicht werden können. Bei einem Treibhauspotenzial von 25 für Methan und von 298 für Lachgas kann die Emission in dieser Anlage somit rund 360 kg CO₂-Äquivalente pro Mg Bioabfall erreichen^[5]. Bei biologischen Abfallbehandlungsanlagen ist die Emission klimarelevanter Gase nur mittelbar über die TA Luft begrenzt. So sind die in Tab. 4 genannten Emissionsbegrenzungen einzuhalten. Dabei stellt Methan in dem Summenparameter Gesamtkohlenstoff die größte organische Einzelkomponente dar.

Tabelle 4: Emissionsgrenzwerte für biologische Abfallbehandlungsanlagen nach TA Luft 2003

Parameter Begrenzung	TA Luft Nr. 5.2.5 Organische Stoffe (TOC)	TA Luft Nr. 5.2.4 Gasförmige an- organische Stoffe, Klasse III (Ammoniak)
Massenstrom	0,50 kg/h	0,15 kg/h
Massenkonzentration	50 mg/m ³	30 mg/m ³

Bezüglich dieser Parameter ergab die oben zitierte Untersuchung biologischer Abfallbehandlungsanlagen^[4] folgendes:

- Für Gesamtkohlenstoff (TOC) zeigt sich, dass von den untersuchten acht Kompostierungsanlagen lediglich drei die Massenstrombegrenzung von 0,5 kg/h einhalten. Die untersuchten fünf Vergärungsanlagen überschreiten bis auf eine alle den Gesamtkohlenstoff-Massenstrom. Die Begrenzung der TOC-Massenkonzentration von 50 mg/m³ wird von allen untersuchten Vergärungsanlagen überschritten (Mittelwert rund 250 mg/m³).
- Bzgl. Ammoniaks halten drei der untersuchten acht Kompostierungsanlagen und drei der untersuchten fünf Vergärungsanlagen die Massenstrombegrenzung von 0,15 kg/h ein. Die Massenkonzentration von 30 mg/m³ wurde lediglich von einer Anlage im Reingas überschritten.
- Insgesamt hat nur eine einzige der insgesamt 13 Anlagen des Untersuchungsprogramms die Emissionswerte der TA Luft im Reingas eingehalten.

Diese Werte verdeutlichen zum Einen, welche Bedeutung eine sorgfältige Betriebsführung und deren Kontrolle auf die Emission klimawirksamer Gase hat. Zum Anderen zeigt sich aber auch, dass die Emissionen von Vergärungsanlagen mehr Auf-

merksamkeit verdienen als bisher. So sind im NIR THG für Vergärungsanlagen für Bioabfälle bzw. MBA-Fraktionen keine Emissionsfaktoren angegeben und in der dazu gehörigen EXCEL-Datei^[2] wird explizit darauf hingewiesen, dass die Quellgruppe 6.D „Andere“ lediglich die Abfallbehandlungsverfahren Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung und Kompostierung beinhaltet. Von daher ist nicht erkennbar, ob und wie die klimarelevanten Emissionen aus dem nicht-thermischen Anlagenteil von nicht-landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen bzw. Biogasanlagen im NIR berücksichtigt sind.

Klimarelevante Emissionen von Vergärungs- bzw. Biogasanlagen resultieren aus verschiedenen Quellen. Neben dem Umgang mit den Gärresten sind u.a. auch die Dichtigkeit der Anlage, die Fassung und die Reinigung der Abgase maßgeblich für die Höhe der Emissionen. Letztere treten insbesondere dann auf, wenn die emissionsrelevanten Anlagenteile nicht gasdicht ausgebildet sind. Die Übersicht aus dem zweiten Bundesmessprogramm zeigt, dass von den untersuchten 60 repräsentativen Biogasanlagen nur die Hälfte diesen Mindestanforderungen entspricht^[5]. Ein weiteres Problem des Klima- und Immissionsschutzes stellt die Ausbringung der Gärrückstände dar. Hohe Emissionen treten in der Praxis dann auf, wenn die Gärrückstände ein hohes Emissionspotential besitzen. Dies ist wiederum der Fall, wenn die Verweilzeiten in der Vergärung zu kurz sind. Faustgröße aus der Praxis sind 80 bis 100 Tage Verweilzeit. Bei den untersuchten Biogasanlagen betrug in der Hälfte der Fälle die Verweilzeit in der Vergärung weniger als 100 und in knapp 20 Prozent der Fälle weniger als 50 Tage.

Fazit: Die Verweilzeiten sind häufig viel zu kurz und daraus resultiert ein hohes Restgaspotenzial in den Gärresten. Dieses wiederum führt zu hohen Emissionen und Nachbarschaftskonflikten, insbesondere bei fehlender Abdeckung der Gärrückstände (Bild 3).

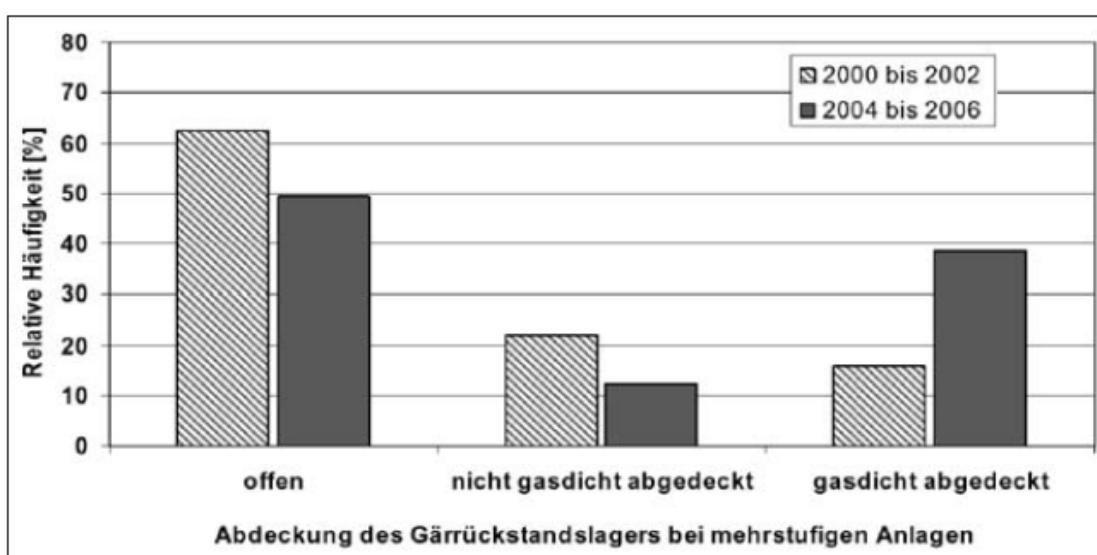


Bild 3: Abdeckung der Gärrückstände bei mehrstufigen Anlagen^[6]

5 Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen wiesen in der Vergangenheit einen unterschiedlichen technischen Stand auf, von offener ungesteuerter Rotte auf Deponien bis hin zu technischen Systemen mit gekapselter Intensivrotte und Abgasfassung und -reinigung. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben müssen M(B)A-Anlagen heute einen hohen technischen Stand bzgl. Prozessteuerung und Immissionsschutz aufweisen.

Als *mechanisch(-biologisch)e Abfallbehandlungsanlagen* -(kurz *M(B)A-Anlagen*) werden im Folgenden Anlagen bezeichnet, in denen Hausmüll – meist zusammen mit anderen Abfallarten wie Gewerbeabfall, Sperrmüll, Sortierresten usw. – mit mechanischen, mechanisch-biologischen oder mechanisch-physikalischen Verfahren unter Erzeugung einer heizwertangereicherten Fraktion zur Nutzung als Ersatzbrennstoff behandelt werden. Davon unterschieden werden

- Gewerbeabfall- und Sperrmüll-Aufbereitungsanlagen sowie
- Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlagen, in denen heizwertangereicherte Fraktionen aus M(B)A-Anlagen und andere heizwertreiche Abfälle zu Ersatzbrennstoff-Produkten definierter Qualitäten aufbereitet werden.

Nach Thiel^[7] können bei modernen MBA-Anlagen vier unterschiedliche Verfahrenskonzepte unterschieden werden, bei denen mechanische, biologische und thermische Verfahrensbausteine mit unterschiedlichen Zielsetzungen miteinander kombiniert werden:

- Stoffstromtrennung (SST),
- mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) – mit biologischer Trocknung –,
- mechanisch-physikalische Stabilisierung (MPS) – mit thermischer Trocknung – und
- mechanisch(-biologisch)e Vorbehandlung vor der thermischen Behandlung (MBV).

Alle Verfahren trennen in unterschiedlicher Trennschärfe Wertstoffe zur stofflichen Verwertung und mindestens eine heizwertangereicherte Fraktion zur Nutzung als Ersatzbrennstoff aus. Die klimarelevanten Emissionen bzw. Emissionseinsparungen der energetischen Verwertung werden allerdings nicht im Sektor Abfall, sondern im Sektor Energie bilanziell erfasst. Bis auf die mechanisch(-biologisch)e Vorbehandlung vor der thermischen Behandlung (MBV) fällt jeweils auch mindestens eine Fraktion zur Ablagerung auf einer Deponie an. Hierbei handelt es sich um ausgeschleusste Inertstoffe und – je nach Verfahrenskonzept – auch um eine heizwertabgereicherte, biologisch stabilisierte Fraktion. Für die Ablagerung auf De-

ponien müssen beide Fraktionen die einschlägigen Grenzwerte im Feststoff und auch im Eluat einhalten.

Nach Thiel^[7] fallen pro Jahr etwa 1,4 Mio. Mg Deponiefraktionen zur oberirdischen Ablagerung an. Diese darf, wenn sie die gesetzlichen Grenzwerte erfüllt, auf Deponien der Klasse II (Hausmüll) abgelagert werden. Allerdings darf diese Fraktion noch beachtliche Gehalte an organischer Substanz aufweisen (z.B. 18% Gesamtkohlenstoff in der Trockensubstanz), aus der auch nach der Ablagerung weiterhin Methan freigesetzt wird. So werden im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2007^[1] für geschlossene MBA-Anlagen, die die Begrenzungen der Emissionsfrachten der 30. BlmSchV^[8] einhalten, im Vergleich zu den Vorjahren reduzierte Emissionsfaktoren verwendet, vgl. Tab. 3.

Tabelle 5: Berechnung der Emission an Treibhausgasen moderner MBA-Anlagen

Treibhausgas	Emissionsfracht max. [g/Mg Abfall]^[1,2]	GWP- Faktor*	Emissionsfracht [kg CO_{2eq}/Mg Abfall]
Lachgas, N ₂ O	100	310	31
Methan, CH ₄	55	21	1,155
Summe			32,155

* im NIR verwendet; aktuelle GWP: N₂O = 296, CH₄ = 25

Laut Thiel^[7] sind im Jahr 2007 rund 2,1094 Mio. t Hausmüll in 18 Rotteanlagen behandelt worden. Daraus lässt sich eine Treibhausgasemission von rund 67.800 Mg CO_{2eq} abschätzen. Dies erscheint angesichts der 7,52 Mio. Mg CO_{2eq}-Emissionen aus den Ablagerungen vor 2005 erst einmal recht gering (knapp 1%). Doch während letztere stetig zurückgehen werden, wird die Emission aus dem MBA-Deponiegut in den nächsten Jahren weiterhin in gleicher Höhe anfallen.

Hinzu kommt, dass die abgelagerte organische Substanz nicht mehr für die energetische Nutzung zur Verfügung steht. Ein Teil der organischen Masse wird zu Humus – allerdings ist die Schadstoffbelastung dieses Materials so hoch, dass etwa eine spätere landwirtschaftliche Nutzung nicht möglich sein wird. So muss nach Stilllegung der Deponie eine mindestens 1 m dicke so genannte Rekultivierungsschicht aufgebracht werden.

Die Deponierung erfordert einen beträchtlichen energetischen und stofflichen Aufwand. So muss die Deponie unter Energieeinsatz gebaut, betrieben und nach Stilllegung weiter überwacht werden. Das für MBA-Rottengut berechnete Methanaufkommen wird überwiegend diffus aus dem abgelagerten Material freigesetzt und steht für eine energetische Nutzung nicht zur Verfügung. Allerdings muss der Deponiebetreiber gegenüber der zuständigen Behörde nachweisen, dass das im Deponegas enthaltene Methan vor Austritt in die Atmosphäre weitestgehend oxidiert wird, z.B. durch Aufbringung einer sogenannten Methanoxidationsschicht. Die im Rottengut noch ent-

haltenen Schadstoffe wie Schwermetalle werden mit dem Deponiematerial nicht rückholbar in die Umwelt eingebracht.

Insgesamt ist daher unter den Aspekten Energieeffizienz, Klimarelevanz und Stoffstromlenkung die Sinnhaftigkeit der Deponierung von MBA-Rottengut zu hinterfragen. So rechnet etwa Prognos denn auch damit, dass zukünftig immer mehr Anlagen von der Erzeugung ablagerungsfähiger Deponiestabilate auf die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen und in 5 bis 10 Jahren eventuell zudem auf die Erzeugung von Bio-brennstoffen aus der Schwerfraktion, die heute noch für die anschließende Deponierung biologisch vorbehandelt wird, umstellen werden^[9].

6 Fazit

Die Einstellung der Deponierung von Haus- und Gewerbemüll in Deutschland ist die mit Abstand wichtigste Einzelmaßnahme, um die Verpflichtung des Kyoto-Protokolls zu erbringen. Der Handlungsbedarf bei der Abfallverwertung ist heute im Wesentlichen ein Vollzugsproblem. Insbesondere die Einfachstanlagen, wo Kompostierung ohne Einhausung und Abgasfassung und Abgasreinigung betrieben wird, wie es sie in einzelnen Bundesländern noch gibt, sind nachzurüsten oder zu schließen. Aber auch für die technisch weiter entwickelten Kompostierung- und Vergärungsanlagen besteht Handlungsbedarf, wie oben gezeigt wurde. Insbesondere ist sicherzustellen, dass die Emissionsbegrenzungen der TA Luft eingehalten werden. Die Deponierung von MBA-Rottengut hat aufgrund ihrer Defizite bzgl. Energieeffizienz, Klimarelevanz und Stoffstromlenkung keine Zukunft.

7 Literatur

- [1] Umweltbundesamt: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2007, Berichterstattung unter der Klimakonvention der Vereinten Nationen, Dessau, März 2009 http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/treibhausgasinventar2009_de.pdf
- [2] Umweltbundesamt: Emissionsentwicklung 1990 - 2008, Treibhausgase, inkl. erweiterte Auswertung und Äquivalentemissionen der Treibhausgase Deutsch/Englisch - ZIP (XLS) / 427 KB http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/archiv/EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG_v2.1_EU-Submission_2010.xls.zip
- [3] Detzel, A.; Vogt, R.; Fehrenbach, H.; Knappe, F.; Gromke, U.: ifeu-Institut Heidelberg: Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien. Teil Abfall/Abwasser, Februar 2003
- [4] Cuhls, C.; Mähl B., Berkau, S.; Clemens, J. (Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Förderkennzeichen: 206 33 326, Berlin 2009

- [5] Lahl, U.: Notwendiger Handlungsbedarf. Der Immissionsschutz bei der Energiegewinnung aus Biomasse muss optimiert werden. Müllmagazin/ReSource 3, 12-15, 2009
- [6] Weiland, P.: Bundesmessprogramm II. KRdL-Expertenforum, Bonn 4. November 2009; zit. In [5]
- [7] Thiel, S.: Systemtechnische Analyse der mechanisch(-biologisch)en Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland. Müll-Handbuch Kz. 2930, Lfg. 2/08, 2008
- [8] 30. BlmSchV - Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Artikel 2 der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen, 20.2.2001 http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv_30/gesamt.pdf
- [9] Alwast, H.; Birnstengel, B.: Verbrennungs- und Ersatzbrennstoffmarkt in Deutschland und Europa. Müll-Handbuch Kz. 0171, Lfg. 1/10, 2010

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Klimaschutzzpotenziale der Abfallwirtschaft

Günter Dehoust

Dr. Doris Schüler

Öko Institut e.V, Darmstadt

Regine Vogt

Jürgen Giegrich

Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

Anette Ochs

BDE Berlin

Marlene Sieck

Umweltbundesamt Dessau

André Radde

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einleitung

In Deutschland sollen bis 2020 40% der Treibhausgase gegenüber dem Bezugsjahr 1990 reduziert werden. Um dieses anspruchsvolle Klimaschutzziel zu erreichen, müssen alle Klimaschutzpotenziale genutzt werden, die (wirtschaftlich) erschließbar sind. Dazu gehören insbesondere auch Maßnahmen zur Optimierung der Abfallwirtschaft. Hierzu werden zunehmend abfallwirtschaftliche Klimabilanzen erstellt, um die Potenziale und Wege zu deren Erschließung aufzuzeigen. Neben den energetischen Verfahren und dem stofflichen Recycling trockener Wertstoffe ist dabei immer auch die Bioabfallbehandlung ein Schwerpunkt der Untersuchungen.

In Deutschland werden zur Behandlung von Bioabfällen überwiegend Kompostierungsanlagen eingesetzt, die nicht in der Lage sind, den Energiegehalt der Bioabfälle zu nutzen (Knappe/Dehoust 2006, Kern et al. 2008). Es ist aber unumstritten, dass gerade die kombinierte stoffliche und energetische Nutzung des Bioabfalls einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten kann (Buchert/Dehoust 2008, Dehoust/Idelmann 2008, Fritsche et al. 2004, Kern 2009).

Die hier vorgestellten Ergebnisse zur Klimarelevanz der Verwertung von Bioabfällen beruhen auf dem UFOPLAN-Forschungsvorhaben FKZ 3708 31 302, das vom Öko-Institut e.V. zusammen mit IFEU Heidelberg im Auftrag von UBA, BMU, BDE erarbeitet wurde (Dehoust/Vogt 2010). Darin wurde die Siedlungsabfallwirtschaft Deutschlands, der EU 27 und der drei Länder Türkei, Tunesien und Mexiko bezüglich ihrer Klimaauswirkungen bilanziert. Es stellt eine Aktualisierung und Ergänzung des 2005 veröffentlichten Statusberichts zum Klimabeitrag der Abfallwirtschaft dar (Dehoust/Vogt 2005).

2 Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz

In der Vergangenheit wurden die wesentlichen Klimabeiträge der Abfallwirtschaft in Deutschland durch die Einstellung der Deponierung bereits umgesetzt. In der Summe liegt der mögliche Beitrag der deutschen Abfallwirtschaft zur Erreichung des Gesamtreduktionsziels bis 2020 bezogen auf den Ausgangswert von 1990 bei ca. 10% (Dehoust/Vogt 2005). Mehr als 50% dieses Beitrags entfallen auf die eingesparten Deponieemissionen (vgl. Bild 1).

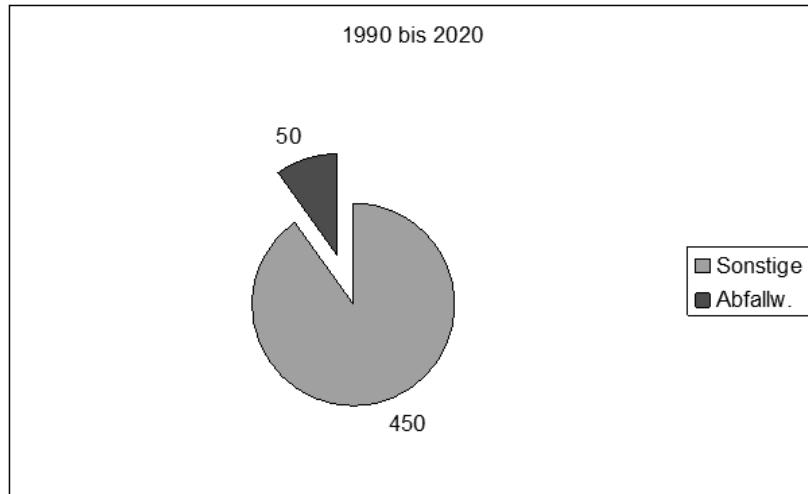


Bild 1: Beitrag der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft zur insgesamt geplanten Reduktion von Klimagas-Emissionen in Deutschland in Mio. t/CO2eq je Jahr (Dehoust/Vogt 2005)

3 Bilanzierung

Die Bilanzierung der Klimaauswirkungen der Siedlungsabfallwirtschaft erfolgte auf Basis der Ökobilanzmethode nach ISO 14040 und 14044. Die Aufwendungen für die Sammlung, den Transport und die Behandlung der Abfälle gehen dabei als Belastungen in die Bilanz ein, während bereitgestellte Sekundärrohstoffe aus aufbereiteten Abfällen und Energie aus deren energetischer Nutzung zu Gutschriften führen. Die Äquivalenzprozesse die zur Bilanz der Gutschriften herangezogen werden, werden grundsätzlich inklusive der Vorketten bilanziert. Das gleiche gilt für Belastungen aus dem Verbrauch von Betriebsmitteln und Energie.

Für die Berechnung der CO₂-Äquivalente wurden die aktuellen Daten nach IPCC (2007) herangezogen. In Tabelle 1 sind zum Vergleich zusätzlich ältere Daten aufgeführt (IPCC 1995), die z. T. auch heute noch in manchen Bilanzen genutzt werden.

Tabelle 1: Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente (GWP) in kg CO ₂ -Äq/kg	
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1	1
Methan (CH ₄), fossil	27,75	21
Methan (CH ₄), regenerativ	25	18,25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298	310

[IPCC 2007, WG I, Chapter 2,
Table 2.14] [IPCC 1995]

Untersucht wurde die Klimawirksamkeit in vier Szenarien:

Das Ist-Szenario 2006 beschreibt die Siedlungsabfallwirtschaft für das Jahr 2006 auf der Grundlage der abfallwirtschaftlichen Daten des Statistischen Bundesamtes.

Das Szenario 2020 T(echnik) belässt die Abfallströme unverändert, bilanziert jedoch verbesserte technische Standards der verschiedenen Behandlungs- und Recyclingtechniken. Bezuglich der Bioabfälle wurden in diesem Szenario beispielsweise emissionsmindernde Maßnahmen bei der Bioabfallbehandlung und Steigerungen des Nutzungsgrades bei der Nutzung von Biogas berücksichtigt.

Im Szenario 2020 A(bfallströme) werden Steigerungen der getrennten Erfassung von Wertstoffen aus dem Restmüll unterstellt, aber die Behandlung erfolgt bei gleichen technischen Standards wie 2006. Es wird unterstellt, dass die 2006 noch im Restmüll enthaltenen Wertstoffe zu 50% erfasst werden. Für die Bioabfallbehandlung wurden in diesem Szenario u. a. eine Zunahme der Biogasproduktion aus Bioabfällen und eine stoffstromspezifische Behandlung der Grünabfälle angesetzt.

Das Szenario 2020 AT stellt eine Kombination aus 2020 A und 2020 T dar.

Damit sollte nicht ein zu erwartender Trend prognostiziert werden, sondern machbare Optimierungen der Abfallwirtschaft im Sinne des Klimaschutzes unabhängig von der Wahrscheinlichkeit einer Umsetzung ausgelotet werden.

Insgesamt wurde die Sammlung und/oder Behandlung bzw. Verwertung von 47,38 Mio. t Siedlungsabfällen und Altholz bilanziert. Unabhängig von den genannten Mengenverschiebungen zwischen einzelnen Behandlungswegen wurde die Gesamtbilanzmenge nicht verändert, da die Abfallvermeidung nicht Bestandteil der Untersuchungen war und eine Veränderung der Mengen, die nicht von der Abfallwirtschaft initiiert wären, die Bilanzergebnisse verfälscht hätte.

4 Abfallströme

Die untersuchten Abfallströme beschränken sich auf die beiden Bereiche Siedlungsabfallwirtschaft und Altholzrecycling (u.a. aus Bau- und Abbruchabfällen, Verpackungen, etc.).

Die Abfallwirtschaft insgesamt weist im Vergleich zu den in der hier beschriebenen Studie untersuchten Mengen ein deutlich höheres Abfallaufkommen auf:

- Abfallaufkommen insgesamt: 372,9 Mio. t
- Betrachtete Siedlungsabfälle 42,7 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 11,4%)
- Altholzaufkommen 6,9 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 1,9%).

Tabelle 2 zeigt die Abfallströme in den zu untersuchenden Szenarien. Dabei werden die einzelnen Ströme wie dargestellt bilanziert. Das heißt der MVA werden auch die Gutschriften aus dem Metallrecycling der aus den Aschen gewonnenen Metalle an-

gerechnet, den M(B)An ebenso die Gutschriften aus der thermischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion.

Tabelle 2: Abfallströme und die Steigerung bzw. Reduktion aufgrund der geänderten Abfallströme

	2006 Ist		2020 T		2020 A		Steigerung/ Reduktion 2020 A zu 2006	
	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%	Mio. t/a	%*
Deponie	0,09	0,2	0	0,0	0	0,0	-0,09	-100,0
MVA	10,80	22,8	10,86	22,9	7,80	16,5	-3,00	-27,8
M(B)An	7,24	15,3	7,28	15,4	5,23	11,0	-2,01	-27,8
MBA	3,19	6,7	3,21	6,8	2,01	4,2	-1,18	-36,9
MBS/MPS	1,79	3,8	1,80	3,8	1,79	3,8	0,00	0,0
MA	2,26	4,8	2,27	4,8	1,43	3,0	-0,83	-36,9
Bioabfall	3,76	7,9	3,76	7,9	5,27	11,1	1,51	40,2
BA Kompost	2,59	5,5	2,59	5,5	1,05	2,2	-1,54	-59,3
BA Vergärung	1,17	2,5	1,17	2,5	4,22	8,9	3,05	260,3
Grünabfall	4,04	8,5	4,04	8,5	4,80	10,1	0,76	18,8
GA Kompost	4,04	8,5	4,04	8,5	3,00	6,3	-1,04	-25,7
GA Vergärung	0	0,0	0	0,0	0,90	1,9	0,90	100,0
GA Verbrennung	0	0,0	0	0,0	0,90	1,9	0,90	100,0
PPK	8,08	17,1	8,08	17,1	9,24	19,5	1,16	14,4
Glas	1,93	4,1	1,93	4,1	1,93	4,1	0,00	0,0
LVP**	4,53	9,6	4,53	9,6	5,85	12,4	1,32	29,2
Altholz	6,9	14,6	6,9	14,6	7,25	15,3	0,35	5,1
Thermisches Rec.	4,71	9,9	4,71	9,9	5,06	10,7	0,35	7,4
Stoffliches Rec.	2,19	4,6	2,19	4,6	2,19	4,6	0,00	0,0
Summe	47,38	100,0	47,38	100,0	47,38	100,0	0,00	0,0

* Prozent Steigerung oder Reduktion. Nicht Änderung der Prozentpunkte!

Die Bilanz der gesteigerten getrennten Erfassung von Wertstoffen in den Szenarien 2020 A und AT geht von der Annahme aus, dass 50% der 2006 noch im Restmüll enthaltenen Wertstoffe erfasst werden.

5 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

5.1 Restmüll zur Deponie

Die Deponierung von unbehandelten Abfällen spielt für die Bilanzen der deutschen Abfallwirtschaft keine Rolle mehr. Gleichwohl sind in der Statistik für 2006 noch 94.000 Tonnen ausgewiesen. Diese werden in Anlehnung an IPCC (1996 bzw. 2007) bilanziert. Dabei wird der Ansatz verwendet, dass dem abgelagerten Abfall im Bilanzjahr sämtliche, durch diesen auch künftig verursachten Methanemissionen angelastet werden. Die Deponien sind TASi-konform mit einer Gasfassung ausgestattet; die effektive Gasfassungsrate wird mit 50% veranschlagt. Die Deponierung von biologisch vorbehandelten Abfällen zählt bilanziell zu den M(B)An.

5.2 Restmüll zur MVA

Die Grundannahmen für die MVA lehnen sich an den Statusbericht 2005 an: elektrischer Netto-Wirkungsgrad von 10% und thermischer von 30% (Dehoust/Vogt 2005, Dehoust et al. 2002). Bei der technischen Optimierung werden die Netto-Wirkungsgrade um rund 50 Prozent gesteigert. Der in den Anlagen nicht zur Deckung des Eigenbedarfs benötigte Strom wird vollständig ins Netz eingespeist mit einer Stromgutschrift von 887 g CO₂-Äq/kWhel, die aus folgendem Substitutionsmix resultiert: 16% Strom aus Braunkohle, 59% aus Steinkohle, 25% aus Erdgas.

Für die erzeugte Wärme wird der Ersatz von Öl- und Gasheizungen (50/50) in den Haushalten gutgeschrieben (334 g CO₂-Äq/kWhth). Für die Verteilung in Fernwärmennetzen werden Verluste von 10% angesetzt (GEMIS 2008, Fritzsche et al. 2008).

Die Metallabscheidung aus den Verbrennungsaschen wird in der Potenzialabschätzung erhöht: für Eisen von 50 auf 70%, für Nichteisen-Metalle von 10 auf 50% (Dehoust/Vogt 2005).

5.3 Restmüll zu M(B)An

Unter dem Begriff M(B)An werden alle mechanischen (MA), mechanisch-biologischen (MBA, MBS) und mechanisch-physikalischen (MPS) Behandlungs- und

Stabilisierungsanlagen für Restmüll zusammengefasst. Durch den Ausbau des Recyclings steht bilanziell weniger Restmüll für M(B)An zur Verfügung. Annahme ist, dass der Input in MBA etwas stärker zurückgeht als in MA und in MBS/MPS stabil bleibt. Die Verwertung der heizwertreichen Fraktion aus zuvor genannten Aufbereitungstechnologien bleibt prozentual jedoch in etwa gleich, d.h. gut 40% gehen in EBS-Heizkraftwerke, knapp ein Viertel in Zementwerke, der Rest in Kohlekraftwerke, MVAn und Holz-Heizkraftwerke (vgl. Bilitewski et al. 2008).

Zur weiteren Optimierung der Klimabilanz werden für anaerobe MBA die folgenden Annahmen getroffen (vgl. Dehoust/Schüler 2002, Wallmann/Fricke 2008 und 2009)

- Steigerung des Mengeninputs von derzeit 31 auf 80%,
- Nahezu Verdopplung der Gasausbeute (von 38 auf 75 m³/t) bei einem Methangehalt von 60%,
- Steigerung der BHKW Wirkungsgrade:
- für Strom von knapp 28 auf 37%,
- für Wärme von rund 40 auf 43%,
- Nutzung der Überschusswärme vervierfacht (von 20 auf 80%).

5.4 Bio- und Grünabfall

Bio- und Grünabfälle werden derzeit noch überwiegend kompostiert. Bioabfall nahezu vollständig, Grünabfall nur wenig in geschlossenen Anlagen. Einhergehend mit einer gesteigerten Sammelmenge wird angenommen, dass geeignete Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe nachgerüstet werden, um die aus Klimaschutzaspekten sinnvolle kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung zu realisieren.

Es werden 60 m³ Methan pro Tonne Bioabfall angesetzt. Zudem werden alle Bioabfall- und die Hälfte der Grünabfall-Behandlungsanlagen zur Reduktion der Methan- und Lachgasemissionen geschlossen ausgeführt. Die Annahme der optimierten Szenarien beinhaltet ferner eine ausschließliche Produktion von Fertigkompost. Der Nutzen der Komposte als Mineraldüngerersatz wird über die Emissionen für den gesamten Lebensweg der Mineraldünger bilanziert. Im Garten- und Landschaftsbau wird zusätzlich die organische Dämpfung angerechnet durch die Gutschrift von 50% Torf und 50% Rindenhumus massenäquivalent zum Organikgehalt der Komposte. Bei Anwendung in Erdenwerken und im Erwerbsgartenbau wird zu 100% Torf ersetzt.

Die Emissionen aus der Bio- und Grünabfallbehandlung wurden nach den noch vorläufigen Ergebnissen eines weiteren UFOPLAN-Forschungsvorhabens (Cuhls 2009) bilanziert (vgl. Tabelle 3). Dabei wird für die Szenarien 2020 T und 2020 AT unterstellt, dass die Emissionen aus der Vergärung um 90% reduziert werden. Für die Emissionen aus der Kompostierung werden keine Reduktionsmöglichkeiten unterstellt.

Tabelle 3: Emissionsfaktoren Kompostierung und Vergärung (Cuhls 2009)

	Methan g/t	Lachgas g/t
Geschlossene Anlagen Bio- und Grünabfall	710	68
Offene Anlagen Bio- und Grünabfall	1.000	110
Anlagen mit Vergärung und geschlossener Nachrotte	3.700	120

Es zeigt sich, dass sowohl die Bio- als auch die Grünabfallbehandlung im Ist-Zustand 2006 ohne Berücksichtigung der C-Senke zu einer geringen Zusatzbelastung an Treibhausgas-Emissionen (THGE) führt. Unter Berücksichtigung der C-Senke erreichen sie auch 2006 schon eine etwa ausgeglichene Bilanz. Zur Berücksichtigung der C-Senke wird angenommen, dass 8% des im Kompost gebundenen Kohlenstoffs über einen Zeitraum von 100 Jahren im Boden gespeichert bleiben (AEA 2001). Bei der Gesamt-Klimabilanz wird die C-Senke nicht berücksichtigt¹.

5.5 Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)

Altpapier wird nach einer Sortierung in Papierfabriken aufbereitet und verwertet. Die dabei anfallenden Spuckstoffe werden in MVAn verbrannt, Papierschlämme in Kohlekraftwerken. Der Altpapierfaser wird - unter Berücksichtigung eines Faktors für den Qualitätsverlust - die vermiedene Herstellung von Primärfasern aus Industrieholz gutgeschrieben. Aufgrund der momentanen Nutzungskonkurrenzen (durch die Anreize zum Ausbau erneuerbarer Energien) wird davon ausgegangen, dass das durch Papierrecycling eingesparte Holz zur Energieerzeugung in einem Heizkraftwerk in Schweden - als einem der wichtigsten Herkunftsländer für Neufasern zur Papierherstellung - eingesetzt wird.

5.6 Glas

Bei der Bilanzierung des Glasrecyclings werden in den verschiedenen Szenarien keine Mengen und Verwertungstechniken verändert. Altglas wird aufbereitet und Glashütten zur Verwertung zugeführt. Der Scherbenanteil ersetzt Primärrohstoffe für die Glasherstellung. Zudem kann durch den Scherbeneinsatz anteilig Energie eingespart werden.

¹ In der Studie werden hierzu Sensitivitätsanalysen gerechnet.

5.7 Leichtverpackungen (LVP)

Bei der LVP-Fraktion wird für 2020 unterstellt, dass die Sammlung auf materialgleiche Nichtverpackungen und Elektrokleingeräte ausgeweitet wird. Bilanziert wird der gesamte Entsorgungsweg inkl. der Entsorgung der Sortierreste, die gut 40 Prozent des Massenstroms ausmachen. Für die Sortierreste kommt im Wesentlichen nur eine thermische Behandlung in einer MVA oder im Zementwerk in Frage; es wird eine je hälfte Behandlung in diesen angenommen. Mehr als ein Drittel der LVP-Wertstoffe sind Kunststoffe, gefolgt von Weißblech mit knapp 12 Prozent. LVP-Wertstoffe werden überwiegend stofflich verwertet, nur für etwa ein Drittel der Kunststoffe wird von einer energetischen Verwertung ausgegangen. In den optimierten Szenarien wird insbesondere eine höherwertige Einsatzmöglichkeit der Kunststoffe angenommen. Anstatt der noch anteilig ersetzen Holz- und Betonprodukte werden ausschließlich Produkte aus Primärkunststoffen zu höheren Anteilen ersetzt. Entsprechend ist der Faktor zum Ausgleich der Qualitätsunterschiede zwischen Sekundär- und Primärkunststoff nach oben angepasst.

Für den Ersatz von Zellstoff aus dem Recycling von Flüssigkeitskartons wird analog zu der PPK-Bilanz eine energetische Verwertung der dadurch eingesparten Holzmenge (Holz-GTS) angesetzt.

5.8 Altholz

Die stoffliche Verwertung von Altholz selbst führt zu keinen nennenswerten Treibhausgas-Einsparungen da im Wesentlichen Frischholz ersetzt wird und die Abholzung sowie die Aufwendungen im Sägewerk zur Bereitstellung des Holzes mit keinen hohen THG-Emissionen verbunden sind. Da aber aktuell von einem hohen Nutzungsdruck für Hölzer auszugehen ist, wird auch hier konsistent zum Vorgehen für Altpapier für die geschonte Holzmenge von einer energetischen Verwertung ausgegangen. Im Unterschied zu Altpapier, wo eine energetische Nutzung in Schweden angenommen wird, wird das durch die stoffliche Nutzung eingesparte Holz in einem Holz-HKW in Deutschland eingesetzt.

6 Ergebnisse für Deutschland

6.1 Ergebnisse der Treibhausgasbilanz

Bereits heute trägt die Siedlungsabfallwirtschaft einschließlich der Altholzverwertung mit einer Einsparung von ca. 18 Millionen Tonnen CO₂-Äq. zum Klimaschutz bei.

Dies entspricht in etwa den CO₂-Emissionen von 7,7 Millionen Pkws, knapp 19% des derzeitigen Pkw-Bestandes in Deutschland.^[2]

Unter der Annahme, dass sämtliche Optimierungsmaßnahmen für das Jahr 2020 umgesetzt werden, kann der Beitrag zum Klimaschutz um weitere 10 Millionen Tonnen auf knapp 27,5 Millionen Tonnen CO₂-Äq. gesteigert werden.

Tabelle 4: Gesamtergebnisse der THG Standardbilanz für Deutschland

	2006 Ist	2020 T	2020 A	2020 AT
	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a	1.000 t CO₂-Äq/a
Verwertung Restmüll	-2.344	-6.009	-1.435	-3.861
Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe	-8.926	-11.589	-11.356	-15.308
Altholzverwertung	-6.503	-7.897	-6.834	-8.299
Summe	-17.773	-25.496	-19.625	-27.468

Insbesondere die Verwertung getrennt erfasster Wertstoffe leistet einen maßgeblichen Beitrag der Entsorgungsbranche zum Klimaschutz (Tabelle 4). Die angenommene gesteigerte getrennte Erfassung bedingt, dass die bilanzierte Restabfallmenge um knapp 28 Prozent abgenommen hat, während die Wertstoffmenge (ohne Altholz) im gleichen Zeitraum um gut 21 Prozent zugenommen hat.

Die deutlichsten Einsparungen werden durch das Recycling von PPK und Altholz erreicht, gefolgt vom LVP Recycling und der energetischen Nutzung des Restmülls in Müllverbrennungsanlagen (Bild 2).

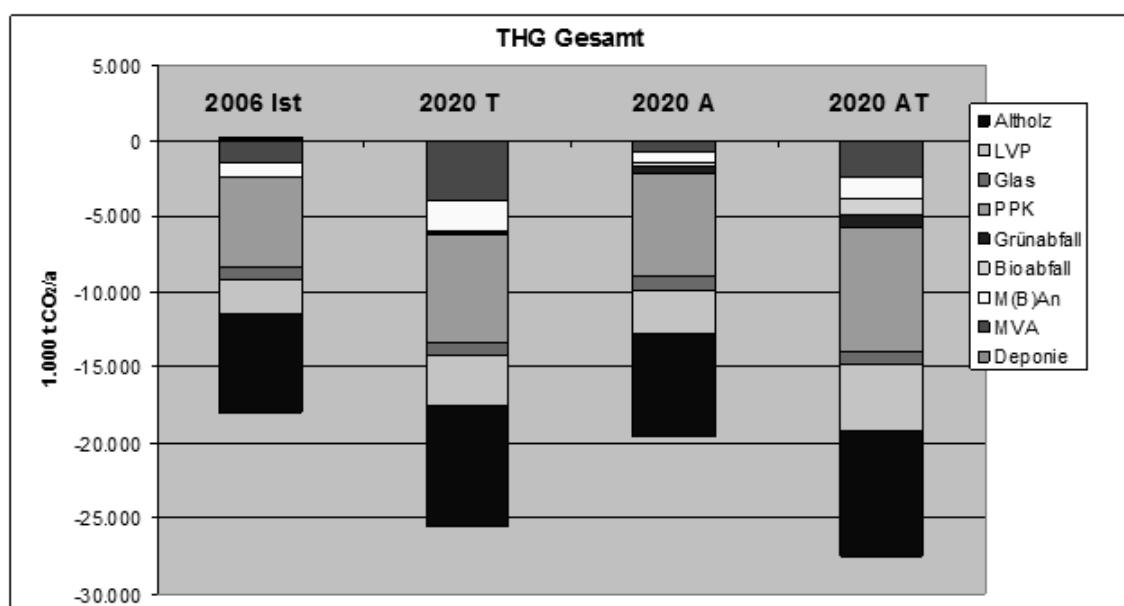


Bild 2: Gesamtergebnisse der Standardbilanz für THG

² Annahme: CO₂-Emissionen von 180g pro Kilometer; Fahrleistung von 13.000 km im Jahr

Die angesetzten technischen Verbesserungen haben einen stärkeren Effekt bei der Einsparung von Treibhausgasemissionen als die alleinige Veränderung der Abfallströme.

6.2 Beitrag zur Erreichung der Emissionsminderungsziele

1990 hat die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft das Klima noch mit 37,8 Mio. t CO₂-Äq/a belastet (Dehoust/Vogt 2005; ohne Altholz). Verglichen mit den Leistungen heute, die unter Berücksichtigung des Altholzanteils eine Entlastung von 17,8 Mio. t CO₂-Äq/a hervorbringen, liegt der Reduktionsbeitrag zu 1990 bei insgesamt etwa 56 Mio. t CO₂-Äq/a oder 670 Kilogramm CO₂-Äq pro Einwohner. Dies entspricht rund einem Viertel an dem gemäß der nationalen Berichterstattung von 1990 bis 2006 gesamt erreichten Rückgang der Treibhausgasemissionen in Deutschland von 235 Millionen Tonnen CO₂-Äq.

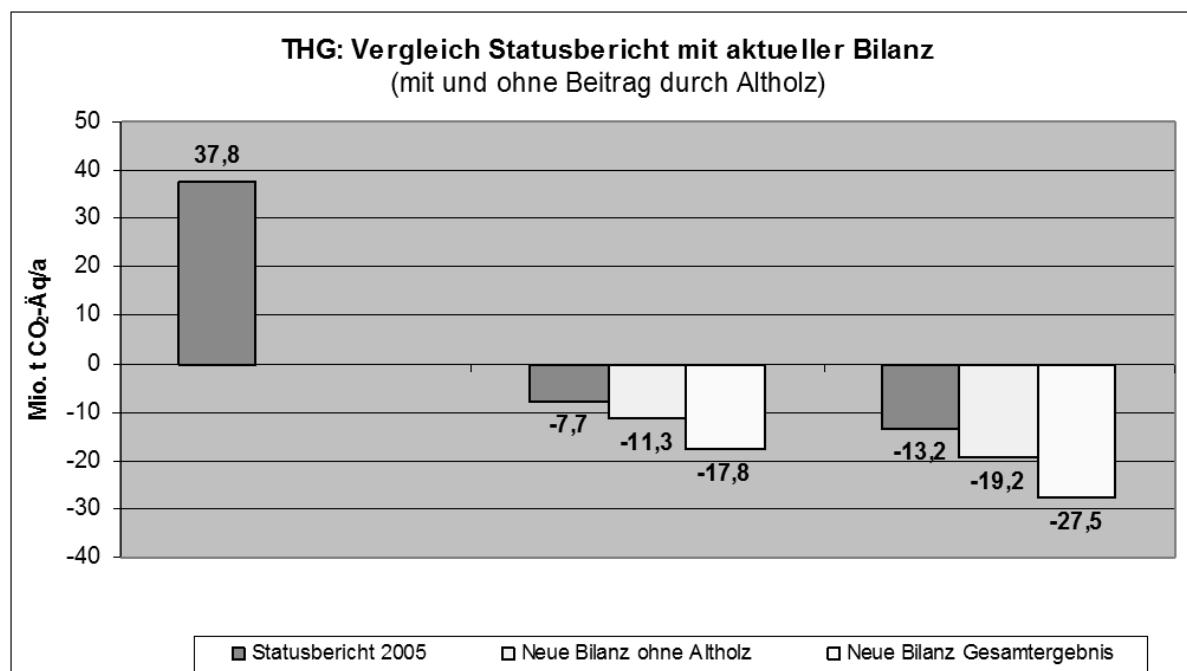


Bild 4: Zusammenstellung der Ergebnisse dieser Bilanz für THG (mit und ohne Altholz) sowie des Statusberichtes aus 2005

Unter Berücksichtigung sämtlicher Optimierungsmaßnahmen kann die Siedlungsabfallwirtschaft einschließlich der Altholzverwertung ihren Emissionsminderungsbeitrag auf etwa 65 Mio. t CO₂-Äq/a bzw. 790 Kilogramm CO₂-Äq. pro Einwohner erhöhen. Bis 2020 strebt Deutschland eine Minderung der Treibhausgasemissionen um insgesamt 40% gegenüber 1990 an, das entspricht einer Reduktion um etwa 486 Mio. t CO₂-Äq/a. Der errechnete Beitrag, den die Abfallwirtschaft dazu leisten kann, macht rund 13 Prozent aus.

7 Literatur

- AEA Technology Environment: Waste Management Options and Climate Change. Final Report to the European Commission, DG Environment. July, 2001
- Buchert, M.; Dehoust, G. et al.: „Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik“, FKZ 90531411. Teilvorhaben „Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte ressourcenschonende Abfallwirtschaft“ (UBA, BMU), Öko-Institut/IFEU, Darmstadt, Heidelberg 2008
- Cuhls, C. et al.: „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“, UFOPLAN FKZ 206 33 326, gewitra, Februar 2009 (unveröffentlichter Entwurf)
- Dehoust, G.; Idelmann, M. et al.: „Optimierung der Abfallwirtschaft in Hamburg unter dem besonderen Aspekt des Klimaschutzes“, Öko-Institut/IGW-Pöyry/FH-Mainz, Darmstadt 2008
- Dehoust, G.; Vogt, R. et al.: „Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale“ (UBA, BMU, BDE), Öko-Institut e.V./IFEU, Darmstadt, Heidelberg 2005
- Dehoust, G.; Vogt, R. et al.: „Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale“ (UBA, BMU, BDE), Öko-Institut e.V./IFEU, Darmstadt, Heidelberg 2010
- Fritzsche, U. et al.: „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ (BMU); Öko-Institut et al., Darmstadt 2004
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change: „Climate Change 1995 – The Science of Climate Change“ Houghton, J. T. (Hg), Cambridge University Press, Cambridge 1996
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report: Climate Change 2007, www.ipcc.ch
- Kern, M. et al.: „Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz“, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, UFOPLAN FKZ 3707 33 304; Dezember 2008
- Kern, M.: Biomassepotenzial von Grünabfällen und Landschaftspflegematerial“ 3. Biomasse-Forum „Energetische und stoffliche Verwertung von Abfallbiomasse“, Witzenhausen 2009
- Knappe, F.; Dehoust, G. et al.: „Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ im Auftrag des Umweltbundesamtes, IFEU/Öko-Institut e.V., Heidelberg, Darmstadt 2006
- Vogt, R.: „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft – Bio- und Grünabfälle; Vortrag Entsorga Enteco Köln, 2009

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Die Neuordnung von Entsorgungsstrukturen zur CO₂-Reduktion

Prof. Dr. Karlheinz Scheffold
Fachhochschule Bingen

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Kommunale Entsorgungsinfrastruktur

Die Schwerpunkte der kommunalen Entsorgung haben sich von der Erfassung und Beseitigung eines einzelnen Abfallgemisches im Behälter zur Sammlung im Umleerverfahren und der behälterlosen Sammlung von sperrigen Abfällen (Sperrabfall) seit Ende der 1970iger Jahre hin zu einer diversifizierten Dienstleistung zur Schadstoffentfrachtung, Verwertung von Rohstoffen (Getrenntsammlung von Mono-fraktionen) und nach Sicherstellung einer geordneten Entsorgung hin zur energetischen Nutzung des Restabfalls entwickelt. Rund 413 örE organisieren in 16 Bundesländern diese Tätigkeiten, dazu kommen 9 Duale Systeme. Es gibt gute Gründe dieses System weiter zu entwickeln, um weitere volkswirtschaftliche Nutzen zu generieren. Erste Ideen dazu hat der Verfasser vorgestellt^[1] und konkretisiert diese nun, weil die Zeit für eine Fortentwicklung der Abfallwirtschaft reif ist. Bewegt werden rund 48 Mio. Mg Siedlungsabfälle, davon ca. 36,7 Mio. Mg Haushaltsabfälle (447 kg/E/a) von denen ca. 41 Prozent (182,5 kg/E/a) zur Beseitigung und 59 Prozent zur Verwertung gelangen (264,7 kg/E/a)^[2]. Dieses Aufkommen ist rückläufig und von 63 Mio. Mg in 2000 auf 47,9 Mio. Mg in 2007 gesunken. Abgeleitet aus den Daten des Statistischen Bundesamtes gelangen ca. 19,1 Mio. Mg zur Verbrennung und zur energetischen Verwertung. Die Hausmüllverbrennungsanlagen behandeln ca. 17,5 Mio. Mg Primär- und Sekundärabfälle und erzielen damit schätzungsweise ca. 2,8 Mrd. Euro Umsatz (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Eigene Abschätzung des Umsatzvolumens mit Abfallerzeugern in Deutschland für die Beseitigung im Jahr 2008^[3].

MVA RHM	7,903 Mio. t/a	155 €/t	1.223 Mio. €/a
MVA SPM	1,898 Mio. t/a	173 €/t	327 Mio. €/a
Gabf z V	5,569 Mio. t/a	100 €/t	557 Mio. €/a
Sortierreste	1,78 Mio. t/a	130 €/t	231 Mio. €/a
HWR MBA	0,35 Mio. t/a	80 €/t	28 Mio. €/a
Σ Behandlung	17,5 Mio. t/a	135 €/t	2.366 Mio. €/a
Energieerlöse			472 Mio. €/a
Umsatz WtE			2.838 Mio. €/a
MBA-Anlagen	5,141 Mio. t/a	124 €/t	637 Mio. €/a
Umsatz			3.476 Mio. €/a

Die Entsorgungsinfrastruktur für die zur Beseitigung anfallenden Restabfälle besteht aus Verbrennungsanlagen (WtE) und Stoffsplittungsanlagen (MBA, Gewerbeabfallsortieranlagen), welche einerseits Rohstoffe und Brennstoffe (EBS, SBS) für Märkte herstellen und Reste zu Abfallverbrennungsanlagen absteuern (vgl. Bild 1). Rund 14,5 Mio. Mg/a Haus- und Sperrabfall aus Haushaltungen unterliegen dem Anschluss- und Benutzungszwang, dazu kommen ca. 2 Mio. Mg/a hausmüllähnliche Geschäftsabfälle, die gemeinsam über die öffentliche Abfuhr erfasst werden. Weitere 11,1 Mio. Mg/a gewerbliche und produktionsspezifische Abfälle gelangen in Stoff-

splittinganlagen, so dass in 2008 rund 17,8 Mio. Mg Abfall in den 69 WtE-Anlagen verbrannt und 3,6 Mio. Mg als EBS/SBS in Kraftwerke, Zementwerke etc. abgesteuert wurden.

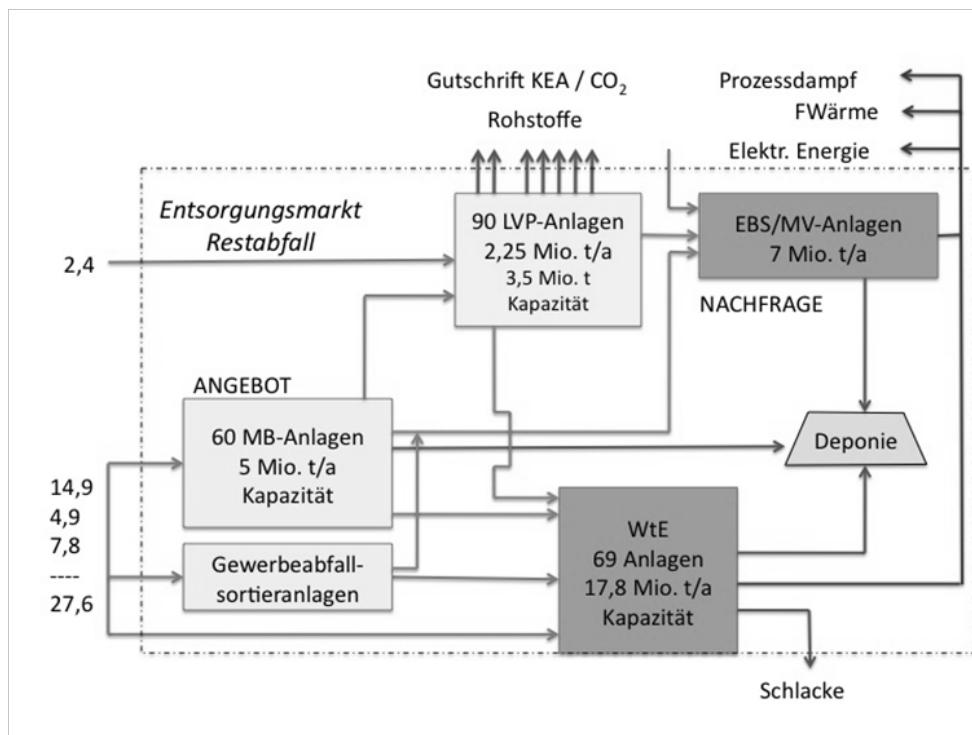


Bild1: Vereinfachtes Modellschema für die Stoffstrombilanzierung von Restabfall zur Beseitigung (WtE) für die bestehende Entsorgungsinfrastruktur in Deutschland

2 Überkapazitäten und Handlungsalternativen

PROGNOS hat in der NABU-Studie aufgezeigt, dass an überlassungspflichtigen Abfällen zur Behandlung inkl. Sortierresten, Ersatzbrennstoffen, Sekundärbrennstoffen rund 26 Mio. Mg/a energetisch zu verwerten sind und diese Menge voraussichtlich bis 2020 auf 19,7 Mg/a sinken wird^[4]. Die aufgezeigten Überkapazitäten drücken schon heute auf den Preis für frei handelbare Abfallmengen, so dass derzeit Preise von 60-75 €/Mg (netto) verhandelt werden. Die Erfahrung zeigt, dass die dem Anschluss- und Benutzungszwang unterworfenen Bevölkerung über die Gebühr die fehlenden Erlöse zur Kostendeckung ausgleichen müssen. Am Beispiel einer regionalen Situation wird dies verdeutlicht (vgl. Tab. 2). Die Kosten der kommunalen Anlage betragen im Durchschnitt ca. 110 €/Mg, da die Anlage nur durch Fremdmengen ausgelastet werden kann, ist der Preis für die heimische Bevölkerung doppelt so hoch wie derjenige für den Mitbenutzer. Vergleichbare Situationen sind immer dort anzutreffen, wo teure Anlagen stehen, die nicht durch Abfälle aus dem Anschluss- und Benutzungszwang heraus ausgelastet werden können. PROGNOS schlägt in ihrer Studie vor, Anlagen stillzulegen, neue Anlagen nicht mehr zu errichten, so dass die Auslastung verbleibender Anlagen gewährleistet ist.

Tabelle 2: Situation Stilllegung MBA und Absteuerung in WtE-Anlage

MBA	32.500	t/a	80	€/t	+	20.000	t/a	160	€/t	=	5.800.000 €
WtE	52.500	t/a	72	€/t						=	3.780.000 €
Nutzen	-10.965	t CO ₂ /a				184 € /tCO ₂				=	-2.020.200 €

Dass eine solche Stilllegung ökonomisch und ökologisch sinnvoll sein kann, lässt sich an Beispielen zeigen. Es ist möglich, die gebührenrelevanten Kosten deutlich zu senken und gleichzeitig würde eine Entlastung um CO₂ erfolgen, so dass 184 Euro mit jeder Tonne CO₂-Vermeidung zu verdienen wäre (vgl. Tab.2). Vorausgesetzt es würde gelingen die MBA kostenneutral stillzulegen.

Tabelle 3: Abschätzung der CO₂-Emission zweier Alternativen

Alternative	MBA	MVA	Δ
Abfallbedingte Emission	38.430	38.430	
C-Fixierung in Deponie	-4.996	0	
Substitutionsgutschrift	-6.465	-20.712	14.247
Energieverbrauch MBA	1.714	0	
Gesamtprozess	28.683	17.718	-10.965 -38,23%

3 Neues Konzept (Marktplattform)

Eine andere Strategie für den Gesetzgeber könnte darin bestehen, dass er Abfallmengenkontingente versteigert. Die Modalitäten der Versteigerung können sehr verschieden sein und die Gestaltung der selbigen beeinflusst nicht unerheblich das Ergebnis. Im Rahmen eines Projektes soll dies erforscht werden. In Tabelle 4 ist eine mögliche Variante dargestellt.

Tabelle 4: Fiktive Situation bei Versteigerung der Behandlung von Abfällen

82,1 Mio. Einwohner			Preis	Umsatz		
Kontingent	[kg/E/a]	[kt/a]	kumuliert	[€/t]	[T€/a]	kumuliert
1	65	5.337	5.337	75	400.238	400.238
2	40	3.284	8.621	90	295.560	695.798
3	25	2.053	10.673	120	246.300	942.098
4	15	1.232	11.905	135	166.253	1.108.350
5	72	5.896	17.800	213	1.258.050	2.366.400

Es werden Kontingente mit unterschiedlichen Laufzeiten versteigert. Die Qualität der Abfälle ist definiert. Beim Kontingent 1 handelt es sich um Abfall aus der öffentlichen

Abfuhr in grauen Tonnen mit einem Volumen bis max. 330 Liter, die Menge wird für 10 bis 20 Jahre garantiert und frei Anlage geliefert. Die Laufzeit für das Kontingent 2 wird kürzer gewählt, z.B. 5 – 10 Jahre. Das Kontingent 3 hat eine Laufzeit von einem Jahr und kann auch Restabfall aus MGB 1.100 enthalten. Im Kontingent 4 und 5 sind Geschäftsabfälle oder häusliche Abfälle möglich, die monatlich, wöchentlich oder täglich auf einer elektronischen Plattform zu versteigern sind.

In Tab. 4 ist unterstellt, dass die gleiche Menge und der gleiche Umsatz wie in der Ausgangssituation Tab. 1 erzielt wird. Praktisch werden sich sowohl die Mengen als auch Preise und Umsätze bewegen. Abfallvermeidung und Abfallverwertung lohnt sich und es gibt für örE keine politische Notwendigkeit mehr Abfallminderung zu verhindern, um Anlagen auszulasten. Es ist Aufgabe des Marktes ausreichend Kapazität zur Verfügung zu stellen. Zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit können spezielle Instrumente eingeführt werden, die wie eine Versicherung zusätzlich Prämie kosten. In allen beteiligten Anlagen haben Abfälle der niedrigen Kategorie Vorfahrt. Im Hintergrund der Plattform läuft in Echtzeit ein Logistikprogramm, welches die Mengen so verteilt, dass die Transportaufwendungen intelligent minimiert werden. Abfallströme und Geldströme werden entkoppelt (vgl. Bild 2).

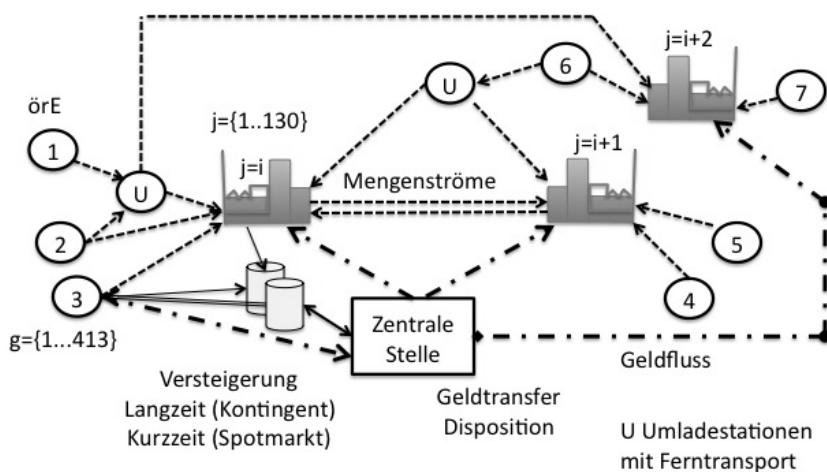


Bild 2: Schema zur Veranschaulichung der Stoff- und Geldströme im Modell Handelsplattform in einem zertifizierten Entsorgungsmarkt

Der Komplexität ist bei der Umsetzungsplanung Rechnung zu tragen. Hier ist es Ziel, die Grundidee zu veranschaulichen. Man stelle sich vor, wie derzeit in der Stadt Reutlingen umgesetzt, der Fahrer erhält über sein Bordsystem logistische Informationen über einen Internetserver^[5]. Im Rahmen der täglichen Routenabstimmung werden sofern erforderlich notwendige Änderungen hinsichtlich Fahrstrecke und Entla-

destelle über diesen Weg mitgeteilt und von Logistikbetrieben berücksichtigt. Jede Ladung wird hinsichtlich ihres Weges vom Behälter bis zur Entladestelle verfolgt. Ziel ist es „just in time“ den Logistikaufwand zu minimieren und gleichzeitig die Anlagen mit den geringsten Kosten zu bedienen und den Mengenverpflichtungen aus der Versteigerung gerecht zu werden. Die Anlagenauslastung erfolgt nach einem Algorithmus zur Minimierung der Kosten aus Sicht des Abfallerzeugers. Über die zuständige örE wird das auf der Plattform vereinbarte Entgelt im Rahmen der Kontingente über die Zentralstelle an die Anlagen gemäß deren vertraglicher Nutzung geleitet. Der Abfall selbst wurde möglicherweise in einer anderen Anlage entsorgt. Ziel ist es die gesamte Wertschöpfung in der Kette zu optimieren, dazu gehört auch die Energie Nutzung und die Kohlendioxidvermeidung. Für die Logistik ist die örE ebenso zuständig wie für das operative Umsetzen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. Zukünftig sollte aber der hoheitliche Teil vom operativen Teil getrennt werden (Lean Management Konzept). Neben der Restabfallbehandlung gilt es auch die Bioabfälle und deren Verwertung sowie die Stoffströme der Rohstoffe zu betrachten. Es sollte Plattformen geben, auf denen die Preise im Wettbewerb effizient vereinbart werden und auf einer anderen Ebene erfolgt die operative Umsetzung der stofflichen Handhabung. Das Abfallmengenangebot kommt von der örE, den Preis findet die Plattform im Wettbewerb (Langzeit-, Mittelzeit-, Kurzzeit-, Spotmarkt-Mengen-/Preise). Die zentrale Stelle verteilt die Kontingente durch Versteigerung, die Spotmengen versteigert die örE über die Plattform. Der Gesetzgeber legt fest, welche Mengenkontingente von den örE über die zentrale Stelle abzutreten sind (z.B. Kontingent A 65 kg/E/a für 15 Jahre usw.). Die Transformation von der heutigen Situation in diese Vision ist die Herausforderung, für die es Lösungen zu suchen gilt.

Die Bemühungen LVP und Restabfall gemischt einzusammeln und dann zuerst maschinell aufzubereiten, um einen Stoffstrom in die Abfallverbrennung sowie Stoffströme in SBS/EBS-Anlagen zu generieren, werden hier vorerst ausgeschlossen. Es gibt Wege zur stofflichen Verwertung (Eigenes Ziel) und solche zur Beseitigung und energetischen Nutzung (Minimierung). Die Duale Abfallwirtschaft hat sich hier bewährt, denn sie verhindert, dass zur Auslastung von Entsorgungsanlagen auf die Getrenntsammlung verzichtet wird. Gleichwohl gibt es Beispiele, wie zur Reduktion der Kosten die Biotonne abgeschafft wurde, ohne ökologischen Nutzen zu erzeugen. Mit der Festlegung von Grundmengen mit langer Laufzeit wird die Entscheidung „*wie viel geht in die stoffliche und wie viel in die energetische Verwertung*“ festgelegt. Im Fall von Überkapazitäten sollten die Anlagen mit hohem energetischen Nutzungsgrad und geringen spezifischen Kosten sich um die Grundkontingente streiten, wogegen die Spotmengen zur Maximierung des Gewinns interessant sein könnten. Welche Anlage und welcher Managertypus welche Strategie wählt, soll mittels Durchführung entsprechender Versteigerungen im Labor erkundet werden (Spieltheorie). Dazu bedarf es entsprechend informierter Spielteilnehmer. Das Modell kann auch um die LVP-Mengen ergänzt werden. Es gilt dort die lizenzierten Rohstoffmengen kostendeckend zu ersteigern.

Der Konflikt, „*welche Leistung erfolgt communal, welche privat*“, kann entschärft werden. Weniger als ein Drittel der Anlagen sind communal und diese können (a) integriert oder (b) an Investoren veräußert oder (c) in interkommunalen Gemeinschaften gebündelt werden. Am Beispiel der MBA (s.o.) kann die Auswirkung solcher Entscheidungen untersucht werden. Mehrere Anlagen sind bekannt, an denen exemplarisch typische Situationen vertieft zu studieren sind.

4 Untersuchungsmethodik

45 Studierende nehmen an der Untersuchung teil. Sie haben sich in die Rolle eines Geschäftsführers einer WtE-Anlage einzuarbeiten und verinnerlichen den Wettbewerbsgedanken. Jeder recherchiert die für seine Anlage öffentlich zugänglichen Informationen. Ausgehend von Abfallbilanzen, Veröffentlichungen, Geschäftsberichten wird mithilfe eines Kalkulationsschemas versucht die Besonderheiten der Anlage in einem fiktiven Markt abzubilden, um dann im Verlauf der Versteigerungen zielorientiert und strategisch bieten zu können. Ergänzend wird in einer Exceltabelle mit 43 Spalten für jede Anlage in einer Zeile ein kompletter Datensatz gesammelt. Die Summe aller Datensätze ergibt dann die Abbildung der bundesdeutschen Situation, die mit den global bekannten Informationen verglichen werden kann. Mit einem Steuerpult hat der Studierende die Möglichkeit, ausgehend von einer Standardkonfiguration, mittels Zielwertsuche seine Anlage an die ihm zugänglichen Informationen anzupassen. Es stehen ihm wichtige Informationen wie Kostendeckungsbeiträge, Auslastungsgrad usw. zur Verfügung, so dass er die Folgen seiner Angebote betriebswirtschaftlich werten kann. Einen Einblick in die Koeffizientenmatrix des Steuerpults erlaubt die Tab. 5.

In der Zusammenfassung lassen sich dann unterschiedliche Effekte und Auswirkungen analysieren. Sinkt oder steigt das Marktvolumen, wie entwickeln sich die CO₂-Nutzen, die Energienutzung, welche Kapazitäten haben wenig Chance am Markt zu überleben usw. Insgesamt wird so das Verhalten der Marktteilnehmer studiert und die Konzeption Handelsplattform lässt sich weiter entwickeln. In der Folge geht es darum ein praktikables umsetzbares Konzept zu entwickeln und den Nutzen des Konzepts sowie Wege der Umsetzung aufzuzeigen.

Tabelle 4: Koeffizientenmatrix des Steuerpults, die möglichst weitgehend an die tatsächliche Situation jeder Anlage anzupassen ist

	Schlacke kg/Mg FM	Kohlenstoff kgC/Mg	Heizwert GJ/t	Gebühr/Entgelt Netto €/Mg
RHM	280	200	8,5	109,24
SPM	265	224	9,5	123,95
Gewerbe	239	261	11,1	87,39
Zeitverfügbarkeit 92,00%				

NUTZEN-Gutschrift				g CO ₂ /kWh
elektrische Energieauskopplung				
	10,40%		40 €/MWh _{el}	829
Wärmeauskopplung				284
Fe	1,80%	0,8600	Mg CO ₂ /Mg Rohstoff	
NE	0,18%	9,8700	Mg CO ₂ /Mg Rohstoff	
Schlackeentsorgung			Zins 5,00%	
RGR-Entsorgung			3,30% FM INP	
Kalkulation			spez. Invest	290 €/(Mg/a)
Nutzungsdauer 20 Jahre				
Personalkosten 75 MA				75.000 € /(MA a)
Versicherung, Steuer	0,80%	vom INVEST		
RWU Reparatur, Wartung	0,80%	vom INVEST		
sonstige fixe Kosten	1200	T€/a		
mengenvariable Kosten	5,44	€/Mg		
Zuschläge	7,50%	Gemeinkosten	5,00%	Gewinn+ Risiko

Derzeit werden ca. 19 TWh/a aus den WtE-Anlagen verwertet bei einem Potential von ca. 49 TWh/a, eine Steigerung um 49% ist durch eine Verbesserung der Struktur denkbar. Im Idealfall stehen zukünftige Anlagen dort, wo langfristig eine hohe und ökologisch sinnvolle Ausnutzung der Energie zu gewährleisten ist. In der Folge ist eine Steigerung der Klimaschutzbeiträge zu erwarten. Rund 20 Mio. Mg CO₂-Emission aus dt. Abfallverbrennungsanlagen steht derzeit ein Nutzen von rund 8 Mio. t CO₂/a gegenüber, sofern die regenerativen Abfallbestandteile nicht in Abzug gebracht werden. Lt. EdDE Studie stehen 6,78 Mio. Mg CO₂,äq rund 6 bis 8,6 Mio. Mg eingesparte klimarelevante CO₂,äq gegenüber, so dass derzeit die deutschen Abfallverbrennungsanlagen als klimaneutral bewertet werden, da nur die fossile Abfallbestandteile berücksichtigt werden.^[6] In der EdDE- Studie wird ein Einsparpotential von 3,2 Mio. Mg durch technische Maßnahmen abgeschätzt. Es gilt nun zu zeigen, ob durch eine Versteigerung und optimierte Zuweisung der Mengen zu Anlagen ein weitergehendes Vermeidungspotential besteht oder initiiert werden kann. Ziel ist eine ökoeffiziente Anlagenauslastung.

5 Zusammenfassung

Ausgehend von dem Szenario, dass zukünftige Überkapazitäten auf dem Markt der energetischen Nutzung von Abfällen Bemühungen um eine Steigerung der Verwertung konterkarieren und eine nicht verursachungsgemäß Gebührenbelastung der Haushalte die Folge ist, wird ein Untersuchungskonzept vorgestellt bei dem unter Anwendung der Spieltheorie heraus gefunden werden soll, ob die Versteigerung von Abfallkontingenten eine machbare Handlungsalternative ist, um zukünftig den Ent-

sorgungsmarkt weiter zu entwickeln. Erste Ergebnisse werden auf der Tagung präsentiert.

6 Danksagung

Der Verfasser bedankt sich bei allen Studierenden UMWELTSCHUTZ U4 an der Fachhochschule Bingen im Sommersemester 2010, die an diesem Projekt teilnehmen, sowie bei allen Betroffenen für das Verständnis Projekte zu unterstützen, in dem sie helfen öffentlich zugängliche Informationen auch zugänglich zu machen. Kritik und Anregung ist erwünscht: scheffold@fh-bingen.de

7 Literatur

- [1] Scheffold, K.. Vortrag zur Zukunft der Abfallwirtschaft, am IML Dortmund (2000)
- [2] Erhebung über Haushaltsabfälle 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2010)
- [3] Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2010); NABU-Studie Prognos (2010)
- [4] NABU-Studie 3. März 2009, Seite 3/68 Ergebnisse aus der durch die Prognos AG durchgeführten Untersuchung: "Der Abfallmarkt in Deutschland und Perspektiven bis 2020". Herausgeber: NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) Redaktion: NABU-Bundesgeschäftsstelle, Charitéstr: 3, 10117 Berlin Tel.: 030 – 284 984 0, eMail: NABU@NABU.de
- [5] Scheffold, K., Kuster, M.: Einführung eines IDENT-Systems in der Stadt Reutlingen und SAP-Anbindung. Ausschreibung und Wettbewerb sowie Umsetzung. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- [6] Billitewski, Hoffmann: Aktuelle CO₂-Bilanz deutscher MVA. EdDE-Studie der TU Darmstadt und TU Dresden, Vortrag im EdDE Kuratorium am 12.4.2010 in Kassel.

Fülle-Scheffold: Gutachten zur Neuordnung der Abfallwirtschaft im Landkreis Grafschaft Bentheim. A+U GmbH Düsseldorf (2010), nicht öffentlich.

Scheffold, K.: Schwachstellenanalyse MBA Wilsum. Projektbericht 15.9.2007 FH Bingen (nicht veröffentlicht).

Aussage zu Verbrennungspreisen von 50-60 €/Mg von VKS-Präsident Siechau auf dem Abfallforum Kassel am 20.4.2010, die sich mit Marktrecherchen decken.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Methodik und Aussagekraft von Klimabilanzen

Paul Mußler
Dr. Sebastian Wolfgarten
Dr. Andrea Paulus
RECARBON Deutschland GmbH, Köln

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

Der Klimawandel hat sich in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion als ein bedeutendes Thema des 21. Jahrhunderts etabliert. Ursache des anthropogenen Klimawandels sind die weltweit zunehmenden Treibhausgasemissionen durch die fortschreitende Industrialisierung. Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bedingt somit einen Wandel der bestehenden Produktionsstrukturen, der auf innovativen sowie effizienten Technologien und dem Ausbau regenerativer Energieträger basiert. Dieser Auffassung schließen sich mehr und mehr politische Entscheidungsträger, Verbraucher, Einzelhandelsunternehmen und Investoren an, die mit unterschiedlichen Ansätzen auf den Klimawandel reagieren.

Der erste Schritt zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist deren möglichst genaue und nachvollziehbare Berechnung. Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen ermöglicht die Identifizierung von Emissionstreibern und bildet die Grundlage für Reduktionsmaßnahmen. Für die Berechnung dieser sogenannten „Carbon Footprints“ haben sich internationale Methoden etabliert, die auch eine extern verifizierbare Betrachtung der ausgestoßenen Treibhausgase ermöglichen.

Eine Klimabilanz ist aber keine umfängliche Umweltbilanz. Die Bewertung eines Unternehmens oder Produktes etc. bezieht sich lediglich auf die Treibhausgasemissionen. Weitere Umwelteinflüsse wie Wasserverbrauch, Abfallmenge etc. werden nicht betrachtet. Für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen sind die ISO 14040 und 14044 als Richtlinien für eine Ökobilanz das relevante Berechnungsinstrument. Allerdings ist die Erstellung eines Carbon Footprints, in Anlehnung an die geltenden Normen, ein Bestandteil der Ökobilanz und kann somit jederzeit in Kombination mit weiteren Umweltwirkungen in eine allumfassende Ökobilanz einfließen.

Ein wesentlicher Vorteil des Carbon Footprints gegenüber einer umfassenden Umweltbilanz ist deren Quantifizierbarkeit. So lässt sich genau in Tonnen oder Kilogramm berechnen wie groß der Treibhauseffekt, z.B. einer Autofahrt von Hamburg nach Berlin, ist. Dies erfolgt, in diesem Beispiel, durch die Messung des verbrauchten Diesel- oder Benzinkraftstoffs und der Multiplikation des Treibstoffs mit dem kraftstoffspezifischen Emissionsfaktor. Für das Beispiel einer Autofahrt wäre das Ergebnis: 20 Liter Benzinverbrauch multipliziert mit dem Emissionsfaktor für Benzin von 2,33 kg CO₂ / l Benzin. Dies führt in der Summe zu 53 kg CO₂ (LFU 2009). So wie das Beispiel der Autofahrt gezeigt hat verursacht typischerweise jeder auf fossilen Energieträgern basierende Produktionsprozess im Unternehmen Treibhausgasemissionen. Diese können zusammengefasst als standortbezogene Werte, z.B. eines Jahres, ermittelt werden. Ebenso verursacht jedes Produkt entlang seines Lebensweges CO₂-Emissionen, z.B. durch den An- oder Abbau von Rohstoffen oder Ressourcen- und Energieverbräuchen, die Nutzung, Entsorgung oder das Recycling.

Vor allem die produkt- und standortbezogene Klimabilanz (sogenannte „Product Carbon Footprints“ und „Corporate Carbon Footprints“) etabliert sich zunehmend als

Messgröße für unternehmerisches Handeln, an der sich Geschäftskunden, Konsumenten und Investoren orientieren.

In den folgenden Kapiteln werden die Vorteile der Klimabilanzen und der unternehmerische Handlungsdruck zur Veröffentlichung der produkt- oder standortbezogenen Emissionen dargestellt sowie die Methoden zur Bilanzierung und die Möglichkeiten der öffentlichen Darstellung der Bilanzierungsergebnisse erläutert. Die Beschreibung der Berechnungsgrundlagen wird mit Beispielen aus der Praxis versehen, um nicht nur ein Bild der Methoden sondern auch einen Einblick in die Umsetzung und konkreten Berechnungen zu ermöglichen. Abschließend wagen die Autoren einen Ausblick der zukünftigen Bedeutung von Klimabilanzen für Unternehmen.

1 Anreize und Pflichten zur Erstellung von Carbon Footprints

Die Beweggründe von Unternehmen, die bereits Corporate und/oder Product Carbon Footprints erstellt haben, lassen sich typischerweise auf interne Anreize und externen Handlungsdruck zurückführen. Demnach steht für Unternehmen entweder die mit der Bilanzierung einhergehende Identifizierung von Einsparpotenzialen und die Verwendung der Ergebnisse für die Öffentlichkeitsarbeit im Vordergrund oder Unternehmen handeln in Erwartung von gesetzlichen Verpflichtungen bzw. auf Druck aus dem Einzelhandel, von Konsumenten oder Investoren.

1.1 Vorteile der Berechnung von Klimabilanzen

Der Carbon Footprint kann an verschiedenen Stellen in der Unternehmenskommunikation eingesetzt werden und kann gleichzeitig zu einer Reduktion der Produktionskosten führen. In Kombination mit anderen, bereits implementierten, Qualitätsstandards zeugt ein Carbon Footprint nicht nur von hohen Qualitätsansprüchen, sondern auch von einem hohen Umweltbewusstsein des Unternehmens. Marktwirksam kann in diesem Zusammenhang auch die Teilnahme an einem etablierten Klimasiegel sein. Für die externe Darstellung der klimawirksamen Initiativen hat sich eine externe Verifizierung des Corporate Carbon Footprints bewährt, um die Glaubwürdigkeit der Berechnungen zu erhöhen.

Der Carbon Footprint stärkt das Bewusstsein für Treibhausgasemissionen und schafft eine höhere Transparenz bei der Ermittlung von Emissionstreibern im Einflussbereich von Unternehmen. Dabei steht die Reduktion der Emissionen im Mittelpunkt, um die Umweltauswirkungen soweit wie möglich zu vermeiden. Durch die Analyse der Treibhausgasemissionen können in der Regel Einsparpotenziale entlang der gesamten Unternehmensprozesse identifiziert werden. Die elementaren Bestandteile eines Carbon Footprints sind damit die Bilanzierung, Vermeidung und Re-

duktion von klimawirksamen Emissionen. Die Senkung der Emissionen wird typischerweise durch einen geringeren Energie- und Ressourceneinsatz realisiert, der z.B. durch Energieeffizienzmaßnahmen erreicht wird. Die Verminderung von Energie- und Ressourcenverbräuchen führt wiederum zu Kosteneinsparungen, die in der Regel die Ausgaben für die Reduktionsmaßnahmen übersteigen.

Der Corporate Carbon Footprint kann auch als Benchmark für zukünftige Reduktionsmaßnahmen und als Maßstab für einen Vergleich mit anderen Unternehmen oder Standorten dienen, an dem sich sowohl interne Strategien, als auch umweltbewusste gewerbliche und private Konsumenten orientieren können. Die regelmäßige Bilanzierung und Optimierung der Treibhausgasemissionen innerhalb eines Unternehmens bildet zudem eine gute Basis für die Einführung eines Energiemanagementsystems als langfristiges Monitoring- und Optimierungskonzept.

Neben den energetischen Vorteilen und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch den Carbon Footprint ist auch die positive Öffentlichkeitswirksamkeit einer Klimabilanz erheblich. Insbesondere der Product Carbon Footprint bietet vielfältige Möglichkeiten, die positive Bilanz eines Produktes auf Verkaufsverpackungen, Flyern, Pressemitteilungen oder Publikationen einer großen Öffentlichkeit zugänglich zu machen und werbewirksam zu nutzen (siehe Bild 1).



Bild 1: Auswirkungen und Nutzen eines Carbon Footprints (Eigene Darstellung)

Anders als der Corporate Carbon Footprint bietet der Product Carbon Footprint die Möglichkeit, einzelne Produkte speziell mit den produktbezogenen Treibhausgasemissionen zu bewerben. Die Ergebnisse aus den Bilanzierungen der Supermarktketten

ketten Hofer (Österreich) und Tesco (United Kingdom) haben gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, den Produktlebenszyklus von Produkten fundiert und transparent abzubilden und die Vorteile ökologischer Produkte aufzuzeigen (siehe auch Kapitel 2.3). Die britische Gesellschaft Carbon Trust hat als Vorreiter der Treibhausgasbilanzierung bereits mehr als 5.000 Produkte für den britischen Markt verifiziert (Murray 2010). Diese Entwicklung bietet auch anderen Unternehmen die Möglichkeit insbesondere Lebensmittel, aber auch Non-Food Artikel wie z.B. Kunststoffe, Baustoffe, Haushaltsgeräte, Elektrowerkzeuge usw. bilanzieren zu lassen und dies werbewirksam zu nutzen. Die werbewirksamen Darstellungsmöglichkeiten der Treibhausgasbilanzierung sind vielfältig und bieten damit die Möglichkeit, sich von Marktkonkurrenten abzusetzen, sich klar zu einer ökologischen und ökonomischen Produktionsweise zu bekennen und dies nach außen zu tragen. Es bestehen unterschiedliche Möglichkeiten Kunden, Interessenten und Geschäftspartner die positive Bilanz zugänglich zu machen.

Die Abbildung des Product Carbon Footprints auf dem Produkt zieht vermehrt das Interesse von Kunden auf sich. Zusätzliche Verbraucherinformationen zur Reduzierung der eigenen CO₂-Emissionen auf der Verpackung erregt ebenfalls das Interesse von Kunden. Neben diesen Marketingmaßnahmen zum Carbon Footprint hat sich herausgestellt, dass insbesondere Kampagnen zur Kompensierung der entstandenen Emissionen erfolgreich sind. Dies zieht nicht nur das direkte Kundeninteresse auf sich, sondern kann auch medienwirksam durch Presseberichte, Verkaufsaktionen etc. publik gemacht werden. In Kombination mit dieser Maßnahme bietet sich daher die Teilnahme an einem anerkannten Klimasiegel, wie dem der britischen Carbon Trust Gesellschaft, an (siehe Bild 2).



Bild 2: Klimasiegel Carbon Trust (www.carbontrust.co.uk)

1.2 Gesetzesinitiativen

Die 3rd Product Carbon Footprint World Forum Konferenz in Berlin, die vom 17.-18. März 2010 tagte, war speziell auf die derzeit aktuellen Carbon Footprint Aktivitäten auf internationaler Ebene ausgerichtet (PCF World Forum 2010). Die wichtigsten Initiativen, die auf dem Product Carbon World Forum diskutiert wurden, umfassen:

- In Frankreich wird an einem Gesetz gearbeitet, das zum 01. Januar 2011 die Ausweisung von ausgewählten Umweltindikatoren (CO₂, Wasserverbrauch, Abfallaufkommen, Ökotoxizität) auf den Produkten verlangt. Es ist jedoch noch nicht sicher, ob es sich bei dem Label zum Beispiel um eine Angabe zu den absoluten CO₂-Emissionen des Produktes oder ob es sich um einen relativen Wert innerhalb einer Produktgruppe handeln wird (Chevassus 2010).
- In Südkorea wird gerade ein Gesetz „The Fundamental Law for Low Carbon Green Growth“ auf den Weg gebracht, das bis zum 01.Mai 2010 umgesetzt werden soll. Das Carbon Labeling ist ein wichtiges Instrument dieser Gesetzesinitiative. Mit der Ausweisung der CO₂-Emissionen auf dem Produkt soll einerseits dem Konsument der Kauf von CO₂-ärmeren Produkten erleichtert werden und andererseits den Herstellern Anreize gegeben werden, CO₂-ärmere Technologien einzusetzen. Das CO₂-Label wird in zwei Stufen vergeben. Auf der ersten Stufe werden die quantifizierten CO₂-Emissionen mit dem „Carbon Emissions Certificate“ ausgewiesen und auf der zweiten Stufe hat das Produkt eine CO₂-Reduktion mit dem „Low-Carbon Product Cerfiticate“ erzielt (Joe 2010).
- In Japan wurde 2008 von der japanischen Regierung ein Aktionsplan für eine „Low-Carbon Society“ verabschiedet und auch in diesem Aktionsplan spielt das Carbon Labeling eine große Rolle. Im Oktober 2009 wurden die ersten drei Produkte mit ihrem verifizierten CO₂-Footprint für den Verkauf über das Internet freigegeben. Im Februar/März 2010 sollen weitere Produkte mit ihren CO₂-Emissionen auf den Verpackungen in den Markt gehen (Inaba 2010).

1.3 Forderungen des Einzelhandels und Initiativen von Investoren

Steigende Energiepreise und die hohe öffentliche Aufmerksamkeit für klimawirksame Emissionen zählen zu den Gründen weshalb bereits zahlreiche Unternehmen den Corporate Carbon Footprint berechnen und kommunizieren. Während die Berechnungen des Corporate Carbon Footprint sich in der Regel nur direkt auf das eigene Unternehmen, den Standort oder eine Filiale beziehen, geraten Zulieferunternehmen, vor allem durch Initiativen von Einzelhandelsunternehmen, zur Berechnung von Product Carbon Footprints unter Handlungsdruck, da hierbei der gesamte Lebenszyklus d.h. auch alle vor- und nachgelagerten Verarbeitungsschritte umfasst werden (siehe hierzu auch Kapitel 3). In diesem Zusammenhang verpflichteten sich mittlerweile zwei der vier weltweit größten Einzelhandelsunternehmen – Wal-Mart und Tesco – öffentlichkeitswirksam dazu, die Treibhausgasemissionen der einzelnen Produkte in ihrem Sortiment auszuweisen.

- Wal-Mart hat sich zum Ziel gesetzt einen leicht verständlichen Nachhaltigkeitsindex einzuführen, der die Umwelt- und Klimaauswirkungen des Konsums von Produkten signalisiert. Der Wert soll neben dem Preisschild am Regal

prangern, um Konsumentenentscheidungen zu beeinflussen. Derzeit werden in einem – wie das Unternehmen angibt – offenen Konsultationsverfahren mit allen Interessierten die Grundlagen für den Nachhaltigkeitsindex erarbeitet (Krost 2009).

- Tesco ist das erste große Einzelhandelsunternehmen, das den CO₂-Fußabdruck von 100 Produkten aus dem eigenen Sortiment berechnet und die Ergebnisse auf den Verkaufsprodukten darstellt. Gleichzeitig gelang es Tesco den Corporate Carbon Footprint an einigen Standorten zu halbieren, wodurch das Unternehmen selbst eine Vorreiterrolle einnimmt und Energiekosten einspart. Die von Tesco verwendeten Labels zeigen an, wie viele Gramm CO₂ (oder CO₂-Äquivalente) durch die Produktion, den Transport und die Lagerung der Produkte entsteht. Der dargestellte CO₂-Fußabdruck berücksichtigt auch die durch den Konsum des Produktes und der Verwertung der Verpackung typischerweise entstehenden Emissionen. Zu den von Tesco berechneten Product Carbon Footprints zählen z.B. Waschmittel und Orangensaft. Zusätzlich wurden auf einem Teil der Produkte Hinweise abgebildet, wie Konsumenten den CO₂-Ausstoß durch nachhaltiges Konsumieren des Produktes reduzieren können (Tesco 2010).

Weitere Initiativen des Einzelhandels umfassen:

- die Berechnung der Treibhausgasemissionen von über 60 Produkten, die sich bei Hofer dem österreichischen Ableger von Aldi im Sortiment befinden,
- eine Ausweisung der sog. „CO₂-Champions“ in der Produktpalette der Schweizer Lebensmittelkette Migros und
- eine Kennzeichnung zur Klimabelastung ihrer Produkte der französischen Supermarktkette Casino.

Zusätzlicher Handlungsdruck geht von zahlreichen institutionellen Investoren aus, die sich von Informationen über Berichte zu den unternehmensweiten Treibhausgasemissionen Aufschlüsse darüber erhoffen, wie Unternehmen ihre Emissionen managen, wie sie auf den Klimawandel vorbereitet sind und welches Risiko sich dadurch für ihre zukünftige Aktienkursentwicklung ergibt. Immerhin 82% der 500 weltweit umsatzstärksten Konzerne veröffentlichten auf Druck von 475 Großanlegern mit einem verwalteten Vermögen von 64 Billionen US Dollar im Rahmen des Carbon Disclosure Projects ihre Treibhausgasemissionen , wobei große deutsche Unternehmen bei der Veröffentlichung ihrer Klimaauswirkungen (noch) verhältnismäßig zurückhaltend auftreten (CDP 2010).

2 Corporate und Product Carbon Footprints

Product und Corporate Carbon Footprints umfassen alle, an einem Standort oder entlang eines Produktlebenszyklus, anfallenden Treibhausgasemissionen (siehe Bild 3)

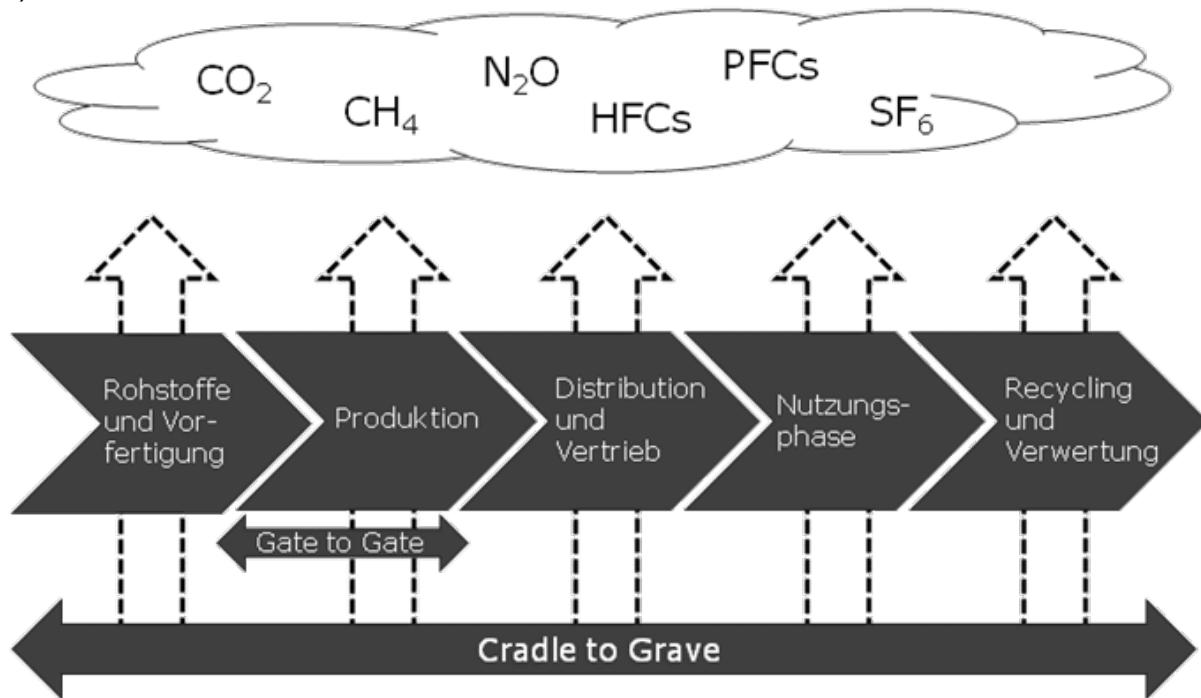


Bild 3: Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (Eigene Darstellung)

Die in der Abbildung aufgezeigten Treibhausgasemissionen sind sowohl beim Product als auch beim Corporate Carbon Footprints relevant (siehe zu den erfassten Treibhausgasemissionen auch Kapitel 4.2). Die Bezeichnung „Gate-to-Gate“ steht hierbei für den Bilanzierungsrahmen eines Corporate Carbon Footprints. Dieser beschränkt sich nur auf die einem Unternehmen oder Unternehmensstandort zuzu-rechnenden Emissionen, z.B. bei Industrie- und Produktionsunternehmen aber auch bei Dienstleistungsunternehmen und umfasst alle Treibhausgasemissionen, vom Werkseingangstor zum Werksausgang – „Gate-to-Gate“.

Beim Product Carbon Footprint wird der gesamte Produktlebenszyklus betrachtet, von der Wiege bis zur Bahre – „Cradle-to-Grave“. Alle entstandenen Emissionen entlang der Wertschöpfungskette sind danach zu berücksichtigen. Im Lebensmittelbe-reich umfasst dies beispielsweise die landwirtschaftliche Produktion mit seinen Vor-ketten über die Produktion, den Verkauf, die Lagerung bis hin zur Entsorgung der Verpackung. Auch bei industriellen Prozessen, wie beispielsweise der Kunststoffpro-duktion, werden über die gesamte Prozesskette, vom Rohstoffabbau bis zur Entsor-gung des Produktes, alle Emissionen berücksichtigt. In sämtlichen Bilanzierungen eines Product Carbon Footprints sind somit auch immer die Entsorgungs-, Verwer-tungs- und Recyclingmaßnahmen enthalten.

2.1 Berechnungsmethode für Corporate Carbon Footprints

Als Berechnungsmethode für die konsistente Berechnung von unternehmensweiten Treibhausgasemissionen hat sich auf internationaler Ebene neben der ISO-Norm 14064-1 das vom World Resource Institute in Zusammenarbeit mit dem World Business Council for Sustainable Development erstellte Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (sog. GHG-Protokoll) etabliert, das vor allem im angelsächsischen Sprachraum breite Anwendung findet. Diese Normen stellen die Grundlagen und Anforderungen zu Quantifizierung, Monitoring und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und -senken auf der Unternehmensebene und garantieren damit, dass eine Tonne emittiertes CO₂ auch einheitlich als eine Tonne CO₂ berichtet wird. Basis der Normen sind die Prinzipien Relevanz, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit, Genauigkeit und Transparenz. Mit diesen Prinzipien soll sichergestellt werden, dass alle berichteten Angaben wahr und korrekt sind, wobei Relevanz für die Auswahl der angemessenen Daten, Vollständigkeit für den Einbezug aller wesentlichen Emissionen, Vergleichbarkeit für die nachvollziehbare Darstellung, Genauigkeit für die Minimierung von Unsicherheiten und Transparenz für die angemessene und ausreichende Datenaufbereitung stehen.

Ähnlich wie das GHG-Protokoll sieht auch die ISO-Norm 14064-1 eine Einteilung der Treibhausgasemissionen in drei „Wirkungsbereiche“ vor:

Scope I: Direkte Emissionen aus Quellen, die vom Unternehmen kontrolliert werden. Hierzu zählen z.B. Heizöl-, Erdgas- und Treibstoffverbräuche.

Scope II: Indirekte Emissionen in Verbindung mit der Erzeugung zugekaufter Energie (Strom, Wärme und Dampf), die vom Unternehmen verwendet wurde. An dieser Stelle findet sich einer der wenigen Unterschiede zwischen der ISO-Norm 14064 und dem GHG-Protokoll: Während die ISO-Norm explizit auch Nah- und Fernwärme mit unter Scope II subsumiert, folgt das GHG-Protokoll strikt dem Verursacherprinzip und rechnet diese Emissionen, ebenso wie die Verluste durch den Transport, direkt den Heizwerken zu.

Scope III: Alle anderen indirekten Emissionen, die durch Aktivitäten des Unternehmens entstehen, deren Quellen sich aber weder im Besitz des Unternehmens befinden noch vom Unternehmen kontrolliert werden. An dieser Stelle werden häufig Flugreisen und Bahnfahrten der Mitarbeiter in die Berechnung mit aufgenommen.

Zusammenfassend empfiehlt sich die Berechnung nach PAS 2050 bei gleichzeitiger Anwendung der ISO 14040 nur auf die Treibhausgasemissionen. Mit diesem Vorgehen werden die führenden Standards auf diesem Gebiet eingehalten.

3 Durchführung der Berechnungen

Der durch die in den Berechnungsmethoden vorgegebene Projektablauf zur Erstellung einer Klimabilanz gliedert sich in die Festlegung des Ziels und der betrachteten Systemgrenzen, der notwendigen Schritte zur Vorbereitung der Datenerhebung, die Datenvalidierung und die Verifizierung der Ergebnisse.

3.1 Festlegungen des Ziels und der Systemgrenzen

Ziel eines Carbon Footprint Projektes ist die Erfassung der unternehmensweiten oder produktbezogenen Treibhausgasemissionen. Ein erster Schritt zur Vorbereitung des Carbon Footprints ist dabei die Eingrenzung des betrachteten Untersuchungsobjekts. Dieser Schritt umfasst die Anzahl der verschiedenen Treibhausgase, die organisatorische, räumliche und zeitliche Abgrenzung sowie die Festlegung des Wirkungsbereichs.

3.2 Festlegungen des Ziels und der Systemgrenzen

Basierend auf den im Kyoto-Protokoll aufgeführten Treibhausgasen, umfassen auch die für die Erstellung von Carbon Footprints relevanten Normen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Stickstoffoxid (N_2O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), vollhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Für eine einheitliche Bemessungsgrundlage werden die Treibhausgase in CO_2 -Äquivalente (Kohlenstoffdioxid-Äquivalente) umgerechnet. Das CO_2 -Äquivalent (Treibhauspotenzial) gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. So ist Methan beispielsweise 21-mal schädlicher als Kohlenstoffdioxid (welches das Potential „1“ hat) und wird daher mit dem Potential „21“ berechnet.

3.3 Organisatorische Grenzen

Die Auswahl der jeweiligen Systemgrenzen und organisatorischen Grenzen gilt es in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen abzustimmen. Häufig kann der Corporate Carbon Footprint optimal als Basis für die Erstellung eines Product Carbon Footprints genutzt werden, da auf diese Weise bereits umfangreiche Daten über die Energieverbräuche im Unternehmen zusammengetragen werden.

3.4 Räumlicher und zeitlicher Umfang

Zur Eingrenzung des Untersuchungsobjektes zählt, gemäß den Prinzipien aus der ISO Norm, auch die transparente und nachvollziehbare Abgrenzung des Standortes oder Produktes. Dabei wird die Analyse der Treibhausgasemissionen beim Corporate Carbon Footprint im ersten Schritt auf die direkten Treibhausgasemissionen und die durch Energiebezug entstehenden indirekten Emissionen bezogen (sog. Gate-to-Gate Ansatz). Beim Product Carbon Footprint bezieht sich die Bilanzierung hingegen auf den gesamten Lebenszyklus eines Produktes - von der Rohstoffproduktion bis zur Entsorgung („Cradle-to-Grave“).

Bei der Erstellung von Corporate Carbon Footprints empfiehlt es sich, einen möglichst langen Zeitraum für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen zu wählen, da dies eine gute Darstellbarkeit bereits durchgeführter Optimierungsmaßnahmen zur Treibhausgasreduzierung im Unternehmen ermöglicht. Je nach Datenverfügbarkeit könnten z.B. die Emissionen mehrerer zurückliegender Jahre berücksichtigt werden, um anhand einer Zeitreihe die bereits erzielte Reduzierung der Energieverbräuche und CO₂-Emissionen aufzuzeigen.

3.5 Vorbereitung der Datenerhebung, Datenauswertung und Darstellung

Zur Bilanzierung des Corporate Carbon Footprints werden einige grundlegende Daten benötigt:

- die Treibstoffverbräuche des eigenen Fuhrparks durch Transporttätigkeiten und Dienstwagen,
- die Energieverbräuche (Strom, Wärme, Treibstoffe) am Standort,
- wenn nötig, spezielle Energieverbräuche für die Produktion (z.B. Propan),
- evtl. CO₂-Senken.

Diese Daten werden auch für die Erstellung des Product Carbon Footprints benötigt, da der Corporate Carbon Footprint einen Abschnitt des Product Carbon Footprints darstellt. Darauf aufbauend werden für die Berechnung von Product Carbon Footprints auch Informationen zu dem gesamten Lebenszyklus des Produktes benötigt. Hierzu zählen vor allem:

- Alle im Produkt enthaltenen Rohstoffe (wobei nach der PAS 2050 Treibhausgasemissionen, die weniger als 1% der gesamten Klimabilanz entsprechen, ausgeklammert werden können, sofern diese zusammengenommen nicht 5% der gesamten Treibhausgasemissionen übersteigen).
- Die bei der Herstellung der Rohstoffe ausgestoßenen Treibhausgase.
- Der Transport der Rohstoffe zur Produktionsanlage.

- Die Produktion des untersuchten Produktes. Dieser Schritt kann auf einem Corporate Carbon Footprint basieren, dessen Ergebnis dann auf eine Produkteinheit bezogen wird.
- Der Transport des Produktes von der Produktionsanlage zum Handel.
- Die durch den Handel verursachten Treibhausgasemissionen z.B. für das Kühnen eines Produktes.
- Die durch den Konsum verursachten Treibhausgase.
- Das Einsammeln und der Transport des Produktes von der Anfallstelle zur Sammelstelle, z.B. einem Recyclinghof oder einer Aufbereitungsstelle.

Diese im Rahmen des gesamten Lebenszyklus emittierten Treibhausgase werden im Idealfall durch eine Primärdatenerhebung aller Abschnitte und Rohstoffe realisiert. Können Unternehmen eine solch umfangreiche Datenerhebung nicht durchführen, z.B. da ihnen nicht alle relevanten Informationen von Zulieferern bereitgestellt werden, oder eine Primärdatenerhebung aufgrund der damit verbundenen Erhebungskosten nicht realisiert werden soll, dann kann gemäß den Anforderungen aus der PAS 2050 auf international anerkannte Werte aus der Literatur zurückgegriffen werden. Hierzu zählen unter anderem die von IPCC veröffentlichten Emissionsfaktoren oder die von ecoinvent und GEMIS erstellten Datenbanken (IPCC 2002; The ecoinvent Centre 2010; GEMIS 2010). Basierend auf den berechneten Daten wird dann ein Emissionsbericht erstellt, in dem die Massenbilanz dargestellt wird. In diesem Zusammenhang werden auch die Unsicherheiten bei der Berechnung herausgearbeitet und quantifiziert.

3.6 Datenväldierung und Verifizierung

Ziel des Verifizierungsprozesses ist eine unparteiische und unabhängige Bewertung der berichteten Emissionen. Hierbei gilt es einen angemessenen Grad der Genauigkeit zu bestimmen, die vorgegebenen Ziele zu überprüfen sowie eine Einschätzung der Datenermittlung und Datenspeicherung vorzunehmen. Bei Erfüllung dieser Anforderungen werden von der Zertifizierungsstelle ein Zertifikat und ein Prüfbericht überreicht. In diesem Prüfbericht wird festgehalten, dass der Emissionsbericht mit hinreichender Sicherheit korrekt ist, die tatsächlichen Verhältnisse zuverlässig wiedergegeben wurden und dieser entsprechend den Anforderungen der ISO-Norm erstellt wurde. Solche Verifizierungen werden unter anderem von Wirtschaftsprüfungsgesellschaften und nach den Regeln des EU-Emissionshandelssystems zertifizierten Umweltsachverständigen und Auditoren angeboten.

4 Ausblick: Carbon Footprints als moderndes Steuerungsinstrument

Der Corporate Carbon Footprint etabliert sich als modernes und zukunftsweisendes Instrument zur Initiierung von Veränderungsprozessen und deren Kommunikation in Unternehmen. Der Carbon Footprint ist ein aussagekräftiger Indikator für das Emissions-, Energie- und Effizienzmanagement im Unternehmen. Aufgrund der stark gestiegenen Energiekosten und der gesetzlichen Initiativen zur Treibhausgasreduktion, wird der Corporate Carbon Footprint auch zunehmend von Investoren und Rating Agenturen als Maßstab für die zukünftige Unternehmensentwicklung herangezogen.

In der Entsorgungswirtschaft werden Carbon Footprints vor allem zur Darstellung der Treibhausgasreduktion durch die werkstoffliche oder energetische Verwendung von Abfällen herangezogen. Beispiele für solche Studien sind:

- Eine vom Fraunhofer UMSICHT 2008 veröffentlichte Studie zum Recycling und Klimaschutz beweist unter anderem, dass PE und PET Rezyklate deutlich weniger Treibhausgase verursachen, als die jeweiligen Primärproduktionen (Fraunhofer UMSICHT 2008).
- Die Leistungen und Potenziale der deutschen und europäischen Abfallwirtschaft für den Klimaschutz wurden vom Öko-Institut und vom ifeu am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz berechnet und veröffentlicht (ifeu und Öko-Institut 2010).
- Eine in Großbritannien durchgeführte Studie von Morethanwaste kommt zu dem Ergebnis, dass durch den Einsatz von PVC-Rezyklate im Gebäudesektor 94 % der Treibhausgasemissionen gegenüber der Verwendung von primär PVC eingespart werden können (Axion Recycling Ltd. 2009).

Die aufgezeigten Beispiele aus der Kunststoffindustrie verdeutlichen, dass die Berechnung eines Carbon Footprints einzelner Produkte dazu dienen kann, die Vorteile herauszustellen und somit weitere Verkaufsargumente zu schaffen. Diese Entwicklung zeichnet sich vor allem bei Ersatzbrennstoffen in der Zement- und Kalkproduktion sowie bei Energieversorgern ab, die dem EU-Emissionshandelssystem unterliegen. Das seit 2005 bestehende EU-Emissionshandelssystem erhöht nach einer Abschätzung der Europäischen Kommission die Kosten der Zementindustrie um 54% und die der Kalkindustrie um 85,9%, gemessen an der Bruttowertschöpfung (Europäische Kommission 2009). Dabei werden, neben den direkten Kosten für Prozessemissionen und den energiebedingten Emissionen durch die eingesetzten Brennstoffe, auch die indirekten Kosten einbezogen, die auf gestiegenen Stromkosten durch den Emissionshandel zurückzuführen sind. Die Prozessemisionen der Produktion einer Tonne Zement liegt beispielsweise bei 0,525 t CO₂ pro t Zementklinker und bei 0,785 t CO₂ pro t Branntkalk (BMU 2007). Diese Prozessemisionen, die durch die Verbrennung der Rohstoffe (Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz) für die Produktion von Zement und Kalkstein und für die Herstellung von Branntkalk entstehen, können

mit derzeitigen Technologien nicht reduziert werden (UBA 2001). Anders verhält es sich bei den benötigten Brennstoffen: Durch den Einsatz von Biomasse können die Treibhausgasemissionen erheblich reduziert werden, womit sich durch die Verknüpfung mit dem Emissionshandelssystem auch die Kostenstrukturen ändern. Die Treibhausgasbilanz, d.h. der Product Carbon Footprint von Ersatzbrennstoffen stellt somit für emissionshandelspflichtige Unternehmen eine wichtige Entscheidungsgröße bei der Wahl der Brennstoffe dar.

Zusammenfassend zeichnet sich in der Entsorgungswirtschaft ab, dass der Carbon Footprint, vor allem aufgrund der Vorteile für emissionshandelspflichtige Unternehmen und des Interesses von Abnehmern, die den ökologischen Vorteil ihrer Rezyklate öffentlichkeitswirksam darstellen möchten, in Zukunft eine wichtige Rolle spielt und sogar als Angabe im Produktdatenblatt gefordert werden könnte. Unternehmen, die dies nicht als Verpflichtung sondern als Chance begreifen und sich auf diesem Gebiet als Vorreiter etablieren, können sich einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und auf vielfältige Weise profitieren.

5 Literatur

- Axion Recycling Ltd.: „Recycling PVC cuts environmental Impact“, Recovinyl News No. 29, 2009.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe - Klima schützen - Kosten senken; Reihe der Umweltleitfäden des LfU, 2009.
- British Standard Institute (BSI): PAS 2050:2008 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, 2008.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Verordnung über die Zuteilung von Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (Zuteilungsverordnung 2012 – ZuV 2012), Berlin 2007.
- Carbon Disclosure Project (CDP): Informationen der Internetpräsenz des CDP www.cdproject.net, Stand April 2010.
- Chevassus, Sylvain, French Sustainable Development Ministry, FR: Carbon and Environmental Labeling in France: Current Status and Outlook. Präsentation gehalten auf dem 3rd PCF World Summit vom 17. Bis 18. März 2010 in Berlin.
- DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006.
- DIN EN ISO 14044:2006-10: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006.
- Europäische Kommission: Results of the quantitative assessment of sectors at NACE 4 level, 2009.
- Frauenhofer UMSICHT: Recycling für den Klimaschutz - Eine Studie von Fraunhofer UMSICHT und Interseroh zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von recycelten Rohstoffen, 2008.
- Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS): Datenbank GEMIS Version 4.5; Stand März 2010.

- Inaba, Atsushi, Kogakuin University, Japan: Carbon Footprinting Activities in Japan – Product Category Rule Approach. Präsentation gehalten auf dem 3rd PCF World Summit vom 17. Bis 18. März 2010 in Berlin.
- Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Öko-Insitut e.V.: Klimaschutspotenzial der Abfallwirtschaft Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz 2010.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): National Greenhouse Gas Inventories Programme; Emission Factor Database – EFDB, 2002.
- ISO 14064-1:2006: Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, 2006.
- ISO 14064-3:2006: Greenhouse gases - Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions, 2006.
- ISO Technical Committee (TC 207/SC 7): ISO/CD 14067-1: Carbon footprint of products - Part 1: Quantification; Under Development.
- Joe, Gyu-Soo, KEITI, Korea: Experiences with Carbon Footprinting and Carbon Labeling in Korea. Präsentation gehalten auf dem 3rd PCF World Summit vom 17. Bis 18. März 2010 in Berlin.
- Sylvain Krost, H.: Lebensmittel-Zeitung, Journal 26.06.2009, „Wal-Mart auf Obama Kurs. Der weltgrößte Einzelhändler nutzt die Gunst der Stunde und setzt sich an die Spitze der US-Öko-Bewegung – Musterknabe“, 2009.
- Euan Murray, Carbon Trust, UK: Consideration on the Future of PCF. Präsentation gehalten auf dem 3rd PCF World Summit vom 17. Bis 18. März 2010 in Berlin.
- PCF World Forum: 3rd PCF World Summit - Business Sector Approaches to Product Carbon Footprinting 17-18 March 2010.
- Tesco: Informationen der Internetpräsenz „Measuring our Carbon Footprint“ <http://www.tesco.com/climatechange/carbonFootprint.asp>, Stand Februar 2010.
- The ecoinvent Centre - Swiss Centre for Life Cycles inventories (LCI): Database ecoinvent data v2.1, Stand April 2010.
- Umweltbundesamt (UBA): BREF-Dokumente: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, 2001.
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development: The Greenhouse Gas Protocol Initiative - A Corporate Accounting and Reporting Standard, 2004.
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development: The Greenhouse Gas Protocol Initiative - Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard (draft), 2009.
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development: The Greenhouse Gas Protocol Initiative - Scope 3 Accounting and Reporting Standard (draft), 2009.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Ressourcenschonung durch ortsnah Entsorgung und Tourenoptimierung

Dr.-Ing. Markus Weber
BAUREKA Baustoff-Recycling GmbH, Kassel

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Ausgangssituation

Seit Anfang der 1970er Jahre wurde der überwiegende Teil der ehemals über 50.000 überwiegend „wilde“ Müllkippen in Deutschland sukzessiv geschlossen. Heute hat die Abfallbehandlung eine deutlich zentralere Struktur, verbunden mit erheblich größeren Transportentfernungen für die Abfälle, besonders im ländlichen Raum. Die Konsequenzen sind ein erheblicher Anstieg der Abfalltransporte auf den Straßen und ein erheblicher Anstieg der CO₂-Emissionen.

Da Restabfalltransporte mit Sammelfahrzeugen über große Entfernungen unwirtschaftlich sind, muss auch die Transportlogistik geändert werden. Obwohl die Restabfälle zu größeren Transporteinheiten gebündelt wurden, stiegen Transportaufwand und –kosten sowie CO₂-Emissionen für diese Abfalltransporte. Da diese Abfälle weiterhin überwiegend mit Lkw transportiert werden, stieg die Straßenverkehrsbelastung ebenfalls stark an.

Die neue, zentralere Entsorgungsstruktur führt einerseits zu einer umweltfreundlicheren Aufbereitung der Abfälle, andererseits führt sie zu einer unvermeidbaren Verkehrszunahme durch Abfalltransporte und damit verbundenen höheren Schadstoffemissionen. Hinzu kommt eine vermeidbare Verkehrszunahme, weil die Abfälle nicht immer zur nächstgelegenen Anlage befördert werden.

Mit einer Neuverteilung der Abfallströme (Abfalltausch) könnte eine Senkung der Transportkilometer und –kosten sowie der CO₂-Emissionen erreicht werden. Am Beispiel der Restabfalltransporte von Hessen sollen die Einsparpotentiale der CO₂-Emissionen erläutert werden.

2 Problemstellung

In Städten mit einer Abfallbehandlungsanlage (z.B. MVA) werden die entsprechenden Abfälle (z.B. Restabfälle) über Entfernungen unter 20 km transportiert. Eine Reduzierung dieser Abfalltransporte ist beispielsweise durch eine veränderte Tourenplanung oder durch den Einsatz anderer Fahrzeugaufbauarten möglich. Eine Reduzierung der Abfalltransporte durch einen Abfalltausch ist in diesem Fall nicht möglich, da die Abfälle bereits zur nächstgelegenen Anlage transportiert werden.

In ländlichen Regionen ist der Betrieb einer Abfallbehandlungsanlage für einige Abfälle (z.B. Restabfall) nur für mehrere Kommunen sinnvoll, wenn eine hohe Anlagenauslastung erreicht werden kann. Allerdings werden die andienungspflichtigen Abfälle aus privaten Haushaltungen der ländlichen Regionen trotz dieser Möglichkeit häufig nicht zur nächstgelegenen geeigneten Abfallbehandlungsanlage transportiert. Die Gründe hierfür können etwa.

- die Verwaltungsgrenzen (Bundesländer, Landkreise, ...),
- der Zeitpunkt des Vertragsschlusses zwischen Kommunen und Abfallbehandlungsanlagenbetreibern,

- der Zeitpunkt der in Betriebnahme der Abfallbehandlungsanlage,
- die Entsorgungskosten oder
- die abwartende Haltung einiger Kommunen während der Übergangszeit bis zum 1. Juni 2005

sein. Die Ausschreibungen der Kommunen in Deutschland für die Entsorgung der andienungspflichtigen Abfälle aus privaten Haushaltungen erfolgten nicht zu einem Stichtag. So kann es sein, dass einige Kommunen bereits vor vielen Jahren ihren Vertrag mit dem Betreiber der für den jeweiligen Abfall nächstgelegenen Abfallanlage schlossen, aber in den letzten Jahren vielleicht noch für diesen Abfall neue Abfallbehandlungsanlagen in kürzerer Entfernung gebaut wurden. Andererseits kann es sein, dass einige Kommunen fast bis zum Ende der Übergangsfrist abgewartet haben und nur noch Entsorgungsmöglichkeiten in weit entfernten Abfallentsorgungsanlagen für den jeweiligen Abfall vorhanden waren. In anderen Fällen wurden wegen niedriger Entsorgungskosten größere Transportentfernungen akzeptiert. Eine Kombination mehrerer Gründe kann ebenfalls ausschlaggebend sein.

Die Kommunen und die Abfallanlagenbetreiber haben in der Regel langfristige Verträge geschlossen. Beide Vertragsparteien können mit den vereinbarten zu entsorgenden Abfallmengen über die Vertragslaufzeit planen. Die Kommunen haben eine Entsorgungssicherheit und die Abfallanlagenbetreiber können mit den Abfallmengen ihre Anlagenkapazität ausnutzen und einen wirtschaftlichen Betrieb gewähren. Die Folge ist ein sehr hohes und teilweise vermeidbares Transportaufkommen durch den Transport von andienungspflichtigen Abfällen aus privaten Haushaltungen.

3 Lösungsansatz

Für die Entsorgung von andienungspflichtigen Abfällen aus privaten Haushaltungen (Siedlungsabfälle) zwischen den Kommunen und den Abfallbehandlungsanlagenbetreibern bestehen langfristige Verträge, in denen u.a. die zu entsorgenden Abfallmengen und Entsorgungskosten vertraglich geregelt sind. Diese Verträge müssen bei der Einführung eines Abfalltausches nicht verändert werden und haben weiterhin ihre Gültigkeit. Allerdings werden die andienungspflichtigen Abfälle aus privaten Haushaltungen nicht von der Kommune angeliefert, mit der die Abfallbehandlungsanlage den Vertrag geschlossen hat, sondern von einer zweiten oder dritten. Im Gegenzug liefert diese Kommune ihre andienungspflichtigen Abfällen aus privaten Haushaltungen zu einer anderen Abfallbehandlungsanlage, immer mit dem Ziel der Senkung der Transportentfernungen und -kosten. Die Entsorgungskosten bleiben für jede einzelne Kommune trotz Abfalltausch unverändert, allerdings werden die Transportkosten in einem nicht unerheblichen Maße reduziert. Die zu den Abfallbehandlungsanlagen angelieferten Abfallmengen bleiben unverändert.

Der Abfalltausch ist auch dann möglich, wenn die Abfallmengen zweier Kommunen unterschiedlich groß sind. In diesem Fall wird ein Teil des größeren Abfallstroms zu der Abfallbehandlungsanlage mit der größeren Kapazität transportiert. Der Abfall-

tausch ist nicht nur für gleiche Abfälle, sondern auch für gleichartige Abfälle möglich^[WEBER 2007].

Im Folgenden soll ein vereinfachtes, aus einer konkreten realen Situation abgeleitetes Eingangsbeispiel den Abfalltausch vorstellen.

In der Anfangssituation werden jeweils 40.000 t/a Abfälle zweier Landkreise von den Umladestationen (US) über die in Bild 1 (links) angegebenen Entfernungen zu Abfallbehandlungsanlagen (AB) befördert. Die rechte Abbildung von Bild 1 zeigt die veränderten Abfallströme und die neuen Transportentfernungen für beide Landkreise nach einem Abfalltausch.

Durch die Optimierung der Abfallströme mit Hilfe des Abfalltauschs kann die jährliche Gesamtlastfahrten-Fahrleistung bei einer Frachtleistung von 20 t/Tour für beide Landkreise von 6,25 km/t um 40% auf 3,75 km/t bzw. von 250.000 km/a auf 150.000 km/a gesenkt werden (Tabelle 1 und Tabelle 2).

Es ist in der Regel nicht möglich, für beide Landkreise Transportkosteneinsparungen zu erreichen. So steigen im Beispiel die Transportkosten von Landkreis Y um 30% (2,25 €/t bzw. 90.000 €/a) an. Diese Erhöhung wird aber durch eine ca. 72%ige (9,75 €/t bzw. 390.000 €/a) Transportkosteneinsparung des Landkreises X mehr als kompensiert (Tabelle 1 und Tabelle 2). Damit der Abfalltausch auch für den Landkreis Y mit der Transportkostenerhöhung wirtschaftlich wird, müssen die Mehrkosten und die Kosteneinsparungen auf beide Kommunen aufgeteilt werden^[WEBER 2007].

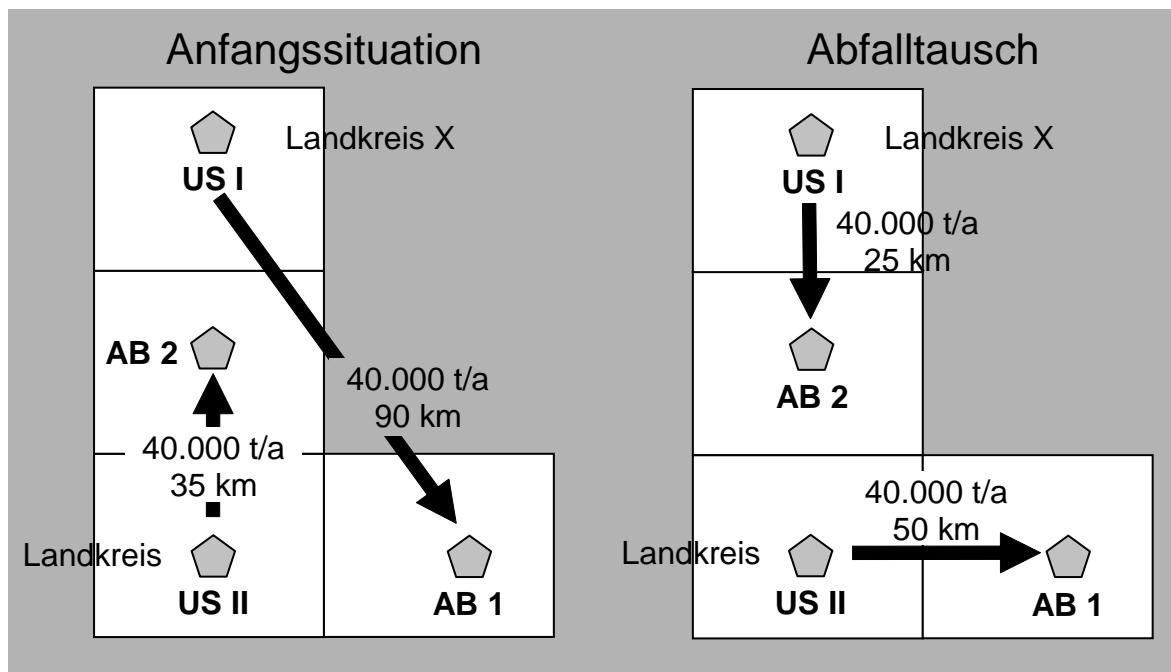


Bild 1: Abfallströme zweier Landkreise für die Anfangssituation und den Abfalltausch

Tabelle 1: Anfangssituation: Lastfahrten-Fahrleistungen und Transportkosten

Anfangssituation	Lastfahrten-Fahrleistungen			Transportkosten		
	[km/Tour]	[km/a]	[km/t]	[€/Tour]	[€/a]	[€/t]
Landkreis X – AB 1	90	180.000	4,50	270	540.000	13,50
Landkreis Y – AB 2	35	70.000	1,75	105	210.000	5,25
Summe	125	250.000	6,25	375	750.000	18,75

Tabelle 2: Abfalltausch: Lastfahrten-Fahrleistungen und Transportkosten

Anfangssituation	Lastfahrten-Fahrleistungen			Transportkosten		
	[km/Tour]	[km/a]	[km/t]	[€/Tour]	[€/a]	[€/t]
Landkreis X – AB 2	25	50.000	1,25	75	150.000	3,75
Landkreis Y – AB 1	50	100.000	2,50	150	300.000	7,50
Summe	75	150.000	3,75	225	450.000	11,25

4 Parameter für ökologische Bewertung

Für die Restabfalltransporte haben sich folgende Fahrzeugaufbauarten bewährten:

- Sammelfahrzeuge,
- Schubbodensattelauflieder (Walking-Floor bzw. Pushing-Floor),
- Containergliederzüge,
- Wechselcontainersammelfahrzeuge und -gliederzüge.

Tabelle 3: Angenommene technische Daten der Fahrzeugarten für Abfalltransporte^[WEBER 2007]

Fahrzeug	Technische Daten
Sammelfahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> • Frachtleistung 8,1 t/Tour • Behältervolumen 27 m³
Containergliederzug	<ul style="list-style-type: none"> • Frachtleistung 19,3 t/Tour • Behältervolumen 2 x 36 m³
Wechselcontainergliederzug	<ul style="list-style-type: none"> • Frachtleistung 16,2 t/Tour • Behältervolumen 2 x 27 m³
Schubbodensattelauflieder	<ul style="list-style-type: none"> • Frachtleistung 24,5 t/Tour • Behältervolumen 90 m³

In Tabelle 3 sind die angenommenen technischen Daten der Fahrzeugarten für Restabfalltransporte zusammenfassend dargestellt.

Weitere Grundlage für die ökologische Bewertung der Abfalltransporte bildeten die spezifischen CO₂-Emissionen der Fahrzeuge, die mit Hilfe des Handbuches „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 1.2 /Jan. 1999“ ermittelt wurden. In Tabelle 4 sind daraus ermittelte Mittelwerte dargestellt, die für eine Abschätzung der CO₂-Emissionensberechnung dienten.

Tabelle 4: CO₂-Emissionen der Fahrzeuge

CO ₂ -Emissionen	Lastfahrt [kg/km]	Leerfahrt [kg/km]
Sammelfahrzeuge	0,66	0,53
Containergliederzüge WC-Gliederzüge	1,22	0,75
Schubbodensattelaufleger	1,45	0,86

5 Restabfalltausch Hessen

Bei den Last- und Leerfahrten der Anfangssituation (etwa 8 Mio. km/a) für die hessischen Restabfälle werden etwa 4.400 t/a CO₂ emittiert. Vergleichbar mit den Fahrleistungseinsparungen können mittels Abfalltausch auch die CO₂-Emissionen gesenkt werden. Die Einsparungen in Hessen liegen für einen Abfalltausch bei 492 t/a (11,2%). Werden zusätzlich zum Abfalltausch die Fahrzeugaufbauarten, die die geringsten Fahrleistungen benötigen eingesetzt, so können die CO₂-Emissionen gegenüber der Anfangssituation um 31,9% auf ca. 3.000 t/a gesenkt werden.

Für die Fahrleistungen des Landkreises Kassel werden 597 t/a CO₂ emittiert. Mit dem Abfalltausch könnten die CO₂-Emissionen um 34,9% auf 389 t/a und beim zusätzlichen Einsatz der Fahrzeugaufbauarten, die die geringsten Fahrleistungen benötigen, könnten die CO₂-Emissionen um 81,7% auf 109 t/a reduziert werden (Bild 2). Gleiches gilt beispielsweise für den Landkreis Marburg-Biedenkopf, für dessen Restabfalltransporte in der Anfangssituation 507 t/a CO₂ freigesetzt werden und durch den Abfalltausch um 21,4% auf 399 t/a bzw. durch zusätzlichen Einsatz der Fahrzeugaufbauarten, die die geringsten Fahrleistungen benötigen, um 50,7% auf 250 t/a gesenkt werden. Bei den Landkreisen, bei denen die Fahrleistungen durch einen Abfalltausch nicht reduziert werden können, bleiben die CO₂-Emissionen gegenüber der Anfangssituation ebenfalls unverändert (z.B. Landkreis Fulda).

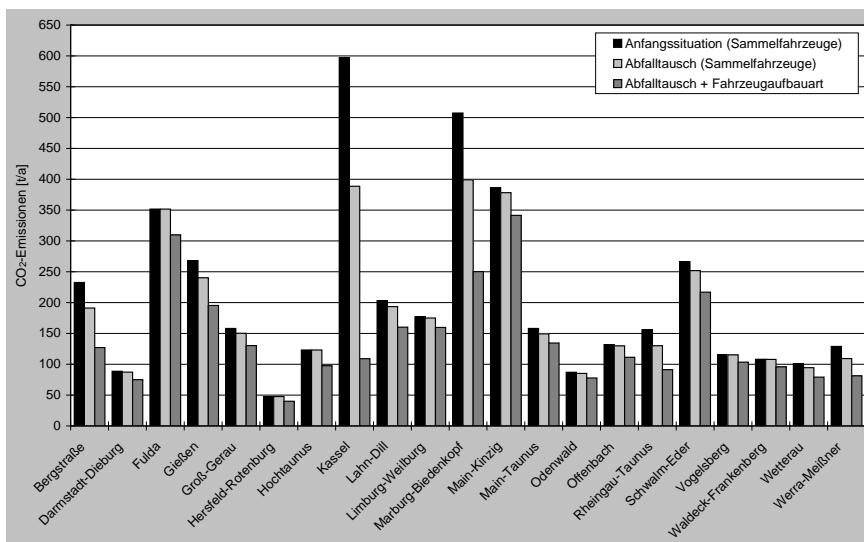


Bild 2: Hessen- CO₂-Emissionen der Fahrleistungen (Last- und Leerfahrten) für die Restabfalltransporte der Landkreise

Die spezifischen CO₂-Emissionen von Hessen der Anfangssituation, des Abfalltauschs mit Sammelfahrzeugen und mit der Fahrzeugaufbauart, die die geringsten Fahrleistungen erfordert, sind in Bild 3 dargestellt. Die spezifischen CO₂-Emissionen der Fahrleistungen (Last- und Leerfahrten) der Restabfalltransporte der Landkreise sind analog zu den spezifischen Fahrleistungen. Auch hier sind die spezifischen CO₂-Emissionen der Fahrleistungen für den Landkreis Marburg-Biedenkopf für die Ausgangssituation, Abfalltausch und Abfalltausch + Fahrzeugaufbauart im Gegensatz zu den CO₂-Emissionen [t/a] höher als beim Landkreis Kassel. Der Grund hierfür sind wieder die niedrigeren Abfallmengen des Landkreises Marburg-Biedenkopf. Mit dem Abfalltausch können die spezifischen CO₂-Emissionen des Landkreises Marburg-Biedenkopf von 14.200 g/t um 19,6% (3.002 g/t) auf 11.198 g/t und bei zusätzlichem Einsatz der Fahrzeugaufbauart mit den geringsten Fahrleistungen um 49,2% (7.416 g/t) auf 6.784 g/t reduziert werden.

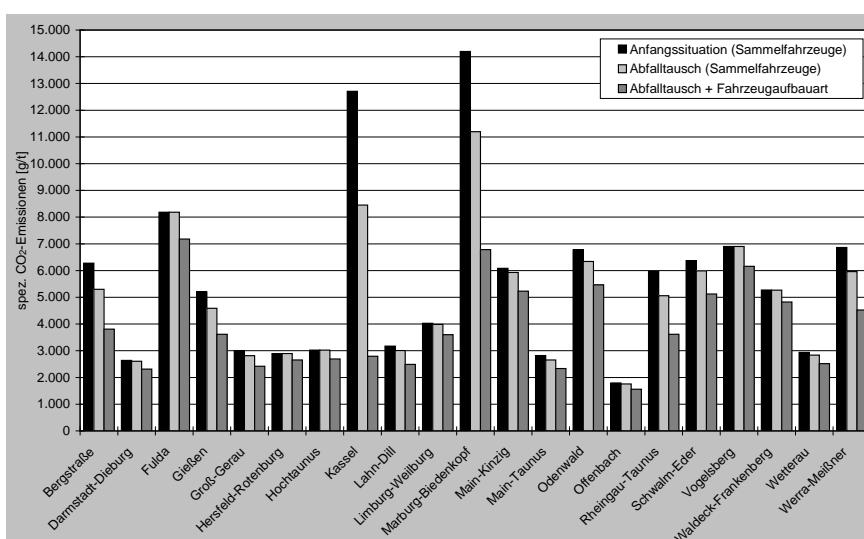


Bild 3: Hessen- Spezifische CO₂-Emissionen der Fahrleistungen (Last- und Leerfahrten) für die Restabfalltransporte der Landkreise

Ausgehend von den getroffenen Annahmen für die Anfangssituation und den Abfalltausch ohne und mit Einsatz der Fahrzeugaufbauarten, die die geringsten Fahrleistungen verursachen, können ebenfalls die Transport- und Umschlagkosten wie auch die CO₂-Emissionen für die Restabfalltransporte von Hessen und Baden-Württemberg für die einzelnen Landkreise reduziert werden.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass eine Reduzierung der Fahrleistungen für alle betrachteten Abfalltransporte gleichzeitig eine Reduzierung der Gesamtkosten (Umschlag- und Transport) und der CO₂-Emissionen zur Folge hat (Bild 4). Beispielsweise betragen für den Landkreis Kassel die Fahrleistungseinsparungen 78,4%, die Transportkosteneinsparungen 64,9% und die CO₂-Emissionseinsparungen 34,0%.

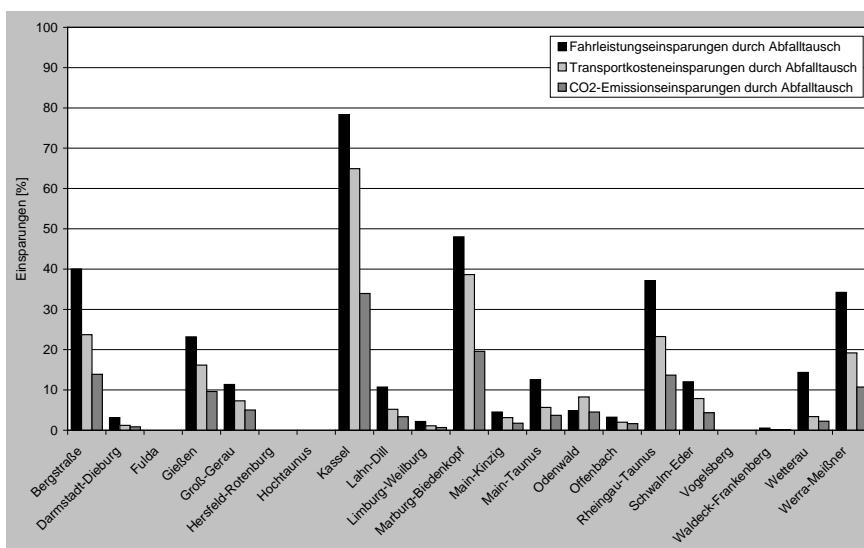


Bild 4: Hessen- Prozentuale Einsparungen der Fahrleistungen, der Transportkosten- und der CO₂-Emissionen durch Restabfalltausch gegenüber der Anfangssituation

Je nach den Randbedingungen der Abfalltransporte ergeben sich mehrere Möglichkeiten für Abfalltausche. Es gibt eine Lösung, welche die niedrigsten CO₂-Emissionen besitzt, aber es gibt nicht DIE Lösung, sondern immer mehrere. Bild 5 zeigt die Restabfalltransporte der Anfangssituation und Bild 6 zeigt eine Möglichkeit des Abfalltauschs

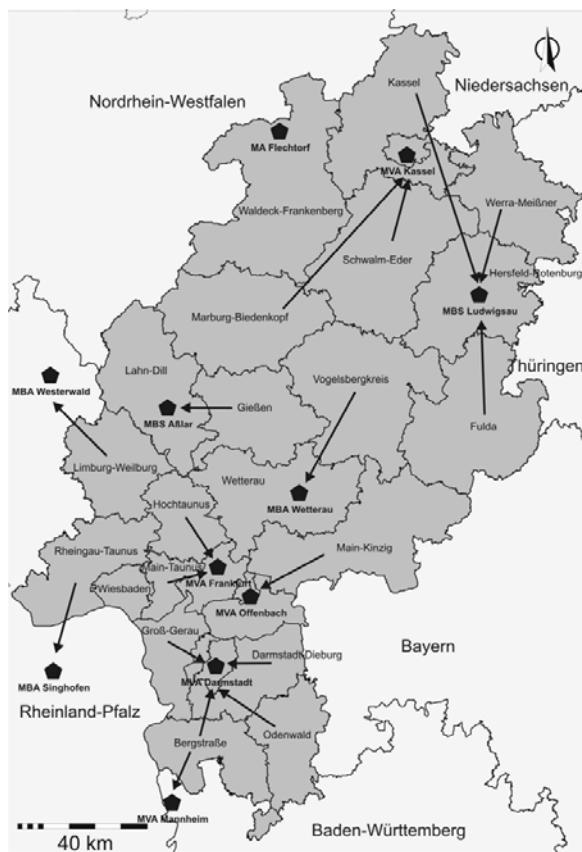


Bild 5: Hessen- Restabfallströme der Anfangssituation

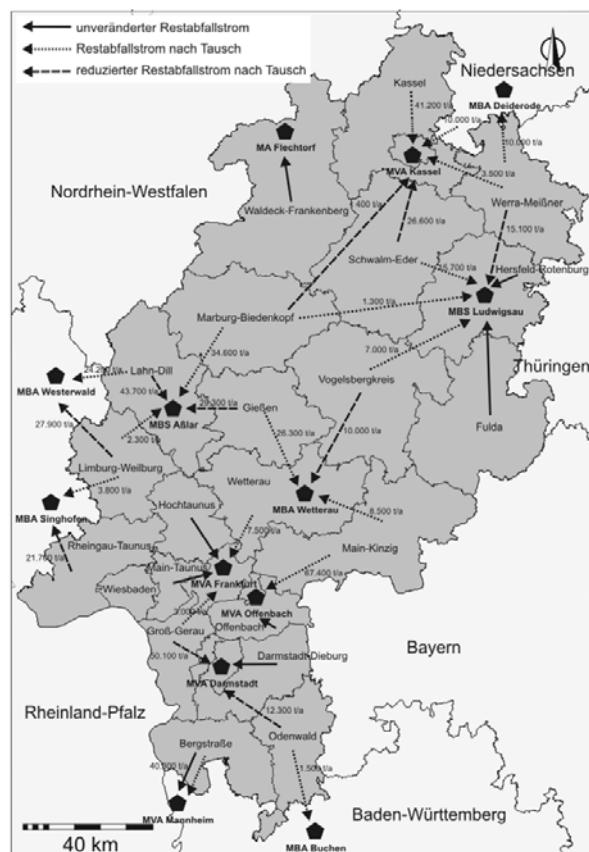


Bild 6: Hessen- Eine Möglichkeit des Restabfalltausch

6 Zusammenfassung

Die am 1. Juni 2005 in Kraft getretene Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) führte zu einer neuen, zentraleren Entsorgungsstruktur. Die Folgen sind ein erheblicher, unvermeidbarer Anstieg der Straßenverkehrszunahme durch Abfalltransporte, welcher durch eine vermeidbare Straßenverkehrszunahme erhöht wird, weil die Abfälle nicht immer zur nächstgelegenen Abfallbehandlungsanlage, überwiegend mit Lkw, transportiert werden. Durch entsprechende Optimierungen der Abfalltransporte könnten nicht nur die Fahrleistungen beträchtlich gesenkt werden, sondern auch die Transportkosten und die Emissionen. In Hessen könnten mittels Abfalltausch unter diesen Annahmen die Fahrleistungen von fast 4 Mio. km/a um fast 25% auf etwa 3,1 Mio. km/a reduziert werden. Die Transportkosten könnten dabei von ca. 17 Mio. €/a um 17,6% auf ca. 14 Mio. €/a und die CO₂-Emissionen von ca. 4.390 t/a um 11,2% auf ca. 3.900 t/a vermindert werden. Außerdem könnte für Hessen mittels geeigneter Fahrzeugaufbauarten die Fahrleistungen gegenüber der Anfangssituation maximal um 42,5% auf 2,3 Mio. km/a reduziert werden. Die Transportkosten inklusive Umladekosten würden um maximal 41,8% auf 9,9 Mio. €/a gesenkt und die CO₂-Emissionen maximal um 68,1% auf 2.990 t/a reduziert.

7 Literatur

UBA Berlin, BUWAL Bern, UBA Wien: Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 2.1 - Dokumentation, Bern, Heidelberg, Graz, Essen (2004), 127 S.

Weber, M.: Abfalltausch – Reduzierung von Siedlungsabfalltransporten mit Lkw unter ökologischen und ökonomischen Aspekten, Kassel (2007), 142 S.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Potentiale der Treibstoffeinsparung durch Fahrertraining

Dipl.-Ing. Bernd Sackmann
Berliner Stadtreinigung, Anstalt des öffentlichen Rechts

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einleitung

Der Gesamtkraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs aller in Deutschland fahrenden in- und ausländischen Nutzfahrzeuge lag 2008 bei rund 15 Mio. Tonnen flüssigem, konventionellem Dieselkraftstoff. Biokraftstoffe, die Diesel ersetzen bzw. ergänzen hatten 2008 nur noch einen marginalen Anteil von ca.5%. Der Straßengüterverkehr hat damit 2008 rd. 47 Mio. Tonnen CO₂ imitiert^[1]. Neuere Untersuchungen zeigen, dass selbst bei ambitionierten Nutzfahrzeugentwicklungen und Effizienzverbesserungen CO₂- Emissionen weiter steigen werden, da Verkehrs- und Fahrleistungen des Straßengüterverkehrs Fortschritte bei den spezifischen Verbräuchen mehr als kompensieren. Laut Shell LKW- Studie steigt der gesamte Kraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs bis 2030 gegenüber 2005 um ca. 54% auf rund 23 Mio. Tonnen flüssiger Kraftstoffe pro Jahr. Gut 20 Mio. Tonnen sind davon konventioneller Diesel und etwa 2,7 Mio. Tonnen sind Biokraftstoffe die Diesel ersetzen bzw. ergänzen.

Im EU- Klima- Programm wurde das Jahr 2005 als neues Basisjahr für die EU- Klimaschutzpolitik festgelegt. Das Ziel für Deutschland lautet gem. Anhang minus 14% für die Nicht- Emissionshandelssektoren, darunter auch der Verkehrsbereich im Zeitraum 2020/ 2005. Eine 14%- Reduktion für den Verkehrsbereich bis 2020 dürfte, angesichts einer prognostizierten Fahrkilometerzunahme im Straßengüterverkehr von rund 69 Mrd. Kilometer in 2005 auf 117 Mrd. Kilometer^[2] in 2030^[3], selbst bei Ausschöpfung aller bisher erkennbaren Effizienzverbesserungen für Nutzfahrzeuge und Personenkraftwagen kaum erreichbar sein. Vor diesem Hintergrund müssen alle verkehrswirtschaftlichen Akteure heute intensiv nach Möglichkeiten suchen, um die Energieeffizienz im motorisierten Straßengüterverkehr zu erhöhen, respektive den Energieverbrauch und damit die CO₂- Emission zu senken. Zur Verbesserung der Energie- und Verringerung der Klimawirkung des Straßengüterverkehrs bieten sich im Wesentlichen 4 Ansatzpunkte: Antriebssysteme, Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch, Fahrzeugtechnik sowie Fahrverhalten und Verkehrsmanagement.

2 Antriebe, Kraftstoffe, Technik

2.1 Antriebe

Der auch zukünftig dominante Dieselantrieb ist technologisch noch nicht ausgereizt. Effizienzverbesserungen beim Dieselantrieb werden mittelfristig zu effektiven Einsparungen von ca. 10% führen. Im Wesentlichen dürfte mit der Verbesserung der Brennraumgestaltung, der Ladeluftkühlung, der Motorsteuerung, der Erhöhung der Einspritzdrücke, der Reduzierung der Motorreibung und automatisch elektronisch ge-

schalteten Getrieben sowie mit bedarfsgerecht gesteuerten Nebenaggregaten vorstehend genannte Einsparung zu erreichen sein.

Alternative CNG- Antriebe für Nutzfahrzeuge sind derzeit nicht so effizient wie Dieselmotoren. Wird das Effizienzpotential aktiviert, können Wirtschaftlichkeit und CO₂- Ausstoß verbessert werden. Zusätzliche CO₂- Minderungspotentiale bietet der Betrieb mit Biogas. Mittelfristig werden weiterentwickelte CNG- getriebene Nutzfahrzeuge keinen signifikanten Marktanteil erreichen und damit nur einen geringen Beitrag zur CO₂- Einsparung leisten.

Hybrid- und Elektrofahrzeuge stehen im Nutzfahrzeugbereich erst am Anfang ihrer Entwicklung. Derartige Antriebe eignen sich für Fahrprofile mit hohem Stop- and- go-Anteil, zum Beispiel im städtischen Sammel- und Verteilverkehr. CO₂- Minderungspotentiale liegen bei Nutzfahrzeugen mit Start- Stopp- Automatik zwischen 3 – 6%, bei Mittel-/ Voll- Hybridantrieben zwischen 15 – 25% und bei Elektroantrieben zwischen 15 – 30%. Hybrid- und Elektrofahrzeuge werden, wie CNG- Nutzfahrzeuge mittelfristig nur einen relativ kleinen Beitrag zu Reduktion von CO₂ leisten.

2.2 Kraftstoffe

Fossile Kraftstoffe sollen bis 2020 im Verkehrssektor durch 12 – 15% erneuerbare Energien ersetzt werden^[4]. Der größte Anteil besteht aus Biokraftstoffen die gegenüber mineralischem Diesel heute CO₂- Emissionsminderungen von mindestens 35% und ab 2017 von 50 – 60% aufweisen müssen.

2.3 Technik

Durch Optimierung der Fahrzeugtechnik können zusätzlich erhebliche Potentiale zur Reduktion des Energieverbrauches und der CO₂- Emission erschlossen werden. Hauptansatzpunkt ist die Reduktion des Fahrwiderstandes mit seinen Hauptkomponenten Roll- und Luftwiderstand. Leichtlaufreifen und Leichtbau werden erheblich an Bedeutung gewinnen und mittelfristig zu einer 5%-igen Kraftstoffeinsparung führen^[5]. Weitere Möglichkeiten zum Kraftstoffsparen bieten Verkehrsmanagementsysteme, z.B. Platooning, Predictive Cruise Control, automatische Reifenluftdruckkontroll- und Telematiksysteme mit einem Flotten- und Fahrermanagement.

Schließlich kann auch mit der Schulung der Fahrer erfolgreich der Kraftstoffverbrauch reduziert werden.

3 Fahrertraining

Auf rationelle Fahrweisen geübte Fahrer können bei Fahrten mit städtischen Fahrprofilen gegenüber ungeübten Fahrern bis zu 10% des Kraftstoffes bei vergleichbaren Touren und Fahrzeuggewichten einsparen. Im Durchschnitt ist mit nachhaltigen Fahrerschulungen eine Kraftstoff- und Emissionsminderung über alle Fahrprofile von 5% im Güterkraftverkehr realisierbar, die zu einer Einsparung von rund 900 Mio. Liter Kraftstoff und 2,4 Mio. Tonnen CO₂ (Basis: Verbrauch 2008) führen würde. Die Weiterbildung von Fahrern zum rationellen Umgang mit dem Fahrzeug im Straßenverkehr ist heute für Unternehmen aus wirtschaftlichen Gründen und unter Umweltgesichtspunkten ein Muss. Weiterbildung, also die Vertiefung, Erweiterung oder Erneuerung von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten sollte zur Qualifizierung von Fahrern hohe Übungs- und systematische Trainingsanteile enthalten, um langfristige Verhaltensänderungen zu erzielen.

3.1 Energiesparende/ Rationelle Fahrweise

Energiesparende Fahrweise bezeichnet ein Verhalten, mit dem der auf die zurückgelegte Strecke bezogene Energieverbrauch gesenkt werden soll. Ein Landfahrzeug benötigt, um eine bestimmte Strecke zurückzulegen eine spezifische Energiemenge in Form von Kraftstoff (Kraftfahrzeug) bzw. Muskelkraft (Fahrrad). Energiesparende Fahrweisen praktizieren wir Menschen beim Radfahren – wir können es also. Der Sklave für unsere Mobilität in Form von fossilen oder mineralischen günstigen Kraftstoffen verhindert offensichtlich rationelle und unserer Umwelt zuträgliche Verhaltensweisen.

Einige Beispiele:

- Fährt der Radfahrer nach dem Anfahren möglichst weit im niedrigsten Gang?
- Tritt der Radfahrer an einer roten Ampel im Leerlauf?
- Tritt der Radfahrer beim Erkennen einer roten Ampel nochmals besonders kräftig in die Pedale?
- Tritt der Radfahrer bergab in die Pedale?
- Fährt der Radfahrer gerne mit wenig Luft in den Reifen?
- Nimmt der Radfahrer möglichst viel Gepäck mit auf seine Radtour?
- Fährt der Radfahrer gerne bei kräftigem Gegenwind... und so weiter.

Nachfolgende Fähigkeiten und Fertigkeiten müssen in Form von Übungen und Trainings zur Realisierung zuvor genannter Einsparpotentiale vermittelt werden.

- Kenntnisse und Fähigkeiten über physikalisch- technische Fahrwiderstände und Zusatzaggregate,

- Fertigkeiten zur Beschleunigung, Verlangsamung, Konstantfahrt und Stehen.

2 CO₂- Einsparungspotentiale durch Fahrertraining bei Abfallsammel- und Abrollkipperfahrzeugen

Der Verbrauch bei Abrollkipperfahrzeugen wird wesentlich bestimmt durch:

- die Fahrweise,
- das Gesamt- oder Transportgewicht,
- die Topografie,
- den Nah- und Fernverkehrsanteil und
- die Verkehrsdichte.

Trainierte Fahrer weisen gegenüber untrainierten Einsparungen zwischen 10 und 20% bei vergleichbaren städtischen Touren auf. Es ist davon auszugehen, dass bei Abrollkipperfahrzeugen mit städtischen Einsatzprofilen der Kraftstoffverbrauch durch Fahrerschulungen nachhaltig um 10% gesenkt werden kann.

Der Verbrauch bei Abfallsammelfahrzeugen wird wesentlich bestimmt durch:

- dem Verhältnis zwischen Fahr- und Sammelstrecke,
- der Fahrweise,
- dem Gesamtgewicht,
- dem Stop- and- go- Anteil und
- der Verkehrsdichte.

Trainierte Fahrer weisen gegenüber untrainierten Kraftstoffeinsparungen zwischen 5 und 10% bei vergleichbaren Sammeltouren auf.

Die Stadtreinigung Hamburg hat mit Fahrerschulungen im Zeitraum 2003 bis 2005 den Durchschnittsverbrauch der Abfallsammelfahrzeugflotte um 6 l/ 100 km, von ca. 80 auf 74 l/ 100 km senken können.

4 Fazit

Mit nachhaltigen Fahrerausbildungen können Kraftstoff- und CO₂- Emissionsminde rungen von > 5% realisiert werden. Zudem geht gut ausgebildetes Personal in aller Regel mit den Fahrzeugen schonender um, was hilft die Instandhaltungs- und Unfallkosten zu reduzieren.

5 Literatur

[1] Ökobilanzdatenbank GEMIS 4.2: 2.624 g CO₂/ l Diesel

- [2] Website des Bundesverkehrsministeriums: www.bmvbs.de
- [3] Shell- LKW- Studie
- [4] BMU: Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie. Berlin, April 2008, S.19 f
- [5] Wiebke Zimmer, Uwe Fritzsche: Klimaschutz und Straßenverkehr, Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausemission. Friedrich- Ebert- Stiftung (Hrsg.), Bonn, S.21

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Klimaschutz durch innovative Antriebe und Logistikkonzepte

Dipl. Ing. Geerd Hübner
HALLER Umweltsysteme GmbH & Co, Berlin

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

HALLER

Systeme für Profis

Fachtagung vom 10.-11. Juni 2010 in Kassel

„Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft“

THEMA

Klimaschutz durch
innovative Antriebe und
Logistikkonzepte

Dipl.Ing. Geerd Hübner
HALLER Umweltsysteme GmbH & Co
Berlin

Themenblöcke

- **HALLER stellt sich vor**
- **Hydraulischer Hybridantrieb, eco**
- **Logistiksystem LoToS**
- **Weitere HALLER Projekte mit Klimaschutzeffekten**

HALLER

Systeme für Profis

HALLER = Kompetenz + Innovation + Qualität

mit Kommunalfahrzeugen
in den Bereichen

- Entsorgungssysteme
- Behälterreinigungssysteme
- Straßenreinigungssysteme

Unternehmen mit Tradition

1871 Gründung der Fa. Weygandt & Klein

Produktion von Tank-, Müllsammel- und Straßenreinigungsfahrzeugen als Pferdefuhrwerke



1948 HALLER Schneckenmüllwagen



1964 Müllsammelfahrzeuge M 10 K + S mit hydraulischem Pressplattensystem



1977 Müllsammelfahrzeuge Typ x bis 31 m³



1994 Einführung des LoToS-Systems -
Logistisch optimales Entsorgungssystem zum
Transportieren ohne Sammelpause



2003 Weltweit erstes Entsorgungsfzg. mit
chassiskonformem CleANopenbus



Produkte + Dienstleistungen



Beispiele HALLER Produkte



clean
open
communication network in municipal vehicles



clean
open
communication network in municipal vehicles



Beispiele HALLER Produkte

SLF



Müllbehälterreinigung



Beispiele HALLER Produkte

Straßenreinigung

LOTOS
SYSTEM VON HALLER



HALLER Hybridantrieb eco

Klassifikation von Hybridantrieben

Bauweise

- Seriell (Speicher optional)
- Parallel (Speicher zwingend)
- Leistungsverzweigt

Antriebsart

- mechanisch
- elektrisch
- hydraulisch

Leistungsverhältnis (Hybridisierungsgrad $a = P_{sek}/P_{Vkm}$)

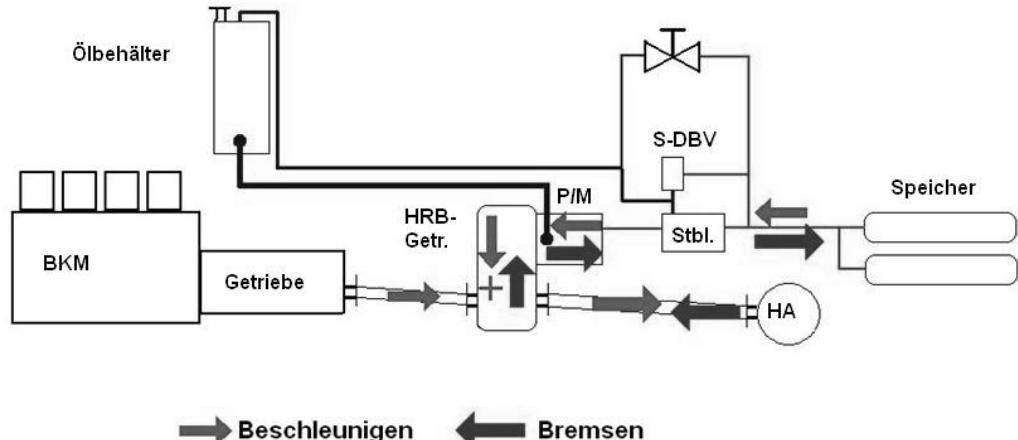
- Micro ($a < 0,2$)
- Mild ($a=0,2 \dots 0,9$)
- Full ($a = 0,9 \dots 2,0$)

HRB- System

HRB – Hydraulisch Regeneratives Bremsen

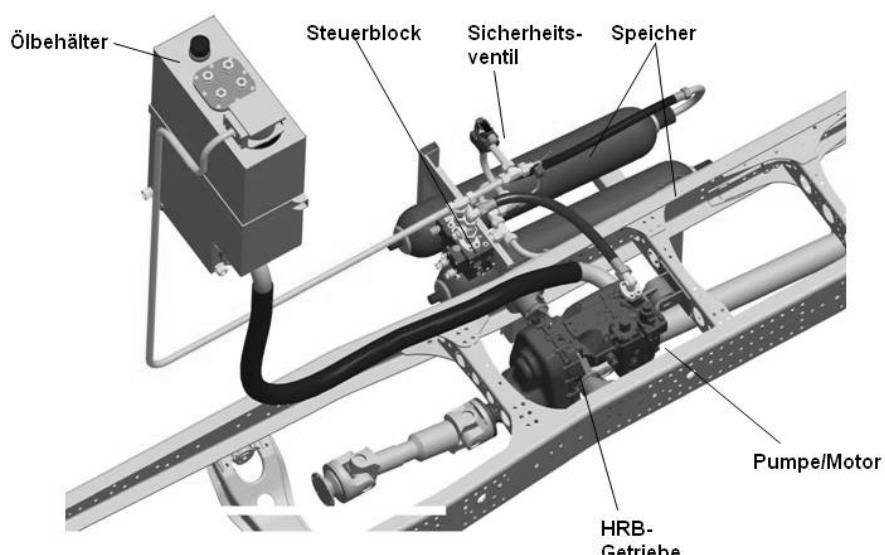
- nahezu vollständige Rekuperation der kinetischen Energie
- entsprechend Auslegung Entlastung des Dieselmotors oder höheres Antriebsmoment (Boostbetrieb)
- verschleißfreies Bremsen
- keine Zugkraftunterbrechnung bei automatisierten Schaltgetrieben
 - >> Kraftstoffeinsparung bis zu 20%
 - >> Reduzierung Schadstoffemissionen
 - >> Senkung der Betriebskosten

HRB-Funktion



Leistungsflüsse im HRB-System

HRB-Einbau



HRB-Einbausituation ACTROS „Ad-on-Konzept“

Energieeffizienz, Ökologie

**Minimale Schadstoffemission = minimaler
Energieeinsatz für die zu leistende Arbeit = hohe
Energieeffizienz**

Jeder nicht verbrannte Liter Kraftstoff bringt
mehr als alle Maßnahmen während der
Verbrennung oder zur Abgasnachbehandlung
zusammen!

Beispiel CO₂-Emission:

**Einsparung durch HRB ► 12 l DK/d ► 2640 l DK/a
(220 AT)**

= 6864 kg CO₂/a !

HALLER LoToS



**Logistisch optimales Entsorgungssystem zum
Transportieren ohne Sammelpause**

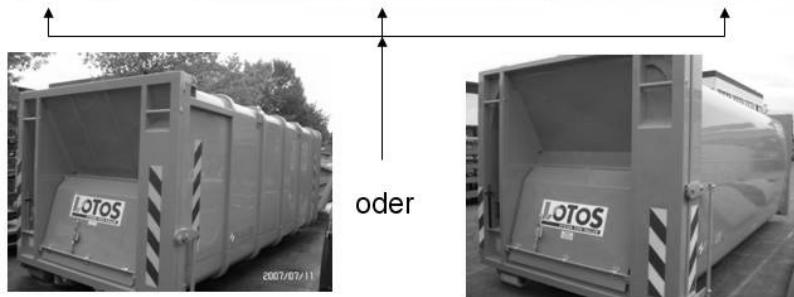
Hecklader



Seitenlader



Umladestation



Eckdaten der LoToS Bahnverladung an einem 2007 realisierten Beispiel

- Sammlung von ca. 70.000 t/a Restmüll
- Eingesetzte HALLER Technik: 10 LoToS HL, 2 LoToS Umladestationen, 70 LoToS Container mit ISO-Ecken
- Direktübergabe der Container vom Abfallsammelfahrzeug auf den Bahnwaggon mit Spreader
- Müll bleibt von der Sammlung bis zu Verwertung im Container
- Bahntransport über ca. 100 km mit bis zu 30 Containern gleichzeitig
- Erspart dabei 15 Fahrten mit herkömmlichen LKW, im Jahr sind das bis zu 3.500 Fahrten
- Für Entsorger reduzierten sich die Transportkosten
- Auswirkungen auf die Umwelt: Verringerung CO₂-Ausstoß und Feinstaubemissionen

Müllsammlung mit LoToS Hecklader und ergänzendem Müllumschlag über LoToS Umladestationen und Direktübergabe mit Kran (Spreader)



Programm eLoToS Wirtschaftlichkeit Berechnen



Version eLOTOS_e

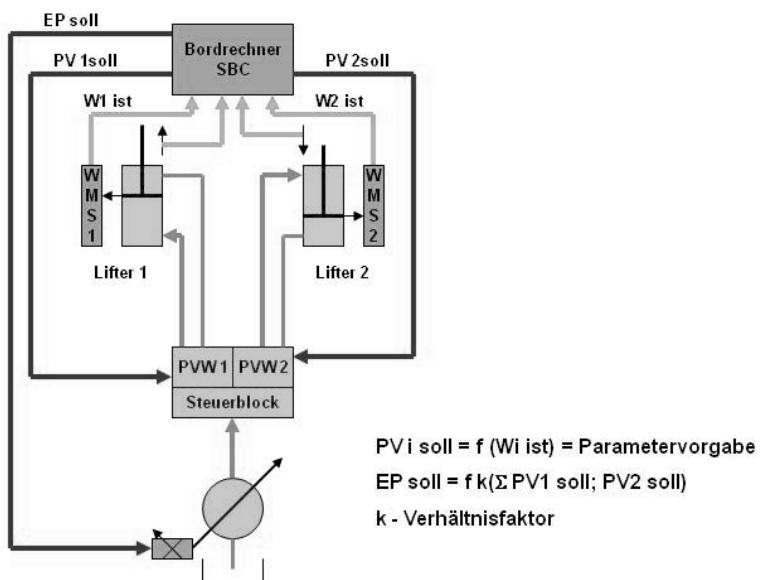


- efficiency LOTOS
- Wirtschaftlichkeit LOTOS
- Wirtschaftlichkeit von LOTOS
berechnen und beweisen

Weitere HALLER Projekte mit Klimaschutzeffekten

- Serviceverbesserung durch Ferndiagnose, -wartung und -parametrierung über sichere (W)LAN – Verbindung mittels Notebook, Reduzierung Wartungseinsätze vor Ort
- Kombination HRB mit LoToS als LoToS eco
- Einsatz von einem Abfallsammelfahrzeug für mehrere Müllfraktionen (MEKAM)
- Optimierte HALLER Hydrauliksysteme am Beispiel LoToS Hecklader SVR

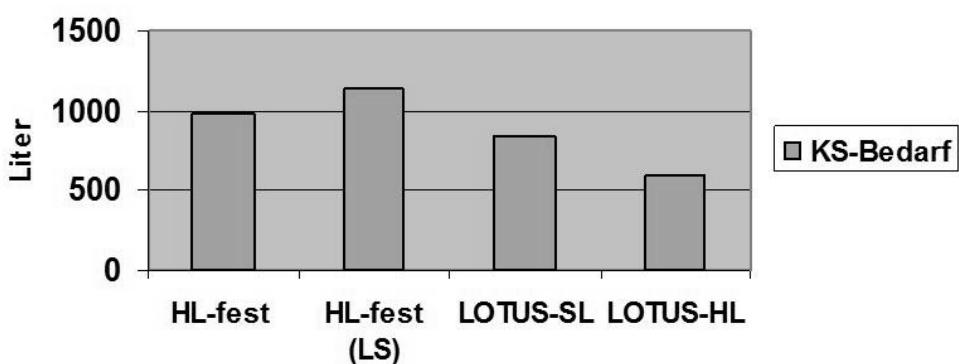
Sollwert-Verhältnis-Regelung (SVR) im LoToS-Hecklader



Prinzip der "Sollwert- Verhältnis- Regelung"
(SVR) zur Liftersteuerung am LOTUS-Hecklader

Kraftstoffbedarf

Kraftstoffverbrauch (pro Jahr) zum Ausgleich
hydraulischer Leistungsverluste



HALLER

Systeme für Profis



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Abfallsammelfahrzeug mit dieselelektrischem Antriebssystem – Ein Beitrag zum Klimaschutz

Dipl.-Ing. Leif Börger
FAUN Umwelttechnik, Osterholz

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Über FAUN

Die FAUN Umwelttechnik GmbH & Co.KG produziert an vier europäischen Standorten jährlich ca. 2000 Abfallsammelfahrzeuge und 150 Aufbau-Kehrmaschinen. In der Regel werden die dazu benötigten Fahrgestelle vom Kunden beigestellt und mit dem passenden Aufbau ausgerüstet.

Bei den Abfallsammelfahrzeugen (ASF) wird grundsätzlich zwischen Heckladern und anderen Typen unterschieden. Die Hecklader mit den Typen VARIOPRESS, POWERPRESS und ROTOPRESS erzeugen ca. 90% des Umsatzes.^[1]

2 Ausgangssituation

Traditionell war beim Einsatz von ASF des Typs Hecklader ein Kostenschlüssel bekannt, nach dem ca. 2/3 der Betriebskosten durch Löhne und Gehälter und 1/3 durch Kraftstoffverbrauch, Wartung, Abschreibung und Sonstiges verursacht werden. Diese Aufteilung hat sich in den letzten Jahren durch steigende Energiepreise bei gleichzeitig stagnierenden Personalkosten deutlich verschoben. Der Kraftstoffverbrauch gerät damit zunehmend in den Fokus der Betreiber. Viele der bei der Verbrennung von Kraftstoff im Motor produzierten Schadstoffe können durch geeignete Maßnahmen der Abgasnachbehandlung, wie Katalysatoren und Rußfilter, in hohem Grad neutralisiert werden. Der Ausstoß des klimaschädlichen Gases CO₂ hängt jedoch direkt von der Menge des verbrauchten Kraftstoffes ab.

2.1 Potenziale

In Deutschland sind derzeit etwa 13.500 ASF zugelassen. Unter der Annahme, dass sich jedes dieser Fahrzeuge 250 Tage pro Jahr im Einsatz befindet und im Durchschnitt 80 l Diesel pro Tag verbraucht, ergibt sich ein Jahresverbrauch pro Fahrzeug von 20.000 l. Auf die gesamte Flotte hochgerechnet werden pro Jahr 270.000.000 l Diesel benötigt. Bei einem Preis von aktuell 1,20 Euro pro Liter Diesel ergibt sich eine Gesamtaufwendung für die in Deutschland in Betrieb befindliche Flotte für Kraftstoff von 324 Millionen Euro.

Tabelle 1: Emissionen der ASF

	Tag	Jahr	Flotte
Kraftstoff [l]	80	20.000	270.000.000
Kosten [€]	96	24.000	324.000.000
CO₂ [g]	213.600	53.400.000	720.900.000.000
NOx [g]	2.480	620.000	8.370.000.000

Tabelle 1 zeigt den Kraftstoffverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen von CO₂ und NOx. Der Berechnung des Kohlenstoffdioxidausstoßes liegt der Wert von 2,67 kg/l Diesel zugrunde. Eine gewichtete Mittelung der gängigen Abgasnormen ergibt eine Emission von 31g Stickoxiden pro Liter Diesel.

Dieser hohe Bedarf an Energie und Ausstoß an Umweltgiften bei gleichzeitig geringer Anzahl an Emittenten zeigt das hohe Einsparpotential an Ressourcen und Reduzierung des Schadstoffausstoßes, welches durch Verbrauchsreduzierung erreicht werden kann. So stoßen z.B. etwa 400.000 PKW dieselbe Menge CO₂ aus wie die Flotte der ASF.

Daneben stehen auch sekundäre Effekte. So kann eine Minimierung der Geräuschemission die Ausweitung der Abfuhrzeiten in die frühen Morgen- oder Abendstunden ermöglichen. Eine zusätzliche Störung des Verkehrsflusses, speziell in stark frequentierten Innenstadtgebieten kann somit vermieden werden.

2.2 Voruntersuchungen

Vor Beginn der technischen Umsetzung wurde ein repräsentatives ASF vom Typ ROTOPRESS mit umfassender Messtechnik ausgestattet, um den realen Einsatz so präzise wie möglich abbilden zu können. Die Auswertung der gesammelten Daten erfolgte durch das Institut für Kraftfahrtwesen (ika) der RWTH Aachen^[2].

Eine zusammenfassende Darstellung ist in Bild 1 zu sehen, sie zeigt den typischen Verlauf einer Abfallsammeltour über einen Arbeitstag.

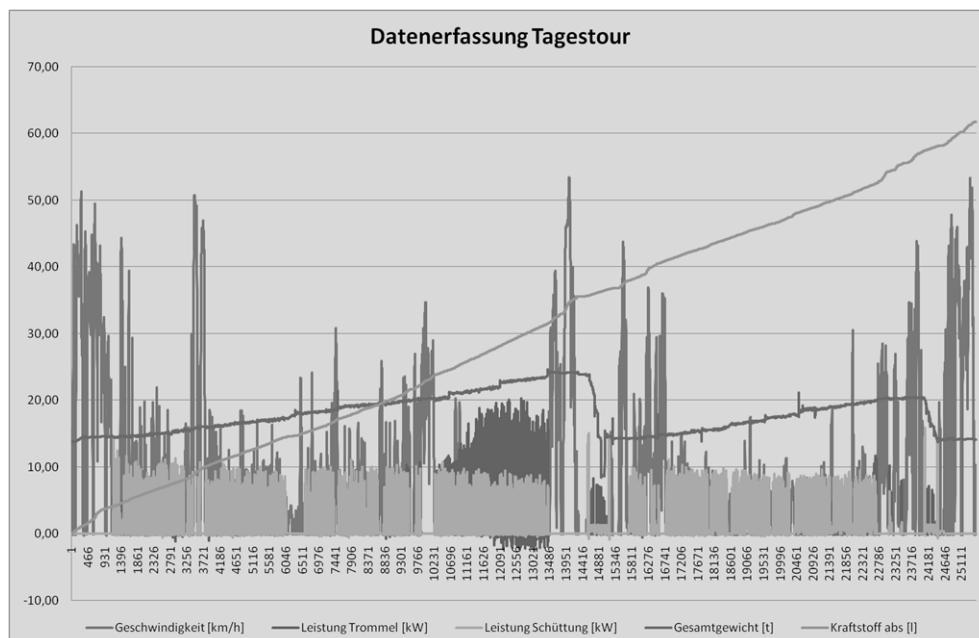


Bild 1: Tagestour

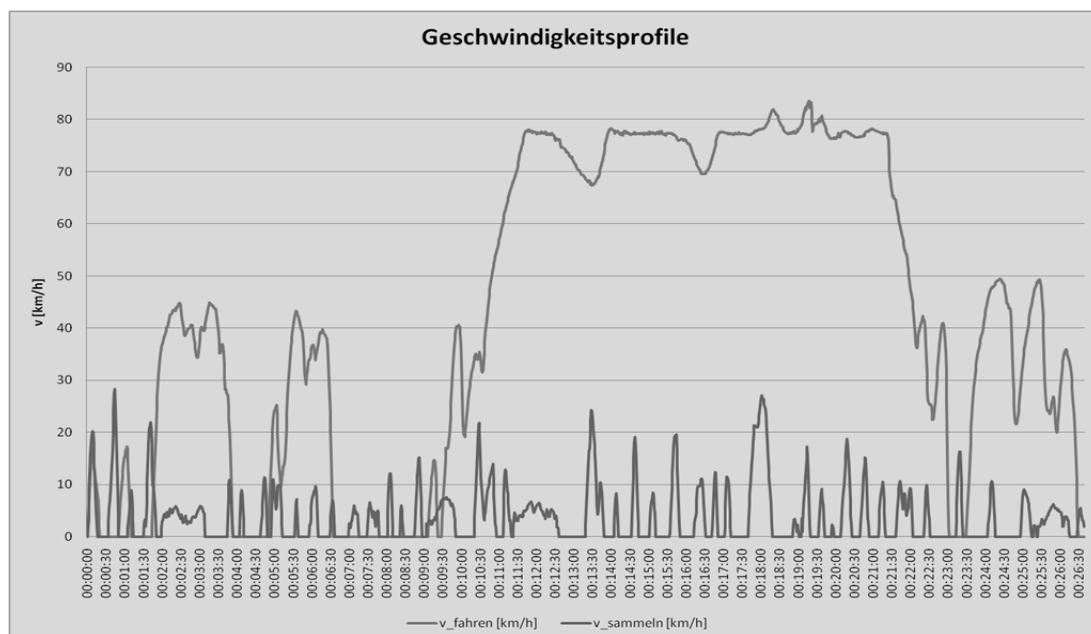
In Blau erkennt man die jeweils aktuelle Fahrgeschwindigkeit, zunächst beginnend im Stadtverkehr mit Geschwindigkeiten um 50 km/h. Der Beginn der Abfallsammlung an der ersten Mülltonne ist durch das Ansteigen des grünen Graphen gekennzeichnet. Er stellt die hydraulische Leistungsaufnahme der Entleereinrichtung (Schüttung) dar. Hinter Grün verborgen läuft die erst später sichtbare rote Kurve für die Leistungsaufnahme der Verdichtungseinrichtung, in diesem Fall die Trommel, die erst zum Ende der Befüllung hohe Leistungen benötigt. Die typischen Geschwindigkeiten im „Stop and Go“-Betrieb von Mülltonne zu Mülltonne liegen deutlich unterhalb von 30 km/h.

Violett bildet das Gesamtgewicht des Fahrzeugs ab, es steigt von ca. 15 Mg Leergewicht auf 25 Mg an bevor die erste Entleerung erfolgt. Anschließend beginnt die zweite Tour des Tages auf der ca. 5 Mg Abfall gesammelt wurden. Nach der zweiten Entleerung erfolgte die Rückfahrt zum Depot.

Die Kurve in Türkis zeigt den Verlauf des Kraftstoffverbrauches. Über den gesamten Tag wurden in diesem Beispiel ca. 62 l Diesel verbraucht. Bezogen auf die entsorgte Abfallmasse bedeutet dies einen Energiebedarf von 4,1 Liter Diesel pro Tonne Abfall (l/Mg).

Detaillierte Untersuchungen und Auswertungen der Einsatzprofile nach oben dargestellten Kriterien ergaben, dass ein Abfallsammelfahrzeug während des Einsatzes zwei völlig unterschiedlichen Forderungskatalogen gerecht werden muss. Bild 2 soll diese Divergenz noch einmal verdeutlichen. In Blau ist der Geschwindigkeitsverlauf einer Fahrt zur Entladestelle dargestellt, Rot zeigt einen typischen Verlauf während der Sammlung.

Bild 2: Geschwindigkeitsprofile



Während der An- und Abfahrt ins Sammelrevier und auf dem Weg zur Entleerung wird das Fahrzeug wie ein normaler Transport-LKW genutzt. Diese Art der Nutzung

findet im Mittel über 1,5 h pro Schicht, bzw. 18,75% der Schichtdauer statt. Die erforderliche Leistung für das Fahren auf der Autobahn bei 26 Mg Gesamtgewicht beträgt mehr als 200 kW. Beim Einsatz im Sammelrevier über durchschnittlich 6,5 h, bzw. 81,25% der Schichtdauer ist der Leistungsbedarf wesentlich geringer. Er beträgt im Mittel für das Fahren von Mülltonne zu Mülltonne lediglich 15 kW. Jedoch zeigen die Daten, dass zum Beschleunigen Leistungen im Sekundenbereich bis zu 175 kW benötigt werden.

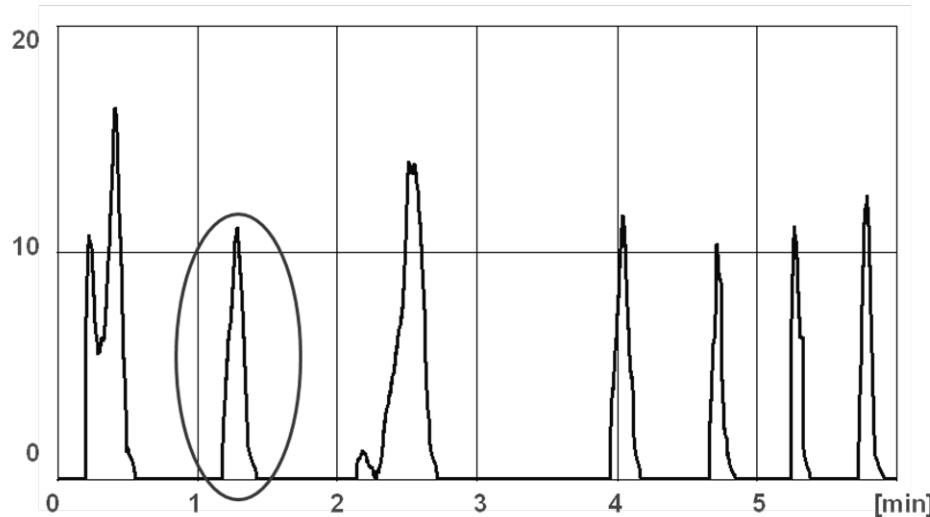


Bild 3: Einzelner Fahrzyklus

Der zu untersuchende Fahrzyklus ist markiert. Er ist wie folgt zu charakterisieren:

- Der zurückgelegte Weg beträgt 20 m
- Die max. Fahrgeschwindigkeit ist 12 km/h
- Die mittlere Leistung beträgt 15 kW
- Die Spitzenleistung beträgt 175 kW

Stellt man für diesen Zyklus unter der Annahme einer mittleren Beladung (Gesamtgewicht 22 Mg) eine Energiebilanz auf, ergibt sich folgendes Bild:

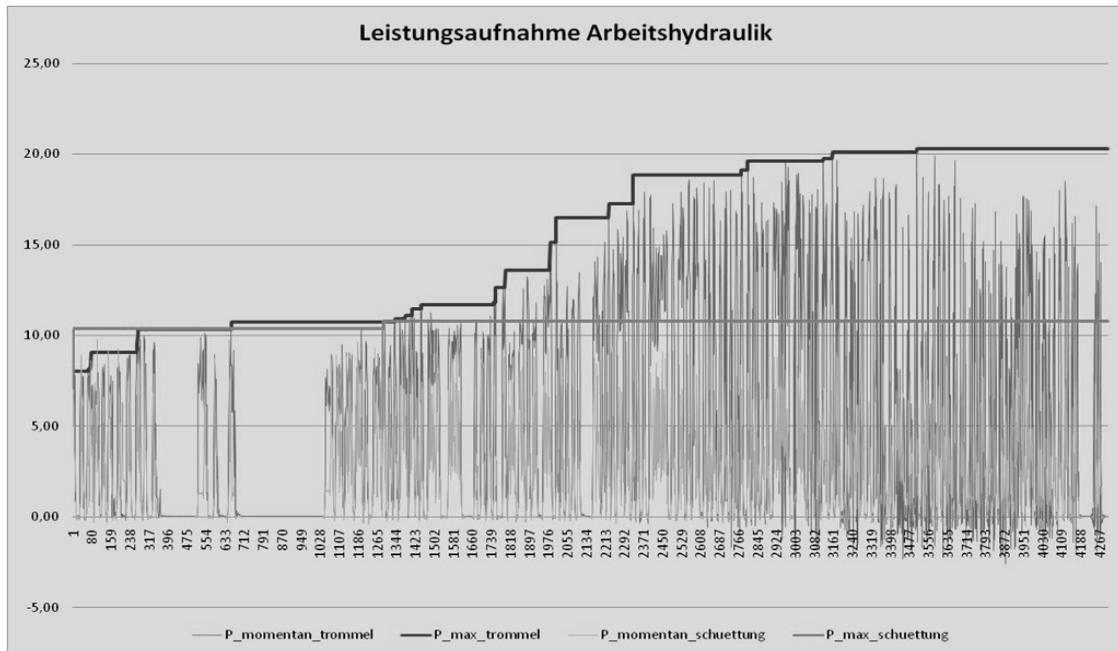
- Der Fahrwiderstand beträgt 18 Wh
- Die kinetische Energie bei $v=12$ km/h beträgt 29 Wh
- Die erforderliche Energie für die Druckluftbremse beträgt 13 Wh

Wenn man es also schafft, die kinetische Energie zu rekuperieren ohne dabei Energie in Form von Druckluft für die Bremsanlage zu verbrauchen, sind erhebliche Minderverbräuche möglich.

In Bild 4 ist die Beladung eines Fahrzeugs genauer dargestellt. Man erkennt in grün die Leistungsaufnahme der Schüttung jeweils als Momentanwert und als Maximal-

wert, sowie die Leistungsaufnahme der Trommel ebenfalls als Momentan- und Maximalwert in rot.

Bild 4: Leistungsaufnahme der Arbeitshydraulik



Zusammenfassend kann man sagen, dass während des Stillstandes des Fahrzeugs die Summe der maximalen Leistungen der Arbeitshydraulik, also ca. 30 kW, als Dauerleistung zur Verfügung stehen muss.

2.3 Schlussfolgerungen

Abfallsammelfahrzeuge haben grundsätzlich zwei stark unterschiedliche Anforderungsprofile. Der Streckentransport während der An- und Abfahrt zum Revier erfordert hohe Dauerleistungen, hierfür ist der Antriebsstrang des LKW optimiert und bestens geeignet. Für den Einsatz im Sammelrevier ist ein Antriebsstrang mit einer Dauerleistung von 30 kW ausreichend. Dies ist durch den LKW-Antrieb nicht effizient abzubilden. Das höchste Einsparpotential bietet somit eine Kombination aus dem Standard LKW-Antrieb und einem weiteren, auf den Sammelbetrieb optimierten Antriebsstrang, welcher das rekuperative Bremsen ermöglicht. Es muss also neben dem Standard LKW-Antrieb ein elektrischer Fahrantrieb verwirklicht werden.

3 Umsetzung

Auf Basis der genannten Fakten war zu entscheiden, welcher Aufbautyp verwendet werden sollte und wie die Energieversorgung darzustellen sei. Die Entscheidungsfindung soll im Folgenden dargestellt werden.

3.1 Aufbautyp

Bei den Heckladern im Hause FAUN sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Funktionsprinzipien verfügbar:

- VARIO- und POWERPRESS sind Pressplattenfahrzeuge, d.h. der Abfall wird von hinten in eine Beladewanne gegeben und dann in zyklischen Bewegungen in den Sammelbehälter gepresst. Die Bewegungen werden durch große Hydraulikzylinder hervorgerufen.
- Der Aufbautyp ROTOPRESS ist ein Drehtrommelfahrzeug, bei dem der Abfall in eine Beladeöffnung gegeben wird, die Teil der sich drehenden und mit einer Verdichterschnecke ausgerüsteten Trommel ist. Der Antrieb erfolgt über eine hydraulische Pumpe-Motor-Anordnung in Hydrostatausführung.

In der folgenden Tabelle 2 sind die Wirkungsgradketten erkennbar, die für diese Fahrzeugtypen eine Rolle spielen.

Tabelle 2: Wirkungsgradketten

	ROTOPRESS		Vario-/Powerpress	
	Standard	Hybrid	Standard	Hybrid
Dieselmotor	35%	37%	35%	37%
Nebenantrieb	98%		98%	
Hydraulikpumpe	80%		80%	80%
Leitungen und Ventile	92%		92%	92%
Hydraulikmotor	85%			
Hydraulikzylinder			90%	90%
Generator		94%		94%
Leistungselektronik		99%		99%
Elekt. Trommelmotor		94%		94%
	21,5%	32,4%	22,7%	21,4%

Es ist zu erkennen, dass sich die beiden Aufbautypen in ihrer Standardausführung nicht wesentlich unterscheiden, das Pressplattenfahrzeug liegt geringfügig besser. Diese Situation ändert sich bei einer Hybridisierung mittels Elektroantrieb drastisch. Beim ROTOPRESS kann der Hydraulikmotor relativ einfach durch einen Elektromotor ersetzt werden, die gesamten hydraulischen Wirkungsgradverluste entfallen. Das hydraulische System beim Pressplattenfahrzeug muss allerdings mangels ausreichend starker elektrischer Linearantriebe erhalten bleiben. Hierbei würde lediglich die Hydraulikpumpe elektrisch angetrieben werden. Dadurch sinkt der Gesamtwirkungsgrad sogar unter den ursprünglichen Wert.

Daher wurde entschieden, den Aufbautyp ROTOPRESS zu verwenden.

3.2 Energieversorgung

Auf Basis der Ausführungen aus 2 wurde deutlich, dass der LKW-Dieselmotor mit einer Nennleistung über 200 kW für den Einsatz im Sammelrevier deutlich überdimensioniert ist. Das führt dazu, dass er im Sammeleinsatz meist in ungünstigen Betriebspunkten betrieben werden muss, was in dem nachfolgenden Bild 5 ersichtlich wird.

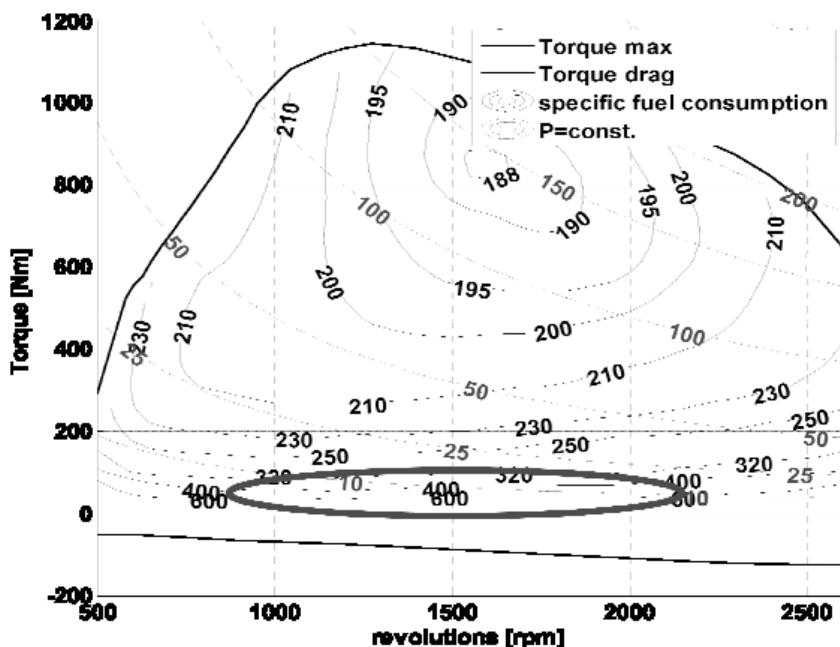


Bild 5: Motordiagramm eines typischen LKW-Motors, 213 kW Nennleistung^[3]

Der markierte Bereich beschreibt die typischen Betriebspunkte des Motors.

Dieses Problem lässt sich umgehen, indem man dem Prinzip des „Downsizing“ folgt und einen den Aufgaben angepassten Dieselmotor verwendet. Die Markierungen in Bild 6 zeigen die resultierenden typischen Betriebspunkte des angepassten Motors, mit Häufigkeit. Die erreichte Verbesserung des Wirkungsgrades ist leicht zu erkennen.

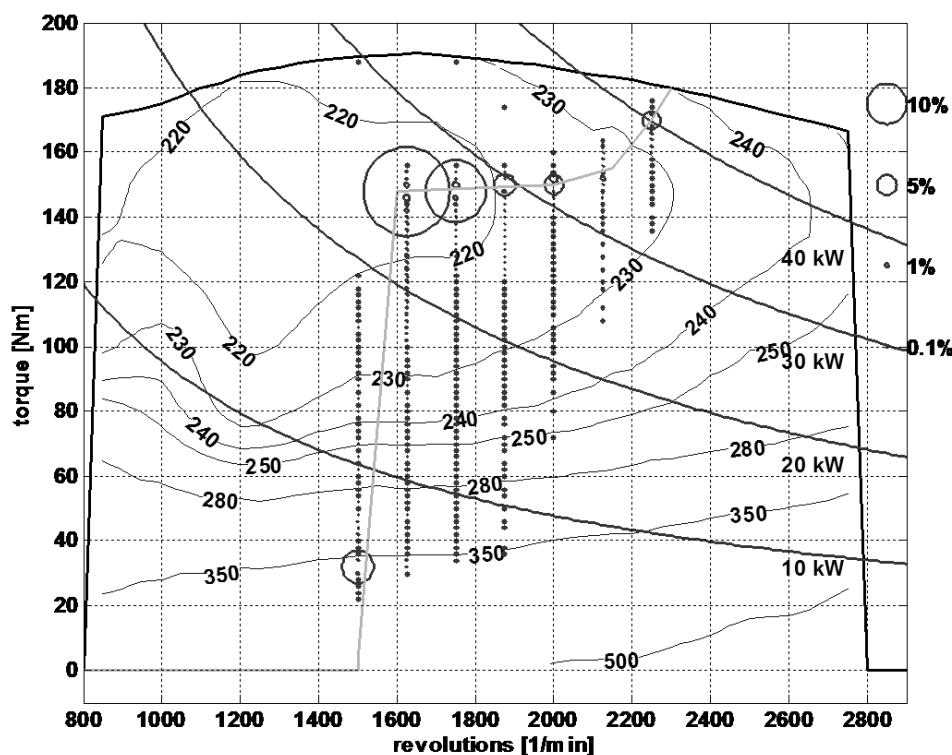


Bild 6: Motordiagramm des Hilfsdiesels mit typischen Betriebspunkten

Die grüne Kurve stellt nach Simulationsergebnissen die für den angepassten Motor optimale Betriebskennlinie dar und wurde als Betriebsstrategie in dem Versuchsträger übernommen. Messungen ergaben die Häufigkeitsverteilung der Betriebspunkte, in Bild 6 durch die roten Kreise dargestellt. Der Motor wird also über 60% der Zeit nahe seinem Bestpunkt betrieben. Dadurch wird die erforderliche Dauerleistung im Sammelbetrieb mit einem hohen Wirkungsgrad verfügbar. Die Bereitstellung der Spitzenleistungen ist zu diesem Zeitpunkt noch offen. Hierzu findet sich in folgendem Bild 7 ein Ansatz.

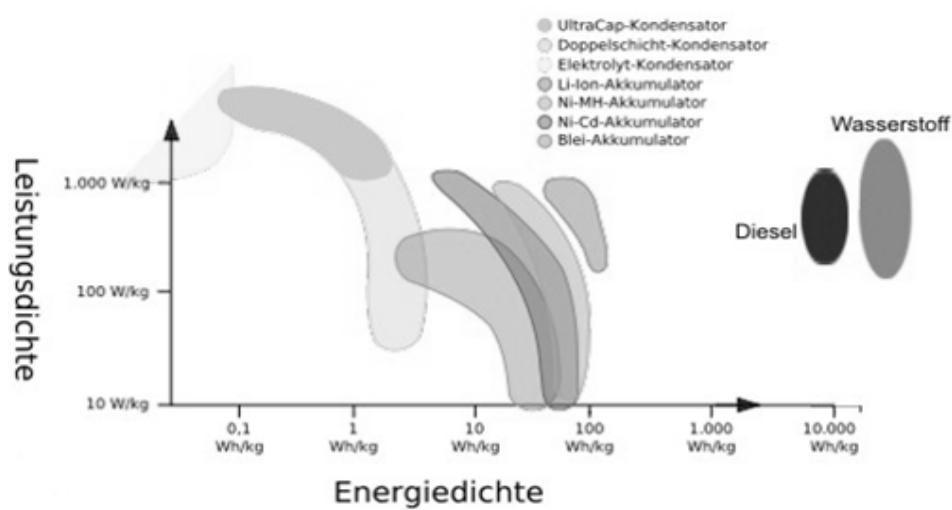


Bild 7: Ragone-Diagramm der Energiespeicher^[4]

Es ist ersichtlich, dass - abgesehen vom Elektrolyt-Kondensator, der wegen seiner Grenzen von Baugröße und Kapazität nicht in Frage kommt - die UltraCap Konden-

satoren die Speicher mit der höchsten Leistungsdichte sind. Somit bestens geeignet, um kurze Spitzenleistungen mit geringem Energieinhalt und Gewicht zur Verfügung zu stellen. Weit rechts auf der Skala der Energiedichte finden sich Diesel und Wasserstoff, unter Beachtung der logarithmischen Teilung liegt zwischen Diesel und dem besten elektrochemischen Speicher eine Größenordnung von zwei Zehnerpotenzen. Daraus ist leicht abzuleiten, dass mit dem heutigen Stand der Technik ein rein elektrisches Arbeiten eines ASF aus einer Batterie nicht sinnvoll ist. An den Tagesbedarf von 60 bis 80 l Diesel sei an dieser Stelle erinnert.

4 Aufbau des Versuchsträgers

Unter Zugrundelegung der vorgenannten Erkenntnisse wurde das in Bild 8 dargestellte Antriebsschema entworfen und umgesetzt.

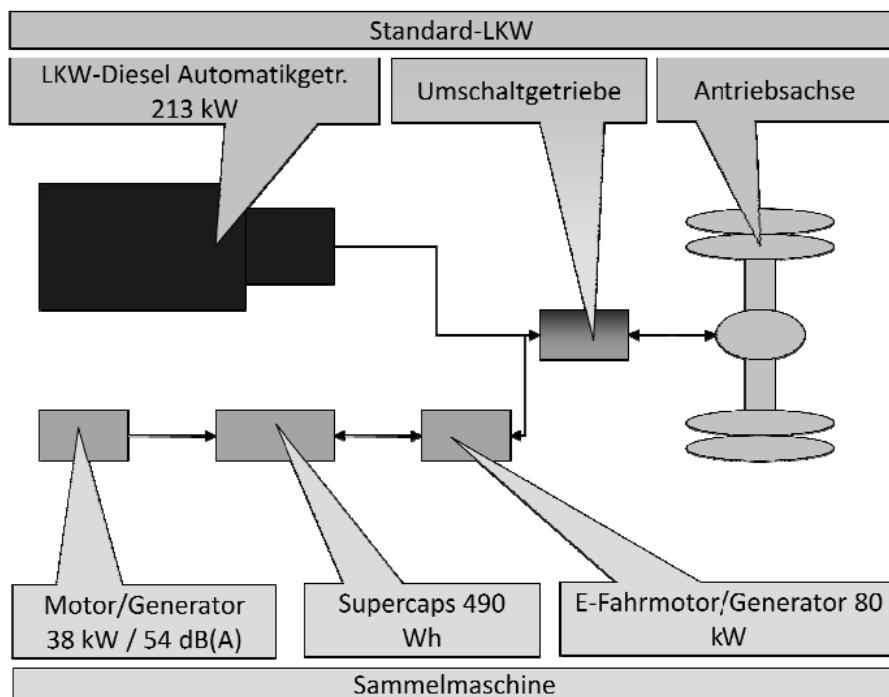


Bild 8: Antriebsstrang, schematisch

Zu erkennen ist, dass der Original LKW-Antriebsstrang mit einer Einschränkung vollständig übernommen wurde. Er kann zum Überwinden größerer Entfernung (Transportfahrt) vollkommen normal eingesetzt werden. In die Gelenkwelle zwischen Hinterachse und Automatikgetriebe wurde ein zusätzliches mechanisch umschaltbares Getriebe integriert, welches bei Erreichen der ersten Ladeposition im Sammelrevier auf Elektroantrieb umgeschaltet wird. Der Standard LKW-Antriebsstrang ist dann kraftfrei, der Dieselmotor wird ausgeschaltet. Im Sammelrevier wird die notwendige Grundleistung durch den Dieselmotor/Generator mit 38 kW Dauerleistung erzeugt. Dieses Aggregat ist vollständig lärmgekapselt und erreicht dadurch einen nur sehr

niedrigen Schalldruckpegel. Für die Bereitstellung der Spitzenleistungen sind Super-Caps mit einem Gesamtenergieinhalt von 490Wh vorhanden.

Der Vortrieb des Fahrzeugs erfolgt über einen Elektromotor, der direkt an das Umschaltgetriebe angeflanscht ist und im Schiebebetrieb zugleich als Generator dient. Dieser Motor ist mit einer Dauerleistung von 80 kW und 180 kW Spitzenleistung ausreichend dimensioniert, um die gewohnten Fahrleistungen im Sammelrevier zu erreichen. Ebenso bietet er die Möglichkeit, selbst bei 26 Mg Fahrzeuggewicht im Schiebebetrieb ausreichende Verzögerungen zu generieren, so dass die Verwendung der Druckluftbremsanlage nicht notwendig ist.

Bild 9 zeigt die Ausarbeitung des Antriebsstranges in Hardware.

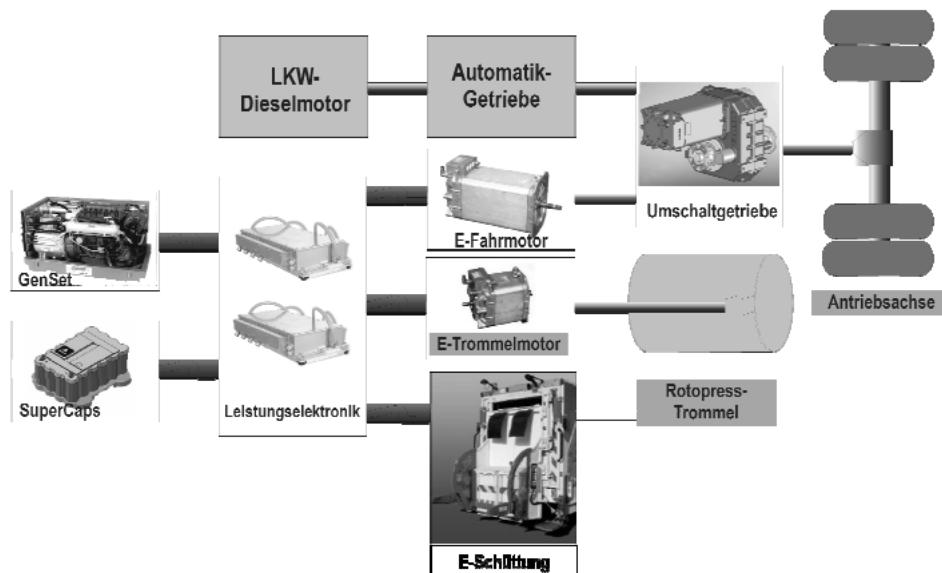


Bild 9: Antriebsstrang, mechanische Struktur

Hier finden sich die bereits angesprochenen Elemente wieder, die in ihrem Zusammenspiel das elektrische Fahren und Arbeiten im Sammelrevier ermöglichen. Durch den Einsatz einer für den deutschen Markt unüblichen Elektroschüttung konnte eine monovalente Betriebsweise erzielt werden, die keine zusätzliche Energiewandlung erfordert. Ein interessanter Ansatz ergibt sich aus der Anordnung und dem Einsatz des Trommelmotors. Auch wenn die Trommel mit „nur“ ca. 6-7 1/min dreht, hat sie bei hoher Zuladung einen erheblichen kinetischen Energieinhalt, der beim Abbremsen zurück ins System gespeist wird. Die elektrische Umsetzung des Antriebes ergibt sich aus dem folgenden Bild 10. Wie zu erkennen ist, sind weitere bisher nicht erwähnte Nebenverbraucher vorhanden, die aus Gründen der Verkehrssicherheit und des Komforts integriert werden mussten. Besonders zu erwähnen ist der Bremswiderstand, dessen Aufgabe darin besteht, das elektrische Bremsen auch dann zu ermöglichen, wenn die SuperCap Speicher vollgeladen sind. In diesem Fall wird zwar Energie in Wärme umgewandelt und geht verloren, dies ist aber immerhin effizienter, als über den Einsatz der Druckluftbremse weitere Energie aufwenden zu müssen.

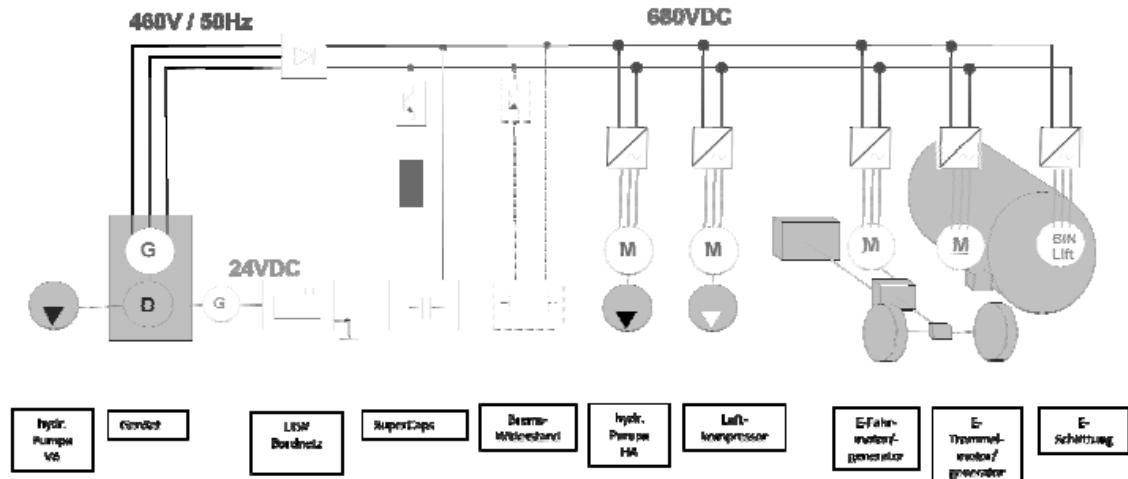


Bild 10: Antriebsstrang, elektrisches Netz

Das in Bild 11 gezeigte Fahrzeug befindet sich seit Mitte März 2009 im praktischen Einsatz.



Bild 11: ROTOPRESS DUALPOWER

5 Testergebnisse

Das vorläufige Ergebnis dieses Projektes war somit ein Abfallsammelfahrzeug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 26 Mg und einem Aufbauvolumen von 21 m³. Diese Zahlen entsprechen denen gängiger Fahrzeuge. Seit März 2009 werden an dem ROTOPRESS DUALPOWER umfangreiche Tests und Probeinsätze durchgeführt. Nachdem die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit anhand des Referenzfahr-

zeuges hinreichend belegt wurden, wird der DUALPOWER europaweit in mehrwöchigen Probeinsätzen bei wechselnden Entsorgungsunternehmen unter realen Bedingungen erprobt.

5.1 Verbrauchsreduzierung

Die Auswertung der Messungen zeigt, dass mit dem Antriebssystem des ROTOPRESS DUALPOWER erhebliche Verbrauchssenkungen möglich sind. Bei entsprechender Einsatzplanung des Fahrzeugs können Einsparungen von mindestens 33% erreicht werden. Tabelle 3 zeigt das Einsparpotential während der Sammlung exemplarisch für die Abfallfraktion Papier.

Tabelle 3: Kraftstoffverbrauch

	Kraftstoffverbrauch [l/h]		Einsparung
	Konventionell	Hybrid	
Min	5,02	3,64	27%
Mittel	7,39	4,13	44%
Max	9,5	4,71	50%

Eine weitere Erkenntnis der Probeinsätzen ist die Abhängigkeit der Kraftstoffeinsparung von den Gegebenheiten des Reviers. So wird aus Bild 12 der Zusammenhang der Einsparung zum mittleren Abstand der Mülltonnen deutlich. Wie zu erwarten wird ersichtlich, dass das Einsparpotential mit zunehmender Intensität des „Stop and Go“ Betriebs zunimmt. Ein Mülltonnenabstand zwischen 25 und 10 m ist für mittel bis stark domestizierte Stadtgebiete als typisch zu nennen.

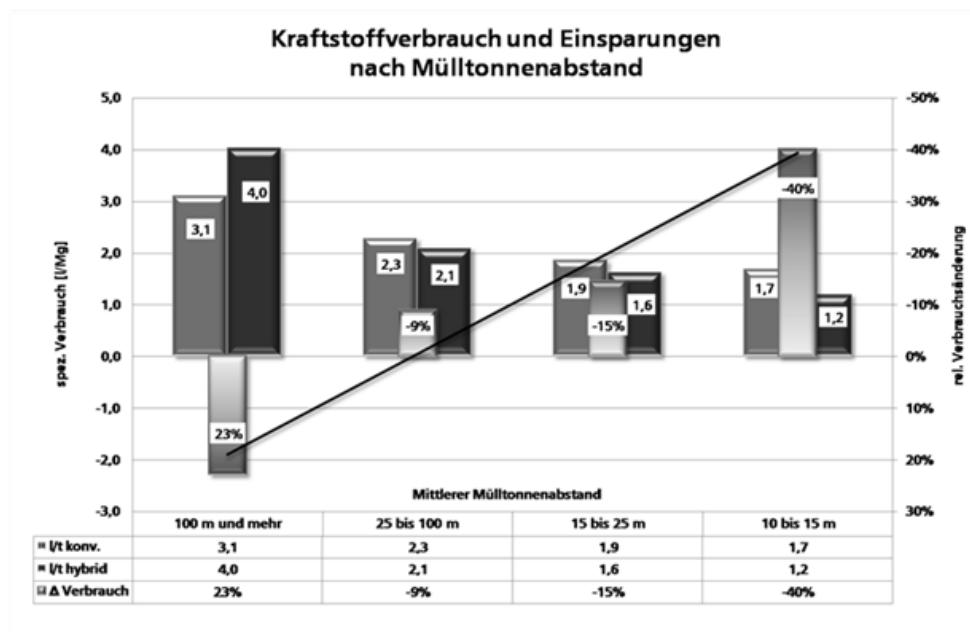


Bild 12: Kraftstoffverbrauch nach Beladestellen

5.2 Schadstoffausstoß

Legt man eine realistische Kraftstoffeinsparung von 33% zugrunde, ergeben sich die in Tabelle 4 gezeigten Emissionsbenefits. Somit kann allein durch den Austausch eines konventionell betriebenen ASF durch einen ROTOPRESS DUALPOWER die Umwelt jährlich um 17,8 Mg CO₂ und über 200 kg NOX entlastet werden.

Tabelle 4: Emissionsminderung der ASF bei 33% Minderverbrauch

		Tag	Jahr	Flotte
Kraftstoff	[l]	80	20.000	270.000.000
		26,7	6.700	90.000.000
Kosten	[€]	96	24.000	324.000.000
		32	8.000	108.000.000
CO₂	[g]	213.600	53.400.000	720.900.000.000
		71.200	17.800.000	240.300.000.000
NO_x	[g]	2.480	620.000	8.370.000.000
		826	206.700	2.790.000.000

5.3 Lärmemission

Einen Messung des Schallleistungspegels nach Outdoor Noise Richtlinie 2000/14/EG ergab einen Labelwert von 91 dB(A). Ein konventionell angetriebener ROTOPRESS liegt bei dieser Messung zwischen 104 und 106 dB(A). Da eine Reduzierung des Schallleistungspegels um 3 dB(A) als Halbierung der Lautstärke wahrgenommen wird, ergibt sich also eine Reduzierung der Lärmemission um 96%.

Tabelle 5: Ergebnisse Geräuschmessung

Zusammenfassung der Messergebnisse			
Zyklus	Mittlerer Schallleistungspegel L _{WA} / dB rel 1 pW		
	Messung 1	Messung 2	Messung 3
Motor auf Höchstdrehzahl	89,35	89,48	89,28
Verdichtungssystem in Betrieb	89,35	89,48	89,28
Behälterschüttseinrichtung anheben und absenken	88,60	89,25	89,45
Entleeren von Ladegut in das Müllsammelfahrzeug	107,97	108,25	108,44
Alle Arbeitszyklen gesamt	91,54	91,84	91,91
Mittlerer Schallleistungspegel L_{WA} / dB	91,8		
Wiederhol-Standardabweichung s _r / dB	0,20		
Bedienerplatz Fahrersitz L _{pA} / dB	62,0		
Wiederhol-Standardabweichung s _r / dB	0,57		
Lauteres Ohr	rechts		
Bedienerplatz Schüttung L _{pA} / dB	68,0		
Wiederhol-Standardabweichung s _r / dB	3.313		

Maschinen-Nr:
 Kostenträger 51 23 01

© TUEV Nord Systems GmbH & Co. KG

Zum besseren Verständnis sei erwähnt, dass eine Kettensäge in etwa eine Schallleistung von 106 dB(A) emittiert, während 91 dB(A) einem lauten Gespräch entspricht. Nennenswert ist ebenso die Belastung der Arbeitsplätze, so liegt der Fahrer mit 62 dB(A) ebenso wie der Bediener der Schüttung mit 68 dB(A) deutlich unter den Lärmbelastungen eines Fahrers eines Pkw.

6 Fazit und Ausblick

Mit dem Antriebssystem des ROTOPRESS DUALPOWER ist es gelungen, ein Abfallsammelfahrzeug unter ökologischen Gesichtspunkten zu optimieren, ohne Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit hinnehmen zu müssen. Kraftstoffeinsparungen und Minderung des CO₂ Ausstoßes über 33% sind bei zeitgleich drastischer Reduzierung der Lärmemission möglich. Ein Standard-ASF hat eine Motorleistung von 290 PS, der ROTOPRESS DUALPOWER nutzt im Sammelbetrieb einen Motor mit 40 PS. Bei gleicher Sammelleistung!

Tests und Probeinsätze haben gezeigt, dass bei angepasster Tourenplanung auch höhere Einsparungen möglich sind. Ein Einsatz außerhalb der Hauptverkehrszeiten ist aufgrund der niedrigen Lärmbelästigung, die von dem DUALPOWER ausgeht, in greifbare Nähe gerückt. Die finale Entscheidung darüber liegt aufgrund der rechtlichen Situation bei den Kommunen. Das Systemlayout bietet darüber hinaus eine hohe Flexibilität bezüglich der Energieeinspeisung. So ist neben dem aktuellen Dieselpgenerator auch die Speisung des Systems über Batterien oder Brennstoffzellen denkbar.

Im April 2010 wurde bei uns im Hause mit der Produktion von 20 Feldversuchsfahrzeugen des ROTOPRESS DUALPOWER begonnen, welche nach Fertigstellung an Kunden übergeben werden. Mit diesen Fahrzeugen wird durch eine Variation der Systemkomponenten das Konzept weiter optimiert und die Serienreife angestrebt.

7 Literatur

- [1] weitere Informationen unter <http://www.faun.com>
- [2] weitere Informationen unter <http://www.ika.rwth-aachen.de>
- [3] ika
- [4] cc-by-sa MovGP0

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Kompostieren - Vergären - Verbrennen Was ist vernünftig?

Dr. Dipl.-Ing. Hubert Seier
DSC GmbH, Selm

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

Der Umgang mit getrennt erfasster Biomasse - sei er nun vernünftig oder auch unvernünftig – ist seit geraumer Zeit ein Top Thema auf der Agenda zahlreicher Politiker, Wirtschaftsvertreter, Lobbyisten sowie Umweltschützer dieser Welt. Spätestens seit der denkwürdigen Welt-Klima-Konferenz von Kyoto (1997) zieht der viel zitierte Klimawandel vehement durch die Medienlandschaft. Seitdem wird auch heftig darüber gestritten wie zukünftig die Biomasse verwertet werden soll. Nach dem Scheitern des Weltklimagipfels von Kopenhagen im Dezember 2009 verhandelten Regierungsvertreter aus aller Welt im April 2010 in Bonn erneut, wie sich doch noch eine Einigung im Kampf gegen den Klimawandel finden lasse. Zahlreiche Delegierte aus ca. 190 Staaten diskutierten auf einer UN-Arbeitskonferenz über einen Fahrplan für die UN-Verhandlungen auf dem nächsten Weltklimagipfel im mexikanischen Cancun Ende 2010. Das Kyoto-Protokoll zur Minderung klimaschädlicher Treibhausgase in Industrieländern läuft Ende 2012 aus. Eine andere globale und verbindliche Vereinbarung gibt es bislang nicht.

Ein wesentlicher Schwerpunkt aller Klimaschutzprogramme besteht darin, fossile Energieträger durch regenerative, also „nachwachsende Biomasse“ zu ersetzen. Zahlreiche Gesetze und Verordnungen beschäftigen sich folgerichtig mit der Privilegierung regenerativer Energieträger. Die Fokussierung auf die „erneuerbaren Energien“ wird somit quasi zum Leitmuster der Politik und bevorzugt dabei aber recht einseitig die energetische Verwertung von Biomassen. Erfreulicherweise steht die getrennte Erfassung trotz teilweise „kritischer Chronologie“ nicht wirklich auf dem Prüfstand. Nachdem in den letzten Jahren zwar immer wieder durch verschiedenste Institutionen und Personen Angriffe auf die Biotonne stattfanden, wurden diese aber mehrfach durch seriöse und wissenschaftliche Untersuchungen widerlegt. Insgesamt kann man von einer beispiellosen Erfolgsgeschichte der Bioabfallsammlung in den letzten 27 Jahren sprechen. Nur bei getrennter Bioabfallsammlung kann von einer modernen und nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gesprochen werden.

Das durchaus nachvollziehbare Vorhaben - fossile Energieträger durch Nachwachsende zu ersetzen - stößt aber auch an Grenzen und ist konfliktbehaftet. Es geht bei den nachwachsenden Energieträgern um den Vegetationsaufwuchs von Acker- und Waldstandorten, der nach dem Willen der Politik zur Erzeugung von Energie genutzt werden soll. Zu den klassischen Nutzungsformen landwirtschaftlicher Flächen, die um fruchtbare Produktionsstandorte konkurrieren, kommt nun diese politisch gewollte Zielsetzung der subventionierten Produktion elektrischer Energie hinzu. Im klassischen Ackerbau werden Nahrungs- und Futtermittel produziert. Auch der Anbau stofflich genutzter nachwachsener Rohstoffe („Popcorn“ als Alternative zu Styroporhochstämmen, Dämm- und Faserstoffe für den Baubereich, pflanzliche Öle als Grundstoffe für chemische und technische Nutzungen etc.) ist zu einem weiteren Standbein der Landwirtschaft geworden. Neuerdings soll aber der Landwirt durch die subventionierten Biomassevergärungsanlagen zum Energiewirt werden. Hier werden jedoch nicht vorrangig Reststoffe aus landwirtschaftlichen Viehbeständen (z. B. Gül-

le) zur Biogasproduktion eingesetzt, sondern in erster Linie originärer Pflanzenaufwuchs (z.B. Mais). Durch die Subvention können die Anlagenbetreiber zur Sicherung Ihrer Rohstoffbasis Pachtpreise für Ackerflächen zahlen, die für die Viehzuchtbetriebe Existenz bedrohend sind. Zwar sucht die Landwirtschaft seit langer Zeit nach alternativen Absatzmärkten für ihre Produkte, aber so war das eigentlich nicht gedacht. Darüber hinaus hat sich die energetische Biomasseverwertung, die sich national eher auf die Frage „Tank oder Trog?“ beschränkt, bedauerlicherweise international zu der Konfrontation „Tank oder Teller?“ entwickelt.

Zur Frage der energetischen Verwertbarkeit von Teilfraktionen aus Bio- und Grünabfällen hat es in der Vergangenheit bereits zahlreiche Untersuchungen gegeben. Im Ergebnis wurde festgehalten, dass aus Bioabfall weder mit vertretbarem Aufwand noch in vertretbarer Menge feste Biomassebrennstoffe zu gewinnen sind. Der Grünabfall enthält saisonal ein gewisses Potential an brennstofftauglichen Bestandteilen, welches bei Strukturmaterial-Überschuss als Teilstrom einer energetischen Verwertung zugeführt werden kann. Auch die Siebreste der biologischen Behandlungsanlagen können sinnvoll energetisch verwertet werden. Festgestellt wurde, dass der geordnete Betrieb der biologischen Behandlungsanlagen für Bio- und Grünabfälle Vorrang vor der Brennstoffbereitstellung haben muss. Ein Primat, das die gesamte Branche sicherlich sofort unterschreibt. Denn die errichteten Kapazitäten für die Verwertung von Bio- und Grünabfällen sind bis heute ein Musterbeispiel für ökologisch und ökonomisch ausgerichtete Abfallwirtschaft.

Das Bestreben, regenerative Ressourcen auch als Energieträger zu nutzen ist keineswegs verwerflich. Im Gegenteil, die sinnvolle energetische Nutzung geeigneter Biomassen ist absolut erstrebenswert. So kann eine Teilstromvergärung als Ergänzung eines bestehenden Kompostwerkes durchaus sinnvoll sein. Hierzu müssen aber die lokalen Verhältnisse in der jeweiligen Kommune genauestens analysiert und bewertet werden. Bestehende Investitionen (in der Regel Kompostanlagen) sollten nicht vorschnell vernichtet werden, sondern bei notwendig werdender Neuinvestition sollte auch eine mögliche Teilstromvergärung geprüft werden. Zudem darf es im Rahmen dieser Bestrebungen nicht zur ungerechtfertigten Beschädigung der anderen Nutzungen kommen. Die Klimaschutz-Strategie auf die einfache Formel „Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe = bester Klimaschutz“ zu reduzieren und daraus dann eine Vorrangstellung vor allen anderen Nutzungen ableiten zu wollen, greift zu kurz.

Klimaschutz ist umfassender anzulegen und die Biomasse-Verbrennung kann nur eine Facette in der Ausgestaltung dieser Thematik sein. Am Beispiel der Bio- und Grünabfälle wurde festgestellt, dass deren stoffliche Verwertung nach biologischer Behandlung unter CO₂-Aspekten besser ist im Vergleich zu Referenzszenarien, die auf die stoffliche Nutzung der organischen Masse und der darin enthaltenen Nährstoffe verzichten. Dass durch Komposteinsatz in Substraterden eine positive Ökobi-

Ianz erreichbar ist, ist ebenfalls nachgewiesen. Die Einbringung langfristig stabiler organischer Substanz in den Boden ist Gegenstand einiger Untersuchungen. Es geht um die Frage, ob der Boden durch Einbindung von CO₂ als Senke fungieren kann. Klar erkennbar ist, dass durch eine Steigerung des Humusgehaltes der Böden eine deutliche CO₂ – Senke stattfindet. Da bekanntermaßen der Kompost das höchste Humusreproduktionspotential aller organischen Dünger besitzt, kann vereinfacht abgeleitet werden, dass bei einer nachhaltigen Kompostanwendung durchaus ein nennenswertes CO₂-Reduktionspotential vorhanden ist.

Die Frage: „Welches Verwertungsverfahren vernünftig ist?“ müsste folglich in etwa so beantwortet werden: „stoffliche und energetische Verwertung können sich prima ergänzen“. Einen extra Klimabonus für die energetische Verwertung ist aber nicht gerechtfertigt. Und wenn doch, dann sollte aber auch die stoffliche Verwertung von Biomasse gefördert werden. Hier könnte man sich z.B. ähnlich der Biokraftstoffquote, eine Torfersatzquote vorstellen. Mit anderen Worten: Wir müssen zu einer Zielhierarchie bei der Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe kommen. Alle Nutzungsansprüche müssen abgewogen werden und wenn wir unsere Zukunftsfähigkeit nicht verheizen wollen, dann dürfen nur die echten Biomasse-Überschüsse in den Ofen.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Ökoeffizienter Umgang mit Bio- und Grünabfällen

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel
Thorsten Pitschke
Siegfried Kreibe
Jochen Cantner
Dieter Tronecker
bifa Umweltinstitut GmbH, Augsburg

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

Die Vielzahl an Verfahrensalternativen und die unterschiedliche Gestaltung der Erfassungssysteme führen zu einer großen Bandbreite von Strategien zur Behandlung biogener Abfälle in den entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften Bayerns. Ziel eines vom bayerischen Umweltministerium finanzierten Vorhabens war die Identifikation von Optimierungspotenzialen bei der Entsorgung von Bioabfall und Grüngut aus Haushalten in Bayern mit Blick auf ausgewählte ökologische und ökonomische Wirkungen. Dabei kam die Methodik der Ökoeffizienzanalyse zum Einsatz, die eine ökobilanzielle Analyse und eine Kostenbetrachtung gegenüberstellt. Die ermittelten Ergebnisse sind zwar spezifisch für Bayern, lassen aber durchaus verallgemeinernde Schlüsse zu.

2 Verfahrensvergleich – Potenziale auf Prozessebene

Der Vergleich verschiedener Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle soll helfen, Optimierungsansätze und mögliche Stellschrauben zu ermitteln. Es wird kein Best-Practice Verfahren identifiziert, da die Umweltwirkungen, über den Prozess hinaus, erheblich von den behandelten Abfällen, dem Anlagenbetrieb vor Ort und den lokalen Randbedingungen abhängen.

Die folgenden Portfolios zeigen die Ökoeffizienz für einen durchschnittlichen Betrieb der Verfahren zur Bioabfall- und Grüngutentsorgung. Viele zur Beschreibung notwendige Parameter wie beispielsweise Emissionsfrachten, Energieauskopplung und Nutzung der stofflichen Produkte variieren von Anlage zu Anlage erheblich. Die Ökologie-Indizes für die im Rahmen von Sensitivitätsanalysen betrachteten „Good-“ und „Worse-Cases“, sind als Endpunkte der jeweiligen Linien zusätzlich in den Portfolios dargestellt. Die Sensitivitätsanalysen wurden stellvertretend für die teilgeschlossene Kompostierung durchgeführt. Für die geschlossene Kompostierung bestehen die gleichen Sensitivitäten.

Komposte, Gärprodukte und Häckselgut substituieren Pflanzennährstoffe, die üblicherweise mit mineralischen Düngemitteln ausgebracht werden, insbesondere mineralische P-Dünger, die ansonsten aus Rohphosphaten hergestellt würden. Als Nährstofflieferant ist Phosphat grundsätzlich nicht substituierbar und seine Verfügbarkeit ist begrenzt. Aufgrund der hohen Bedeutung für das Untersuchungsthema, wird der Aspekt der P-Ressourcenschonung gemeinsam mit der Schonung fossiler Energieträger als Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung in der Aggregation zur ökologischen Gesamtwirkung berücksichtigt. Allerdings ist die dafür notwendige ökologische Bewertung der Ressourcenbeanspruchung im Vergleich zu den anderen Umweltwirkungen methodisch wenig belastbar. Als Konsequenz werden die aggregierten Ergebnisse für den Ökologie-Index sowohl mit, als auch ohne die Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung dargestellt. Die Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung vereinigt die Sachbilanzparameter KEA fossil und Rohphosphat. Auf-

grund des hohen Beitrages des Parameters Rohphosphat ist die Wirkungskategorie nahezu ausschließlich durch diesen Beitrag bestimmt. Dies gilt für alle weiteren quantitativen Angaben zur Ressourcenbeanspruchung.

1.1 Bioabfallentsorgung

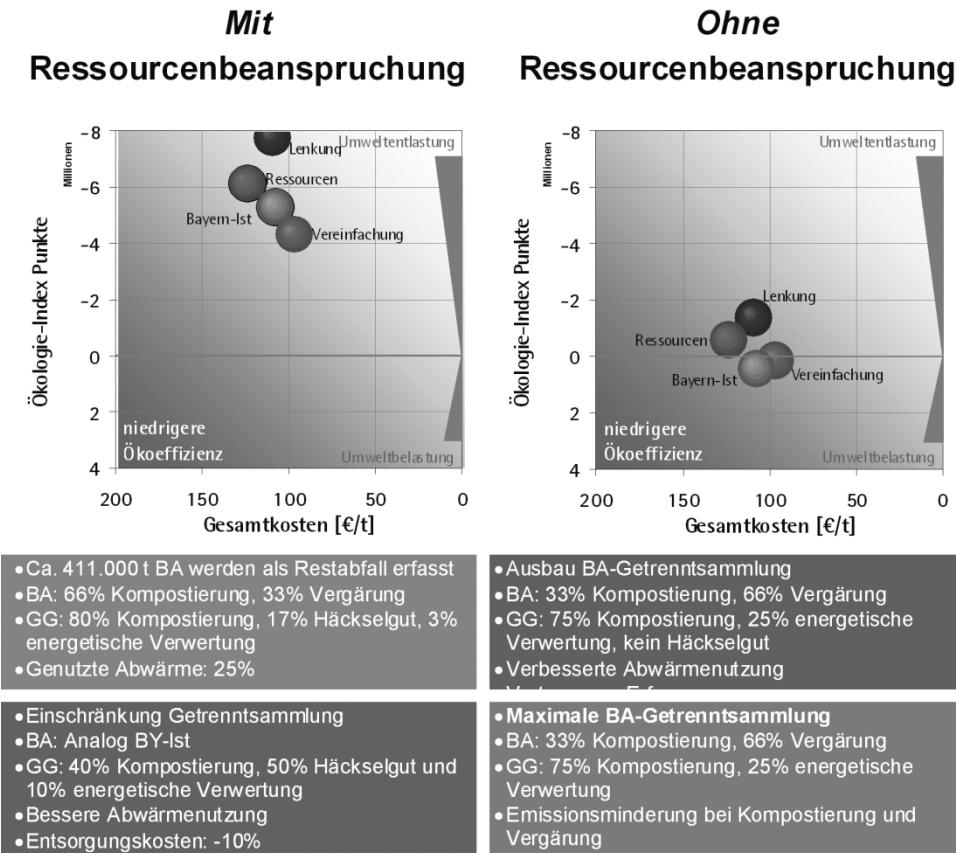


Bild 1: Ökoeffizienz-Portfolios der Bioabfallentsorgung.

Ökologie-Index < 0 bedeutet Umweltentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung. Ökologie-Indizes für Good- und Worse-Case dargestellt als Linienendpunkte: links: Sensitivität Energienutzung. Mitte: Sensitivität Emissionen. rechts: Sensitivität Art der Kompostanwendung.

Insbesondere durch die im Verfahrensvergleich größte Menge von Phosphaten, die für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung stehen, sind die Kompostierverfahren bei Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung mit den deutlichsten Umweltentlastungen verbunden. Die Sensitivitätsbetrachtung der Emission zeigt, dass sich bei schlechter Führung der Kompostierung das ökologische Gesamtergebnis deutlich verschlechtert. Analog zur Kompostierung führt auch die Vergärung bei Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung zu einer Umweltentlastung. Ohne diese Wirkungskategorie ergibt sich aber ebenso wie für die offene Kompostierung in Summe eine Umweltbelastung. Im Vergleich zur teil-/geschlossenen Kompostierung ist bei

der Vergärung die bereitgestellte Menge an Phosphat aus den stofflich verwerteten Produkten geringer. Ein Erklärungsansatz sind die Phosphat-Verluste bei der Vergärung durch Austrag mit dem Prozessabwasser. Umweltbelastend wirken die erheblichen Emissionen an CH_4 , NH_3 und NMVOC. Eine höhere erzeugte Energiemenge im Vergleich zur teil-/geschlossenen Kompostierung wiegt diesen Nachteil nicht auf. Die Sensitivitätsbetrachtungen für Emissionen, Energienutzung und Produktverwertung zeigen, dass der bilanzierte durchschnittliche Anlagenbetrieb Potenziale zur Verbesserung aufweist. Die im Vergleich zur Kompostierung tendenziell höheren Kosten führen in Konsequenz zu einer geringeren Ökoeffizienz. Bei der Interpretation der Ergebnisse für die Vergärung ist zu berücksichtigen, dass die zugrundeliegenden Emissionswerte nach [Cuhls 2008] an 5 Vergärungsanlagen – im Voll- beziehungsweise Teilstrombetrieb – ermittelt wurden und eine verhältnismäßig hohe Streubreite aufweisen.

Die Mitbehandlung von Bioabfällen in der MVA als Teil des Restabfalls ist mit einer geringen Umweltentlastung verbunden. Die grundsätzlich denkbare Rückgewinnung von Phosphaten ist nicht Stand der Technik und deshalb nicht in der Bilanzierung berücksichtigt. Die Optimierung der Energienutzung bietet Potenziale zur Verbesserung des ökologischen Gesamtergebnisses.

1.2 Grüngutentsorgung

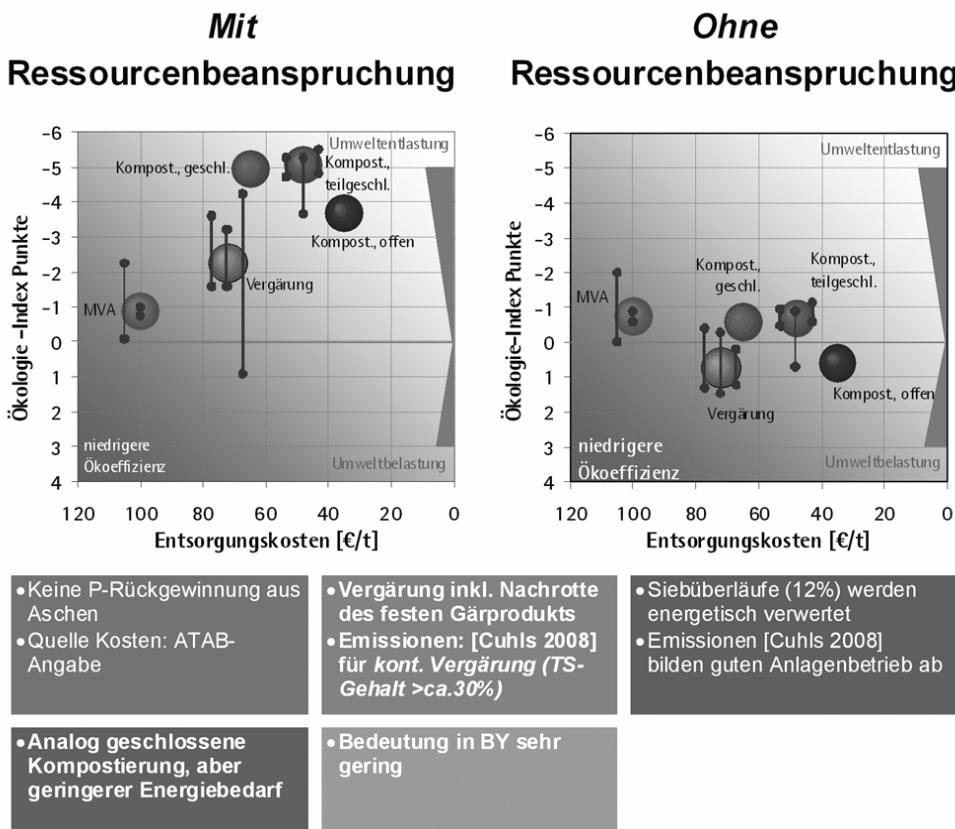


Bild 2: Ökoeffizienz-Portfolio Grüngutentsorgung

Ökologie-Index < 0 bedeutet Umweltentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung.

Die offene Kompostierung ist der bedeutendste Entsorgungsweg für Grüngut. Für die heizwertreichen Grüngutanteile ist die energetische Verwertung eine Alternative. Die Bewertung des Ausbringens als Häckselgut fällt aufgrund der wenig spezifischen Datengrundlage besonders mit Blick auf die N-Emissionen beim Ausbringen und der Nährstoffgehalte schwer. Nicht Bestandteil der Betrachtungen sind mögliche phytotoxische Wirkungen des Häckselguts.

Mit Blick auf die Entsorgungskosten liegen die Verfahren zur Grüngutentsorgung innerhalb eines engen Intervalls, der unter den Kosten der Bioabfallentsorgung liegt.

1.3 Zwischenfazit

Die betrachteten Verwertungsverfahren haben inhärente, wenig beeinflussbare, ökologische Stärken beziehungsweise Schwächen. Außerdem bestehen bezogen auf die erzeugten Produkte grundsätzlich unterschiedliche Intentionen. Zur Beantwortung der Frage nach den Stellschrauben, um die einzelnen Verfahren zu verbessern, liefert deshalb die Gegenüberstellung der Verfahren nur einen Teil der Antworten. Die Beurteilung der Chancen und Risiken, das heißt der Potenziale, der Verwertungsverfahren muss im Kontext des Anlagenumfelds vor Ort stattfinden.

Die Steigerung der Ökoeffizienz ist eine Aufgabe, die im Zusammenspiel der Anlagenbetreiber, den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) und sogar der Produktanwender zu lösen ist. Für Kompostierung und Vergärung bestehen folgende wesentliche Potenziale differenziert nach Verfahrensstärken/-schwächen und Umfeldchancen/-risiken:

1.4 Kompostierung - Verfahrensstärken/-schwächen

Die Emissionen C/N-haltiger Verbindungen sind nicht primär das Resultat der eingesetzten Technik, sondern der Betriebsführung. Diese wird u.a. beeinflusst durch:

- C/N-Verhältnis im Ausgangsmaterial
- Einsatz von Strukturmaterial
- Wassergehalt vor und während der Kompostierung

Geschlossene Systeme mit Biofilter scheiden NH₃-, NMVOC und zusätzlich Gerüche, Keime und Staub ab. Für CH₄ und N₂O bleiben Filter wirkungslos beziehungsweise sie begünstigen sogar die N₂O-Bildung.

Offene Systeme sind bezüglich der Klimagasemissionen pauschal nicht schlechter als geschlossene Systeme. Allerdings sind die Emissionen von NH₃ und die Geruchsbelastungen im Vergleich zu geschlossenen Systemen mit Biofilter höher.

Das Ausschleusen der Siebüberläufe aus der Kompostaufbereitung zur energetischen Verwertung bietet interessante Perspektiven zur Verbesserung der Erlössituation, für eine höhere Flexibilität im Produktabsatz und zur Steigerung des Umweltnutzens durch Substitution fossiler Energieträger.

1.5 Kompostierung - Umfeldchancen/-risiken

Mit Blick auf das Schließen von Stoffkreisläufen, die Schonung von Ressourcen ist die Kompostierung bei guter Betriebsführung und einem geeigneten Anlagenumfeld ein nachhaltiges Verfahren.

Die Produkte aus der Kompostierung sind vielfältig einsetzbar. Neben den Dünger-nährstoffen wird organische Substanz bereitgestellt, die als Ersatz für Torf/Rindenhumus, als Humus-C Lieferant oder als C-Speicher genutzt wird. Durch das Ausschleusen der Siebüberläufe zur energetischen Verwertung erweitert sich der Nutzen aus der Kompostierung um Strom und Wärme.

Sind, beispielsweise durch Marktentwicklungen, die Absatzmöglichkeiten für die stofflichen Produkte nicht ausreichend gegeben und/oder stellen sich die Substitutionssituation beispielsweise für Torf und Ackergras in der Praxis nicht ein, führt dies zu einer Verringerung der Ökoeffizienz.

1.6 Vergärung - Verfahrensstärken/-schwächen

Die Erzeugung von Biogas durch anaeroben Abbau ist verbunden mit erheblichen C/N-Emissionen beim Handling der Gärprodukte. Durch den anaeroben Abbau von Kohlenstoff und Stickstoff aus dem biogenen Material ist die Entstehung von Methan und Ammoniak verfahrensimmanent. Emissionsminderungspotenziale bestehen nach [Cuhls 2008] deshalb primär beim Umgang mit den flüssigen und festen Gärprodukten:

- Konditionierung der Gärückstände (z.B. Temperatur)
- Gasdichte Kapselung des Lagertanks für flüssigen Gärückstand
- Gaspendelleitung des Lagertanks für Biogas aus Nachgärung
- Entlüftung des Lagertanks und Zuführung als Verbrennungsluft zum BHKW
- Aerobisierung der festen Gärückstände
- Ammoniakabscheidung in saurer Wäsche

Mit Blick auf die Umweltwirkungen, insbesondere den Klimaschutz und die Erlössituation ist die Maximierung der erzeugten Biogasmenge und deren Nutzung zur Erzeugung von Strom und Wärme bei möglichst hohen Wirkungsgraden anzustreben.

Für ein nachhaltiges Verfahren genügt es jedoch nicht, allein auf die Energieerzeugung abzuzielen. Ebenso wichtig ist die Bereitstellung möglichst hochwertiger, stofflich verwertbarer Produkte. Bei der Erzeugung dieser Produkte ist der Verlust an Nährstoffen -beispielsweise durch Abwässer oder Verzicht auf die stoffliche Nutzung des Gärprodukts- zu minimieren.

Aus ökologischer Sicht bietet die energetische Nutzung von Gärrückständen keine wesentliche Perspektive, soweit für die Produkte (Pflanzennährstoffe und organische Substanz) eine Nachfrage besteht. Lenkungsmaßnahmen, die eine thermische Nutzung von Gärrückständen gegenüber deren stofflichen Verwertung begünstigen, sind dahingehend zu beurteilen.

1.7 Vergärung - Umfeldchancen/-risiken

Die Vergärung bevorzugt energiereiche und strukturarme Substrate. Bioabfälle mit einem hohen Anteil an Küchenabfällen sind für die Vergärung besonders gut geeignet.

Die Verwertung des Biogases ist über die Einspeisevergütung des EEG sichergestellt. Neben der Möglichkeit Biogas am Standort in einem BHKW zu verwerten, ist, sofern die Infrastruktur vorhanden ist, auch das Einspeisen in ein Erdgasnetz möglich.

Erhebliche Potenziale bestehen besonders hinsichtlich einer Nutzung der entstehenden Abwärme. Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeföhrten Rechnungen bestätigen, dass eine möglichst anlagenexterne Nutzung der erzeugten thermischen Energie die Ökoeffizienz der Vergärung deutlich steigert.

Die Entsorgung der flüssigen Gärreste ist, im Vergleich zu Komposten, tendenziell schwieriger zu realisieren. Neben der Behandlung in einer externen oder eigenen Kläranlage können sie als Flüssigdünger in der Landwirtschaft verwertet werden. Beim Ausbringen besonders der flüssigen Gärreste sind erhebliche Emissionen N-haltiger Verbindungen möglich, so dass ein Ausbringen nach guter fachlicher Praxis, unbedingt erforderlich ist.

1.8 Mitbehandlung als Teil des Restabfalls in der MVA - Verfahrensstärken / Schwächen

Bei der thermischen Behandlung wird ausschließlich der Energieinhalt der biogenen Stoffe zur Erzeugung von Strom und Wärme bei relativ hohen Wirkungsgraden genutzt. Auf jegliche Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Bioabfälle wird aktuell noch verzichtet. Fokussiert man die Betrachtung auf die Entsorgungssicherheit ist die Mitbehandlung der Bioabfälle als Teil des Restabfalls eine umweltschonende Option. Der weitere Ausbau der Nutzung der thermischen Energie bietet Potenziale die Umweltentlastungen weiter zu steigern. Möglicherweise könnte künftig die Rückgewinnung von Phosphor aus den Aschen helfen, die Potenziale der thermischen Behandlung auch mit Blick auf die Ressourcenbeanspruchung auszuschöpfen.

1.9 Mitbehandlung als Teil des Restabfalls in der MVA - Umfeldchancen und -risiken

Mit Blick auf den Klimaschutz ist die Maximierung der CO₂-neutralen Energieerzeugung konsequent. Erweitert man allerdings den Kriterienkatalog zur Identifikation eines nachhaltigen Verfahrens um Ressourcenbeanspruchung und das Schließen von Stoffkreisläufen sind die Möglichkeiten der thermischen Behandlung limitiert.

2 Zukunftsszenarien – Potenziale auf struktureller Ebene

Auf dem Verfahrensvergleich aufbauend, werden der aktuellen Entsorgungssituation drei Zukunftsszenarien gegenübergestellt. Dabei werden die ökologischen und ökonomischen Wirkungen im Fall umfassender Änderungen im Umfeld der Entsorgung biogener Abfälle in Bayern prognostiziert. Es sei darauf hingewiesen, dass sich die Bearbeitung auf eine Auswahl fiktiver, möglicher Szenarien beschränkt. Selbstverständlich ist eine Vielzahl weiterer Szenarien und Variationen denkbar. Die mit der Betrachtung der Zukunftsszenarien verbundenen Ziele sind, die Stabilität der Ökoefizienz der Bioabfall- und Grüngutentsorgung in Bayern gegenüber möglichen Entwicklungen zu prüfen und dabei Chancen und Risiken zu identifizieren. Die folgende Tabelle charakterisiert die Zukunftsszenarien anhand angenommener Entwicklungen.

Tabelle 1: Charakterisierung der Zukunftsszenarien.

Szenario	Angenommene Entwicklungen
Ressourcenverknappung	Die Knappheit von Energieträgern und Rohstoffen führt zu drastischen Preisanstiegen bei Energie, Dünger und Transport. Die Entsorgungslandschaft wird durch <i>marktgesteuerte</i> Mechanismen bestimmt.
Vereinfachung der Entsorgung	Drastisch wachsender Druck von Bürgern und Politik auf Kostensenkung und Vereinfachung der Entsorgung (ökonomische Optimierung) führt zu: <ul style="list-style-type: none"> • Schlanker Logistik • Reduktion der Tonnenvielfalt und der Verfahrensvielfalt • Ausbau der Förderung von Eigenkompostierung
Stoffstromlenkung	Der Gesetzgeber fördert massiv die stoffliche Nutzung der BA/GG durch folgende Maßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Getrennte Bioabfallsammlung für die örE verpflichtend • Neues Bodenschutzgesetz mit dem Fokus die Tragfähigkeit von Böden zu sichern • Gesetzliche Regelungen fordern geschlossene Anlagen und legen strenge Grenzwerte für C/N-haltige Emissionen fest • Eigenkompostierung wird nicht mehr gefördert • EEG-Förderung steigt deutlich bei Abwärmenutzung / Einspeisung in Erdgasnetz

Das in Bild 3 dargestellte Portfolio zeigt die Ökoeffizienz der Zukunftsszenarien nach Quantifizierung der jeweiligen Stoffströme und Entsorgungskosten im Vergleich zur aktuellen Entsorgungssituation.

Ökologie-Index < 0 bedeutet Umweltentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung. BA: Bioabfall. GG: Grüngut. eV: energetische Verwertung.

Die Entsorgung von Bioabfällen in Bayern leistet schon heute einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige ökoeffiziente Abfallwirtschaft. Durch die Entsorgung von über 2 Mio. t Bioabfällen und Grüngut werden aktuell beispielsweise:

- Ca. 208.000 t CO₂ aus fossiler Energieerzeugung, Düngemittelproduktion, Torfabbau und Ackergrasanbau vermieden
- Mehr als 480.000 MWh klimaneutral erzeugter Energie als Strom und Wärme bereitgestellt
- Ca. 3.300 t Phosphat bereitgestellt

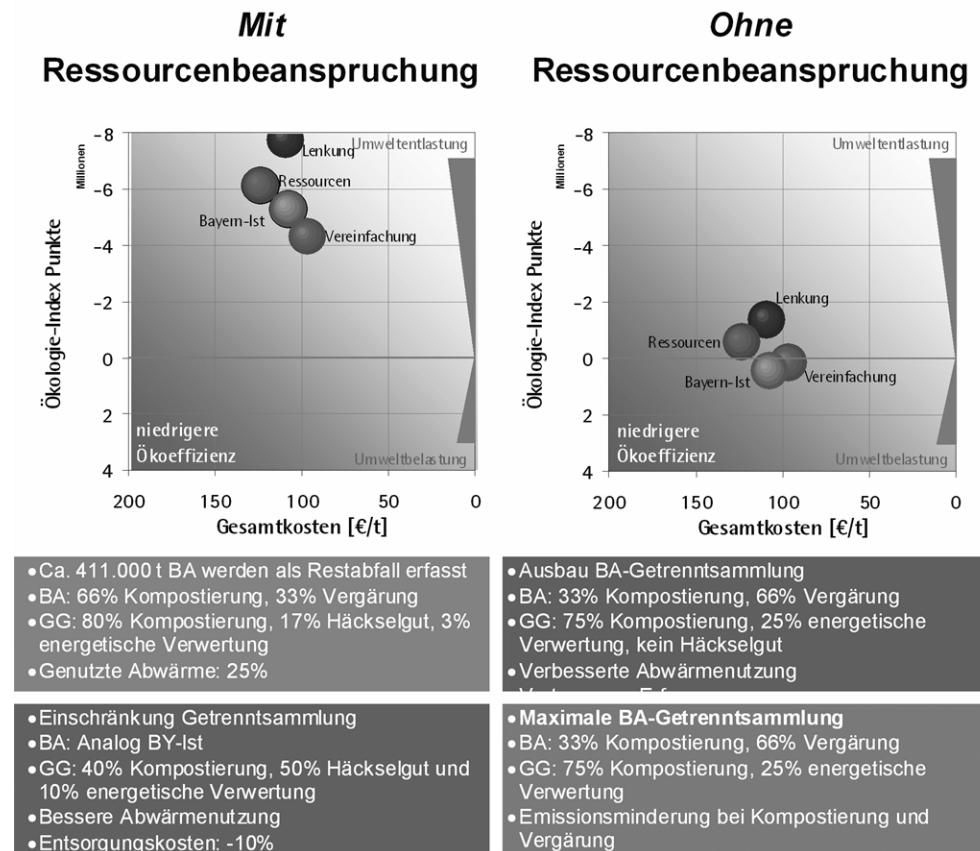


Bild 3: Ökoeffizienz-Porfolios der Zukunftsszenarien

Die Ökoeffizienz der aktuellen Entsorgungsstruktur erweist sich als robust gegen die in den Szenarien angenommenen Entwicklungen, die als Folge etwa einer massiven Preissteigerung von Energieträgern und Rohstoffen oder des Zwangs zur Kostenreduktion zu erwarten sind. Im Szenario Ressourcenverknappung ändert sich die Ökoeffizienz verglichen zur aktuellen Situation nur wenig. Aufgrund hoher Treibstoffkosten verteuerzt sich die Erfassung und in Konsequenz steigen die Gesamtkosten. Der im Zuge der Ressourcenverknappung realisierte Ausbau der Getrenntsammlung und eine deutlich verbesserte Nutzung der erzeugten thermischen Energie steigern die Umweltentlastungen durch die Bioabfall- und Grüngutentsorgung. Im Szenario der Vereinfachung verschlechtert sich die Ökoeffizienz im Vergleich zur aktuellen Situation nicht. Der angenommene Kostendruck führt nicht zwangsläufig zur höheren Umweltbelastungen. Durch die angenommene verbesserte Energienutzung kann die geringere stoffliche Nutzung kompensiert werden. Eine deutliche Verbesserung der Ökoeffizienz der aktuellen Entsorgungsstruktur kann durch die Vorgabe der politischen Entscheidungsträger zur Intensivierung der stofflichen Nutzung erzielt werden.

3 Handlungsempfehlungen für alle beteiligten Akteure

Aus den Ergebnissen des Vorhabens ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

3.1 Handlungsempfehlungen an die Politik

Stoffstromlenkung an Nachhaltigkeitskriterien insbesondere an den Anforderungen des Ressourcen- und Klimaschutzes ausrichten, das heißt, stoffliche Verwertung ebenso fördern wie energetische beziehungsweise eine einseitige Förderung der energetischen Verfahren vermeiden. Vorgeben und Durchsetzen von hohen, insbesondere emissionsarmen, Anlagen- und Betriebsstandards. Innovations- und Investitionsbereitschaft durch verlässliche Randbedingungen sichern

3.2 Handlungsempfehlungen an die Städte, Landkreise und Zweckverbände

Bei Ausschreibung und bei Eigenbetrieb ökologische Aspekte verstärkt berücksichtigen. Verfahren, die ökoeffizient arbeiten, sind Lösungen, die ausschließlich eine kostengünstige Entsorgung bieten, vorzuziehen. Verwertung entsprechend den jeweiligen Randbedingungen optimal organisieren. Beförderung von differenzierten Verwertungssystemen, welche die stofflichen und energetischen Eigenschaften des jeweiligen biogenen Materials optimal nutzen.

Möglichst umfassende Erschließung der rohstofflichen und energetischen Nutzwerte von Grüngut und Bioabfall. In der Regel ist die – gemäß Abfallrahmenrichtlinie zu fördernde - getrennte Sammlung und Verwertung die ökoeffizienteste Lösung. Bei spezifischen Randbedingungen können auch andere Lösungen sinnvoll sein.

3.3 Handlungsempfehlungen an die Anlagenbetreiber

Energieeffizienz steigern und insbesondere Wärmenutzung ausbauen.

Emission von C-/N-haltigen-Verbindungen durch technische Maßnahmen und insbesondere einer Betriebsführung nach Stand der Technik minimieren.

Standortbezogene Optimierung durch Stoffstromtrennung und Systemkombinationen; mögliche Synergieeffekte durch Anlagenverbunde identifizieren.

Qualitativ hochwertige stoffliche Produkte erzeugen, da diese eine höhere Akzeptanz bei potenziellen Abnehmern haben.

3.4 Handlungsempfehlungen für die Anwender von Erzeugnissen aus Bioabfällen und Grüngut

Bessere Vermittlung und Kennzeichnung der in den Erzeugnissen enthaltenen stofflichen Nutzwerte (Nährstoffe, organische Substanz) bei der landwirtschaftlichen Verwertung sowie bei Anwendungen im Garten- und Landschaftsbau. Absicherung der langfristigen Bodenfruchtbarkeit durch Humusbilanzen in der Fruchfolge. Integration der Humusbilanz in die gute fachliche Praxis der Düngung.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Das Müllheizkraftwerk – ein optimaler Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlagen

Uwe Athmann

Dipl.-Ing. (TU) Werner P. Bauer

Thomas Kroner

Peter Quicker

Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V. an der RWTH Aachen

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Zusammenfassung

Bioabfallbehandlungsanlagen sind wesentliche und bisher wenig beachtete Quellen für die kritischen Treibhausgase Methan und Lachgas. Da die europäische Kommission über die Abfallrahmenrichtlinie auf eine getrennte Sammlung und Verwertung von Bioabfällen hinwirkt und darüber hinaus das novellierte Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) der Bundesregierung die energetische Nutzung dieser Abfälle monetär fördert, wird sich diese Problematik aufgrund der zu erwartenden zunehmenden Kapazitäten zukünftig wohl weiter verschärfen.

Vor diesem Hintergrund hat die Arbeitsgemeinschaft der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Bayern e.V. (ATAB) im Herbst 2009 das Konsortium ia GmbH, München und Qonversion, Bamberg mit einer umfassenden Studie zum Thema „Optimierung der Ökoeffizienz von Vergärungsanlagen durch Integration in die thermische Abfallverwertung“ beauftragt. Das Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit finanziert.

Ziel des Projektes ist es, die Integration von Bioabfallvergärungsanlagen (BGA) in den Betrieb und die Infrastruktur bestehender Abfallheizkraftwerke hinsichtlich der Ökoeffizienz im Vergleich mit der bisher üblichen baulichen Alleinstellung („grüne Wiese-Anlagen“) zu vergleichen und auftretende Effekte soweit als möglich zu quantifizieren. Die Betrachtung der Ökoeffizienz konzentriert sich in diesem Forschungsvorhaben auf mögliche energetische, ökologische und ökonomische Synergien.

Im Fokus der durchgeführten Untersuchungen stehen die Minimierung der klimaschädlichen Treibhausgase Methan und Lachgas aus Bioabfallvergärungsanlagen, die Effizienzsteigerung der Bioabfallvergärung sowie die Optimierung des BGA-Betriebs hinsichtlich einer optimalen Kraft-Wärme-Kopplung durch gemeinsame Nutzung der Infrastruktur und der technischen Einrichtungen eines Abfallheizkraftwerks (AHKW).

Dabei werden modellhaft die Standorte der Abfallheizkraftwerke Geiselbullach (GfA), Burgkirchen (ZAS) und Augsburg (AVA) mit einer auf die jeweiligen lokalen Besonderheiten abgestimmten Vergärungsanlage überplant.

Mit dem derzeit vorliegenden Zwischenbericht konnte der Ansatz eines integrierten BGA- und AHKW-Betriebs als vielversprechend bewertet werden. Sowohl hinsichtlich der Minderung von Treibhausgasen als auch bezüglich der Wirtschaftlichkeit stellt ein übliches Müllheizkraftwerk einen optimalen Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlage dar.

Bereits nach den ersten Untersuchungen ist davon auszugehen, dass der integrierte Betrieb gegenüber alleinstehenden Anlagen eindeutige Vorteile bietet und daher bevorzugt umgesetzt werden sollte.

2 Aufgabenstellung

Die Aufgabestellung erforderte einerseits eine anlagentechnische Evaluierung der beteiligten Abfallverbrennungsanlagen, um der Studie eine fundierte praxisrelevante Basis zu geben, und andererseits eine Untersuchung und Bewertung der aktuell im europäischen Anlagenmarkt konkurrierenden Vergärungstechnologien im Rahmen eines detaillierten Vergleichs. Die Evaluierung der beteiligten AHKW erfolgte in enger Absprache und Diskussion mit den Betreibern der Anlagen, um die Besonderheiten des jeweiligen Standortes zu erfassen und für diesen, im Dialog mit den Fachleuten vor Ort, gemeinsam fundierte Ansätze hinsichtlich möglicher Standortsynergien zu entwickeln.

Auf Basis der dabei gewonnenen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der mittels Fragebögen erfassten grundlegenden Rahmenbedingungen der einzelnen AHKW erfolgte die Auswahl der jeweils optimalen Vergärungstechnologie für die im Modellvorhaben mitwirkenden Abfallverbrennungsanlagen. Im Hinblick auf eine möglichst optimale Ökoeffizienz durch Nutzung vorhandener Bausubstanz wurden für die Untersuchung folgende Anlagenkombinationen gewählt:

- GfA Geiselbullach: diskontinuierliche Trockenfermentation
- ZAS Burgkirchen: Nassfermentation
- AVA Augsburg: kontinuierliche Trockenfermentation
-

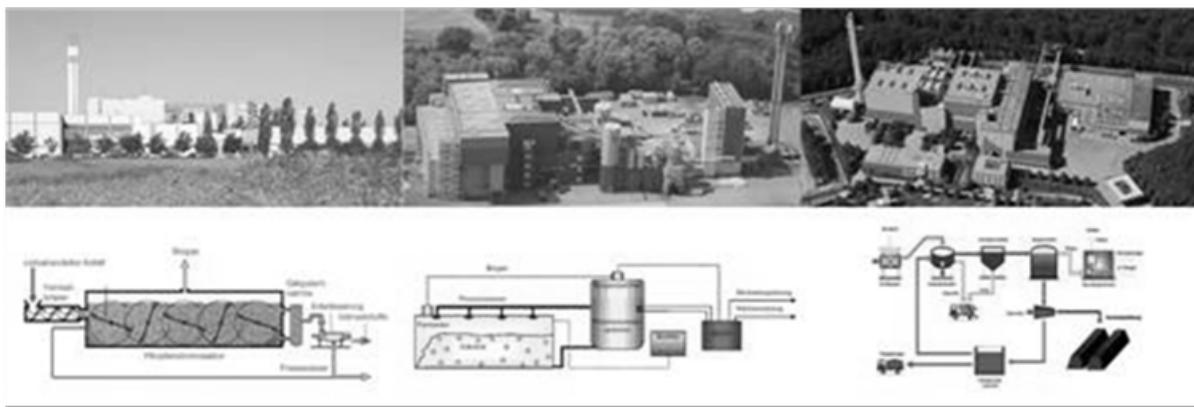


Bild 1: Fotos und Grafiken im Uhrzeigersinn: AVA Augsburg, GfA Geiselbullach, ZAS Burgkirchen, BTA international GmbH, Loock Biogassysteme GmbH, Strabag Umweltanlagen GmbH

Bei der planerischen Integration der Vergärungsanlagen waren vor allem die folgenden Punkte ausschlaggebend:

- Behandlung der Abluftströme aus der BGA in der Feuerung der AHKW
- Räumliche Situation zur Bewältigung der anstehenden bzw. potenziell verfügbaren Bioabfälle
- Einsatzmöglichkeiten von flüssigem Gärrest bzw. Überschusswasser
- Energienutzung und –verfügbarkeit

3 Bilanzierung der Anlagen

Gemeinsam mit den Anlagenbetreibern wurde das vorhandene Bioabfallpotenzial in den Einzugsgebieten der jeweiligen Anlagen abgeschätzt. Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Kenngrößen auf deren Grundlage die Verfahrenszuordnung erfolgte.

Tabelle 1: Übersicht der wesentlichen Kenngrößen der ausgewählten Vergärungstechnologien

Standort		Geiselbullach	Burgkirchen	Augsburg
Gewähltes Verfahren	-	Trocken-fermentation Boxen	Nass-fermentation Einstufig	Trocken-fermentation Propfenstrom
Durchsatz Bioabfall	Mg/a	15.000	25.000	45.000
Flächenverfügbarkeit auf Betriebsgelände	-	ja	ja	ja
Flüssiger Gärrest / Überschusswasser aus BGA	m ³ /a	800	9.500	13.800
Fester Gärrest aus BGA	Mg/a	12.400	10.300	18.300
Erzeugbare Menge (Roh-) Biogas	m ³ /a	1.350.000	2.550.000	4.208.000
Biogasnutzung	-	BHKW, Fernwärmе	Aufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz	BHKW, Fernwärmе

Bei der Erhebung der Anlagendaten der am Projekt beteiligten AHKW, waren die in den AHKWs einsetzbaren Mengen an Flüssigkeit, der Einsatz von Wärmeenergie sowie die integrierbaren Abluftmengen die wichtigsten Parameter zusammengefasst.

Um die Synergieeffekte des integrierten Betriebs der BGA an einem AHKW-Standort aufzeigen zu können, wurde auch ein Anlagenlayout für die „grüne Wiese“ entwickelt und unter vergleichbaren Bedingungen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

4 Synergieeffekte durch integrierten Betrieb

4.1 Thermische Behandlung der BGA-Emissionen

4.1.1 Generelle Betrachtungen zur Machbarkeit

Die Ökoeffizienz der Integration einer Vergärungsanlage in die Infrastruktur eines AHKW ist wesentlich mit der Fragestellung verknüpft, ob, bzw. in welchem Umfang die Inertisierung der BGA-Emissionen in der Feuerung der Verbrennungsanlage möglich ist. Dort wird neben Gerüchen vor allem das klimarelevante Schadpotenzial der emittierten Gaskomponenten eliminiert, das mit üblichen Biofiltern kaum reduziert werden kann.

Im Fall von Methan (CH_4 , GWP₂₃) - dem dominierenden Schadgasbestandteil der abgesaugten BGA-Abluft - ist die Verminderung des Treibhausgaspotenzials (GWP) offensichtlich, da es in der Feuerung sicher zu Kohlendioxid (CO_2 , GWP₁) oxidiert wird. Neben der signifikanten Verringerung des Treibhausgaspotenzials kann der Feuerung bei sehr hohen Methankonzentrationen evtl. sogar noch ein geringer Teil an zusätzlicher Energie zugeführt werden.

Aufgrund der komplexen Reaktionsmechanismen kann derzeit das Verhalten der Spurengaskomponente Lachgas (N_2O , GWP₂₉₆) bei Einbringung in die Feuerung noch nicht abschließend beurteilt werden. Es wird erwartet, dass das eingebrachte Lachgas unter dem Einfluss der hohen Temperaturen zu Stickoxiden (NO_2 und NO) weiteroxidiert wird. Diese Stickoxide werden anschließend durch die im AHKW vorhandene Abgasreinigung (SNCR bzw. SCR) zu Stickstoff abgebaut. Da Lachgas über das höchste Treibhausgaspotenzial der hier betrachteten Gase verfügt, wird eine Steigerung der Ökoeffizienz bei der vorgeschlagenen thermischen Behandlung erwartet. Allerdings ist auch bekannt, dass Lachgas beispielsweise in thermischen Oxidationseinrichtungen von MBA-Anlagen Probleme bereitet. Daher wird eine weiterführende Bewertung des Verhaltens von Lachgas in der Feuerung von AHKW im Rahmen der weiteren Projektbearbeitung auf Basis von reaktionskinetischen Betrachtungen durchgeführt.

Das Verhalten von Ammoniak, das über die Verbrennungsluft (normal temperierte oder vorgewärmte Primär- und Sekundärluft) den hohen Temperaturen in der Feuerung ausgesetzt wird, bedarf ebenfalls einer detaillierten Betrachtung. Prinzipiell kann Ammoniak in der Feuerung eines AHKW – innerhalb des adäquaten Temperaturfensters – zur Minderung der NO_x-Emissionen beitragen. Bei zu hohen Temperaturen wird der Ammoniak jedoch verbrannt und zumindest teilweise bis zum Stickoxid umgesetzt.

Da in der BGA-Abluft sowohl Ammoniak als auch Lachgas enthalten ist, muss dieses System einer detaillierten Betrachtung unterzogen werden. Ziel ist es – soweit möglich – eine Empfehlung zu erarbeiten, an welcher Stelle bzw. unter welchen Bedingungen (evtl. sogar unter Vorreinigung der BGA-Abluft), die Abluft im AHKW behandelt werden kann.

4.1.2 Technische Umsetzbarkeit und Bewertung

Die Emissionen der Bioabfallvergärungsanlagen können als Teilstrom zur Verbrennungsluft der AHKW beigemischt werden. Eine vollständige Bereitstellung der Verbrennungsluft aus kontaminiertem BGA-Abluft ist nicht möglich, da stets ein Teilstrom aus dem Müllbunker abgesaugt werden muss, um dort einen Unterdruck zur Verhinderung von Geruchsemissionen aufrechtzuerhalten. Die aus dem Bunker abgesaugte Luft wird bei allen betrachteten Anlagen ausschließlich als Primärluft eingesetzt. Die Sekundärluft wird in der Regel aus dem Nassentschlacker und/oder dem Kesselhaus abgesaugt.

Nach Angaben der Betreiber, kann der erforderliche Unterdruck im Bunker auch bei Stillstand (Revision) einer Ofenlinie aufrechterhalten werden. Diese Aussage bildete die Grundlage für die Quantifizierung der für die Behandlung der BGA-Abluft im AHKW verfügbaren Kapazitäten. Für den ersten Ansatz wurden folglich die Sekundärluftmengen aller Ofenlinien zuzüglich der Primärluftmenge einer Ofenlinie als Behandlungskapazität für die BGA-Abluft angesetzt. Im weiteren Projektverlauf wurden die einzelnen Abluftströme detailliert betrachtet.

Auf Basis der derzeitigen Erkenntnisse zeichnet sich auch bei nur teilweiser Behandlung der BGA-Abluft in der Feuerung des AHKW ein eindeutiger ökologischer Vorteil zugunsten des untersuchten Integrationsansatzes im Vergleich zur separaten Errichtung einer BGA ab. Eine Quantifizierung anhand der jeweils zu erwartenden Treibhausgasemissionen erfolgt im Rahmen der weiteren Projektbearbeitung.

4.1.3 Anlagenspezifische Betrachtung

Die Schwankungsbreiten der integrierbaren Abluftvolumenströme ergeben sich im Wesentlichen aus den Stillstandszeiten der Ofenlinien im Rahmen der Revisionszeiträume. Die revisionsbedingte Schwankungsbreite ist umso geringer, je mehr Ofenlinien vorhanden sind. In den Anlagen Geiselbullach und Augsburg kommt es während der Jahreshauptrevision zu einem betriebsbedingten Totalstillstand von 5 Tagen. In dieser Zeit werden zur Unterbindung der Geruchsemissionen die Bunkertore geschlossen. In diesen Zeiträumen müsste die Absaugung der Vergärungsanlagen vollständig über Biofilter erfolgen.

Durch eine optimierte Absaugung der Bereiche im Verfahrensprozess der BGA, in denen ein besonders hohes Aufkommen der klimarelevanten Spurenstoffe CH₄, N₂O und NH₃ sowie von Geruchsemissionen zu erwarten ist, soll eine Konzentration der zum AHKW abgeführten Abluft erzielt werden. Relevant sind insbesondere die Bereiche der Annahme, der Aufbereitung (auch Anmaischbereich) und des Gärrestaustrags.

Im weiteren Projektverlauf werden für jeden Standort eine Optimierung der Abluftmengen sowie eine Abschätzung der Spurenstofffrachten auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse vorgenommen.

4.2 Optimierte Energienutzung im Verbund

Die beim Betrieb des AHKW anfallende Niedertemperaturabwärme kann generell für die Beheizung der Fermenter genutzt werden. Dieser Ansatz ist insbesondere dann sinnvoll, wenn, wie in Burgkirchen, die Gaseinspeisung beabsichtigt, also kein Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert wird.

In den Fällen, in denen ein BHKW errichtet wird (Geiselbullach und Augsburg), könnte die Hochtemperaturwärme aus dem Abgasvolumenstrom des BHKW innerhalb des AHKW, beispielsweise zur Speisewasservorwärmung oder zur vermehrten Dampferzeugung genutzt werden. Dieser Dampf könnte in die Mittel- oder Niederdrukdampfschiene des AHKW eingespeist werden. Durch dieses Vorgehen könnte die Stromerzeugung des AHKW erhöht werden, da weniger Dampf von der Turbine für die Vorwärmung des Speisewassers oder die Bereitstellung von Fernwärme, ausgekoppelt werden muss.

Die hierdurch dem AHKW zusätzlich zur Verfügung stehenden Energiemenge beträgt im Jahresmittel für die Standorte Geiselbullach und Augsburg jeweils mehr als zehn Prozent der an Dritte abgegebenen Wärmeenergie.

Die Niedertemperaturwärme der Blockheizkraftwerke könnte z.B. für Trocknungs- oder Raumheizungszwecke genutzt werden.

Eine anlageninterne Verwendung des Biogases als Brenngas für die Zünd- und Stützbrenner ist prinzipiell denkbar und aus technischer Sicht möglich. Bei der GfA könnte das Biogas darüber hinaus auch in den Erdgasbrennern zur Wiederaufheizung der Rauchgase vor dem SCR Katalysator eingesetzt werden.

Die Anpassung der Erdgasbrenner an den Betrieb mit Rohbiogas würde einen derzeit noch nicht quantifizierbaren finanziellen Aufwand bedeuten. Der, verglichen mit der Reisezeit einer Ofenlinie, seltene Betrieb der Zünd- und Stützbrenner erschwert diesen Einsatz zusätzlich. Während der übrigen Betriebszeit wäre daher in jedem Fall eine alternative Biogasnutzung erforderlich. Darüber hinaus könnte, ohne eine aufwändige Zwischenspeicherung des Gases, nur ein Teil des Erdgases substituiert werden. Der Grund hierfür ist der Leistungsbereich der Zündbrenner, der in der Regel im zweistelligen Megawattbereich liegt, während die Brennstoffwärmeleistungen der betrachteten Biogasanlagen maximal den unteren einstelligen Megawattbereich erreichen.

Schon jetzt kann festgehalten werden, dass eine AHKW-interne Nutzung des Biogases aus rein wirtschaftlicher Sicht derzeit keinen Sinn macht, da hierfür – im Gegensatz zur Stromerzeugung oder Einspeisung ins Erdgasnetz - keine Vergütung durch das EEG erfolgt und somit der Einsatz von fossilem Erdgas in den Brennern kostengünstiger ist.

Der Einsatz von rohem oder gereinigtem Biogas in Hilfskesseln zur Fernwärmeverzeugung unterliegt starken periodischen Schwankungen und ist daher ebenfalls problematisch. Auch dieser Nutzungsoption steht in wirtschaftlicher Hinsicht das EEG entgegen, da es wiederum ökonomischer ist, Erdgas für die Hilfskessel zu nutzen und das Biogas unter Bezug der vorteilhaften EEG-Vergütung zu verstauen oder einzuspeisen.

Eine BHKW-Nutzung als Ersatz für Notstromaggregate bzw. zum Direktantrieb der Saugzuggebläse kommt bei den untersuchten AHKWs nicht in Betracht, da die Leistung der für die Biogasanlage installierten BHKW bei den zugrunde gelegten Bioabfallmengen hierfür nicht ausreicht. Generell muss hier der jeweilige Einzelfall überprüft werden.

4.3 Aufbereitung und Einspeisung Biogas

Aus technischer Sicht ist die Nutzung vorhandener Gasleitungen zur Einspeisung von aufbereitetem Biogas möglich. Die Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität ist je-

doch nur für größere Anlagenkapazitäten lohnend. Für die Aufbereitung des Rohbiogases kommt in diesem Projekt vor allem das innovative Verfahren der Aminwäsche in Betracht, da dieses Verfahren mit dem geringsten Strombedarf betrieben werden kann. Die notwendige Wärmezufuhr, beträgt beispielsweise für den Standort Burgkirchen etwa 150 kW. Sie muss auf einem Temperaturniveau von mindestens 160 °C erfolgen und kann über Mitteldruckdampf (15 bar, 200 °C) bereitgestellt werden.

Der Wärmebedarf der BGA am Standort Burgkirchen beträgt etwa 2,4 Mio. kWh pro Jahr oder 285 kW. Diese Wärmemenge muss vom AHKW auf niedrigem Temperaturniveau, etwa durch Niederdruckdampf oder durch Heißwasser mit 80 – 90 °C, bereitgestellt werden, da aufgrund der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz keine BHKW-Abwärme zur Verfügung steht.

4.4 Infrastruktur

Bei Errichtung einer BGA an einem AHKW-Standort ist eine gemeinsame Nutzung der Logistik für Müll- und Reststofftransport möglich. Im weiteren Projektverlauf werden die hierfür relevanten technischen Details geklärt.

Nach Angabe der Anlagenbetreiber kann die für die Logistik bestehende Infrastruktur (Waage, Reinigungsanlagen, Anfahrtswege, Betriebsflächen etc.) der AHKWs problemlos auch für die anzuliefernden Bioabfallmengen genutzt werden, wodurch eine Minimierung der Flächenversiegelung und Investitionskosten eines BGA-Neubaus erzielt werden kann.

Ebenfalls können die BGA in die vorhandene Gas-, Wasser- und Stromversorgung eingebunden werden. Der Gasanschluss ist hier vor allem am Standort Burgkirchen relevant, da hier, aufgrund des vorhandenen Wärmeüberangebotes im weiteren Projektverlauf die Einspeisung des aufbereiteten Biogases betrachtet wird. An den Standorten Augsburg und Geiselbullach erfolgt die Gasverwertung über BHKW mit anschließender Einspeisung der Wärme in das bereits vorhandene Fernwärmennetz.

Da das Biogas aus Vergärungsanlagen im Schwarzfall normalerweise direkt in die Atmosphäre abgegeben wird, können über die gemeinsame Nutzung der an den AHKW-Standorten vorhandenen Notstromversorgung Emissionen von klimarelevantem Biogas bei Stromausfall verhindert werden.

Darüber hinaus werden jeweils für die einzelnen Fermentationsverfahren die Möglichkeiten der Mitnutzung der Metallabscheidung sowie der Verzicht auf Schwachgas- bzw. Notfackeln durch Mitverbrennung des Biogases in den AHKW überprüft.

Bei der Betrachtung von Synergieeffekten im Bereich der Infrastruktur spielt auch das Betriebs- und Wartungspersonal eine wichtige Rolle. An einem gemeinsamen Standort können übergeordnete Betriebs- und Verwaltungsaufgaben sowie Urlaubs- und Krankheitsansätze über das bereits vorhandene Personal optimiert werden. Ebenso können Elektro- und Schlosserarbeiten in den Gesamtbetrieb integriert werden.

5 Ergebnis

Das Müllheizkraftwerk hat sich als ein optimaler Standort für die Errichtung einer Vergärungsanlage herausgestellt.

Die Treibhausgasemissionen (CO_2 -, CH_4 -, N_2O) können über die primär oder sekundäre Luftführung der Feuerung zugeschleust und thermisch oxidiert werden. Wo bei AHKWs bereits eine Fernwärmeleitung vorhanden ist, kann eine optimale Wärmenutzung ohne zusätzliche Erschließung erfolgen. Wo eher ein Wärmeüberschuss vorhanden ist, kann dieser genutzt werden, um den Eigenbedarf der Vergärungsanlage sowie den Wärmebedarf der Biogasaufbereitung zu Erdgasqualität zu decken. Bei dieser in einer der drei Anlagen gewählten Betriebsweise kann das gesamte durch den Vergärungsprozess gewonnene zu Biomethan aufbereitete Biogas in das Erdgasnetz eingespeist werden.

Neben dieser sich daraus ergebenden hohen Energieeffizienz ist bei den untersuchten Anlagen eine zusätzliche Nutzung der vorhandenen Ressourcen (Infrastruktur, Personal, etc.) realisierbar. Bei allen drei Anlagen ist hinreichend Platz vorhanden, um eine Vergärungsanlage zu realisieren. Zum Teil geht das sogar unter Nutzung vorhandener Bausubstanz, was dann zu erheblichen Einsparungen von Investitionen bei der Vergärungsanlage führt.

6 Literatur

L.-E. Åmand, B. Leckner, S. Anderson: Formation of N_2O in circulating fluidized bed boilers; Energy Fuels 5 (1991) S.815-823

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Offizieller Arbeitsentwurf zum Kreislaufwirtschaftsgesetz; März 2010

Dr. J. Clemens, „Reduktion von klimawirksamen Spurengasen in der Abluft von Biofiltern auf Bioabfallbehandlungsanlagen“; DBU, Osnabrück; Februar 2004

Carsten Cuhrs, Birte Mähl, Sven Berkau, Joachim Clemes; „Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen“; UFO-Plan FKZ 206 33 326; UBA, Dessau-Roßlau; Dezember 2008

- Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens; „Emissionen aus der Kompostierung und Vergärung von Bioabfällen im Vergleich“; 2. Biomasse-Forum 2008; Witzenhausen
- Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens; „Emissionen aus der Vergärung von Bioabfällen - Neue Ergebnisse und Messdaten; 3. Biomasse-Forum 2009; Witzenhausen
- Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG); Ausfertigungsdatum: 25.10.2008
- P. Glarborg, A.D. Jensen, J.E. Johnsson: Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems; Progress in Energy and Combustion Science 29 (2003) S. 89-113
- J.P. Hämäläinen, M.J. Aho: Effect of fuel composition on the conversion of volatiles solid fuel-N to N₂O and NO; Fuel; Vol. 74 (1995) No 12 S. 1922-1924
- Intergovernmental Panel on Climate Change; Fourth Assessment Report (AR4); 2007
- J.E. Johnsson: Formation and reduction of nitrogen oxides in fluidized-bed combustion; Fuel 73 (1994) S.1398-1415
- P. Kilpinen, M. Hupa: Homogeneous N₂O chemistry at fluidized bed conditions: a kinetic modeling study; Combust. Flame 85 (1991) S.94-104
- M. Koebel, M. Elsener: Entstickung von Abgasen nach dem SNCR-Verfahren; Chem.-Ing.-Tech. 64 (1992) Nr. 10 S.934-937
- J.C. Kramlich, W.P. Linak: Nitrous oxide behaviour in the atmosphere, and in combustion and industrial systems; Progress in Energy and Combustion Science 20 (1994) S.149-202
- Bayerisches Landesamt für Umwelt; Informationen aus der Abfallwirtschaft, Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2008; Augsburg; August 2008
- A. Molina; E.G. Eddings, D.W. Pershing, A.F. Sarofim: Char nitrogen conversion: implications to emissions from coal-fired utility boilers; Prog. Energy Combust. Sci. 26 (2006) S.507-531
- J.S. Nordin, N.W. Merriam: NOx emission produced with combustion of powder river basin coal in a utility boiler. DE-FC21-93MC30127 Task 9, Western Research Institute Laramie; April 1997; Wyoming
- P. Quicker: Maßnahmen zur Stickoxidreduktion an Biomasse- und Abfallfeuerungen; ProcessNet-Tagung Werkstoff- und Energieeffizienz thermischer Prozesse zur Biomasse- und Abfallbehandlung; November 2008; Essen
- W. Spiegel, R. Jordan, W. Müller, K. Gruber, S. Heuss-Assbichler: Phosphin bei der Verbrennung phosphorhaltiger Abfälle; VDI-Seminar Klärschlamm/Tiermehl/Biogene Abfälle; Februar 2002; Bad Homburg
- H. Spliethoff, H. Rüdiger, U. Greul, U., K.R.G. Hein: Kombinierte Minderung der NOx-Bildung und Reduzierung von gebildeten NOx bei der Verbrennung von Steinkohle; Forschungsbericht BMFT 0336535 C; Dez. 1993
- Tenbrink, 2009 J. Tenbrink, S. Weßeling, T. Hermann: Biogasaufbereitungsverfahren im Vergleich – Entscheidungshilfen für ein betriebswirtschaftliches Konzept, Energy 2.0-Kompendium 2009, www.energy20.net
- W. Urban, K. Girod, H. Lohmann: Technologie und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Ergasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Fraunhofer UMSICHT)ISO DIS 28560-1, -2, -3. Datenmodelle für RFID-Etiketten in Bibliotheken

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Klimaschutzzpotenziale der thermischen Abfallbehandlung

Marlene Sieck
Umweltbundesamt Dessau

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

Die Abfallwirtschaft leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. In Deutschland sind die Hauptpotenziale zur Treibhausgassenkung im Abfallsektor durch die Einstellung der Deponierung unvorbehandelten Siedlungsabfalls bereits ausgeschöpft. Bereits im Jahr 2006 hat die Siedlungsabfallwirtschaft einen Beitrag von 18 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten zur Reduktion der gesamten Treibhausgase geleistet, das bedeutet gegenüber 1990 eine Senkung um 56 Mio. t CO₂-Äq.

Es sind jedoch noch Optimierungspotenziale vorhanden durch gesteigerte getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen und durch Emissionsminderungen und bessere Energieausbeute bei den thermischen und den biologischen Behandlungsverfahren.

Im Jahr 2005 hatte das Umweltbundesamt das Klimaschutspotenzial der Siedlungsabfallwirtschaft in einem Forschungsvorhaben untersuchen lassen (Öko-Institut /ifeu 2005). Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz größer ist als es die Bilanzierung im Nationalen Inventarbericht (NIR) vermuten lässt. Im NIR werden nach den Regeln des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) für den Sektor Abfall vor allem die Emissionen aus Deponien berichtet. Die Gutschriften z.B. aus dem genutzten Strom oder der Wärme aus Müllverbrennungsanlagen (MVA) werden im Sektor Energie verbucht. Andere Leistungen der Abfallwirtschaft z.B. aus der stofflichen Verwertung werden im Sektor Industrie gut geschrieben. Dadurch entsteht ein unvollständiges Bild, das die Leistungen der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz nicht angemessen darstellt.

Daher wird in den hier vorgestellten Studien als Bilanzmethode eine, auf die Umweltkriterien Klimaschutz und fossile energetische Ressourcen reduzierte, Ökobilanz nach ISO 14040 und 14044 gewählt. Die Aufwendungen der Abfallwirtschaft, wie Sammlung, Transporte, Sortierung, Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung werden beginnend bei der Bereitstellung der Abfälle erhoben. Die Herstellung und der Gebrauch der Produkte, bevor sie zu Abfall werden, liegen außerhalb der Systemgrenze. Mit der Gutschriftenmethode werden für die durch die Abfallwirtschaft bereitgestellten Sekundärprodukte oder Energie, die dadurch ersetzen Primärprodukte bzw. konventionell erzeugte Energie in sogenannten Äquivalenzprozessen gegenübergestellt. Daraus ergeben sich „Gutschriften“, die mit den Belastungen aus dem Umgang mit den Abfällen verrechnet werden.

In allen Szenarien wird die gleiche, zum Stand 2006 angefallene Menge von 47,38 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle inkl. Altholz betrachtet. Diese Menge entspricht der funktionellen Einheit der vergleichenden Betrachtung, durch diese Vorgehensweise werden die Nutzengleichheit und damit die Vergleichbarkeit der Szenarien gewährleistet.

Tabelle 1: Abfallaufkommen gemäß Abfallbilanz 2006 (STBA 2008)

Abfälle	in 1.000 t
Siedlungsabfälle insgesamt	46.426
Haushaltsabfälle	40.827
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt	14.260
Sperrmüll	2.247
Abfälle aus der Biotonne	3.757
Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar	4.044
Glas	1.929
Papier, Pappe, Kartonagen	8.080
Leichtverpackungen / Kunststoffe	4.532
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle getrennt vom Hausmüll angeliefert oder eingesammelt	3.821
Summe¹	42.670

Zusätzlich zu den Abfällen aus Haushalten werden in der Anfang 2010 veröffentlichten Studie erstmals auch Althölzer mit betrachtet. Hier beschränkt sich die Untersuchung nicht auf den Herkunftsgebiet Haushalte, sondern es wird das Altholzaufkommen aus allen Herkunftsgebieten (neben Altholz im Sperrmüll auch Verpackungsholz und Bau- und Abbruchholz) zugrunde gelegt. Altholz wurde nicht auf den Anteil in den Siedlungsabfällen begrenzt, da es sich um ein sehr einheitliches Material handelt, das unabhängig von der Herkunft ähnlichen Verwertungswegen zugeführt wird. Darüber hinaus ist der Anteil des Altholzes an dem Gesamtbeitrag der Abfallwirtschaft zur Senkung von Treibhausgasen besonders relevant. Nach Auswertung diverser Quellen wird von einem Gesamtaufkommen an Altholz von 6,9 Mio. t ausgegangen.

Die Abfallwirtschaft insgesamt weist im Vergleich zu den in dieser Studie untersuchten Mengen ein deutlich höheres Abfallaufkommen auf:

- Abfallaufkommen insgesamt: 372,9 Mio. t
- Betrachtete Siedlungsabfälle 42,7 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 11,4%)
- Altholzaufkommen 6,9 Mio. t (Anteil an der Gesamtmenge 1,9%).

Geprägt wird das Gesamtaufkommen zu etwas mehr als die Hälfte durch Bau- und Abbruchabfälle, daneben handelt es sich v. a. um Produktions- und Gewerbeabfälle und Bergematerial aus dem Bergbau.

Zur Auswertung des Treibhauseffektes werden die einzelnen Treibhausgase der Sachbilanz entsprechend ihrer dem CO₂ äquivalenten Wirkung zusammengefasst.

¹ Nicht betrachtet aus der gesamten Siedlungsabfallmenge wurden gefährliche Siedlungsabfälle, Straßenkehricht, Kantinen-, Marktabfälle, Elektroaltgeräte und als „Sonstiges“ ausgewiesene Mengen.

Die wichtigsten Treibhausgase und ihre aktuellen CO₂-Äquivalenzwerte nach IPCC (2007) sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Treibhauspotenzial der wichtigsten Treibhausgase nach (IPCC 2007)

Treibhausgas	CO₂-Äquivalente (GWP, in kg CO₂-Äq/kg)
Kohlendioxid (CO ₂), fossil	1
Methan (CH ₄), fossil	27,75
Methan (CH ₄), regenerativ	25
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	298

Es wurde eine Bestandsaufnahme für das Jahr 2006 erarbeitet und mehrere Szenarien für 2020, um das noch vorhandene Minderungspotenzial zu identifizieren.

Bilanzierte Szenarien

- 2006:
Bilanzierung des Ist-Zustandes gemäß den Daten des Statistischen Bundesamtes, ergänzt um Berechnungen der Forschungsnehmer
- 2020 T (Technik):
Verbesserungen der technischen Standards der Behandlungs- und Recyclingtechniken bei unveränderten Abfallmengenströmen
- 2020 A (Abfallströme):
Abbildung der wesentlichen abfallwirtschaftlichen Stoffstromänderungen bedingt durch zusätzliche getrennte Erfassung und Recycling von zusätzlich angenommenen 50 % der 2006 noch im Restmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall (HMG) enthaltenen Wertstoffe, ohne technische Verbesserungen
- 2020 AT (Abfallströme und Technik):
Kombination der Szenarien 2020 T und 2020 A

Die Bilanzierung der MVA für 2006 Ist und 2020 A erfolgt mit einem elektrischen Netto-Wirkungsgrad von 10% und einem thermischen von 30%.

Für 2020 T und 2020 AT wird eine Verbesserung der Netto-Wirkungsgrade für 2020 angesetzt: 14% elektrisch, 45% thermisch.

Der in den Anlagen nicht zur Deckung des Eigenbedarfs benötigte Strom wird zu 100% in das Netz eingespeist. Die dafür anzurechnende Stromgutschrift wird in Anlehnung an die BMU-Methode zur Ermittlung der Treibhausgaseinsparung durch Strom aus Erneuerbaren Energien verrechnet. Das hierzu neu vorgelegte Gutachten (ISI 2009) ermittelt, dass durch Strom aus biogenem Abfall im Jahr 2006 zu 16% Strom aus Braunkohle, zu 59% aus Steinkohle und zu 25% aus Erdgas ersetzt wurde. Hierfür wird ein Minderungsfaktor von 852 g CO₂/kWhel angegeben. In diesem

Minderungsfaktor sind jedoch ausschließlich direkte CO₂-Emissionen berücksichtigt, d.h. weder weitere Treibhausgase wie Methan oder Lachgas noch die Emissionen der Brennstoffbereitstellung sind enthalten. Für die Studie wird der o. g. Substitutionmix nach (ISI 2009) einheitlich für jeglichen im abfallwirtschaftlichen System erzeugten Strom verwendet, die entsprechenden Minderungsfaktoren wurden jedoch mit weiteren Berechnungen ermittelt. Daraus berechnet sich ein Minderungsfaktor für Stromgutschriften von 887 g CO₂/kWhel. Als Sensitivität wird auch der deutsche Strommix nach GEMIS mit 598 g CO₂/kWhel gerechnet. Der Strombedarf in der MVA wird aus dem eigenen Strom gedeckt.

Für im abfallwirtschaftlichen System erzeugte Wärme wird der Ersatz von Öl- und Gasheizungen (50/50) in den Haushalten gutgeschrieben. Auch dies entspricht weitgehend dem Ansatz der BMU-Methode wie sie z.B. in (BMU 2008) beschrieben ist. Neue Substitutionspotenziale für Wärme aus Erneuerbaren Energie werden am UBA erarbeitet, waren aber zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Studie noch nicht verfügbar. Für die Verteilung in Fernwärmennetzen werden Verluste von 10 % angesetzt (vgl. auch Öko-Institut 2008c). Der so berechnete Minderungsfaktor für die Wärmebereitstellung beträgt 334 g CO₂/kWh.

Aus den MVA-Aschen werden in 2006 und 2020 A ca. 50% des Eisens und 10% der NE-Metalle abgeschieden, die mit dem Restmüll in die MVA gelangten. In den Szenarien 2020 T und 2020 AT wird die Metallabscheidung bei Eisen auf 70% und bei NE-Metallen auf 50% gesteigert (Öko-Institut 2002b). Berücksichtig wird auch die Änderung der Abfallzusammensetzung infolge der Zunahmen bei der Getrenntsammlung in den Szenarien 2020 A und 2020 AT. Nachfolgend sind die spezifischen Ergebnisse für die Behandlung des HM+HMG Mix in MVA dargestellt, die sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibungen ergeben.

Die Hauptanteile der Belastungen kommen aus dem Betrieb der MVA, und zwar v. a. aus CO₂-Emissionen der Abfallverbrennung. Der geringe Rückgang bei den Szenarien mit geänderter Abfallzusammensetzung wird durch den geringfügigen Rückgang beim Gehalt an fossilem Kohlenstoff verursacht. Dieser geht absolut zurück (von 0,09 kg C/kg Abfall auf 0,086 kg C/kg Abfall), weil auch der gesamt im Restmüll enthaltene Kohlenstoffgehalt bedingt durch die in den Szenarien 2020 A und 2020 AT angenommenen gesteigerte Wertstoffentnahme zurückgeht. Relativ gesehen nimmt dagegen der Anteil des fossilen Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff etwas zu, da mehr biogene als fossile Anteile entnommen werden.

Der Anstieg bei den Szenarien mit optimierter Technik röhrt von der optimistischen Annahme her, dass bei gleichzeitiger Steigerung des Stromwirkungsgrades auch die Wärmeauskopplung sehr stark erhöht werden kann.

Tabelle 3: Spezifische THG-EF für die MVA, aufgeschlüsselt nach wichtigen Beiträgen

	THG spezifisch			
	kg CO ₂ -Äq/t			
Anteile	2006	2020 T	2020 A	2020 AT
SML+TSP	9,5	9,5	9,4	9,5
Betrieb	361,5	361,5	346,1	346,1
Metalle	-18,9	-42,0	-13,2	-29,2
Strom	-226,5	-317,2	-208,9	-292,4
Wärme	-255,8	-383,6	-235,8	-353,7
EF MVA	-130,2	-371,7	-102,3	-319,8

Erwartungsgemäß ist die Bedeutung von Sammlung und Transporten (SML+TSP) gering. Die Gutschriften für das Recycling der Metalle gehen aufgrund der rückläufigen Metallgehalte im Restmüll, trotz der Annahme, dass diese mit höherer Effizienz aus den Rostaschen zurück gewonnen werden können, erheblich zurück.

Das Recycling der Müllverbrennungsaschen im Straßenbau, kann die Aufwendungen für die Aufbereitung ausgleichen und ist somit geringfügig an den Gutschriften für das Metallrecycling beteiligt.

Fazit

Die Abfallwirtschaft in Deutschland leistet einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz. Seit 1990 bis heute trug sie durch stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen zu rund einem Viertel der insgesamt in diesem Zeitraum erreichten Treibhausgasminderung in Deutschland bei. Durch mehr Recycling, eine optimierte stoffliche Verwertung sowie Energieeffizienzsteigerungen (Strom/Wärme) in den Behandlungsanlagen, können bis 2020 in Deutschland weitere 10 Mio. Tonnen CO₂-Äq eingespart werden. 1990 hat die deutsche Siedlungsabfallwirtschaft das Klima noch mit 37,8 Mio. t CO₂-Äq/a belastet (Statusbericht 2005; ohne Altholz). Verglichen mit den Leistungen heute, die unter Berücksichtigung des Altholzanteils eine Entlastung von 17,8 Mio. t CO₂-Äq/a hervorbringen, liegt der Reduktionsbeitrag zu 1990 bei insgesamt etwa 56 Mio. t CO₂-Äq/a oder 670 Kilogramm CO₂-Äq. pro Einwohner.

Bis 2020 strebt Deutschland eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 40% gegenüber 1990 an. Zum Erreichen dieses Ziels könnten allein die Siedlungsabfallwirtschaft und das Altholzrecycling rund 13% beitragen.

Literatur:

Öko-Institut /ifeu 2005: Dehoust, G. et al: „Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale“, Öko-Institut e.V. und IFEU Heidelberg, Ufoplan-Vorhaben 205 33 314. Darmstadt, Heidelberg 2005

- Öko-Institut /ifeu 2010: Dehoust, G. et al: „Klimaschutzzpotenziale der Abfallwirtschaft – Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“, Öko-Institut e.V. und IFEU Heidelberg, Ufoplan-Vorhaben 3708 31 302. Darmstadt, Heidelberg 2010
- STBA 2008: Umwelt, Abfallentsorgung 2006, erschienen im Juli 2008. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008
- IPCC 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report: Climate Change 2007, www.ipcc.ch
- ISI 2009: CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Im Auftrag des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Feb. 2009
- BMU 2008: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: „Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung“, Berlin/Bonn, Juni 2008
- Öko-Institut 2002b: Dehoust, G.; Gebhard, P.; Gärtnner, S.: „Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung“, Studie des Öko-Instituts im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD), 2002

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Klima- und Ressourcenschutz bei der Planung des neuen Betriebshofes Koblenz

Edgar Mannheim
Koblenzer Entsorgungsbetrieb
Ulrich Krath
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einführung

Die Stadt Koblenz realisiert im Norden des Stadtgebietes einen zentralen Betriebshof, um mehrere städtische Ämter und Eigenbetriebe an einem Standort zu konzentrieren. Ziel ist die Schaffung von Synergien in der Bereitstellung, im Betrieb und in der Unterhaltung von Büro- und Sozialbereichen, Werkstätten, Lagern und des Fuhrparks. Im Weiteren soll durch die Bündelung des Personals und der Geräteausstattung die Grundlage für eine Neuorganisation städtischer Aufgaben im Hinblick auf eine Serviceverbesserung für den Bürger mit geringerem Aufwand geschaffen werden.

Unter der Federführung des Koblenzer Entsorgungsbetriebes wird dieses Projekt entwickelt, welches in Bezug auf den Klima- und Ressourcenschutz einen Modellcharakter verfolgt.

Mit der Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung ist eine Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus der Planungsgruppe Gestering, de Vries, Wurster und Partner, der Björnsen Beratende Ingenieure GmbH und der Ingenieurgesellschaft Strunk + Partner beauftragt.

2 Baukörper und Funktionsbereiche

Das für den zentralen Betriebshof zur Verfügung stehende Grundstück umfasst rd. 5 ha in einem Gewerbegebiet.

Für rund 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

- des Entsorgungsbetriebes Koblenz,
- der Stadtreinigung,
- des Grünflächenamtes,
- des Hochbauamtes,
- des Tiefbauamtes und
- des Ludwig-Museums

wird ein zentrales Betriebs- und Sozialgebäude errichtet. Nördlich anschließend entsteht ein Werkstattgebäude mit Kfz-Werkstätten für den städtischen Fuhrpark und angegliedertem Zentrallager sowie verschiedenen weiteren Einzelwerkstätten. Westlich angrenzend sind eine Tankstelle, Waschplätze und eine Straßenkehrrichtumsschlaganlage angeordnet, gefolgt von Abstellflächen für die Betriebsfahrzeuge, z. T. eingehaust für wasserführende Fahrzeuge im Winter.

Im Nordwesten des Betriebsgeländes entsteht ein Wertstoffhof mit entsprechendem Containerumschlag, eine Streuguthalle für den Winterdienst und ein Lagerbereich für

mobile Hochwasserschutzeinrichtungen der Stadt Koblenz. Weitere Lagerhallen und auch ein Freiflächenlager befinden sich im Osten und Südosten des Grundstückes. Rd. 220 Mitarbeiter- und Besucherstellplätze sind im Südwesten den eigentlichen Betriebsflächen vorgelagert.

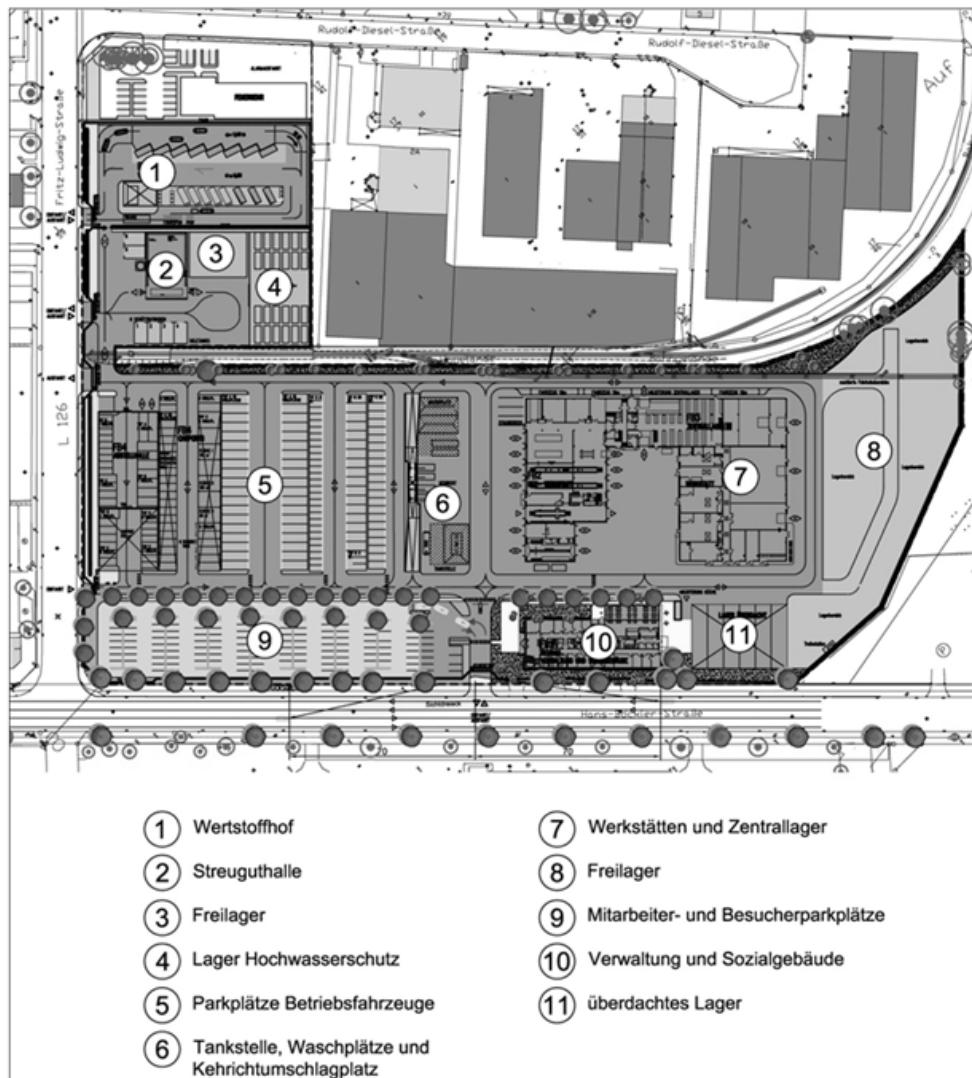


Bild 1: Zentraler Betriebshof Koblenz

3 Energieversorgungskonzept

3.1 Wärmeschutzstandard für das Büro- und Sozialgebäude

Aufgrund seiner Größe mit drei bzw. vier Geschossen und einem umbauten Raum von rd. 13.500 m³ stellt das Büro- und Sozialgebäude die maßgebenden Ansprüche an die Wärme- bzw. Kälteversorgung und die elektrische Energieversorgung.

Für einen Wirtschaftlichkeitsvergleich wurden drei Varianten zum Wärmeschutz untersucht:

Variante 1: Einhaltung der Energieeinsparverordnung 2007

Variante 2: Einhaltung der Energieeinsparverordnung 2009

Variante 3: Einhaltung Passivhausstandard

Allen Varianten zugrunde gelegt wurden die Anforderungen des Erneuerbare Energien-Wärmegegesetzes (EEWärmeG) in Bezug auf die Nutzungspflicht zum Einsatz erneuerbarer Energien im Wärmebereich (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Deckungsanteile erneuerbarer Energien gem. EEWärmeG

Erneuerbare Energie	Deckungsanteil
solare Strahlungsenergie	> 15 %
gasförmige Biomasse	> 30 %
flüssige Biomasse	> 50 %
feste Biomasse	> 50 %
Geothermie und Umweltwärme	> 50 %

Diese Nutzungspflicht gilt als erfüllt bei Anwendung folgender Ersatzmaßnahmen:

- 1. Wärmeenergiegewinnung aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme, Deckungsanteil > 50%,
- 2. Wärmeenergie unmittelbar aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Deckungsanteil > 50 %,
- 3. Maßnahmen zum verbesserten Wärmeschutz und zur Senkung des Jahres-Primärenergiebedarfs von > 15 % im Vergleich zur EnEV 2007,
- 4. Wärmeenergie unmittelbar aus einem Netz der Nah- oder FernwärmeverSORGUNG, wenn die Wärme
 - a) zu einem wesentlichen Anteil aus erneuerbaren Energien,
 - b) zu mind. 50 % aus Abwärme,
 - c) zu mind. 50 % aus KWK-Anlagen oder
 - d) zu mind. 50 % durch eine Kombination der in den Buchstaben a) bis c) genannten Maßnahmen stammt.

Die Berechnungsergebnisse zur Wärmeenergiebilanz zeigen deutlich den Effekt der unterschiedlichen Wärmedämmstandards.

Tabelle 2: Ergebnisse der Wärmeenergiebilanzen

Ergebnisse Energiebilanz	Variante 1 EnEV 2007	Variante 2 EnEV 2009	Variante 3 PASSIVHAUS
Heizwärme	84 kWh/m ² a	62 kWh/m ² a	15 kWh/m ² a
Endenergie	100 kWh/m ² a	74 kWh/m ² a	25 kWh/m ² a
Heizlast	120 kW	100 kW	40 kW

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Betriebsgebäude in Bezug ein erhöhtes Investitionsvolumen gegenüber reduzierten Brennstoffkosten zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Bürogebäude

	Variante 1 EnEV 2007	Variante 2 EnEV 2009	Variante 3 PASSIVHAUS
Mehrinvestition in besseren Wärmeschutz und zusätzliche Lüftungsanlage mit WRG im Passivhaus	-	40.100 €	216.000 €
EOR- Förderung (Hocheffiziente Gebäude) Bedingungen: HT- 45%, Qp - 50% - 1% Nettobaukosten	-	- 20.000 €*)	- 20.000 €
Mehrinvestitionskosten inkl. Förderung	-	20.100 €	196.000 €
Brennstoffkosten (Erdgas u. Strom f. Lüftung)	11.850 €/a	8.900 €/a	4.500 €/a
Amortisation bei 6 % Brennstoffteuerungsrate	-	7 Jahre	25 Jahre
Amortisation bei 8 % Brennstoffteuerungsrate	-	6 Jahre	21 Jahre
Amortisation bei 10 % Brennstoffteuerungsrate	-	5 Jahre	18 Jahre

Die Amortisationszeiten hängen naturgemäß stark von der Brennstoffteuerungsrate ab und variieren für den Ausbau nach EnEV 2009 zwischen 5 und 7 Jahren und nach Passivhausstandard zwischen 18 und 25 Jahren.

Die Umweltrelevanz des verbesserten Wärmeschutzes in Form der Einsparung äquivalenter CO₂-Emissionen gegenüber dem Wärmedämmstandard EnEV 2007 beträgt bei

Variante 2 - EnEV 2009:	18.400 kg/a
Variante 3 - Passivhaus:	48.620 kg/a

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde entschieden, das Büro- und Sozialgebäude in Passivhausbauweise zu errichten.

3.2 Energieversorgungskonzept

Die Bilanzierung des gesamten Wärmeenergie- und des gesamten Stromenergiebedarfs für die verschiedenen baulichen Anlagen des neuen zentralen Betriebshofs, unter Berücksichtigung des Büro- und Sozialgebäudes in Passivhausbauweise, ergibt

- Gesamt-Wärmeenergiebedarf rd. 325.000 kWh/a
- Gesamt-Stromenergiebedarf rd. 420.000 kWh/a

Für die Versorgung der Einzelgebäude bietet sich ein Nahwärmenetz in Verbindung mit einer zentralen Heiz- bzw. Energiezentrale an.

Zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs wurden folgende Varianten untersucht:

3.2.1 Grundvariante

Variante 1 Gas-/Brennwertkessel mit und ohne Solaranlage

3.2.2 Alternativvarianten Biomasse

Variante 2 Holzhackschnitzelanlage (Grundversorgung)
+ Erdgas-/Brennwertkessel (Spitzenlastversorgung)
mit und ohne Solaranlage

Variante 3a + b Erd- und Umweltwärme
Luft-Wasser-Wärmepumpe (Grundversorgung)
+ Erdgas-/Brennwertkessel (Spitzenlastversorgung)
mit und ohne Solaranlage

- Variante 3c Luft-Wasser-Wärmepumpe (Grund- und Spitzenlastversorgung) mit Solaranlage
- Variante 3d + e Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit und ohne Solaranlage
- Variante 4 Kraft-Wärme-Kopplung
Erdgas-Blockheizkraftwerk (Grundversorgung)
+ Erdgas-/Brennwertkessel (Spitzenlastversorgung)
mit und ohne Solaranlage
- Variante 5 Holzhackschnitzel-Blockheizkraftwerk (Grundversorgung)
+ Erdgas-/Brennwertkessel (Spitzenlastversorgung)
- Variante 6 Wärmerückgewinnung aus Abwasser
Abwasserwärmevernutzungsanlage (Grundversorgung)
+ Erdgas-/Brennwertkessel (Spitzenlastversorgung)
mit und ohne Solaranlage
- Variante 7 Abwasserwärmevernutzungsanlage (Grundversorgung)
+ Luft-Wasser-Wärmepumpe (Spitzenlastversorgung)
mit Solaranlage

Ein umfassender Wirtschaftlichkeitsvergleich zeigt Folgendes (s. Tabelle 4):

- Die wirtschaftlich günstigsten Varianten sind die Variante 3d (Wasser-Wasser-Wärmepumpe) und 4a (Erdgas-Blockheizkraftwerk mit Spitzenlastkessel), jeweils ohne Solaranlage.
- Mit einem positiven Ergebnis folgen dann noch die Varianten 2a, 3a, 3c, 3e, 4b und 5.
- Alle anderen Varianten sind im vorliegenden Fall unwirtschaftlich.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeitsvergleich der untersuchten Wärmeerzeugungsanlagen

	Grundvariante V1		Alternative V2		Alternative V3				
	1a ohne Solar	1b mit Solar	2a ohne Solar	2b mit Solar	3a ohne Solar	3b mit Solar	3c mit Solar	3d ohne Solar	3e mit Solar
Einsparung Brennstoffkosten		2.258	9.103	10.040	8.256	9.466	10.341	13.299	14.207
Mehraufwand für Wartung und Kapitaldienst		5.511	7.916	12.952	4.839	9.752	9.628	6.350	11.975
Saldo		-3.253	1.187	-2.912	3.417	-286	713	6.949	2.232

	Alternative V4		Alternative V5		Alternative V6		Alternative V5 7a mit Solar	
	4a ohne Solar	4b mit Solar	5a	5b	6a ohne Solar	6b mit Solar	6c ohne Solar	6d mit Solar
Einsparung Brennstoffkosten	19.907	20.144	40.540	40.540	9.985	12.243	12.219	12.267
Mehraufwand für Wartung und Kapitaldienst	12.046	15.439	42.211	83.711	11.821	15.337	21.510	24.997
Saldo	7.861	4.705	-1.671	-43.171	-1.836	-3.094	-9.291	-12.730
								891

Die realisierbaren Varianten mussten jedoch im Weiteren aufgrund von Auflagen eingeschränkt werden. So mussten Holzhackschnitzelanlagen (Varianten 2 und 5) wegen einer Veränderungssperre betreffend erhöhte Luftbelastungen entfallen. Außerdem wurden Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Varianten 3d und 3e) als nicht genehmigungsfähig eingestuft, da beabsichtigt ist, eine Wasserschutzzone IIIa über den Standort des zentralen Betriebshofes hinweg auszudehnen. Aus ökologischen Gründen wurde im Weiteren entschieden, möglichst auf den Einsatz fossiler Energien zu verzichten (Varianten 1a, 1b, 3a, 3b, 4a, 4b und 6a bis d). Als Vorzugslösung wurde im Ergebnis die Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Grund- und Spitzenlastversorgung in Verbindung mit einer Solaranlage entschieden.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Klima- und Ressourcenschutz am Beispiel des Recyclinghofes der Stadtreiniger Kassel

Stephan Brede
Die Stadtreiniger Kassel

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einleitung

Die Stadtreiniger Kassel - Eigenbetrieb - betreiben im Rahmen ihrer abfallwirtschaftlichen Aktivitäten zwei Recyclinghöfe im Stadtgebiet Kassel.

Im Zuge der Neubauplanungen wurden im Jahre 2006 ff. auch Fragen des Klima- und Ressourcenschutzes diskutiert.

Im Folgenden wird auf Beispiele der Umsetzung eingegangen, wobei insbesondere das Thema des Baustoffes Holz, aber auch das Thema zum effizienten Betrieb des Gebäudes bezüglich Energiesparmöglichkeiten, Klima und Ressourcenschutz dargelegt werden.



Bild 1: Blick auf den Recyclinghof

2 Holz als Baustoff für jeden Fall?

Für die Bauweise des Betriebsgebäudes lag die Priorität auf ökologischer Bauweise und optimaler Energieeffizienz beim Betrieb des Gebäudes. Der Baustoff Holz wurde zunächst im Vergleich mit der Bauweise in Stein untersucht. Berücksichtigt wurde die grundsätzliche Bedeutung von Holz bezüglich seiner Verwendung als Baumaterial, sowie die Auswirkungen bei zunehmender Holzverwendung in der Bauindustrie.

Seit dem Jahr 2004 macht sich bereits die zweite amtierende Bundesregierung mit Ihrer Initiative "Verstärkte Holznutzung zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovation und Arbeitsplätzen" (Charta für Holz), bei Verwendung von Holz und Holzprodukten aus heimischen Wäldern, stark. Dies erfolgt durch verschiedene Wege der Förderung für die Holznutzung, wie z.B. durch den Holzabsatzfonds (HAF) oder auch indirekt durch verschiedene Regelungen in der EnEV (Energieeinsparverordnung), die sich positiv auf Holz als Bau- und Brennstoff auswirken.



Bild 2: Holz als Baustoff (Quelle: kic-media.de)

3 Holz im Ökosystem

Vor allem junge Bäume nehmen CO₂ (Kohlenstoffdioxid) aus der Luft auf und entlasten so die Atmosphäre von diesem gefährlichen Treibhausgas. Kohlenstoffdioxid ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff mit der Summenformel CO₂. In der Luft kommt es in einer durchschnittlichen Konzentration mit 0,038% vor. Es entsteht bei Verbrennung kohlehaltiger Stoffe oder im Organismus von Lebewesen bei der Zellatmung. Die Bäume speichern Kohlenstoff in ihrem Holz, den überschüssigen Sauerstoffanteil der chemischen Verbindung CO₂ geben sie an die Luft ab. Wird das Holz später als Bau- und Werkstoff verarbeitet, bleibt der Kohlenstoff über viele Jahre gespeichert und verlängert damit die Klimaschonung.



Bild 3: Holz im Ökosystem (Quelle: augsburger-holzhaus.de)

Für die aktuell in Deutschland in Gebrauch befindlichen Holzprodukte wird von einer Kohlenstoffspeicherung von rund 365 Millionen Tonnen ausgegangen. Dies entspricht gut 1,3 Milliarden Tonnen CO₂ jährlich. Holz, als Teil des Ökosystems Wald, ist zudem eine sich selbst erneuernde Rohstoffquelle. Eine stärker werdende, wirtschaftliche Nutzung der Wälder steht daher nicht im Widerspruch zu den Zielen des Klimaschutzes.

Holznutzung ist aktiver Klimaschutz

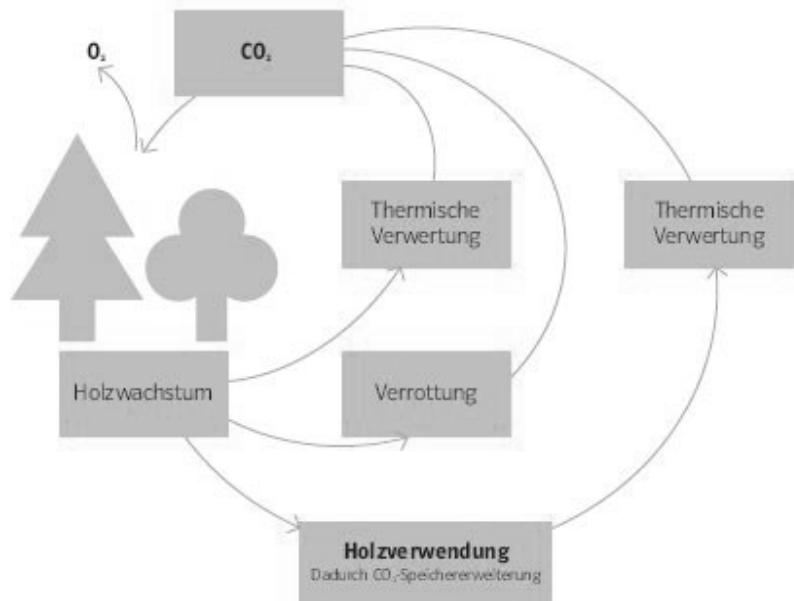


Bild 4: Holzkreislauf im Ökosystem (Quelle: Informationsdienst Holz)

4 Energieeffiziente Verarbeitung von Holz

Der Informationsdienst Holz hat bezüglich der energieeffizienten Verarbeitungen von Holz folgende Grundlagen publiziert: Zur Herstellung, Nutzung, Instandhaltung und Entsorgung von Holzprodukten wird weniger Energie benötigt, als aus dem Produkt und den Reststoffen der Herstellung erzeugt wird. Dies gilt selbst für eine sehr intensive und hoch mechanisierte Forstwirtschaft. Je nach Baumart müssen bis zur Bereitstellung des Rundholzes an der Waldstraße nur ein bis vier Prozent der im Holz gespeicherten Energie in Form von fossilen Energieträgern wie Treibstoff aufgewendet werden.

So ist der Primärenergieverbrauch bei der Herstellung von drei Meter hohen Stützen mit vergleichbarer Lastauslegung bei Stahlbeton fast viermal so hoch wie bei vergleichbaren Holzkonstruktionen. Die Gewinnung, Verarbeitung und der Einbau von Aluminium z.B. benötigen sogar 126-mal so viel Energie wie Holz. Wenn man den Stoffkreislauf konsequent zu Ende denkt, lassen sich Bau- und Werkstoffe aus Holz leicht integrieren: Unbehandelte Holzreste können stofflich oder thermisch weitergenutzt oder am Ende ihres Lebenszyklus durch einfache Verrottung wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden. Hinzu kommt, dass die eigentlichen Verarbeitungsprozesse in der Forst- und Holzwirtschaft vergleichsweise energiearm und zudem umweltschonend sind. Kurze Transportwege, geringes Gewicht sowie eine energetisch wenig aufwändige Verarbeitung halten den Energieeinsatz auch bei der weiteren Be- und Verarbeitung in vergleichsweise engem Rahmen. Der Energieaufwand beim Hausbau selbst ist erheblich kleiner als bei konventionellen Bauweisen.

Hauptgrund für die hervorragende Ökobilanz von Holz ist, dass aus nahezu allen anfallenden Nebenprodukten und Reststoffen, die bei seiner Be- und Verarbeitung anfallen, stofflich verwertbare Produkte oder Energieträger werden. Bei der Produktion von Schnittholz fallen als Nebenprodukte Rinde, Hackschnitzel und Sägespäne an, die nicht nur zur Herstellung von Holzwerkstoffen wie Spanplatten eingesetzt werden, sondern auch als Rohstoff zur Papierherstellung dienen. Die Holzwirtschaft erhält einen Großteil der von ihrer benötigten Energie aus den anfallenden Reststoffen. Sogar Schleifstaub wird teilweise wieder zur Energieerzeugung eingesetzt.

5 Vergleich Holzrahmenbauweise zum Steinhaus

Der Aufbau von Gebäudeaußenwänden in Holzrahmenbauweise besteht prinzipiell aus einem Holzständerwerk mit Grob-Spanplatten innen und Holzweichfaserplatten außen. Die Hohlräume zwischen den Platten werden mit einer Dämmung gefüllt. Die Außenfassade kann dabei beliebig gestaltet werden, mit Sichtholzelementen, Vertäfelungen oder sogar durch Verputzen auf Putzträgerplatten. Allein durch den Wandaufbau erfüllt ein Holzhaus leicht die Mindestanforderungen der gültigen EnEV.

Die Dämmung schützt nicht nur gegen Kälte, sondern ebenso gegen sommerliche Hitze (tagsüber Fenster geschlossen halten). Im Vergleich zur Steinbauweise dauert es wesentlich länger, bis die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung ins Gebäudeinnere eindringt. Da Holz diese Wärme nicht wie Steine speichert, findet in der Nacht ein effektiver Abkühlungsprozess statt, die thermisch wirksame Wärmespeicherfähigkeit im Sommer ist bei der Verwendung von Holz reduziert. Dadurch kann auf energieaufwändige Klimaanlagen oft verzichtet werden.

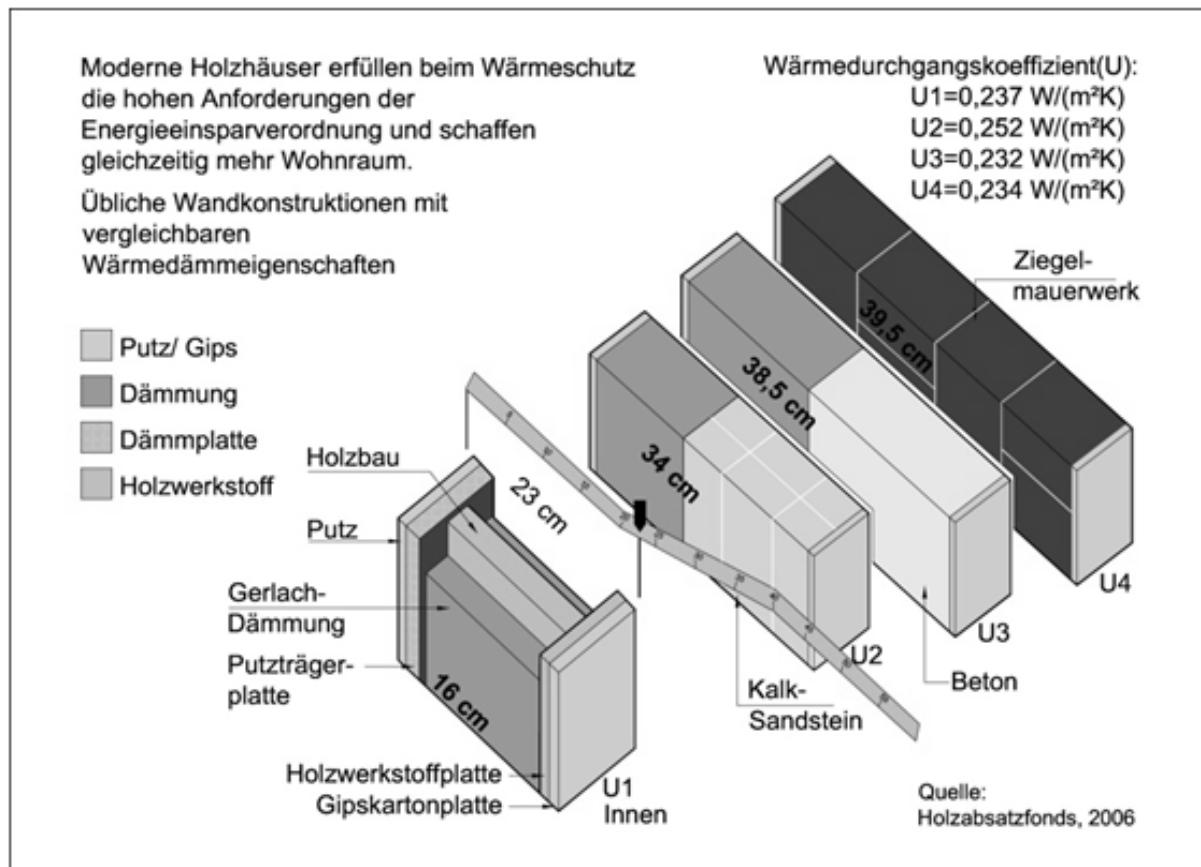


Bild 5: Vergleich Holzrahmenbauweise und Steinbauweise (Quelle: Holzabsatzfonds 2006)

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (auch Wärmedämmwert, früher als K-Wert bekannt) ist ein Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht, wenn auf beiden Seiten verschiedene Temperaturen anliegen. Er gibt die Leistung (also die Energiemenge pro Zeiteinheit) an, die durch eine Fläche von 1 m² fließt, wenn sich die beidseitig anliegenden Lufttemperaturen stationär um 1 K unterscheiden. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist ein spezifischer Kennwert eines Bauteils. Er wird im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit und Dicke der verwendeten Materialien bestimmt, aber auch durch die Wärmestrahlung und Konvektion an den Oberflächen.

Die Grafik stellt die Entwicklungen von Außenwänden im Holzrahmenbau im Laufe von 30 Jahren und deren Anforderungen entsprechend der zum jeweiligen Zeitpunkt geltenden gesetzlichen Grundlagen dar. Deutlich erkennbar ist der über viele Jahre

andauernde Annäherungsprozess der Steinbauweise mit ihren zusätzlichen Dämmungsaufwendungen. Die Konstruktions- und Wandstärkevorteile der Holzrahmenbauweise jedoch, zeigen sich kontinuierlich als vorteilhaft.

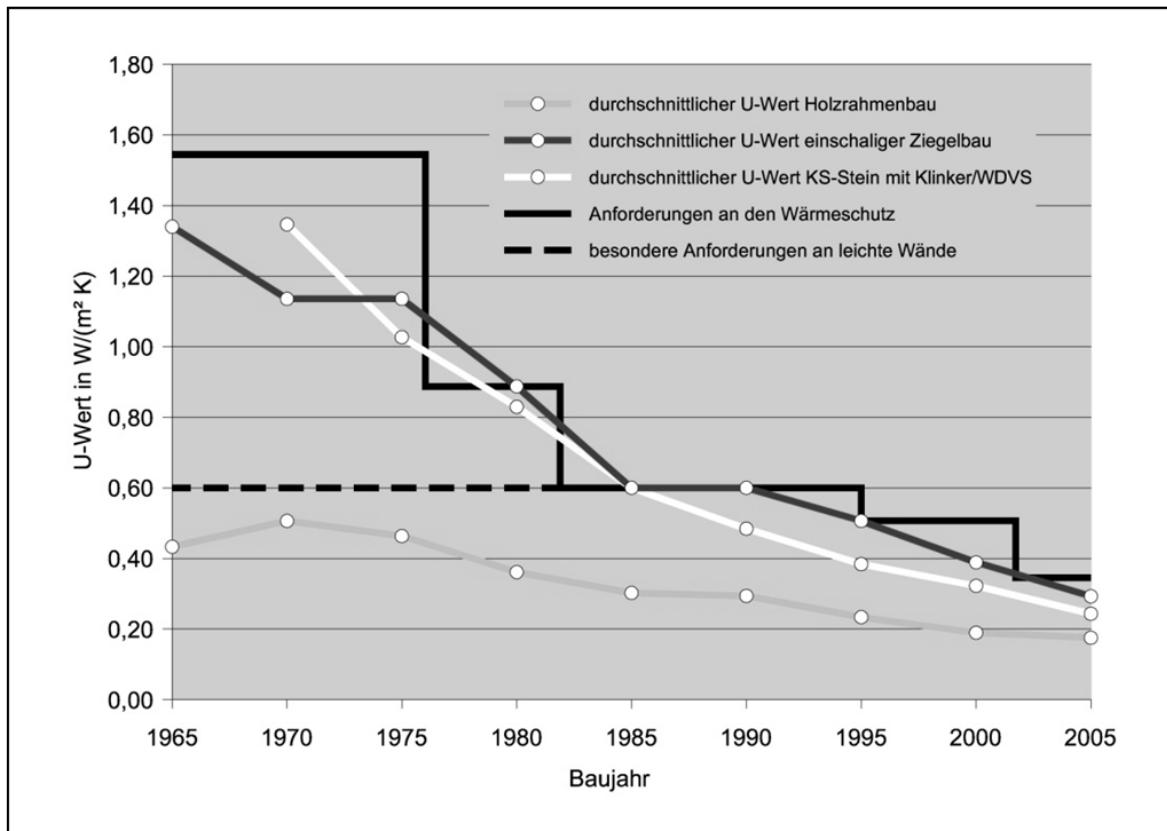


Bild 6: Entwicklung Wärmeübergangswerte (Quelle: Informationsdienst Holz)

Die Baukosten von Holz- und Massivbauwerken unterscheiden sich, je nach Ausstattung, nur unwesentlich voneinander. Jedoch lassen sich hohe Niedrigenergiestandards mit Holzrahmenbauten kostengünstiger erzielen.

Bezüglich des Brandschutzes unterliegen Holzhäuser den gleichen gesetzlichen Bestimmungen wie Steinbauten und können diese Anforderungen ebenso erfüllen. und werden genauso sicher gebaut wie Massivbauten. Holz beweist eine sehr lange Standsicherheit im Brandfall und entwickelt keine so giftigen Gase und starken Rauch wie Kunststoffe.

Die Gefahr liegt hier eher bei den Einrichtungsgegenständen.

Bei richtiger Konstruktion und Holzartenwahl kann auf chemischen Holzschutz völlig verzichtet werden. Holzrahmenbauweise ist grundsätzlich weltweit problemlos einsetzbar, ausgenommen in stark exponierten Lagen

6 Wahrnehmung des Raumklimas - „Wohlfühltemperaturen“



Bild 7: Wahrnehmung des Raumklimas 1 (Quelle: xoppla.net)

Holzbauweise vermittelt ein stärkeres subjektiv empfundenes „Wohlfühlklima“. Beim Aufenthalt z.B. nahe an einer kalten Steinwand muss die Lufttemperatur stärker kompensiert werden als beim Aufenthalt in der Raummitte. Dieser Effekt wird bei der Holzbauweise minimiert, was das menschliche Empfinden positiv beeinflusst.

Die sprichwörtliche Kontaktwärme oder Fußwärme von Holzoberflächen wie Dielenböden, Parkett, Wandbekleidungen oder Möbeln beruht auf der niedrigen Wärmeleitzahl und Wärmekapazität des Holzes. Diese beiden Stoffkennwerte sind maßgebend für die Wärmeableitung des Materials, die vom menschlichen Körper empfunden und bewertet wird. Beim Holz stehen sie in einem solchen Verhältnis zueinander, dass Oberflächentemperaturen als „warm“ bewertet werden, die bei anderen Materialien als „kalt“ erscheinen.

Dieser Effekt beruht auf der „Strahlungsbilanz“, die der menschliche Körper unbewusst gegenüber den umgebenden Oberflächen und Wärmequellen erstellt. Somit können, abgesehen vom psychischen Effekt, auch die durch Fenster eintretenden Wintersonnenstrahlungen, diese Strahlungsbilanz gegenüber den Fensterflächen positiv beeinflussen.



Bild 8: Wahrnehmung des Raumklimas 2

Dasselbe gilt für hausinterne interne Quellen wie Kachelofen oder Fußbodenheizung, Wand- oder Deckenstrahlheizungen.



Bild 9: Deckenstrahlheizung – Wahrnehmung des Raumklimas

Effizienter baulicher Wärmeschutz unter Minimierung von Wärmebrücken hat neben dem direkten Einfluss auf die thermische Behaglichkeit weitere positive Effekte. Hohe Oberflächentemperaturen erlauben relativ niedrige Lufttemperaturen zur Erreichung thermischer Behaglichkeit, das wirkt zusätzlich energiesparend (Prinzip Deckenstrahlheizung z.B. in Werkhallen am Beispiel KFZ Werkstatt der Stadtreiniger Kassel). Der Holzbau mit charakteristischem hohem Wärmeschutz bietet somit gute Voraussetzungen für ein abgerundetes, behagliches und zuträgliches Raumklima.

7 Das Betriebsgebäude der Stadtreiniger

7.1 Allgemeines

Zu Beginn der Baumaßnahme entstand ein Kostenvergleich zwischen der Sanierung und bedarfsgerechten baulichen Anpassung des bestehenden alten Wohnhauses und einem Neubau in Holzrahmenbauweise. Für das alte Gebäude wurden zustandsbedingt hohe Grundsanierungs- und Umbaukosten von ca. 200.000 Euro ermittelt, gegenüber den geplanten Kosten von 240.000 Euro für einen Neubau in Holzrahmenbauweise als Niedrigenergiehaus mit gleichen Quadratmeterzahlen.



Bild 10: Das ehemalige Betriebsgebäude

Der entstandene Neubau ermöglichte zudem eine bedarfsgerechte Erweiterung der Nutzflächen und getrennten Funktionsbereichen.



Bild 11: Das neue Betriebsgebäude

7.2 Die Konstruktion



Bild 10: Der Verbrauch des Betriebsgebäudes (Quelle: dena)

Bezogen auf das Betriebsgebäude der Stadtreiniger war das Ziel ein KFW 60 Haus zu errichten. Im Ergebnis entstand sogar über die zum Bauzeitpunkt gültige Energieeinsparverordnung (ENEV 2004) ein Haus nach dem KFW 40 Standard. Der Begriff des KFW Standards wurde geprägt durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau, die derartige Häuser mit zinsgünstigen Darlehen unterstützt und diese, zum Bauzeitpunkt entsprechenden, KFW Standards 40, 60 usw. gesetzt hat. Der Primärenergiebedarf eines KFW 40 Hauses darf 40 kW/h pro Quadratmeter Nutzfläche und Jahr nicht überschreiten. Das entspricht dem Verbrauch von 4 L Heizöl/m² und Jahr.

Eine Vielzahl von einzelnen baulichen Ausstattungsmerkmalen und technischen Maßnahmen bilden dabei ein Ganzes. Dies sind im Wesentlichen der Aufbau, die Auswahl der Wand- und Dachkonstruktion, die Belüftung, das Heizungssystem, Fenster und Solaranlage.



Bild 13: Energiequellen (Quelle: dena)

Das gesamte Gebäude wurde innen, vor Einbringen des Innenausbau, an allen Fugen und Schnittstellen der Bauteileverbindungen mittels Klebestreifen (Vermeidung von Wärmebrücken) abgedichtet. Die Luftdichtigkeit des Gebäudes (Vermeidung von Kältebrücken) wurde mittels eines sogenannten Blower-Door-Tests durchgeführt und dokumentiert.

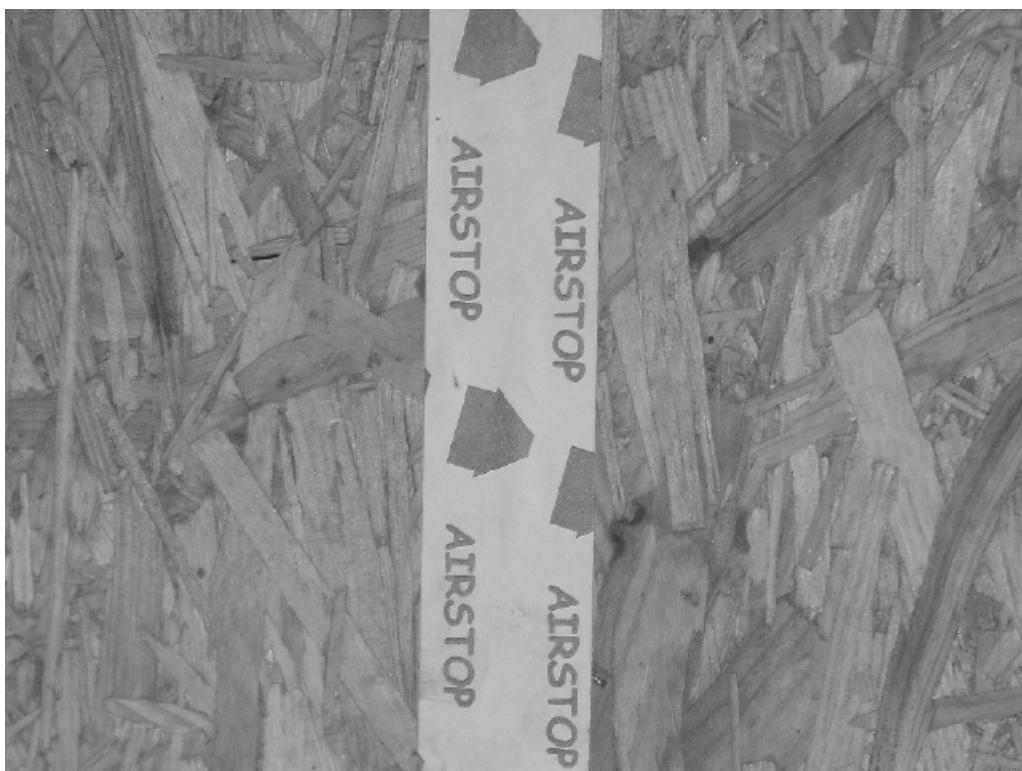


Bild 14: Detailansicht Dämmung

Gut gedämmt ist halb gewonnen...



Bild 15: Wärmeverluste minimieren

Im Bild sind durchschnittliche Wärmeverluste eines Hauses dargestellt, die im Verhältnis etwa gleichbleibend, durch Niedrigenergiestandards insgesamt gesenkt werden können. Durch die verschiedenen Maßnahmen lassen sich die Wärmeverluste gut kompensieren.

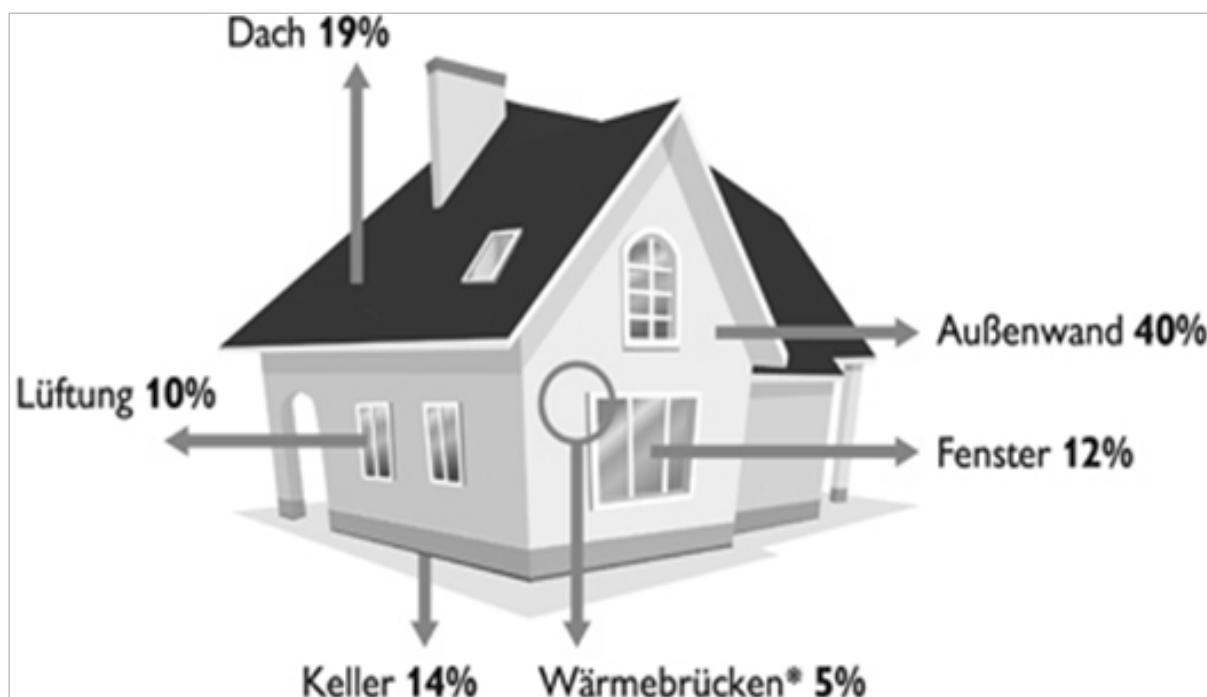


Bild 16: Wärmeverluste im Detail (Quelle: abv.at)

Zur Minimierung der Wärmeverluste nach unten wurde der Unterbau der Bodenplatte mit Schaumglasschotter hergestellt. Dieses Glasschaum-Granulat ist ein hochwärmemedämmendes, lastabtragendes Schüttgut aus 100% Altglas. Glasschaumschotter vereint eine Vielzahl von Eigenschaften, deren Kombination kein anderer Dämmstoff bietet:

- hoch-wärmedämmend,
- lastabtragend,
- kapillarbrechend und wasserdurchlässig – der Kern bleibt trocken, die Zwischenräume lassen Wasser abfließen,
- beständig gegen beinahe alle Säuren, Basen, Bakterien, Frost, Alterung, Verrottung, Nässe und Nager,
- umweltfreundlich durch den Grundstoff recyceltem Glas mit hervorragender Energiebilanz,
- gibt keinerlei Bestandteile an den Boden ab sowie
- leicht und unbrennbar mit einem Schüttgewicht von ca. 150 kg/m³



Bild 17: Glasschaumschotterdämmung

Der durchschnittliche Wärmeverlust durch die Bodenplatte lässt sich durch diesen Baustoff halbieren. Weitere Vorteile des Holzrahmenbaus liegen in der kurzen Bauzeit. Werksseitig vorgefertigte Module ermöglichen den Grundaufbau der Konstruktion bis zum Giebel innerhalb von wenigen Tagen.



Bild 18: Holzskelettbauweise (innen)



Bild 19: Holzskelettbauweise (außen)



Bild 20: Das Richtfest

7.3 Effizienter Betrieb des Gebäudes

7.3.1 Heizung / Lüftung

Der hohe bauliche Wärmeschutz senkt drastisch den Verbrauch von Brennstoffen und die Einsparungen lassen sich, kombiniert mit modernster Haustechnik, noch steigern. Für die Beheizung des Gebäudes wurde ein moderner, gasbetriebener Brennwertkessel eingebaut, der nahezu flächendeckend über beide Etagen eine energiesparende Fußbodenheizung versorgt. Raumthermostate lassen individuelle Einstellungen der einzelnen Nutzungsbereiche zu. Die Energieeinsparverordnung und die DIN Normen mit ihren Aussagen zur Luftdichtheit von Gebäudehüllen zielen primär auf Senkung der Lüftungswärmeverluste bei gleichzeitiger Gewährleistung des aus wohnhygienischen Gründen erforderlichen Luftwechsels. Dafür wurde das Betriebsgebäude mit einer kontinuierlich arbeitenden Belüftungsanlage ausgestattet. Die Luft wird innerhalb einer Stunde 1,3 bis 7 Mal ausgetauscht, je nach Raumnutzung ist dieser Wert individuell. Der Wärmetauscher der eingebauten Wärmerückgewinnung kann über 80% der Abluftwärme wieder nutzbar machen. Die Zuluft des Gebäudes wird außerdem mittels Erdwärmemodulation vorgewärmt.

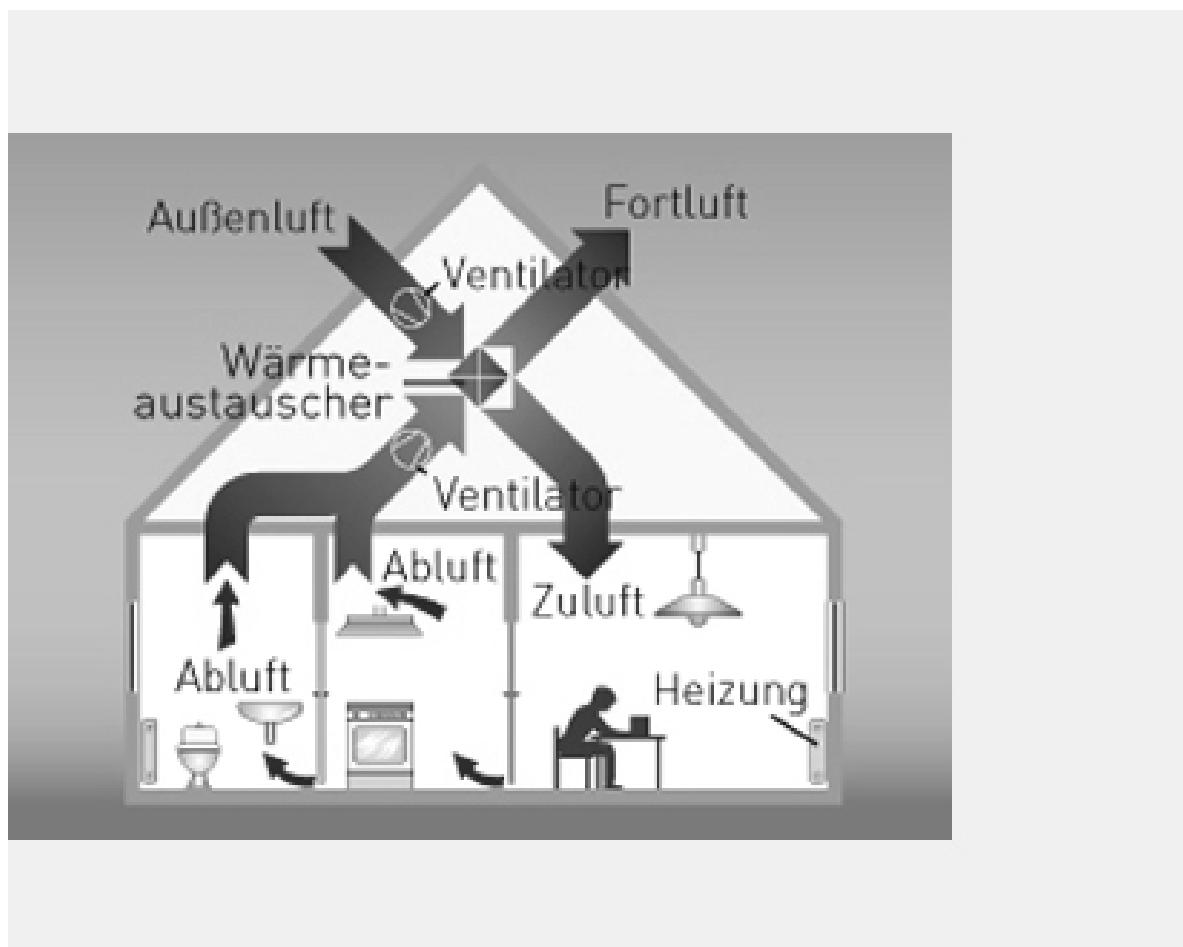


Bild 21: Zu- und Abluft (Quelle: enbw.com)

7.3.2 Erdwärme / Erdkühler

Im Winter wird Erdwärme über eine Trägerflüssigkeit in einer Erdleitung zur Unterstützung der Belüftung des Gebäudes benutzt. Die angesaugte Außenluft der Lüftungsanlage wird über einen Wärmetauscher mittels Erdwärme vorgewärmt.

Für eine Erdwärmeverwendung wurden verschiedene technische Möglichkeiten geprüft. Für die Variante der Tiefenbohrung mit Wärmepumpenbetrieb wurde eine Vorstudie erstellt. Im Ergebnis wurde dokumentiert, dass das Baugebiet gemäß Leitfaden für Erdwärmepumpen innerhalb eines hydrologisch ungünstigen Gebietes liegt. Berechnungen für Anzahl und Tiefe der Bohrungen konnten nicht klar bestimmt werden. Der „Worst Case“ hätte mehrere Bohrungen je bis zu 100 m Tiefe ergeben können. Die Ausführung war wirtschaftlich nicht zu vertreten.

Alternativ wurde über die gesamte Weite des Betriebshofes, insgesamt über ca. 300 m Länge eine Ringleitung mit wärmeleitender Trägerflüssigkeit in einer Tiefe von ca. 1,20m verlegt. Diese Lösung war besonders wirtschaftlich, da bestehende Gräben der Rohrführungen ohne Zusatzaufwand mit verwendet werden konnten. Als Rohrmaterial konnte einfaches PE-Rohr verwendet werden. Die Wirkung der Vorwärmung ist umso größer, je ausgeprägter die Temperaturunterschiede zwischen Außenluft und Erdreich sind. Da sich die Temperatur im Erdreich in ca. 2 m Tiefe im gesamten Jahresverlauf nur um rund 5°C verändert, kann das Erdreich vor allem bei Temperaturspitzen im Winter und im Sommer wertvolle Energie zur Erwärmung bzw. Abkühlung der Raumluft liefern: je extremer die Außentemperaturen, desto größer die Energiegewinnung über die Anlage. So erfolgt in der kalten Jahreszeit eine Vorwärmung von bis zu 14°C.

In der Sommerzeit wird diese Trägerflüssigkeit zur Luftkühlung verwendet. Dies hat nicht den Kühleffekt einer Klimaanlage, jedoch wird eine merkliche Abkühlung erreicht.

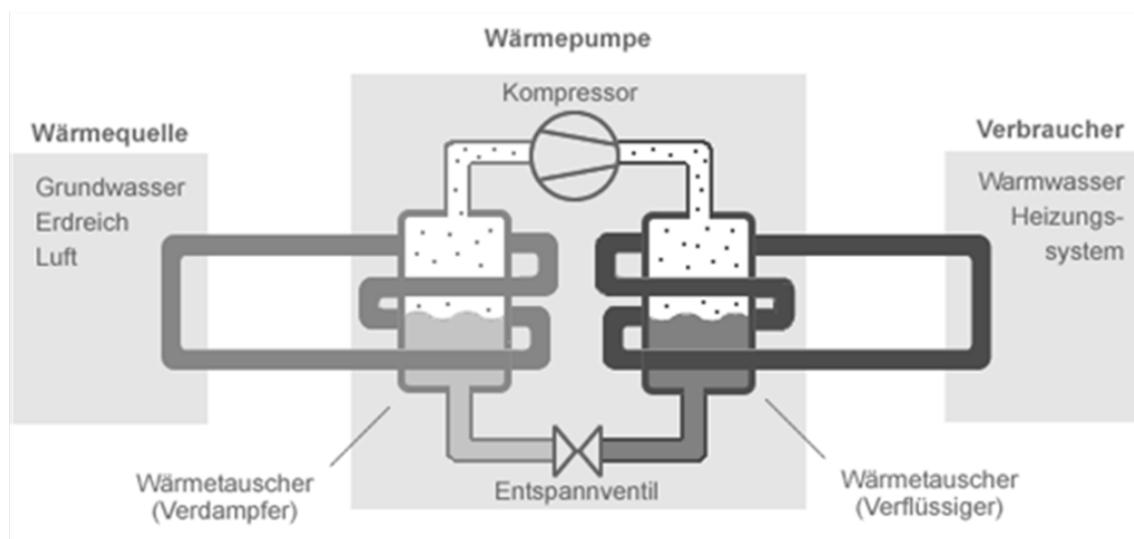


Bild 22: Prinzip Wärmepumpe (Quelle: waermepumpen-portal.de)

Unterstützt wird der Kühlungseffekt von einer automatisch arbeitenden und außen liegenden Sonnenschutzanlage mit Rollotechnik. Diese genannten Effekte finden sich nicht nur in der theoretischen Betrachtung wieder, sie sind in der Praxis im direkten Vergleich mit der Betonbauweise deutlich spürbar.

7.3.3 Unterstützung durch Sonnenenergie



Bild: 22: Nutzung Sonnenenergie (Quelle: Faz.net)

Das gesamte Pultdach des Gebäudes ist mit Solarmodulen zur Warmwassererzeugung und mit Fotovoltaikmodulen ausgelegt. Die solarthermische Anlage, mit ca. 6qm Fläche unterstützt die Warmwasserbereitung für Waschbecken und Duschen und erbringt bei dem durchschnittlichen Verbrauch eine Deckungsrate von 50-60%.

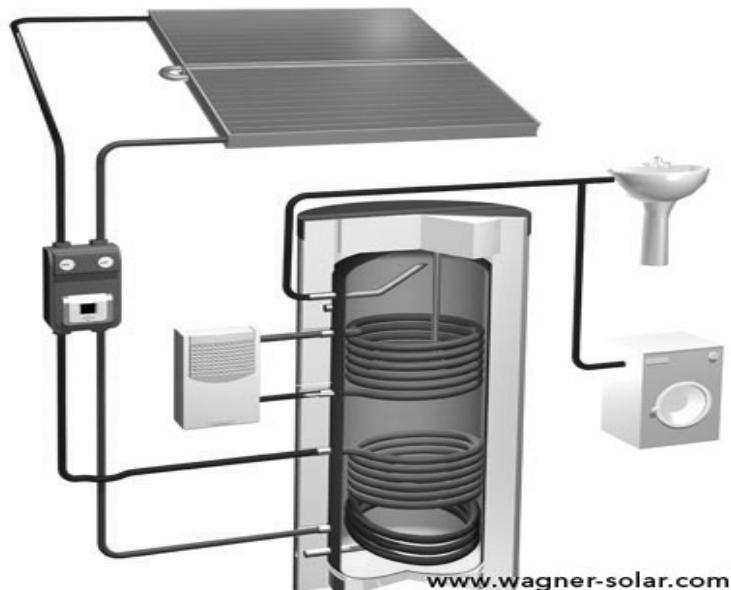


Bild 24: Prinzip Solarheizung (Quelle: wagner-solar.com)

Die Fotovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 12,5 kWp, erzeugt jährlich ca. 14.300 kWh Strom, der zum Energieversorgungsunternehmen eingespeist wird. Dies entspricht einem Erlös von ca. 6700 Euro jährlich bei Investitionskosten von ca. 63.000 Euro. Die CO₂ Entlastung liegt damit bei jährlich ca. 10.000 kg.

Die hier erzeugten Leistungen addieren sich mit denen der Fotovoltaikanlage Am Lossewerk, deren Leistung mit 38,5 kWp einen Jahreswert von ca. 66.000 kWh und einen Erlös von ca. 33.000 Euro erarbeitet. Die Investition lag hier bei etwa 240.000 Euro. Die gesamt CO₂ Einsparung durch die Fotovoltaiktechnik der Stadtreiniger beträgt 56.000 kg/a. Das entspricht etwa der Laufleistung von 2 PKW mit je 200.000 km.

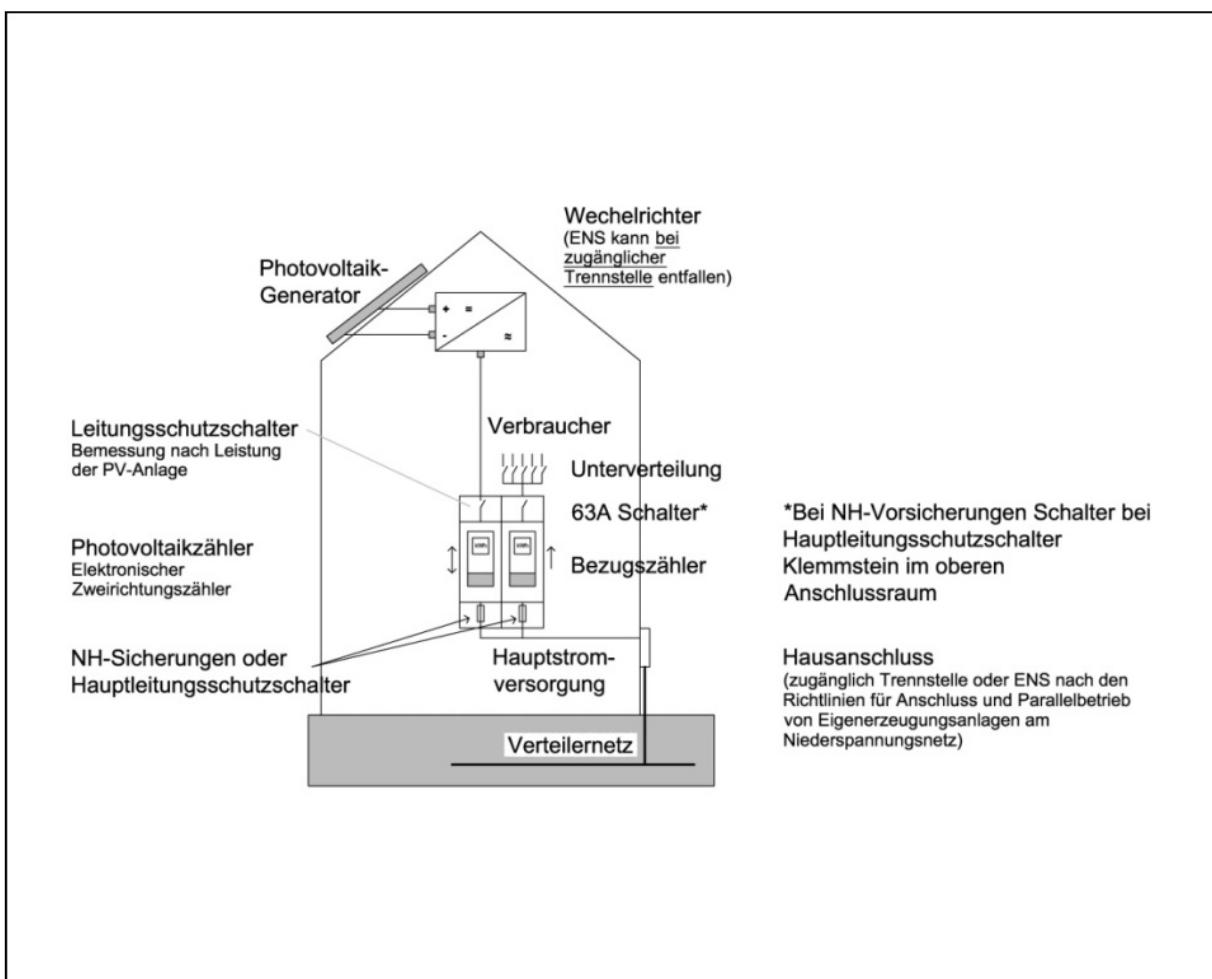


Bild 25: Prinzip Fotovoltaik

7.3.4 Regenwassernutzung

Die Errichtung einer Regenwassernutzungsanlage wurde als unwirtschaftlich eingestuft, da in diesem Fall lediglich 4 kleine WC Anlagen betrieben werden könnten. Hier würden die Kosten der kontinuierlich erforderlichen Reinigung der Speicherbehälter und Filter jeden Nutzen bei weitem überschreiten. Eine Einspeisung von z.B. begrün-

ten Dächern oder Wegeflächen auf stark genutzten Betriebshöfen sorgt für eine übermäßige Verschlammung und damit in vielen Fällen für Unwirtschaftlichkeit. Der Regenwassernutzung wird jedoch grundsätzlich eine hohe Bedeutung zugemessen, allerdings am Standort Lossewerk. Dort werden Regen- und Tiefbrunnengrundwasser u.a. zur Fahrzeugreinigung und Betankung verwendet.

7.4 Ökologisches im Umfeld

Der Betriebshof wurde im Einklang mit der Renaturierung der Losse und unter Beibehaltung der Lebensräume von „Wasser- und Uferbewohnern“ errichtet. In Abstimmung mit den Fachleuten der Naturschutzbehörden wurde der im hinteren Teil des Geländes vorgefundene „urwaldähnliche“ Naturwuchs beibehalten. Angelegt wurde zudem ein Grünflächenanteil von 20%. Für Hochwassersituationen besteht ein Lager- und Evakuierungsplan. Belasteter und verschlammter Boden wurde nicht einfach ausgetauscht, sondern durch Spezialfräsen und Bodenvermörtelung aufgearbeitet.

8 Fazit

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass selbst durch geringe investive Maßnahmen Klima- und Ressourcenschutz bei Errichtung eines Sozial- und Verwaltungsgebäudes umsetzbar sind. Neben den Energieeinsparungen und dem damit wirksamen Klima- und Ressourcenschutz sind positiven Auswirkungen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Stadtreiniger Kassel zu verzeichnen. Unsere Erfahrung zeigt, dass ökonomische Abwägungen innerhalb der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Technologien, nur zu individuellen Ergebnissen führen können. Eine Allgemeingültigkeit, welche der Technologien zur Nutzung möglicher Ressourcen eingesetzt werden sollten, lässt sich daraus nicht herleiten.

Für Rückfragen stehen Ihnen die Stadtreiniger zur Verfügung.

A. I. Urban, G. Halm (Hrsg.)

Das BSR Biogasverwertungskonzept

Thomas Rücker
Dr. Alexander Gosten
Berliner Stadtreinigung, Anstalt des öffentlichen Rechts

Schriftenreihe des
Fachgebietes Abfalltechnik
Universität Kassel
Kassel 2010

1 Einführung

Das Ziel der Bundesregierung ist die Reduzierung der Emission treibhausrelevanter Gase in Deutschland um 40 Prozent gegenüber 1990 bis spätestens 2020. Ein Ziel, das sich nur durch eine nachhaltige Wirtschaft – der Einsparung von Energie, der Erzeugung regenerativer Energie und eines effizienteren Energieeinsatzes – erreichen lässt. Die Abfallwirtschaft kann hierbei auch zukünftig besonders beim Thema Bioabfall einen nicht unbedeutlichen Beitrag zur Erreichung der Ressourcen-, Energie- und Klimaziele leisten.

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich für die deutsche Abfallwirtschaft viel verändert. Aus reinen Entsorgern wurden Experten für Recycling und Verwertung. Mit einer hervorragenden CO₂-Bilanz ist die deutsche Abfallwirtschaft Vorreiter in der Umsetzung von Klimaschutzz Zielen. Das belegt die neue Studie „Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft“^[1]. Die Studie untersucht die Potenziale der stofflichen und energetischen Verwertung der relevanten Abfallfraktionen. Die Ergebnisse belegen den bedeutsamen Beitrag, den die deutsche Abfallwirtschaft schon heute zur Senkung der nationalen Treibhausgasemissionen leistet. Und sie präsentiert Möglichkeiten, die Emissionen in Deutschland weiter zu senken. Vor dem Hintergrund zukünftig steigender Preise fossiler Energieträger ist nicht nur der sozio-ökologische Druck maßgeblich, sondern auch die ökonomische Beurteilung des Einsatzes von Abfallstoffen zur Energieerzeugung von immer größerer Relevanz. Die energetische Verwertung von Restabfällen in Müllheizkraftwerken wird seit vielen Jahren praktiziert und leistet einen erheblichen Beitrag zur Ressourcenschonung. Ein weiterer Weg hierbei ist die Nutzung von getrennt gesammelten Bioabfällen nicht nur zur Herstellung von Kompost bzw. Humus als Bodenverbesserer, sondern auch zur Produktion von Biogas. Dabei ist die Vergärung/Fermentierung von getrennt gesammelten Bioabfällen im Vergleich zur reinen Kompostierung technisch und biologisch wesentlich aufwändiger und damit auch kostenaufwändiger. Eine ökonomische Angleichung der Kompostierung zur Vergärung ist in den letzten Jahren immer mehr zu beobachten. Neben den Betriebskosten erlangt die Erlössituation des Netto-Energieertrags von Vergärungsanlagen eine immer größere Bedeutung. Dies wird umso deutlicher, je intensiver die im Biogas enthaltene Gesamtenergie genutzt wird und je wirtschaftlicher das an die Vergärungsanlage angeschlossene energetische Konzept dargestellt werden kann.

Setzt man konsequent auf die in den letzten Jahren weiterentwickelte und als weitgehend ausgereift zu betrachtende Anlagentechnik zur Trockenvergärung von Bioabfällen und berücksichtigt die zukünftig zu erwartende preisliche Steigerungen fossiler Energien, ist die Kombination aus energetischer und stofflicher Verwertung von Bioabfällen vorgezeichnet. Ein Weg, der Ökonomie und Ökologie stärker vereint und - betrachtet man die gesamten Bioabfallmengenpotenziale in Deutschland- einen beachtlichen Beitrag zur Treibhausgasreduzierung leistet.

2 Ausgangssituation Berlin

Die BSR ist als landeseigene Anstalt öffentlichen Rechts für die Entsorgung und Reinigung einer Fläche von 890 km² mit 3,4 Mio. Einwohnern verantwortlich. Im Rahmen der Sammlung (400.000 aufgestellte Abfallbehälter) werden rund 19 Mio. Entleerungen pro Jahr durchgeführt. Als Bürgerservice (rund 2,8 Mio. Kundenbesuche pro Jahr) gibt es in Berlin 15 Recyclinghöfe und 6 Schadstoffsammlstellen, auf denen rund 150.000 t Abfall angeliefert werden. Auf den Recyclinghöfen wird in rund 20 verschiedene Wertstoffe und 35 Schadstoffgruppen unterschieden. Davon sind 3 Abfallfraktionen biogener Natur. Es sind die Fraktionen Altholz, Baum- und Strauchschnitt und Laubsack. Am Jahresanfang werden in Berlin knapp 400.000 Weihnachtsbäume eingesammelt. Ein besonderer Service ist die Sperrmüllabfuhr direkt beim Bürger. Die Reinigung von Straßen und Gehwegen umfasst rund 1,5 Mio. Kilometer, rund 4,9 Mio. Abfallkorbentleerungen sowie 260.000 Gullyreinigungen. Das ganzjährig eingesammelte Laub hat ein Volumen von rund 100.000 m³. Hinzu kommen die Beseitigung illegaler Ablagerungen und der umfangreiche Winterdienst, der im Winter 2009/10 besondere Herausforderungen in Berlin zu bewältigen hatte.

In der Vergangenheit wurden diese unterschiedlichen Abfallfraktionen nicht primär bezüglich der Potenziale der Bioabfallvergärung und Gasnutzung betrachtet. Dies hat sich inzwischen geändert, jedoch stehen wir insgesamt noch eher am Anfang.

Im hoheitlichen Bereich finanziert sich die BSR aus Gebühren, die die BSR direkt vom Bürger, genauer gesagt vom Grundeigentümer, nach einem Tarif erhebt. Grundsätzlich ist die BSR Garant für die Entsorgungssicherheit und Sauberkeit der Bundeshauptstadt. Die BSR wird regelmäßig einem Benchmark-Prozess unterzogen. Wesentlich ist der Vergleich der Gebühren mit anderen deutschen Großstädten. Es ist in den letzten Jahren gelungen, sehr günstige spezifische Müllgebühren zu realisieren.

3 Biogene Abfälle

Die BSR kann die Potenziale der biogenen Abfälle aus verschiedenen Fraktionen nutzen. Insgesamt haben die BSR im Jahr 2009 knapp 120.000 biogene Abfälle getrennt erfasst. Dies entspricht 35 kg/Einwohner.

Entwicklung der biogenen Abfallmengen der BSR

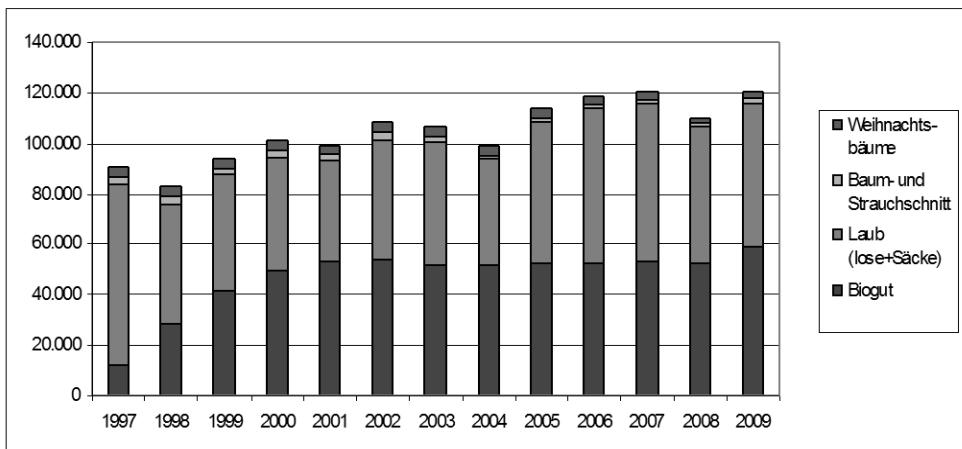


Bild 1: Entwicklung der biogenen Abfallmengen der BSR

4 Getrennt gesammelter Bioabfall

Seit 1996 sammelt die BSR getrennt Bioabfall aus Haushalten ein. Für die so genannte braune Tonne besteht ein Anschluss- und Benutzungzwang. Die getrennte Erfassung konnte im Jahr 2009 erstmals auf knapp 60.000 Tonnen gesteigert werden. Rund 83% der Haushalte sind an die getrennte Sammlung angeschlossen.

Zurzeit wird getestet, ob diese Menge weiter gesteigert werden kann. In der politischen Diskussion über die weitere Steigerung der getrennten Sammlung wurden die Einführung der Vergärung und die vollständige Aufgabe der Kompostierung gefordert. Die BSR hat in der Diskussion die Unterscheidung zwischen „vergärbaren“ und „nicht-vergärbaren“ Abfällen hergestellt. Wir haben definiert, dass ein Abfall mindestens 80 m³ Rohgas in der Vergärung produzieren muss; anderenfalls ist die Vergärung energetisch und betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll.

Zukünftige Verwertung biogener Abfälle

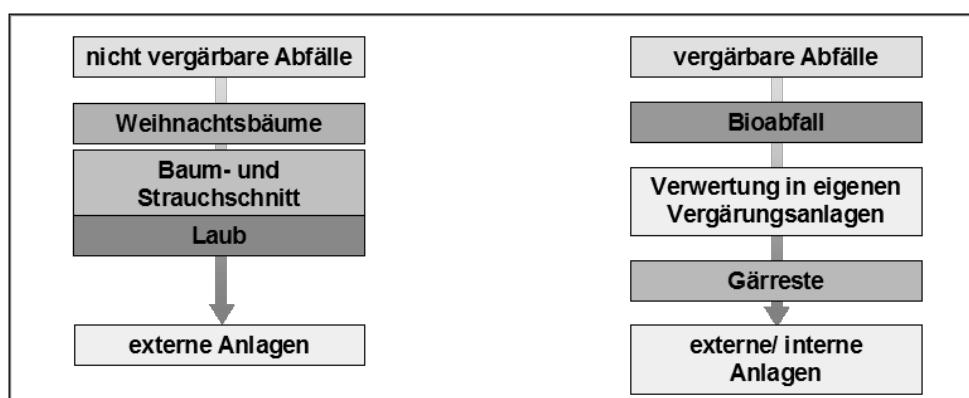


Bild 2: Zukünftige Verwertung biogener Abfälle

Vor diesem Hintergrund wurde abgeleitet, dass die erste Vergärungsanlage in Berlin für 60.000 Mg Abfall auf der Eingangsseite/Inputseite ausgelegt wird und eine durchschnittliche Gasrate von mindestens 100 m³/Mg Abfall erzeugen soll. Während die Beauftragung für die größere der beiden geplanten innerstädtischen Anlagen abgeschlossen ist, werden zeitgleich verschiedene Aktivitäten ergriffen, um die getrennt erfassten Mengen organischer Abfälle in Berlin zu steigern. Bei ausreichender Menge wird dann auch die zweite Anlage errichtet.

5 Anlagen- und Verfahrenstechnik der Biogasanlage West

Nach einem umfangreichen europaweiten Ausschreibungsverfahren wurde im IV. Quartal 2009 der Zuschlag an die Bietergemeinschaft STRABAG Umweltanlagen GmbH, Dresden, und STRABAG AG, Berlin, für die erste Anlage erteilt.

Das Projekt umfasst den Bau einer Trocken - Vergärungsanlage in Berlin - Spandau mit den folgenden Bereichen:

- Fahrzeugwaage,
- Anlieferung und Aufbereitung der Abfälle,
- Vergärungsanlage mit Vollstromentwässerung und Fugatbehandlung,
- Aerobisierung des hygienisierten und entwässerten Gärrests,
- Biogasspeicherung, -speicherung und -aufbereitung auf Erdgasqualität,
- Abluftfassung und -reinigung über ein zweiliniges Biofiltersystem.

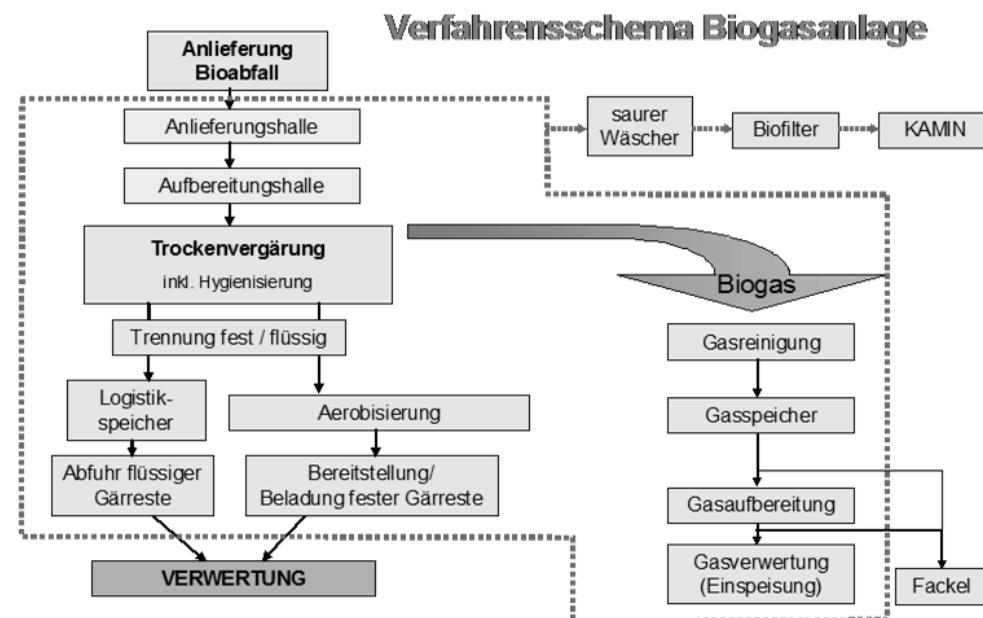


Bild 3: Verfahrensschema Biogasanlage

Der Anlagenzugang erfolgt südlich von der Straße ‚Freiheit‘ und führt durch den Rückstaubereich der Anlagenzufahrt zum Waagenbereich.

Nach der Erfassung der Abfallmenge auf der Brückenwaage werden die angelieferten Abfälle in den dafür vorgesehenen Annahmebereich zwischengelagert.

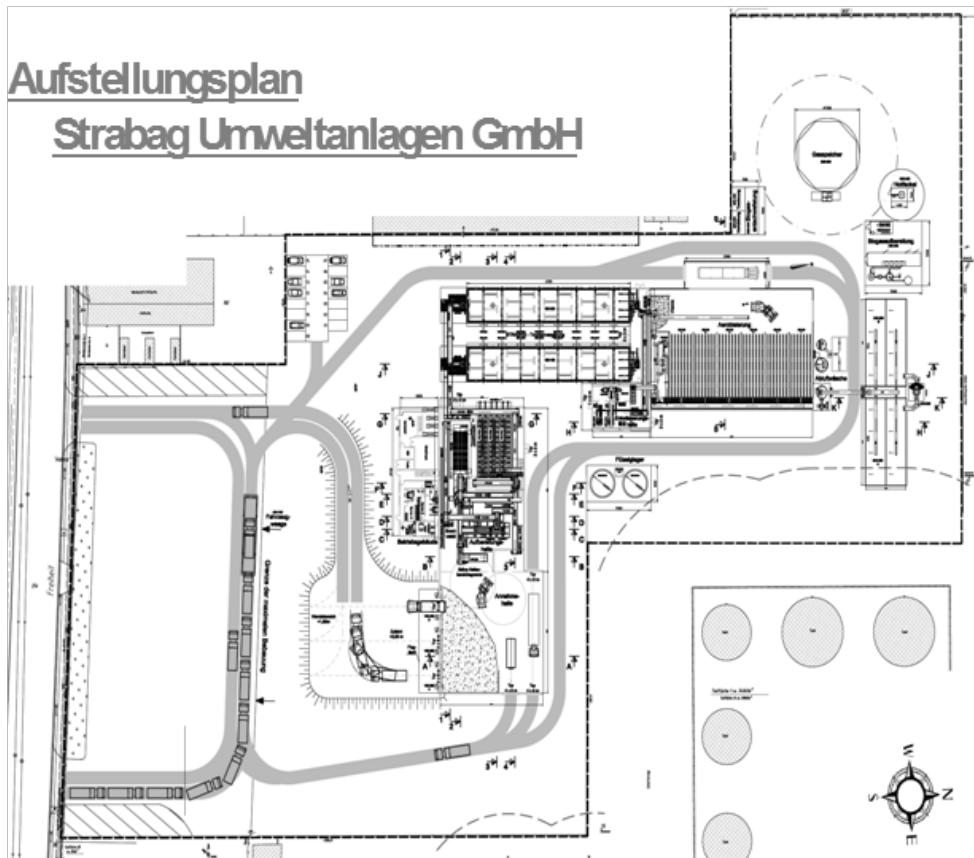


Bild 4: Aufstellungsplan Strabag Umweltanlagen GmbH

Der Anlieferbereich unterteilt sich in drei Tore, ausgestattet mit Luftschieier- bzw. Luftwandeanlage zur atmosphärischen Trennung. Die Tore werden über eine mehrspurige Fahrrampe erreicht. Die Anlieferfahrzeuge fahren rückwärts in die jeweils freigegebene Toröffnung, nachdem sie auf einem reichlich bemessenen Plateau entsprechend wenden konnten. Der abgesetzte Flachbunker hat bezüglich der Rampenebene eine Tiefe von 2 m und befindet sich damit auf dem Niveau der übrigen Annahme- und Aufbereitungshalle. Das Bunkermanagement wird durch Mobiltechnik (Radlader) bewerkstelligt. Mittels Radlader wird das Material der Aufbereitung zugeführt. Es ist ein Flachbunkersystem zur Abfallannahme vorgesehen, da diese Speichertechnik einfach, wartungsfreundlich und durch gute Zugänglichkeit gekennzeichnet ist. Während der Anliefertätigkeit kann der Radladerfahrer kollisionsfrei bereits das Bunkermanagement durchführen - Zuordnung, Sichtung, Beschickung. Die Einfahrtmöglichkeit für Sattelaufzüge zum Zwecke der Entladung/Anlieferung bzw. auch für Ausschleusungen aus dem Flachbunkerbereich erfolgt durch ebenerdige Ein- und Ausfahrt in einem separaten Bereich der Anlieferhalle.

Die Aufbereitungslinie nach dem Sieb-Zerkleinerer-Prinzip wird mittels Radlader über den Dosierspeicher mit integrierter Sacköffnerfunktion beschickt. Über Förderbänder wird der Bioabfall zur Siebung gefördert. Durch die polygonale Bauart der Siebtrommel sind die Siebbleche sowohl leicht zugänglich als auch leicht wechselbar. Fernerhin bewirkt die Polygonform durch verstärktes Umwälzen des Siebgutes erfahrungsgemäß eine effiziente Absiebung. Die Siebtrommel ist an das Hallenabluftsystem angeschlossen. Durch die Siebung wird der Materialstrom in zwei Fraktionen (der Siebschnitt liegt bei 55 mm) aufgeteilt. Das Überkorn wird nun mittels Fördertechnik der FE-Abscheidung und einer redundanten Nachzerkleinerung in einem 2 Wellen-Shredder zugeführt. Diese Nachzerkleinerung kann auch umfahren werden. Über diese Umfahrung, die ebenfalls bei Stoffstromauskreisung geöffnet werden kann, wird das Material dem Flachbunkerbereich zurückgeführt. Die auszuschleusende Abfallmenge aus dem Sieb-Zerkleinerer-Kreislauf richtet sich nach den Inputeigenschaften (z. B. Störstoffe, Kunststoffe an feuchtem Material haftend). Der zerkleinerte Sieüberlauf wird anschließend wieder der Polygonsiebtrommel im Kreislauf zugeführt. Der Siebdurchgang wird ebenfalls einer FE-Abscheidung und im Weiteren der Zwischenspeicherung vor Vergärung zugeführt.

Schematische Darstellung der Zwischenspeicherfunktion

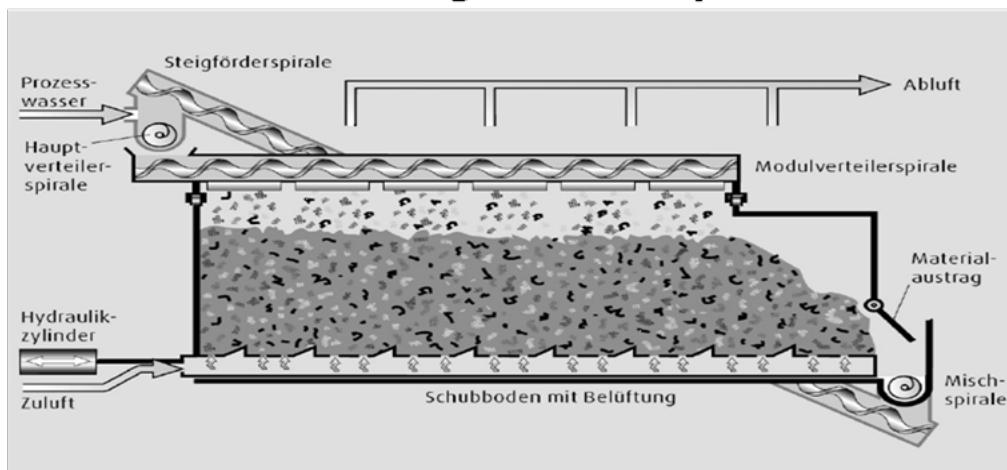


Bild 5: Schematische Darstellung der Zwischenspeicherfunktion

Der Zwischenspeicher vor Vergärung ist nach dem Prinzip der Vorrotte belüftbar ausgestattet. Er dient im Wesentlichen der Entkopplung der Anlagenteile Aufbereitung und Vergärung als auch einer Entzerrung des stündlichen Materialstromes, so dass die täglich anfallende Abfallmenge auch innerhalb eines Tages in die Trockenfermenter dosiert werden kann. Darüber hinaus ist auch eine automatische Beschickung der Fermenter am Wochenende bzw. an Feiertagen möglich. Jeder der drei Bunker hat ein Fassungsvolumen von ca. 135 m³ und ist mit einem hydraulisch angetriebenen Schubbodensystem ausgestattet, der den automatischen Austrag und somit die automatische Beschickung des Reaktors ermöglicht. Weiterhin soll dieser Speicher zur Vorerwärmung des Reaktorinputs und somit zur Senkung des Wärme-

bedarfs in der Anaerobie sorgen. Dies ist vor allem in der kalten Jahreszeit zur Vergleichmäßigung der Biogasproduktion von großem Vorteil. Dafür wird die Abwärme aus der Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität genutzt und mittels Schlauchheizung ähnlich einer Fußbodenheizung permanent in den Betonboden des Zwischen speichers geführt, um die biogene Eigenerwärmung des Materials positiv zu unterstützen. Ventilatoren an den einzelnen Bunkern bewirken durch Konvektion den Wärmetransport durch das Material. Der Zwischenspeicher ist gekapselt und an das Abluftsystem angeschlossen. Er kann im Bedarfsfall über die Fördertechnik in den Annahmebereich leer gefahren werden.

Es werden zwei LARAN® - Trockenfermenter TF 2200 mit einem Bruttovolumen von 2.399 m³ eingesetzt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein einstufiges, thermophiles Trockenvergärungsverfahren. Die Fermenter arbeiten im quasi kontinuierlichen Ppropfenstrom. Sie sind in liegender Bauform als Betonkammern aus Spezialbeton gefertigt. Massive, quer liegende kurze Rührwerke verhindern sicher die Bildung von Schwimm- und Sinkschichten und fördern die Gasfreisetzung. Ferner verfügt jeder Fermenter über alle sicherheitsrelevanten und gastechnischen Komponenten gemäß den geltenden gesetzlichen Bestimmungen. Nach dem Austrag aus dem Zwischenbunker wird der Fermenter - Input mittels Bandwaage verwogen, bevor er über ein Verteilband einer der beiden Stopfschnecken übergeben und in den zu beschickenden Reaktor gedrückt wird. Das Material in der Stopfschnecke versiegelt den Reaktor und verhindert einen Lufteintrag in den Fermenter.

Schematische Darstellung Trockenvergärungsprozess

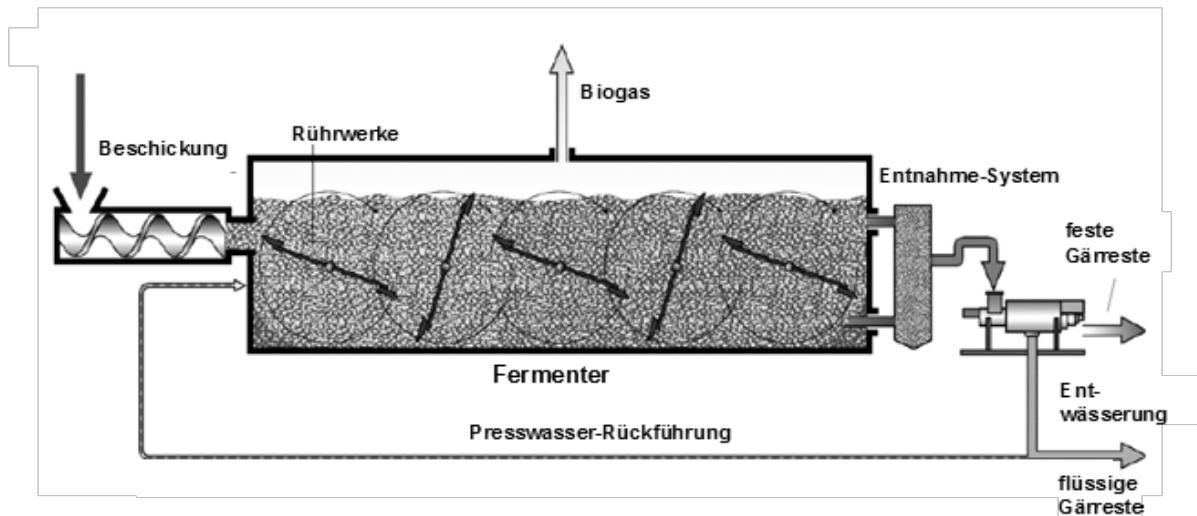


Bild 6: Schematische Darstellung Trockenvergärungsprozess

Das Material passiert den Reaktor im quasikontinuierlichen Ppropfenstrom und stellt – abhängig von TS-Gehalten – eine hohe definierte Verweilzeit im Reaktor sicher. Um die Hygienisierungsanforderungen der Bioabfall-Verordnung zu gewährleisten wird der Fermenter thermophil gefahren. Durch den thermophilen Anlagenbetrieb kombiniert mit der Ppropfenstromcharakteristik ist das Reaktorsystem für die

Hygienisierung gemäß „Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.“ zertifiziert. Die mittlere hydraulische Verweilzeit beträgt ca. 23 Tage. Damit ergibt sich eine oTS-Raumbelastung von ca. 9 kg oTS/m³*d. Der Fermenter verfügt über 8 quer angeordnete Rührwerke. Die mit massiven Rührpaddeln versehenen Rührwerke tauchen in Intervallen und sehr langsam in die Gärssuspension ein. Dabei verhindern sie die Bildung von Schwimmschichten, reißen sich bildende Schichten auseinander bzw. nach unten und verbessern so die Gasfreisetzung. Die Ansteuerung der Rührwerke erfolgt computergeregelt und zeitlich versetzt bzw. getaktet. Durch den Rechts-/Linkslauf der Rührwerke wird ein Einfluss auf die Ppropfenströmung vermieden. Das vergorene Substrat wird am Fermenterende durch großzügig dimensionierte Absaugrohre mit einem Vakuumsystem berührungslos und damit verschleiß- und störungsarm ausgetragen. Mittels Vakuumpumpe wird in den Gärgut-Entnahmetanks ein Vakuum erzeugt. Durch Öffnen der Reaktorabzugschieber wird das Gärgut in den Tank gesaugt. Im nächsten Schritt wird mit dem Kompressor jeweils einer der beiden Behälter mit Druck beaufschlagt und das Material über die Rohrleitung in die Vorlagebehälter der Schneckenpressen gedrückt.

Aus den Vorlagebehältern, die den Schneckenpressen direkt zugeordnet und darüber positioniert sind, fließt das Gärgut in eine der Schneckenpressen. Die entwässerte Festphase fällt mit einem TS-Gehalt von ca. 35 – 40% im Presskuchen auf den unter den Entwässerungsaggregaten angeordneten Förderer. Das gesamte entwässerte Material wird zur anschließenden Aerobisierung in eine Box für das weitere Handling mittels Radlader abgeworfen. Die Flüssigphase des 1. Entwässerungsschritts wird in den Presswassertank abgeleitet. Der Presswassertank ist mit Rührwerkstechnik ausgestattet, womit die Entmischung des Feststoff-Wasser-Gemisches im Saugbereich der Pumpentechnik verhindert wird. Die Dekanter - Beschickungspumpe saugt das Presswasser aus dem Presswassertank und beschickt den Dekanter zur Fugatbehandlung. Die Fugatqualität / Prozesswasserqualität wird ohne Flockungsmitteldosierung auf einen TS-Ablaufwert < 15% optimiert. Hierzu wird nur eine Teilstromentwässerung in Form der Fugatbehandlung vorgenommen, die für die nötigen Prozesswassermengen zur Fermenterrückführung und zum Einstellen des TS-Wertes der Logistiktanks sorgt. Auf diese Weise wird lediglich der Anteil Presswasser dekantiert, der als Rückführwasser zur Vergärung und zur Erreichung der Presswasserqualität zur landwirtschaftlichen Verwertung notwendig ist. Das Prozessüberschusswasser wird in zwei je 2-Tages-Speichern vorgehalten, die mittels Pumpstation über Tankwagen entleert werden. Die Speicher sind aufgrund der Lagerzeit und der Mediumscharakteristik mit den erforderlichen Sicherheitsausrüstungen und einer Wärmeisolierung an das interne Biogasnetz angeschlossen.

Da der feste Gärrest nur gering mit Strukturmaterial durchsetzt ist und somit ein weniger gutes Porenvolumen für eine „normale“ Durchlüftung -wie bei Kompostierung üblich- aufweist, wird die Aerobisierung lediglich mit einer maximalen Flächenbelastung von 1 t/m² betrieben, was bei einer zu erwartenden Dichte von 1 t/m³ einer

Schütt Höhe von ca. 1 m entspricht. Die Verweilzeit, um eine gesicherte Aerobisierung / Stabilisierung zu erreichen, beträgt mindestens sieben Tage. Ziel der Aerobisierung ist eine gezielte Abluftbehandlung und die Gewährleistung eines geruchsminimierten Abtransports der festen Gärreste. Die sechs Rotteboxen werden mittels Radlader beschickt. Mit hohen Luftmengen und zugeführten Wärmemengen wird die Aerobisierung sicher gestellt. Die feuchtigkeitsgesättigte Abluft wird über Gebläse dem Abluftsystem zugeführt.

Das aus der großen Substratoberfläche der liegenden Trockenfermenter und des flüssig Gärproduktlagers entweichende Biogas durchströmt aufgrund des Eigen-drucks selbstständig den Gasdom am Fermenterkopf und die nachgeschaltete Grob-reinigung mit integrierter Kondensatabscheidung. Über Edelstahlleitungen wird das Biogas dann dem im Freigelände stehenden Doppelmembrangasspeicher mit einem Füllvolumen von ca. 2.150 m³ zugeführt. Diese Größe gestattet eine Zwischenspei-cherung des Rohbiogases für rund zwei Stunden. Nach einer Entschwefelung wird das Biogas gekühlt bzw. getrocknet, da dies für den weiteren Verwendungszweck des Biogases in Form der Aufbereitung auf Erdgasqualität und die interne Nutzung zur Prozesswärmeverzeugung mittels Heizkessel Voraussetzung ist. Für die Gasver-wertung wird das Biogas aus dem Gasspeicher durch Druckerhöhungsgebläse den weiteren Verbrauchern, Biogasaufbereitung und Heizkessel, zur Verfügung gestellt. Das gereinigte Rohbiogas wird mittels einer Gasaufbereitungsanlage auf einen Me-thangehalt von mindestens 96% CH₄ aufbereitet und dann zur Druckerhöhung, Brennwertanpassung und Odorierung an die Netzbetriebsgesellschaft Berlin-Brandenburg übergeben.

Die Vergärungsanlage verfügt über eine umfassende Abluftbehandlung mit Biofilter und einem vorgeschalteten sauren Wäscher. Der Biofilter ist 2-ligig und geschlossen ausgeführt. Die Abluft wird danach über einen Kamin abgeleitet. Sie ist so ausgelegt, dass die gesetzlichen Anforderungen erfüllt und darüber hinaus die Irrelevanzkriterien der GIRL (Geruchsimmissions-Richtlinie) eingehalten werden.

6 Energetische Verwertung der Biogasanlage West

Der zwischen Russland und der Ukraine seit etlichen Jahren schwelende Gasstreit und der harte Winter 2009/10 haben wieder einmal mehr aufgezeigt, wie abhängig Deutschland von Energieimporten ist. Auch aus diesem Grund fördert die Bundesre-gierung seit Jahren die erneuerbaren Energien.

Die Rahmenbedingungen für die Biogaseinspeisung wurden durch die Umsetzung des integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung neu festgelegt. Die am 12. April 2008 in Kraft getretene Änderung der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) definiert als Ausbauziel die Erschließung eines Potenzials bis 2020 von

rund 6 Mrd. m³ BioMethan und bis zum Jahr 2030 etwa 10 Mrd. m³ zur Einspeisung in das Gasnetz.

Partner der BSR bei der BioMethan - Einspeisung ist die örtliche Verteilnetzbetreiberin die Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg (NBB). Sie ist eine Ausgründung der Netzbetriebe der GASAG, Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft, und der EMB, Erdgas Mark Brandenburg GmbH, und am 01.01.2006 an den Start gegangen. Als eine der größten örtlichen Verteilnetzbetreiberinnen bundesweit ist es die Aufgabe von NBB, den technischen Betrieb der Gasversorgung in der Region Berlin-Brandenburg zu gewährleisten. Zu den Kernaufgaben gehören hierbei Wartung und Ausbau der dazu notwendigen technischen Infrastruktur sowie die Durchführung des technisch sicheren Betriebes.

Biogasnutzung bei der BSR

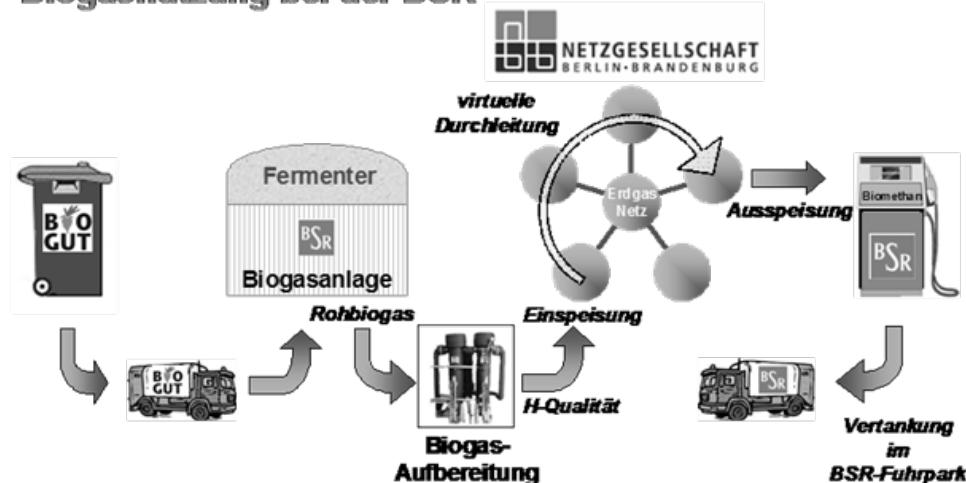


Bild 7: Biogasnutzung bei der BSR

Die Gasnetzzugangsverordnung regelt die Verantwortlichkeiten und Kostenverteilung zwischen Einspeiser und Netzbetreiber und definiert erstmalig den vorrangigen Zugang von BioMethan in das Gasnetz. Nach § 41c der GasNZV sind Netzbetreiber auf allen Druckstufen verpflichtet, Anlagen vorrangig an das Gasnetz anzuschließen. Die Kosten für den Netzzanschluss werden zwischen Netzbetreiber und Biogaseinspeiser hälftig geteilt. Nach § 41b GasNZV besteht der Netzzanschluss aus der Verbindungsleitung (bis zu 10 km), der Gasdruck-Regel-Messanlage, der Verdichteranlage und der Anlage zur eichgerechten Messung des einzuspeisenden BioMethans. Der Netzbetreiber ist Eigentümer des Netzzanschlusses und trägt die Kosten der Wartung und des Betriebs. Nach § 41d Absatz 1 GasNZV, haben Netzbetreiber Ein- und Ausspeiseverträge vorrangig mit Transportkunden von BioMethan zu schließen. Zugleich ist der Netzbetreiber zur Vornahme aller wirtschaftlich zumutbaren Aufwendungen verpflichtet, um die technische Aufnahmefähigkeit des Netzes zu optimieren. Für Biogas-Transportkunden sieht die GasNZV besondere Regelungen zum erweiterten Bilanzausgleich bei der Biogasbilanzierung vor. Zum Zweck des Bilanzausgleichs wird der Transportkunde einem gesonderten Biogas-Bilanzkreis zugeordnet. In diesem

Bilanzkeis müssen die Differenzmengen ausgeglichen werden. Dies erfolgt über ein sogenanntes Bilanzkonto. Der Netzbetreiber ist in Bezug auf reine Biogas-Bilanzkreise dazu verpflichtet, einen Flexibilitätsrahmen von 25 Prozent anzubieten, der über einen Bilanzierungszeitraum von 12 Monaten berechnet wird. Hierbei wird die kumulierte Abweichung der eingespeisten BioMethan-Energiemenge von den ausgespeisten Energieäquivalenten saldiert. Positive Endsalden können vom Biogaseinspeiser auf das nächste Bilanzierungsjahr übertragen werden. Für die Nutzung des tatsächlich in Anspruch genommenen Flexibilitätsrahmens ist ein pauschales Entgelt von 0,1 ct/kWh an den Netzbetreiber zu entrichten. Darüber hinaus sind gemäß Gasnetzentgeltverordnung (GasNEV) dem Netzbetreiber die Kosten für die Transportleistung im Gasnetz zu erstatten. Dem gegenüber steht, dass bei der dezentralen Einspeisung von Biogas die der Einspeisung vorgelagerten Netze nicht in Anspruch genommen und dadurch Netzentgelte vermieden werden. Diese vermiedenen Netzentgelte werden dem Biogaseinspeiser vom Netzbetreiber, in dessen Netz das Biogas eingespeist wird, pauschal in Höhe von 0,7 ct/kWh erstattet.

Mit den oben genannten Regelungen wird der Biogas-Transportkunde in Summe deutlich besser gestellt als ein Erdgas-Transportkunde, damit die Einspeisung von Biogas auch zu wirtschaftlichen Konditionen erfolgen kann. Diese Regelungen tragen auch der Tatsache Rechnung, dass Biogas aus einem mikrobiellen Prozess rund um die Uhr produziert wird, die Energienutzung dagegen in der Regel diskontinuierlich stattfindet und darüber hinaus erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Durch die Kostenerleichterungen für die Biogaseinspeisung in den Bereichen Anschlusskosten, Entgelte für vermiedene Netzkosten, Gasqualität und erweiterter Bilanzausgleich entsteht eine Kostenbelastung für die Netzbetreiber. Diese Kostenbelastung wird dadurch kompensiert, dass diese als anerkennungsfähige Netzkosten festgelegt werden und somit auf den Gasendverbraucher umgewälzt werden können.

In den Arbeitsblättern der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) sind die grundlegenden Qualitätsanforderungen für Gase in Netzen der öffentlichen Versorgung festgelegt. Die GasNZV verweist auf die Arbeitsblätter G 260 (Gasbeschaffenheit) und G 262 (Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung). Der Einspeiser hat die in diesen Arbeitsblättern genannten Gaseigenschaften zu gewährleisten, währenddessen der Netzbetreiber für die Odorierung, Brennwerteigenschaften und die Druckstufe verantwortlich ist.

Die Energie wird als Substitut fossilen Treibstoff im eigenen Fuhrpark eingesetzt. Daher wird die BSR die aus dem BioMethan gewonnenen Energieäquivalente vertanken und dafür den BSR Fuhrpark um weitere über 100 erdgasbetriebene Müllsammelfahrzeuge im Zuge der Ersatzinvestition erweitern. Damit wird der CNG-LKW Bestand auf rund 150 LKW ausgebaut und zudem zu deren Betankung zwei weitere Hochleistungs-Gastankstellen auf eigenen Betriebshöfen installiert.

Die jährlich aus der Biogasanlage der BSR (Input: 60.000 Mg/a Bioabfall) zur Verfügung gestellte Menge Biogas entspricht nach konservativer Abschätzung, unter Berücksichtigung der Betriebsenergie und in Abhängigkeit des gewählten Vergärungsverfahrens, pro Jahr etwa 2.000 Mg Erdgas H bzw. rund 2,5 Mio. Liter Dieseläquivalenten. Die BSR hat die verschiedenen Nutzungsoptionen für das erzeugte Biogas einer intensiven ökologischen und ökonomischen Prüfung unterzogen, in die natürlich auch standortspezifische Rahmenbedingungen integriert wurden. Daher wurde die Kraftstoffnutzung für die eigenen Sammelfahrzeuge favorisiert.

Hintergründe dieser Entscheidung sind vor allem:

- Die deutlich verringerte Lautstärke von Gasmotoren in Verbindung mit den deutlich verbesserten Abgaswerten (vgl. Euro VI), die in der Berliner Innenstadt einen hohen Umweltnutzen erzeugen.
- Stetig steigende Kraftstoffkosten für Diesel und Erdgas, deren Substitution durch Biogas eine erhebliche Entlastung der Sammelkosten generiert.

Wenn das Biogas als Kraftstoff genutzt wird, kann der Dieserverbrauch der Sammlung um annähernd $\frac{2}{3}$ gesenkt und der CO₂-Ausstoß der Fahrzeugflotte um mehr als 6.000 Mg CO₂ /a reduziert werden. Die erzeugte Menge an Biogaskraftstoff ist so hoch, dass nicht nur der Kraftstoffverbrauch der Bioabfall-Sammelfahrzeuge gedeckt werden kann, sondern darüber hinaus zukünftig auch noch weitere Abfallsammelfahrzeuge der Hausmüllabfuhr Biokraftstoff tanken können. Im Übrigen sind die gasbetriebenen Fahrzeuge deutlich leiser, da die Reduktion um rund 2 dB in der Wahrnehmung, etwa der Halbierung des Geräuschpegels entspricht. Die Feinstaubemissionen sind ebenfalls sehr gering, so dass gegenüber den vorhandenen Fahrzeugen eine deutliche Verbesserung eintreten wird.

Bei der in anderen Anlagen üblichen Verstromung vor Ort findet das in der Biogasanlage erzeugte Biogas seinen Abnehmer im angeschlossenen BHKW. Eine Vielzahl solcher Anlagen weisen aber einen geringen Wirkungsgrad auf und verwerten nur einen Teil der im Biogas gespeicherten Energie, weil die vom BHKW neben dem Strom erzeugte thermische Energie auf Grund fehlender Wärmesenken oftmals kaum genutzt werden kann und die Wärme über Kühler an die Umgebung abgegeben wird. Falls eine Anlage kein Wärmekonzept aufweist, kann durch eine Aufreinigung des Rohbiogases und Einspeisung ins Gasnetz der Wirkungsgrad auf rund 80% erhöht werden. Genau hier setzen die Aufbereitung des Rohbiogases zu einem erdgasähnlichen Produkt und die Einspeisung in das Gasnetz an. Die Energieäquivalente des BioMethans können dann an anderer Stelle das ganze Spektrum der Einsatzbereiche von fossilem Erdgas substituieren. Die Vorteile der Gasnetznutzung liegen auf der Hand. Einerseits kann die BioMethan - Produktion zeitlich von der Nutzung entkoppelt und das Netz in seiner Speicherfunktion genutzt werden, andererseits bildet das Netz durch die Regularien des Flexibilitätsrahmens für den Biogas-Bilanzkreis eine Kreditfunktion ab.

7 Klimaschutz

Auch nach dem Klimagipfel in Kopenhagen setzt sich Berlins Umweltsenatorin Katrin Lompscher dafür ein, weiter an den Klimazielen festzuhalten. In Berlin soll im Rahmen der Fortentwicklung des Energiekonzeptes der CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2020 um mindestens 40% gegenüber 1990 gesenkt werden.

Die BSR hat als erstes Unternehmen eine Kooperationsvereinbarung mit dem Land Berlin zur Senkung der Treibhausgase abgeschlossen. Im Rahmen dieser Vereinbarung hat die BSR sich verpflichtet, die Emissionen von klimaschädlichen Gasen weiter zu reduzieren, bzw. regenerative Energien zu schaffen, um dieses Ziel zu erreichen. Dies erfolgt im Wesentlichen durch die Abfallbehandlungsanlagen und die Deponieabdeckung. Daher hat die BSR ihre Konzeption zur Verwertung organischer Abfälle aktualisiert und den Bau von zwei Biogasanlagen vorbereitet. Daneben wird auch ein Klimaschutzpotenzial im Fuhrpark und Immobilienstand realisiert.

In einer aktuellen Veröffentlichung^[2] des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Verbindung mit dem Umweltbundesamt (UBA) wird der positive Klimanutzen der Vergärung dargestellt. „Die energetische Verwertung von Bioabfällen in Verbindung mit einer stofflichen Nutzung der in den Bioabfällen enthaltenen Pflanzennährstoffe kann als „hochwertige Verwertung“ angesehen werden.“ In dieser Veröffentlichung ist ebenfalls eine richtungweisende Abbildung publiziert, die die wesentlichen Be- und Entlastungen der Kompostierung und der Vergärung hinsichtlich der CO₂-Äquivalente gegenüberstellt.

Hierin wird der klare positive Effekt der Vergärung im Vergleich zur Kompostierung deutlich:

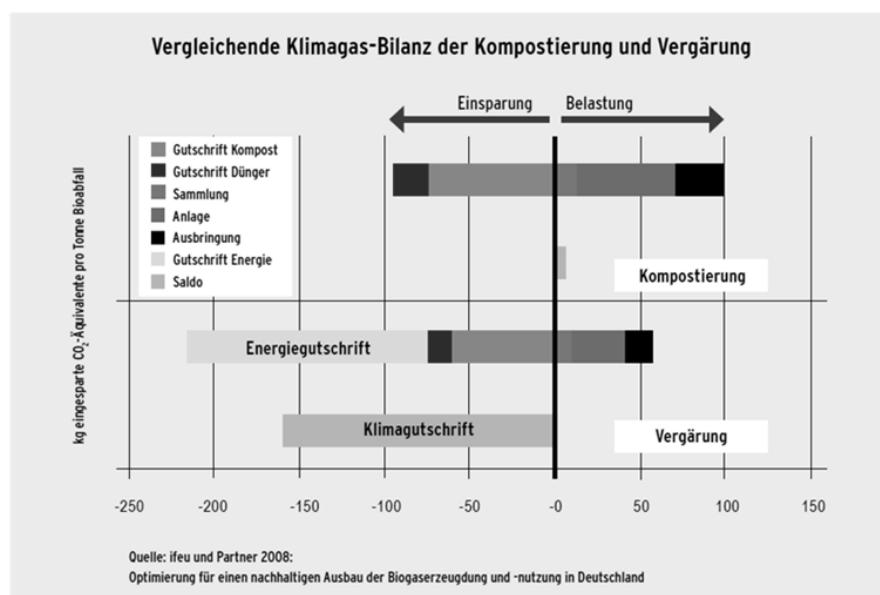


Bild 8: Vergleichende Klimagas-Bilanz

Dennoch dürfen darüber andere Umweltwirkungen nicht vergessen werden. So leisten manche Abfallfraktionen einen wichtigen Beitrag zu anderen Umweltwirkungen, wie bspw. Bio- und Grünabfälle, durch deren getrennte Erfassung und Verwertung insbesondere die mineralische Ressource Phosphor geschont wird. In der aktuellen Diskussion zum Klimawandel werden oft nur die energetischen Potenziale hervorgehoben. Spezifische Nutzwerte, die sich bei der Anwendung behandelter Bioabfälle in Bezug auf den Boden ergeben, werden i. d. R. nur am Rande oder gar nicht erörtert. Dies liegt daran, dass es objektiv schwierig ist, unterschiedliche Sachverhalte, wie die Substitution fossiler Energieträger einerseits und die Wirkungen von z. B. Kompost auf die Bodenfruchtbarkeit andererseits, in ein einheitliches ökobilanzielles Bewertungsschema zu bringen. Genau dies war jedoch die Aufgabe, die der Verband der Humus- und Erdenwirtschaft (VHE) der EPEA (Internationale Umweltforschung Hamburg) gestellt hatte^[3].

Die Untersuchung weist ebenfalls die ökologischen Vorteile der Kompostierung und der Vergärung von Bioabfällen nach und begründet die Sinnhaftigkeit der getrennten Sammlung und stofflichen Verwertung insbesondere aus der Düng- und Humuswirkung der erzeugten Produkte.

8 Fazit und Ausblick

Kommunale Abfalldienstleister müssen heute dem ökologisch-gesellschaftlichen Anspruch auf Reduktion von Treibhausgasemissionen wie auch der Notwendigkeit nachhaltiger Ressourcenbewirtschaftung gerecht werden. Dabei ist die Transparenz, Kontinuität und Verlässlichkeit über die für den weiteren Ausbau der Biogaseinspeisung erforderlichen politischen, wirtschaftlichen, ökologischen und technischen Rahmenbedingungen von offensichtlicher Bedeutung. Die zukünftig steigenden Energiepreise sind hierbei ein maßgeblicher Faktor bei den Entscheidungsprozessen. Der Einsatz von Abfällen zur Energieerzeugung gewinnt damit eine immer größere Bedeutung für die Strategie der BSR. Mit der aktualisierten Anlagenkonzeption der BSR für die organischen Abfälle, insbesondere für das getrennt gesammelte BIOGUT, wird es möglich sein, bei vertretbaren Kosten für die Vergärung und Reduktion der Transport- und Dieselbeschaffungskosten, Tariferhöhungen zu minimieren und gleichzeitig mit der Verlängerung der Wertschöpfungskette die Produktion grüner Energie der BSR zu erhöhen.



Bild 9: Geschlossene Kreisläufe bei der Bioabfallverwertung

Zudem werden die Möglichkeiten der Reduktion der Kohlenstoffdioxid- und Methan-Emissionen durch die stoffliche Verwertung der Gärreste genutzt, um einen weiteren Beitrag zur Kreislaufwirtschaft und zum Klimaschutz zu leisten.

10 Literatur

- [1] „Klimaschutzzpotenziale der Abfallwirtschaft – am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz“ Ifeu / Öko-Institut e. V., Januar 2010, Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) / Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V. (BDE)
- [2] „Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen – Anregungen für kommunale Entscheidungsträger“, September 2009, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) / Umweltbundesamt (UBA)
- [3] „Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen – Kompass für die Entscheidungsfindung vor dem Hintergrund der geplanten Überarbeitung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes“ April 2008 Herausgeber: Internationale Umweltforschung GmbH (EPEA) / Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V. (VHE)

Autoren- und Referentenverzeichnis

Uwe Athmann ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen Gotzinger Strasse 48/50 D-81371 München	Jürgen Giegrich Ifeu- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstraße 3 D-69120 Heidelberg
Dipl.-Ing. (TU) Werner P. Bauer ia GmbH - Wissensmanagement und Ingenieurleistungen Gotzinger Strasse 48/50 D-81371 München	Dr. Alexander Gosten Berliner Stadtreinigung Ringbahnstr. 96 D-12103 Berlin
Leif Börger FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG Feldhorst 4 D-27711 Osterholz-Scharmbeck	Dipl.-Ing. Gerhard Halm Die Stadtreiniger Kassel Am Lossewerk 15 D-34123 Kassel
Stephan Brede Die Stadtreiniger Kassel Am Lossewerk 15 D-34123 Kassel	Dipl. Ing. Geerd Hübner HALLER Umweltsysteme GmbH & Co. KG Rigistr. 1 -3 D-12277 Berlin
Jochen Cantner bifa Umweltinstitut GmbH Am Mittleren Moos 46 D-86167 Augsburg	Ulrich Krath Björnsen Beratende Ingenieure GmbH Maria Trost 3 56070 Koblenz
Günther Dehoust Öko-Institut e.V. Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt	Siegfried Kreibe bifa Umweltinstitut GmbH Am Mittleren Moos 46 D-86167 Augsburg
RA Hartmut Gaßner Gaßner, Groth, Siederer & Coll. Stralauer Platz 34 D-10243 Berlin	Thomas Kroner ia GmbH – Wissensman agement und Ingenieurleistungen Gotzinger Strasse 48/50 D-81371 München

Prof. Dr. Uwe Lahl
BZL Kommunikation und
Projektsteuerung GmbH
Lindenstr. 33,
D-28876 Oyten

Edgar Mannheim
Koblenzer Entsorgungsbetrieb
Schlachthofstraße 34-44
D-56073 Koblenz

Paul Mußler
RECARBON GmbH
Brügelmannstraße 3
D-50679 Köln

Dr. Peter Neusüß
Gaßner, Groth, Siederer & Coll.
Stralauer Platz 34
D-10243 Berlin

Anette Ochs
BDE- Bundesverband der Deutschen
Entsorgungs-, Wasser- und
Rohstoffwirtschaft e.V.
Behrenstraße 29
D 10117 Berlin

Peter Quicker
ia GmbH - Wissensmanagement und
Ingenieurleistungen
Gotzinger Strasse 48/50
D-81371 München

Dr. Andrea Paulus
RECARBON GmbH
Brügelmannstraße 3
D-50679 Köln

Thorsten Pitschke
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
D-86167 Augsburg

André Radde
Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Robert-Schuman-Platz 3
D - 53175 Bonn

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
D-86167 Augsburg

Thomas Rücker
Berliner Stadtreinigung
Ringbahnstr. 96
D-12103 Berlin

Dipl.-Ing. Bernd Sackmann
Berliner Stadtreinigung
Ringbahnstr. 96
D-12103 Berlin

Prof. Dr. Karlheinz Scheffold
Fachhochschule Bingen, FB 1
Berlinstraße 109
D-55411 Bingen

Dr. Doris Schüler
Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt

Dr. Dipl.-Ing. Hubert Seier
DSC GmbH
Ernst-Kraft- Straße 17
D-59379 Selm

Marlene Sieck
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
D-06844 Dessau

Dipl- Ing. Martin Treder
MVA Hamm Betreiber GmbH
Am Lausbach 2
D-59075 Hamm

Dieter Tronecker
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
D-86167 Augsburg

Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban
Universität Kassel
Mönchebergstrasse 7
34127 Kassel

Dr.-Ing. Markus Weber
BAUREKA Baustoff-Recycling GmbH
Dennhäuser Straße 118
D-34134 Kassel

Dr. Sebastian Wolfgarten
RECARBON GmbH
Brügelmannstraße 3
D-50679 Köln

Regine Vogt
Ifeu- Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3
D-69120 Heidelberg

Dr. Barbara Zeschmar-Lahl
BZL Kommunikation und
Projektsteuerung GmbH
Lindenstr. 33,
D-28876 Oyten

Schriftenreihe
Fachgebiet Abfalltechnik an der Universität Kassel

Herausgeber: Arnd I. Urban

Dissertationen

- Band 1 Konsequenzen für die thermische Restabfallbehandlung verursacht durch die TASi und das KrW-/AbfG
M. Friedel
Kassel 2001, ISBN 3-89792-057-3
- Band 2 Angepasste Abfallentsorgung für Schwellen- und Entwicklungsländer
A. Mohamad
Kassel 2002, ISBN 3-937022-00-7
- Band 5 Untersuchungen zur Bestimmung des Verbrennungsverhaltens von festen Abfallstoffen
H. Seeger
Kassel 2005, ISBN 3-89958-144-X
- Band 6 Hygienisierung von Kompost – Möglichkeiten zum Nachweis einer erfolgreichen Abtötung von Pathogenen und Unkrautsamen
M. Idelmann
Kassel 2005, ISBN-10: 3-89958-203-9
- Band 8 Abfalltausch Reduzierung von Siedlungsabfalltransporten mit Lkw unter ökologischen und ökonomischen Aspekten
M. Weber
Kassel 2007, ISBN 978-3-89958-363-2

Information:
Universität Kassel
Fachgebiet Abfalltechnik
34109 Kassel
www.uni-kassel.de/fb14/abfalltechnik

Schriftenreihe
Fachgebiet Abfalltechnik an der Universität Kassel

Herausgeber: Arnd I. Urban

UNIK-AT

- Band 3 Verwertung von Baustellenabfällen
Hrsg.: A. I. Urban, I. Hetz-Yousseau
Fachtagung
Kassel 2004, ISBN 3-937722-03-1
- Band 4 Optimierung der Abfall-Logistik
Kasseler Abfall-Logistik-Tage
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm, M. Weber
Fachtagung
Kassel 2005, ISBN 3-89958-145-8
- Band 5 Stoffströme der Kreislaufwirtschaft
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm, R. M. Morgan
Fachtagung
Kassel 2006, ISBN 978-3-89958-244-4
- Band 7 Weiterentwicklung der Abfallsammlung
Abfallwirtschaft ohne Duale Systeme?
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm, R. M. Morgan
Fachtagung
Kassel 2007, ISBN 978-3-89958-300-7
- Band 9 Kasseler Modell – mehr als Abfallentsorgung
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm
Fachtagung
Kassel 2009, ISBN 978-3-89958-692-3
- Band 10 Mit RFID zur innovativen Kreislaufwirtschaft
Abfallwirtschaft ohne Duale Systeme?
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm,
Fachtagung
Kassel 2009, ISBN 978-3-89958-804-0

Information:
Universität Kassel
Fachgebiet Abfalltechnik
34109 Kassel
www.uni-kassel.de/fb14/abfalltechnik

Schriftenreihe
Fachtagung Thermische Abfallbehandlung

Herausgeber: Bernd Bilitewski, Martin Faulstich, Arnd I. Urban

- Band 1 Thermische Restabfallbehandlung
ISBN 3-503-03915-5, 1. Fachtagung, Dresden, 1996
- Band 2 Thermische Abfallbehandlung-
Entwicklung von Technik und Kosten in einer Kreislaufwirtschaft
ISBN 3-88122-892-6, 2. Fachtagung, Kassel, 1997
- Band 3 Thermische Abfallbehandlung
ISSN 0942-914X, 3. Fachtagung, Garching bei München, 1998
- Band 4 Thermische Abfallbehandlung- Co- Verbrennung
ISBN 3-9805174-7-0, 4. Fachtagung, Dresden, 1999
- Band 5 Thermische Abfallbehandlung- Zukunft in Deutschland und Europa
ISBN 3-89792-003-6, 5. Fachtagung, Kassel, 2000
- Band 6 Thermische Abfallbehandlung
ISSN 0942-914X, 6. Fachtagung, Garching bei München, 2001
- Band 7 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-934253-09-1, 7. Fachtagung, Berlin, 2002
- Band 8 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-937022-01-5, 8. Fachtagung, Berlin, 2003
- Band 9 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-937022-02-3, 9. Fachtagung, Berlin, 2004
- Band 10 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-934253-33-4, 10. Fachtagung, Berlin, 2005
- Band 11 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-3-89958-198-0, 11. Fachtagung, München, 2006
- Band 12 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-389958-274-1, 12. Fachtagung München, 2007
- Band 13 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-3-89958-384-7, 13. Fachtagung München, 2008
- Band 14 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-3-89958-662-6, 14. Fachtagung München, 2009
- Band 15 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-3-934253-57-5, 15. Fachtagung Dresden, 2010

Information:

Universität Kassel
Fachgebiet Abfalltechnik
34109 Kassel
www.uni-kassel.de/fb14/abfalltechnik

