

**UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT;  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT**

**Forschungsbericht 205 33 314  
UBA-FB III**

**Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum  
Klimaschutz und mögliche Potentiale**

**von**

**Günter Dehoust, Kirsten Wiegmann,  
Uwe Fritsche, Hartmut Stahl, Wolfgang Jenseit,  
Anke Herold, Martin Cames, Peter Gebhardt  
Öko-Institut e.V.**

**unter Mitarbeit von**

**Regine Vogt und Jürgen Giegrich  
ifeu-Heidelberg GmbH**

**Im Auftrag des Umweltbundesamtes**

**August 2005**

## Zusammenfassung

Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz im Jahr 1996 fand bis Juni 2005 eine schrittweise Abkehr von der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle statt. Durch einen deutlichen Anstieg der getrennten Erfassung und Verwertung sowie durch Abfallvermeidung und effizientere Methoden zur Abfallbehandlung und -beseitigung konnten fossile Energieträger und Rohstoffe ersetzt werden. Diese gehen als Gutschriften in die Klimabilanz ein und führen so zu deutlichen Entlastungen bzw. Einsparungen klimawirksamer Emissionen und fossiler Energieträger.

Zwischen 1990 und 2003 konnten in Deutschland die Emission von Treibhausgasen insgesamt um rund 18 % reduziert werden (auf 1.017,5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Im Nationalen Inventarbericht (NIR) werden dem Abfallbereich durch das Deponierungsverbot allein 20 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente zugerechnet. Damit hat die Abfallwirtschaft den von ihr erwarteten Beitrag zum Minderungsziel des nationalen Klimaschutzprogramms aus dem Jahr 2000 erreicht. Bis 2012 wird eine weitere Einsparung von 8,4 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Stilllegung der Deponien prognostiziert. Für die Zeitspanne von 1990 bis 2012 ergibt sich damit eine Reduktion von 28,4 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, die im nationalen Klimaschutzprogramm nach Beschluss der Bundesregierung vom 13. Juli 2005 (BMU 2005a) dem Entsorgungsweg der Deponie zugesprochen werden.

Das Bilanzergebnis in dieser Kurzstudie weist dagegen für den Zeitraum von 1990 bis 2005 eine Entlastung von ca. 46 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf. Aufgrund unterschiedlicher Bilanzmethoden sind die Werte allerdings nicht direkt vergleichbar. Insbesondere werden im NIR für bereitgestellte Energie aus der thermischen Nutzung von Abfällen keinerlei Gutschriften für die Abfallwirtschaft verrechnet. Angesichts der Bilanzgrenzen und statistischer Zuordnungen entstehen die Gutschriften in anderen Sektoren, wie z. B. der Energiewirtschaft. Dies soll auch in Zukunft nicht verändert werden, doch will diese Kurzstudie darauf aufmerksam machen, dass die weit reichende Umstrukturierung der Siedlungsabfallwirtschaft überhaupt erst die Voraussetzung für diesen Einsparerfolg geschaffen hat. Dies wird erst durch die hier vorgenommene Anrechnung der Gutschriften für die Leistungen der Siedlungsabfallwirtschaft verdeutlicht.

Zusätzlich zum bereits erbrachten Beitrag werden weitere mögliche Entlastungen anhand von drei verschiedenen Szenarien bis ins Jahr 2020 betrachtet, um die Potenziale zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung durch konsequente Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft aufzuzeigen. Für die Zukunft sind weitere der bis 2005 erbrachten Einsparungen in dieser Höhe weder für die fossilen Ressourcen noch für die Treibhausgasemissionen zu erreichen.

Dies zeigen die Ergebnisse der hier durchgeführten Stoffstromanalyse der Behandlung und Entsorgung von Siedlungsabfällen für die Jahre 2005 und 2020.

Beide beruhen auf den Prognosen der Abfallmengen der Landesarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 2004], welche die Daten seit Juli 2005 repräsentieren, also nach Ablauf der Übergangsfrist für die Deponierung unbehandelter Abfälle. Für 2020 ist die Abfallmenge gegenüber 2005 konstant gehalten worden, da die Szenarien zeigen sollen, welchen Effekt **Veränderungen im Entsorgungssystem** (Entsorgungswege, Effizienz der Anlagen, Wirkungsgrad der Energiebereitstellung etc.) haben. Die möglichen Auswirkungen der Abfallvermeidung waren dagegen nicht Thema dieser Studie.

In den einzelnen Szenarien sind folgende Aspekte variiert:

1. verstärkte stoffliche Verwertung von Eisen und Nicht-Eisen-Metallen
2. Steigerung der Mitverbrennung
3. Kapazitätsausweitung und Effizienzsteigerung (u. a. KWK-Ausbau) der MVA für Siedlungsabfälle
4. Umstellung von der Kompostierung zur Vergärung von Bioabfällen – mit motorischer Biogasnutzung
5. Ersatz der rohstofflichen Kunststoffverwertung durch werkstoffliches und energetisches Recycling.

Die Bilanz wurde 1990 ganz überwiegend durch die Methanemissionen aus der Deponie bestimmt. Da 2005 bereits ohne Deponierung bilanziert wird, können die Reduktionen bei den Belastungen und die Bilanzergebnisse zwischen 2005 und 2020 nicht mehr in dem Umfang erfolgen wie dies zwischen 1990 und 2005 der Fall war. Aber es verbleibt immer noch ein Potenzial von über 5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten als wichtiger Beitrag zum Deutschen Klimaschutzziel.

Insgesamt zeigen die Entsorgungswege der MVA und der Mitverbrennung das höchste Minderungspotenzial für die Emission von Treibhausgasen. Auch ist das Altpapierrecycling noch von großer Bedeutung, alle anderen Wege haben geringere Klimaschutzbeiträge und auch die Aufwendungen für die Erfassung der Abfälle sind relativ unbedeutend (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1 Treibhausgasemissionen und verbliebene Einsparoptionen im Szenariozeitraum bis 2020, Angaben in [ Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente]

Entsorgungswege	Emissionen 1990	Emissionen 2005	Emissionen 2020-optimiert	Reduktionspotenzial Von 2005 zu „2020-optimiert“
MVA	-1,00	-2,47	-5,42	-2,95
Mitverbrennung	-0,05	-2,16	-3,55	-1,39
Bioabfall	0,10	0,19	-0,06	-0,25
LVP	0	-0,54	-0,63	-0,09
Altpapier	-0,31	-1,71	-1,65	0,06
Altglas	-0,39	-0,61	-0,61	0
Sperrmüll/Altholz	-0,005	-0,27	-0,3	-0,03
Metalle	-0,28	-0,78	-1,55	-0,77
Sammlung	0,48	0,36	0,36	0
MBA	0	0,21	0,19	-0,02
Deponie	39,23	0,09	0,02	-0,07

Emissionen mit negativem Vorzeichen bedeuten, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch diesen Entsorgungsweg (Belastung) geringer ist als die Gutschrift für die substituierten Prozesse

Über den Einfluss der Entsorgungswege bzw. –kapazitäten hinaus wurde für die MVA zusätzlich der Effekt **variierender Gutschriften** untersucht. In den einzelnen Szenarien bis 2020 bilden die Gutschriften die Bandbreite in Abhängigkeit des Substitutionsprozesses für den gegenüber 2005 zusätzlich produzierten Strom:

1. durch Erdgas-GuD (Basisszenarien 2020),
2. durch Importkohle (2020 optimiert).

Allein durch diese Variation der Substitutionsprozesse steigt die Netto-Gutschrift der MVA zwischen den Szenarien um fast das Doppelte mehr an, um ca. 3 Mio t für Kohlestrom gegenüber etwa 1,5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für Erdgas-GuD-Strom. Die Entscheidung über die Substitutionsprozesse hat also einen wesentlichen Einfluss auf das Bilanzergebnis, der sich für die MVA stärker auswirkt als eine 10-20%ige Variationen bei der Kapazitätsauslastung.

Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, dass politische Instrumente in der Art gewählt werden sollten, die möglichst den Ersatz heute besonders ungünstiger Prozesse herbeiführt. Dieser Philosophie folgend, wird in der vorliegenden Kurzstudie ein Set

an Instrumenten und Maßnahmen empfohlen. Es wird empfohlen, diese nach einer detaillierten Umwelt- und Wirkungsanalyse zu einem sinnvollen System zu vernetzen.

Insgesamt hat Deutschland bis 2020 eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 40 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zugesagt<sup>1</sup>. Von 2003 bis 2020 müsste die Minderung der jährlichen Treibhausgasemissionen also gegenüber der bis 2003 bereits erreichten, nochmals etwas gesteigert werden. Hierzu kann die Abfallwirtschaft durch verschiedene Maßnahmen mit insgesamt ca. 2 % bis 4,6 % beitragen<sup>2</sup>. Notwendig sind dafür entsprechende Maßnahmen zur Ausschöpfung aller Potenziale. Die MVA trägt bei optimierter Energienutzung etwa zu einem Drittel zu dem Reduktionspotenzial bei. Alle energetischen Verfahren haben unter den Rahmenbedingungen dieser Bilanz einen Anteil von ca. 90 % an dem erreichbaren Reduktionspotenzial. Die ggf. möglichen Steigerungspotenziale der stofflichen Verwertung wurden nicht untersucht.

Für den gesamten Zeitraum von 1990 bis 2020 ist der Anteil der Abfallwirtschaft aufgrund der erheblichen Reduktion der Methanemissionen auf Deponien noch deutlich höher. Von der in dieser Zeitspanne insgesamt erfolgten bzw. geplanten Reduktion von 500 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten hat die Siedlungsabfallwirtschaft dann ca. 50 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente erbracht, also einen Anteil von ca. 10 %. Dazu haben die eingesparten Deponiegasemissionen zu 76 %, die energetische Verwertung zu ca. 7 %, die stoffliche Verwertung zu 5 % und die MVA zu 9 % beigetragen.

Schließlich wurden die Erfolge der Deutschen Abfallwirtschaft noch einmal mit der Situation der EU-15-Länder in Vergleich gesetzt. Deutschland ist 1990 mit den höchsten Gesamtemissionen im Abfallbereich gestartet und hat das hohe Optimierungspotenzial in der Vergangenheit relativ gut ausgenutzt.

Wenden sich die europäischen Staaten wie Deutschland von der Deponierung unbehandelter Abfälle ab, entsteht auch hier ein großes Optimierungspotenzial. Statt wie derzeit eine Belastung von 87 Mio CO<sub>2</sub>-Äquivalenten mit der Abfallwirtschaft zu produzieren, könnte zukünftig eine Gutschrift von 47 Mio CO<sub>2</sub>-Äquivalenten dargestellt werden. Daraus ergibt sich ein Reduktionspotenzial von 2000 bis 2020 für die Siedlungsabfallwirtschaft der EU-15 von 134 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Den Hauptanteil daran tragen mit fast 100 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten die vermiedenen Methanemissionen in Folge der Aufgabe der Deponierung. Die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen hat daran einen nicht zu vernachlässigenden Anteil, da die Bioabfälle in der Deponie maßgeblich an der Methanproduktion beteiligt sind.

---

<sup>1</sup> 40 % wurden unter der Bedingung zugesagt, dass Europa insgesamt eine Reduktion von 30 % durchsetzt [BMU 2005b].

<sup>2</sup> Wie bereits beschrieben, ist dabei die Reduktion durch die Methangasemissionen, die noch aus den stillgelegten Deponien emittiert werden nicht enthalten, da diese bereits im Szenario 2005 gutgeschrieben wurden.

Setzt man das Reduktionspotenzial von 134 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in der Siedlungsabfallwirtschaft in Bezug zu den geplanten Treibhaus-Reduktionen in der EU-15 von 1.203 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 2003 bis 2020 ergibt sich ein Anteil von 11 %. Im europäischen Durchschnitt liegt das Einsparpotenzial durch Strombereitstellung aus der Müllverbrennung insgesamt etwas geringer als in Deutschland, da die Stromgutschriften auf Basis des EU-Mix erstellt wurden, der mit weniger fossilen Energieträgern als in Deutschland erzeugt wird.

Die konsequente Einhaltung der Deponierichtlinie kann einer überschlägigen Schätzung zufolge bis 2016 mit 74 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente ebenfalls erheblich zur Reduktion der Treibhausgasemissionen infolge vermiedener Deponiegasemissionen beitragen.

Die stoffliche und energetische Verwertung der von der Deponie ferngehaltenen Abfälle könnte darüber hinaus nochmals zu Einsparungen von etwa 30 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Jahr führen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bilanz zum Vergleich 1990, 2005 und 2020 in Deutschland .....</b>	<b>2</b>
2.1	Grundlagen der Bilanzierung.....	3
2.1.1	Sachbilanz und Wirkungsabschätzung .....	3
2.1.2	Vergleich der Systeme .....	5
2.1.3	Systemgrenzen .....	6
2.2	Abfallaufkommen.....	7
2.3	Entsorgungswege und -mengen.....	9
2.4	Abfallzusammensetzung .....	11
2.5	Beschreibung der Szenarien .....	12
2.5.1	Sammlung und Transport.....	12
2.5.2	Mechanisch-biologische Behandlung (MBA) .....	13
2.5.3	Müllverbrennung (MVA) .....	14
2.5.4	Mitverbrennung .....	17
2.5.5	Deponierung .....	18
2.5.6	Altpapier und Altglas .....	19
2.5.7	Verwertung von Leichtverpackungen (LVP).....	19
2.5.8	Bioabfallverwertung .....	20
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
3.1	Allgemeine Diskussion der Bilanzergebnisse .....	21
3.2	Beiträge der einzelnen Entsorgungswege .....	22
3.2.1	Beitrag der MVA.....	25
3.2.2	Beitrag der Bioabfallverwertung .....	26
3.2.3	Beitrag der Verwertung trockener Wertstoffe.....	27
3.2.4	Beitrag der Deponierung .....	27
3.3	Einsparungspotenziale von Klärschlamm und Altholz .....	27
3.3.1	Klärschlamm .....	28
3.3.2	Altholz und Restholz .....	29
3.4	Bewertung der Bilanzergebnisse vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele.....	30
<b>4</b>	<b>Möglichkeiten zur Einsparung von Treibhausgasemissionen im Abfallsektor in Europa (EU-15) .....</b>	<b>35</b>
4.1	Situation in Europa gemäß der Meldungen der Mitgliedsstaaten .....	35
4.2	Eigene Schätzungen auf der Basis der europäischen Abfallstatistik .....	40
4.2.1	Nutzung des gesamten Reduktionspotenzials.....	40
4.2.2	Reduktion der deponierten Abfallmengen nach den Vorgaben der Deponierichtlinie .....	46

<b>5</b>	<b>Optionen zur Ausschöpfung vorhandener Effizienzsteigerungspotenziale bei der Energienutzung .....</b>	<b>48</b>
5.1	Wärmenetze .....	49
5.2	Regeneratives Wärmegesetz .....	49
5.3	Abwärmeabgabe .....	50
5.4	Förderung von Premiumstrom/-wärme .....	50
5.5	Förderung von KWK-Strom .....	51
5.6	Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP).....	51
5.7	Joint Implementation/Clean Development Mechanism .....	51
<b>6</b>	<b>Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung bei der energetischen Nutzung von Restabfällen .....</b>	<b>53</b>
6.1	Stromauskopplung aus der Müllverbrennung .....	53
6.1.1	Stand der Technik.....	53
6.1.2	Technische Möglichkeiten .....	54
6.2	Probleme bei der Nutzung von KWK-Wärme und Prozessdampf.....	55
<b>7</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>63</b>



## 1 Einleitung

Das umweltpolitische Ziel der Abfallwirtschaft ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen sowie die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Damit unmittelbar verknüpft sind Anforderungen an die verschiedensten Schutzgüter wie beispielsweise Wasser, Boden, Luft und die menschliche Gesundheit. Die umweltschädlichen Auswirkungen von Abfällen sollen durch abfallpolitische Maßnahmen wie

- Reduktion des Eintrags schädlicher Stoffe in den Behandlungskreislauf;
- Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Verwertungsprozess;
- Inertisierung der Schadstoffe
- Reduktion des Ressourcenverbrauchs

minimiert werden.

In der vorliegenden Studie wird der Fokus auf den Klimaschutz gelegt. Aufgezeigt werden der Beitrag der Abfallwirtschaft zu den Klimaschutzzielen Deutschlands und Europas sowie potenzielle Optimierungsmöglichkeiten.

Deutschland hat sich verpflichtet bis 2012 21 % der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 zu senken (Kioto-Ziel). Bis ins Jahr 2003 konnten davon etwa 18 % erreicht werden, wozu die Abfallwirtschaft durch vermiedene Methanemissionen bei der Deponierung einen großen Beitrag geleistet hat. Einen weiteren Beitrag liefert die Einsparung von Rohstoffen durch die stoffliche und energetische Verwertung. Diese Erfolge beruhen auf den großen Fortschritten, die die Kreislaufwirtschaft in Deutschland hinsichtlich Entsorgungssicherheit und Umweltentlastungen erzielt hat. Das Jahr 2005 markiert durch das Ende der Übergangsfrist zur Deponierung unbehandelter Abfälle einen weiteren Meilenstein in der Kreislaufwirtschaftspolitik.

Nach dem die Emissionen von Treibhausgasen in den 90er Jahren in Deutschland deutlich gesunken sind, stagnieren sie mittlerweile. Dabei sind die Kioto-Verpflichtungen längst nicht ausreichend, um den globalen Klimawandel zu begegnen. Mittel- und langfristig sind ehrgeizige Klimaschutzziele notwendig und so sieht die Bundesregierung bis 2020 eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 40 % vor. Vor diesem Hintergrund sollten die verbliebenen Einsparpotenziale aller Sektoren konsequent genutzt werden.

Das Jahr 2020 ist, nicht nur als Zielgröße zum Klimaschutz ein einschneidendes Datum, sondern auch bezüglich der abfallwirtschaftlichen Ziele, die das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in einem Eckpunktepapier 1999 ausgegeben hat: Ab 2020 sollen keine Abfälle mehr beseitigt werden, die noch für ein Recycling in Frage kommen können. Die bisherigen Erfolge der Kreislaufwirtschaft werden im Rahmen dieser Kurzstudie ausgehend vom Jahr 1990 für das Jahr 2005 dargestellt. Darüber hinaus werden noch erschließbare Potenziale identifiziert und in Szenarien für 2020 wird deren möglicher Beitrag für den Klimaschutz anhand der Kriterien *Treibhausgasemissionen* und

*Einsparung von fossilen Energieträgern* berechnet. Auf dieser Grundlage sollen Entscheidungen zur weiteren nachhaltigen Entwicklung in der Abfallwirtschaft vorbereitet werden. Die Kurzstudie zeigt also das *maximale* Klimaschutzpotenzial der Siedlungsabfallwirtschaft auf, um dann mögliche Maßnahmen zu diskutieren, die bei der Umsetzung dieser Entwicklung helfen können.

Darüber hinaus wird die Situation der Abfallwirtschaft in der EU beschrieben. Hierzu werden die Abfalldaten der einzelnen EU-Staaten, beschränkt auf EU-15, da für die Beitrittsländer entsprechende Daten noch nicht mit einer vergleichbaren Qualität vorliegen. Auch für die europäische Entwicklung deutet sich ein Umschwenken der meisten Länder der EU-15, weg von der Deponierung, hin zur Verwertung der Abfälle, an. Dennoch sollen auch für die EU-15 nicht die Planungen der Mitgliedstaaten, sondern vielmehr das maximale Reduktionspotenzial an Treibhausgasen in der EU-15 Staaten, bei einem konsequenten Umbau der Abfallwirtschaft, aufgezeigt werden.

## **2 Bilanz zum Vergleich 1990, 2005 und 2020 in Deutschland**

Mit dem Inkrafttreten des KrW-/AbfG<sup>3</sup> im Jahr 1996 haben sich die Entstehung von Abfällen und das wirtschaftliche Wachstum voneinander entkoppelt. Durch einen deutlichen Anstieg der getrennten Erfassung und Verwertung, sowie durch Abfallvermeidung und effizientere Methoden zur Abfallbehandlung und -beseitigung, konnten große Umweltentlastungen erzielt werden. Erfolge konnten dadurch auch im Klimaschutz erreicht werden, da direkte Treibhausgasemissionen vermieden und fossile Energieträger eingespart werden konnten.

Diese Kurzstudie stellt den bereits erbrachten Beitrag der deutschen Abfallwirtschaft zum Klimaschutz im Bereich der Siedlungsabfälle dar. Hierfür wird die Situation der Jahre 1990 und 2005 miteinander verglichen. Zusätzlich mögliche Entlastungen werden anhand von drei verschiedenen Szenarien bis ins Jahr 2020 betrachtet, um die Potenziale zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung durch konsequente Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft aufzuzeigen.

Die Arbeiten legen die Ergebnisse des Forschungsberichts des IFEU Instituts „Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – Teil Siedlungsabfälle“<sup>4</sup> zu Grunde, der gemeinsam von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Umweltbundesamt in Auftrag gegeben wurde.

Die Auswirkungen der Abfallwirtschaft auf die Treibhausgasemissionen und die Schonung von fossilen Ressourcen im Jahr 1990 werden der Situation 2005 (nach Einstellung der Deponierung von nicht vorbehandelten Abfällen) gegenübergestellt. Hierzu werden die Daten für 2005 nach dem heutigen Kenntnisstand prognostiziert. Die Szenarien für 2020 sollen dagegen nicht den erwarteten Trend beschreiben, sondern das Einsparungspotenzial für Treibhausgase und fossile Ressourcen, das als Beitrag zum Klimaschutz erreicht werden kann, wenn alle Möglichkeiten zur Steigerung der energetischen Nutzung der

---

<sup>3</sup> Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994

<sup>4</sup> Siehe IFEU (2004), veröffentlicht als Sonderteil in UMWELT Nr. 10/2004

Siedlungsabfälle ausgeschöpft werden. Zusätzlich werden in einzelnen Szenarien die Auswirkung der überwiegenden Umstellung der Biogasbehandlung auf Vergärung und des Ersatzes der rohstofflichen Kunststoffverwertung durch werkstoffliches und energetisches Recycling bilanziert.

Folgende Szenarien werden der Siedlungsabfallwirtschaft im Jahr 1990 gegenübergestellt:

- Szenario Siedlungsabfälle 2005
- Szenario Siedlungsabfälle 2020 Basis I
- Szenario Siedlungsabfälle 2020 Basis II
- Szenario Siedlungsabfälle 2020 optimiert

Altholz und Klärschlamm werden in der Bilanz nicht mit berücksichtigt. Im Rahmen einer überschlägigen Betrachtung werden allerdings die Potenziale dieser beiden Stoffströme im Hinblick auf die Klimarelevanz abgeschätzt. Näheres hierzu ist Kapitel 3.3 zu entnehmen.

## **2.1 Grundlagen der Bilanzierung**

Das einzige Umweltbewertungsinstrument, das in der Lage ist, komplexe Systeme zu bewerten, ist die Ökobilanz. Sie ist das erste Handwerkszeug, das im internationalen Rahmen wissenschaftlich entwickelt und in ihren Grundsätzen seit 1993 national und international genormt wurde (DIN EN ISO 14040ff).

Sollen mehrere Produkte oder Dienstleistungen gleichzeitig betrachtet werden, kann die Ökobilanz zur so genannten Stoffstromanalyse erweitert werden. Diese löst sich von der detailgetreuen Abbildung einzelner Produkte zugunsten einer übergreifenden Betrachtung ganzer Sektoren oder Handlungsfelder wie etwa der Abfallwirtschaft. Entsprechend sind die Anforderungen an die einzelnen Durchführungsschritte gegenüber der DIN-ISO 14014 reduziert.

### **2.1.1 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung**

Die Bilanzierung der einzelnen Varianten liefert als Zwischenergebnis die so genannte Sachbilanz. Sie liefert die erforderlichen Daten zu den Emissionen von Schadstoffen und den Verbrauch von Ressourcen für die Wirkungsabschätzung. Diese Kurzstudie beschränkt sich auf die Emissionen von Treibhausgasen und die Einsparung fossiler Energieträger, da sie die Klimawirkungen der deutschen Abfallwirtschaft im Fokus hat. In der Wirkungsabschätzung werden die bilanzierten Schadstoffe ihrer Umweltwirkung entsprechend zusammengefasst [vgl. CML 2001, UBA 1995].

#### **2.1.1.1 Emissionen von Treibhausgasen**

Die Treibhausgase haben durch unterschiedliche Absorptionsspektren und Verweilzeiten jeweils ein anderes Wirkpotenzial auf den Klimawandel. Um das Wirkpotenzial aller Gase mit einem einzigen Wert angeben zu können, wird errechnet welche Menge Kohlendioxid

dieselbe Wirkung auf das Klima hätte. Diese Äquivalenzfaktoren sind für die betrachteten Gase in Tabelle 2.1 angegeben. Bei der Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten muss der Betrachtungszeitraum berücksichtigt werden. Je nach Zweck der Untersuchung kann auf Umrechnungsfaktoren für Zeithorizonte von 20 oder 100 Jahren zurückgegriffen werden. In der vorliegenden Bilanz wurden die Faktoren für 100 Jahre eingesetzt.

Tabelle 2.1 Treibhauspotenzial der betrachteten Stoffe (Zeithorizont 100 a)

Treibhausgas	Äquivalenzfaktor kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Methan CH <sub>4</sub> (fossil)	21
Methan CH <sub>4</sub> (regenerativ)	18
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	1
Distickoxid N <sub>2</sub> O	310

Quelle: [NIR 2005]

Die Kohlendioxidemissionen, die bei der Verbrennung von regenerativen Brennstoffen freigesetzt werden, gelten nicht als Treibhausgas, da die Pflanzen während ihrem Wachstum die gleiche Menge CO<sub>2</sub> aufgenommen und als Kohlenstoffverbindung eingebunden haben, die bei ihrer Verbrennung freigesetzt wird.

### 2.1.1.2 Verbrauch fossiler Energieträger

Ein erheblicher Teil der Umweltprobleme ist ursächlich mit dem Energieverbrauch verbunden den ein Produkt oder eine Dienstleistung erfordert. Daher gibt der Energieverbrauch in vielen Fällen als Umweltindikator eine gute Orientierung, der zudem relativ einfach und standardisiert durch den Kumulierten Energie-Aufwand, kurz KEA, erhoben werden kann [Öko-Institut 1999]. Der KEA repräsentiert die Summe aller *Primärenergie*inputs die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet werden, inklusive der gesamten Vorketten und der Energie für die Herstellung von Materialien und ist damit der geeignete Indikator für die Summe der Energieträger, die im Rahmen dieser Bilanz stellvertretend für den Ressourcenverbrauch gewählt wurden.

In der vorliegenden Bilanz werden nur die fossilen Energieträger, die zum KEA beitragen berücksichtigt (KEA<sub>fossil</sub>), sie sind in Tabelle 2.2 aufgelistet.

Tabelle 2.2 Untersuchte Energieressourcen und deren Heizwert (H<sub>u</sub> in MJ/kg)

Energieressourcen	MJ/kg
Braunkohle	8,8
Erdgas	37,8
Erdöl	42,6
Steinkohle	29,8

In dieser Kurzstudie wird vom bestimmungsgemäßen Betrieb von Anlagen ausgegangen. Umweltauswirkungen infolge unkontrollierter Emissionen oder durch Störfälle können nicht berücksichtigt werden.

## 2.1.2 Vergleich der Systeme

Dank Recycling und der energetischen Verwertung von Abfällen sind die Stoffströme der Entsorgungswirtschaft heute mit denen der Energie- und Rohstoffwirtschaft eng verwoben. Bei einem Vergleich verschiedener Abfallentsorgungssysteme muss das gesamte System berücksichtigt werden, um alle Nutzen und deren Umweltauswirkungen zu erfassen. Ein zusätzlicher Nutzen neben der reinen Abfallentsorgung ist die Gewinnung von Energie oder Material (durch die energetische bzw. stoffliche Verwertung).

Werden beispielsweise Siedlungsabfälle in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) entsorgt, die sowohl Strom als auch Fernwärme bereitstellt, gehören beide Energienutzen zum System dazu. Wird der gleiche Abfall alternativ in einer MVA verbrannt, die lediglich Strom erzeugt, muss zunächst der gleiche Nutzen wie im ersten Fall durch eine Systemerweiterung hergestellt werden, z.B. die Bereitstellung der gleichen Menge Strom- und Fernwärme in Kraftwerken.

Hierzu wird in der vorliegenden Kurzstudie die sog. Gutschriftenmethode<sup>5</sup> verwendet [GEMIS 1994, ETH 1998], die zu *jedem zusätzlichen Nutzen über die reine Abfallentsorgung hinaus* einen Substitutionsprozess definiert, der diesen Zusatznutzen aus primären oder anderen sekundären Rohstoffen liefert. Die folgende Tabelle führt mögliche Substitutionsprozesse am Beispiel der MVA auf.

---

<sup>5</sup> Alternativ kann auch eine Allokation vorgenommen werden, die eine Verteilung der (Umwelt)Lasten auf die einzelnen Nutzen bedeutet. Nach DIN-ISO 14040 ist eine Systemerweiterung mit Gutschriften einer Allokation vorzuziehen.

Tabelle 2.3 Mögliche Substitutionsprozesse am Beispiel der MVA

<b>MVA ohne Energienutzung</b>	<b>MVA plus Strom</b>	<b>MVA plus Strom und Wärme</b>
<b>Belastung (Plus):</b> CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der MVA durch die Verbrennung fossiler Anteile im Abfall	<b>Belastung (Plus):</b> CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der MVA durch die Verbrennung fossiler Anteile im Abfall  <b>Gutschrift (Minus):</b> eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen durch vermiedene Stromerzeugung im Kraftwerkspark	<b>Belastung (Plus):</b> CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der MVA durch die Verbrennung fossiler Anteile im Abfall  <b>Gutschrift (Minus):</b> eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen durch vermiedene Stromerzeugung im Kraftwerkspark  eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen durch vermiedene Wärmeerzeugung durch eine typische Hausheizung

Rein rechnerisch können bei der Gutschriftenmethode negative Umweltbelastungswerte als Bilanzergebnis auftreten. Diese negativen Umweltbelastungswerte sind als Verminderungen von Umweltbelastungen gegenüber dem Vergleichssystem zu verstehen.

Die Stoffstromanalyse wurde mit Hilfe des Software-Tools Umberto® ([www.umberto.de](http://www.umberto.de)) durchgeführt. Umberto® erlaubt die Modellierung der Stoff- und Energieumwandlungen einzelner Prozesse in der Abfallwirtschaft und der Stoffstromwirtschaft in der jeweils erforderlichen Detaillierungstiefe.

### 2.1.3 Systemgrenzen

Für einen Vergleich verschiedener Entsorgungssysteme muss neben dem gleichen Nutzen auch die Abgrenzung hinsichtlich der Systeminputs auf die gleiche Weise erfolgen. In dieser Kurzstudie werden die abfallwirtschaftlichen Systeme in folgenden Grenzen untersucht:

- Die Bilanz beginnt an der Stelle, an der der Abfall anfällt.

- Hilfs- und Betriebsstoffe sowie die notwendige Energie für die Sammlung, Behandlung oder Verwertung des Abfalls werden von der Rohstoffgewinnung bis zum Input ins Abfallwirtschaftssystem bilanziert.
- Bei der Verwertung werden die Umweltbelastungen betrachtet, die bis zur Erzeugung eines marktfähigen Produktes auftreten - dabei handelt es sich in der Regel um industrielle Vorprodukte und weniger um ein Endprodukt für den Verbraucher. Auch bereitgestellte oder systemintern genutzte Energie zählt zu den Produkten der Verwertung.
- Für die Verwertungsprodukte wird eine Gutschrift angerechnet, die den Komplementärprozess auf der Basis von Primärrohstoffen repräsentiert. Die Bilanzierung des Komplementärprozesses erfolgt ebenfalls ab der Gewinnung der Rohstoffe.
- Als Abschneidekriterium wird die Konvention der 1 %-Grenze angesetzt: Danach gehen alle Prozesse, Hilfs- und Betriebsmittel sowie die Inanspruchnahme von Infrastruktur in die Bilanz ein, die mehr als 1 % zum Bilanzergebnis beitragen. In der Summe soll der Einfluss „abgeschnittener“ Prozesse und Materialien das Ergebnis nicht mehr als 5 % beeinflussen.

In Kapitel 2.5 „Beschreibung der Szenarien“ werden die Systemgrenzen der einzelnen Varianten noch einmal im Detail aufgeführt.

## 2.2 Abfallaufkommen

Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz wird maßgeblich sowohl von der Menge an Siedlungsabfall als auch von den gewählten Entsorgungspfaden beeinflusst. Das Abfallaufkommen für das Szenario Siedlungsabfall 1990 ist der amtlichen Statistik zur Abfallentsorgung im Jahr 1990 [StBA 1994] entnommen. Da für das laufende Jahr 2005 noch keine Abfallstatistiken existieren können, wurden für das Szenario Siedlungsabfall 2005 die Prognosen der Landesarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 2004] herangezogen. Diese repräsentieren die Daten seit Juli 2005, also nach Ablauf der Übergangsfrist für die Deponierung unbehandelter Abfälle.

In den Szenarien für das Jahr 2020 werden die Daten zum Abfallaufkommen gegenüber 2005 konstant gehalten. Zum Einen liegen keine verlässliche Daten für die Prognose der exakten Abfallmengen im Jahr 2020 vor, zum Andern zeigen die Abfallstatistiken der letzten Jahre, dass die Summe der Siedlungsabfälle stagniert. Damit wird mit dieser Bilanz der Beitrag der Maßnahmen der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz aufgezeigt und nicht die möglichen Auswirkungen durch ein verändertes Abfallaufkommen zum Beispiel durch Abfallvermeidung. Vermeidet eine verbesserte Effizienz innerhalb der Abfallentsorgung



die Emission von Treibhausgasen, so wird der Effekt bei konstanten Mengen am besten sichtbar (so genannte Maßnahmenszenarien bei Status-quo-Bedingungen).

In Tabelle 2.4 werden die Abfallmengen aufgeführt, wie sie den Berechnungen der Szenarien zu Grunde liegen.

Tabelle 2.4 Abfallaufkommen als Grundlage der Berechnung der einzelnen Szenarien  
(Mengenangaben in Mio t)

<b>Abfallaufkommen</b>	<b>1990*</b>	<b>2005**</b>	<b>2020***</b>
	<b>Mio t</b>	<b>Mio t</b>	<b>Mio t</b>
<b>Summe Haus- und Sperrmüll</b>	<b>33,9</b>	<b>16,2</b>	<b>16,2</b>
<b>Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall</b>	<b>15,2</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>
Bioabfall und Parkabfälle	2,0	8,0	8,0
Altpapier	1,6	7,6	7,6
Altglas	1,3	3,2	3,2
Leichtverpackungen	0	1,9	1,9
<b>Summe Wertstoffe</b>	<b>4,9</b>	<b>20,6</b>	<b>20,6</b>
<b>Summe Siedlungsabfälle gesamt</b>	<b>54,0</b>	<b>40,9</b>	<b>40,9</b>

Aufgrund von Rundungen kommt es zu Abweichungen bei den Summen

\* aus [StBA 1994]

\*\* Daten für Haus- und Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle aus [LAGA 2004]  
Daten für Wertstoffe aus [StBA 2003]

\*\*\* gleicher Ansatz wie 2005 für alle Szenarien 2020

Eine Veränderung in der statistischen Erfassung zwischen 1990 und heute erschwert die Interpretation der Daten, denn die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (HMG) der verschiedenen Jahre sind kaum miteinander zu vergleichen. Im Jahr 1990 wurden die eingesammelten Mengen an Siedlungsabfällen nur als Summenwert erhoben. In der Datengrundlage für das Jahr 2005 fand dagegen die Erhebung auf der Grundlage eines differenzierten Abfallschlüssels statt. Die deutlich geringeren Mengen für das aktuelle Jahr resultieren daher nur teilweise aus den Erfolgen zur Abfallvermeidung. Zudem werden die Gewerbeabfälle, die gesondert erfasst und über private Entsorger der Verwertung zugeführt werden in der Statistik nicht erfasst. Erfasst wurden ausschließlich die Hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zur Beseitigung.

Trotzdem kann diese Kurzstudie mit den statistischen Daten arbeiten, denn in Bezug auf die Fragestellung nach dem Beitrag zum Klimaschutz stellt die geringere Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen eine konservative Rahmenbedingung und damit eine *Unterschätzung* der erbrachten Leistungen dar: In der Vergangenheit wurden durch die Deponierung unbehandelter Abfälle vor allem Quellen für die Entstehung von Methan und Kohlendioxid geschaffen, mit denen in der Regel kein Zusatznutzen verbunden war<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Durch die Fassung und Nutzung der Deponiegase kann zwar eine Nutzung erfolgen, deren Gutschriften bezüglich der Treibhausgasemissionen aber relativ gering ausfallen und die Belastungen durch die verbleibenden Methanemissionen nicht ausgleichen können.



Heute werden diese Abfälle konsequent energetisch verwertet und ersetzen dadurch fossile Energieträger und Rohstoffe. Diese gehen als Gutschriften in die Bilanz ein (vgl. Kap. 2.1.2) und führen so zu Entlastungen bzw. Einsparungen klimawirksamer Emissionen und fossiler Energieträger. Höhere Mengen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen würden demzufolge eine Verbesserung der Ergebnisse bewirken.

## 2.3 Entsorgungswege und -mengen

Der Verbleib der Abfälle für die Szenarien Siedlungsabfall 1990 und 2005 wurden aus dem BMU/UBA Forschungsprojekt „Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland“ [ifeu 2005] übernommen, mit der Ausnahme, dass die MBA-Kapazität der aktuellen Prognose der LAGA [LAGA 2004] angepasst wurde. Für die Szenarien 2020 wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Mengen der stofflichen Verwertung von Altglas, Altpapier, LVP und Bioabfall werden gegenüber 2005 konstant gehalten.
- Die Inputdaten für die MBA und die Mitverbrennung ergeben sich aus der Prognose der LAGA [LAGA 2004].

Für die Jahre 2005 und 2020 werden die Abfallmengen die in die Müllverbrennung gelangen durch die Modellierung in Umberto® errechnet. Dabei gibt es einerseits die Vorgabe des Abfallaufkommens und andererseits die festgesetzten Kapazitäten für die Entsorgungswege der Verwertung, MBA und Mitverbrennung. Durch diese Vorgaben ergeben sich Differenzen zu den von der LAGA prognostizierten Kapazitäten für die MVA. Die Auswirkungen aus dieser modellbedingten Festsetzung werden bei der Diskussion der Ergebnisse in einem gesonderten Kapitel untersucht.

Die Summe aller Abfälle zur Entsorgung kann nicht mit den Daten zum Abfallabkommen abgeglichen werden, da Doppelnennungen unvermeidlich sind. Zwei Beispiele verdeutlichen das Problem:

1. Nicht brennbare Bestandteile des Abfalls (sog. Inertstoffe) gehen als Input zur MVA mit in die Statistik ein. Anschließend wird die Asche aus der MVA verwertet oder deponiert und so wird die selbe Masse inerter Stoffe nochmals als Input für einen anderen Prozess und damit doppelt erfasst .
2. Die Leichtfraktion im Input der MBA wird dort abgetrennt und gelangt als Bestandteil der Mengen zur Mitverbrennung.

Unterschiede zwischen dem Aufkommen und Verbleib der Abfälle ergeben sich auch durch die Zuordnung von Sortierresten. Beispielsweise bei den Bioabfällen steht einem Aufkommen von 8 Mio t ein Verbleib von 7,6 Mio t in der Bioabfallbehandlung gegenüber. Die restlichen 0,4 Mio t gelangen zum größten Teil in die MVA, ein geringer Anteil davon, inerte Rückstände aus der Vergärung, landet auf der Deponie (vgl. Anhang 1, Tabelle A1.1).

Tabelle 2.5 Verbleib der Abfälle (Abfallmengen in 1.000 t)

Entsorgungswege	1990	2005	2020 Basis I	2020 Basis II	2020 optimiert
Verwertung trockener Reststoffe*	3.339	16.373	16.373	16.373	16.373
Verwertung Bioabfälle	1.006	7.604	7.604	7.604	7.604
MBA		6.221	7.122	7.122	7.122
Mitverbrennung	72	2.093	3.529	3.532	3.532
MVA**	7.914	13.420	16.237	16.296	16.296
Schlacke aus der MVA***	1.302	2.300	2.806	2.807	2.807
Fe-Metalle aus MBA und MVA	109.390	309.916	354.532	447.852	447.852
NE-Metalle aus MBA und MVA		12.833	15.041	52.534	52.534
Summe Primärabfälle zur Deponie	41.911	0	0	0	0
Summe Sortierreste zur Deponie	104	63	63	63	275
Verbrennungsreste zur Deponie	261	467	605	599	599
MBA-Rest zur Deponie	0	3.261	0	0	0
Summe Input Deponie gesamt	42.277	3.791	669	663	874

Aufgrund von Rundungen kommt es zu Abweichungen bei den Summen

\* aus getrennter Erfassung, Sperrmüll und HMG

\*\* die Kapazitäten für die MVA ergeben sich aus der Bilanz, nach dem die Kapazitäten für MBA, Mitverbrennung und Verwertung fix vorgeben wurden. Tatsächlich werden von der LAGA MVA-Kapazitäten von 16,3 Mio t für 2005 und 17,7 Mio t nach 2005 angegeben

\*\*\* die Schlacken aus der MVA verlassen nach der Abtrennung der Metalle das System ohne Berücksichtigung der Aufwendungen für die weitere Aufbereitung der Schlacken und der Gutschriften für ersetzte Baustoffe, da die ersetzten Baustoffe keine relevanten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale aufweisen

Die Umlenkung der Abfallströme aus der Deponie in die stoffliche und energetische Verwertung führt in den Szenarien 2005 und 2020 im Vergleich zu 1990 zu deutlichen Zuwächsen der Entsorgungswege

- Verwertung der trockenen Reststoffe (Faktor 5),
- Verwertung von Bioabfälle (Faktor 7,6),
- Mitverbrennung (2005: Faktor 29, 2020: Faktor 49)
- Metalle aus MBA und MVA (2005: Faktor 3, 2020 Basis I: Faktor: 3,4)

Für die Metalle bedeutet die Annahme einer optimierten Abscheidung aus MBA und MVA in den Szenarien 2020 Basis II und optimiert einen weiteren Zuwachs von 36 % gegenüber dem Szenario 2020 Basis I.

Die Mengen für die Deponierung reduzieren sich 2005 auf die Mengen der Vergärungsreste und Teile der Verbrennungsrückstände, was zu einem Rückgang um gut 90 % führt. 2020 gehen auch die Reste der MBA zur MVA, was eine weitere Reduktion um ca. 80 % bedingt.

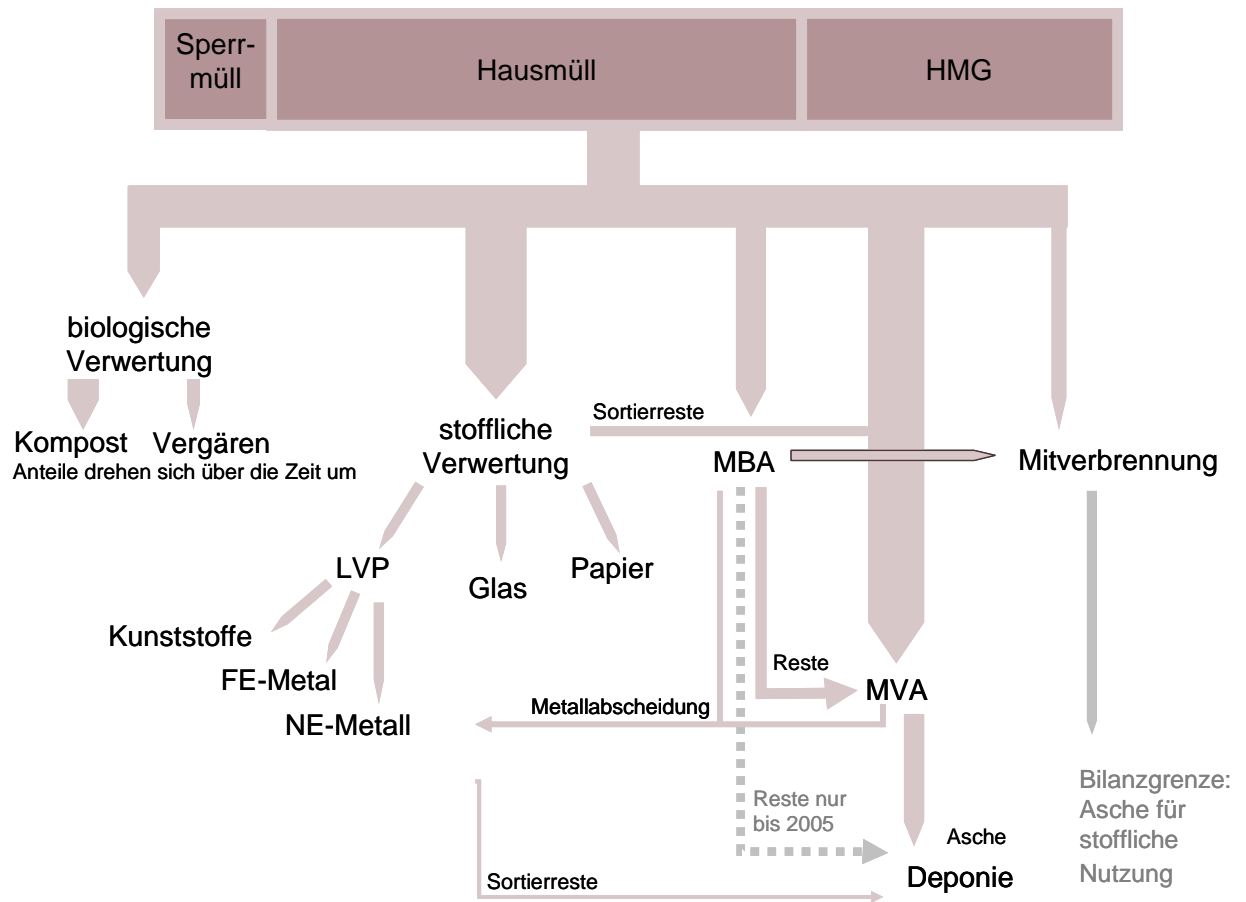


Abbildung 2.1 Stoffflussdiagramm der Entsorgungswege

In der Abbildung 2.1 werden die Entsorgungswege der Abfälle vereinfacht dargestellt. Die genaue Aufschlüsselung des Abfallverbleibs ist der Tabelle A1.1 in Anhang 1 zu entnehmen.

## 2.4 Abfallzusammensetzung

Durch die Zusammensetzung und Beschaffenheit der Abfälle werden die Bilanzen wesentlich beeinflusst. Beispielsweise ergibt sich aus dem Metallgehalt im Input und dem Wirkungsgrad der Metallabscheidung die Menge an Metallen, die dem Recycling zugeführt werden kann. Die Menge Strom und Wärme, die in der MVA produziert werden kann, hängt nicht zuletzt von dem Heizwert der Abfälle ab, die in der MVA verbrannt werden. Die Emissionen an Treibhausgasen, die der MVA als Belastung angerechnet werden, sind insbesondere von dem Anteil des regenerativen zum fossilen Kohlenstoff, da CO<sub>2</sub> aus regenerativem Kohlenstoff nicht als klimawirksam eingestuft wird und deshalb bei der Bilanz außen vor bleibt (vgl. Kapitel 2.1.1.1).

Es wird für die Szenarien bis 2020 die Annahme getroffen, dass sich die Abfallzusammensetzung gegenüber 2005 nicht verändert. In Tabelle 2.6 ist die Zusammensetzung der wichtigsten Abfallfraktionen für die Bilanz dargestellt. Datengrundlage bilden verschiedene Quellen, die die Situation zur Jahrtausendwende abbilden [Öko-Institut 2002, Wollny 2002, BfA 1998, Bay LFU 2003, Wallmann 1999, ifeu 2005].

Tabelle 2.6 Zusammensetzung und Beschaffenheit wesentlicher in der Bilanz betrachtete Abfallströme

	Einheit	Haushalts- Abfall	HMG	SBS	MBA-Rest
Wassergehalt	%	33%	23%	25%	33%
Heizwert	MJ/kg FS	9	18	18	
C gesamt	% FS	22,4%	25%	35%	17%
C regenerativ	% Cges	65%	40%	35%	55%
C fossil	% Cges	35%	60%	65%	45%
C regenerativ	g/kg FS	146	100	123	94
C fossil	g/kg FS	78	150	228	78
NE-Metalle	% FS	0,4%	0,4%		0
Eisen	% FS	2,5%	4%		0

## 2.5 Beschreibung der Szenarien

Im folgenden Text werden die verschiedenen Behandlungsschritte aufgeführt, von der Sammlung über verschiedene Behandlungsschritte bis zu den Substitutionsprozessen durch Gutschriften.

### 2.5.1 Sammlung und Transport

Die Abfälle werden in der Regel mit Müllsammelfahrzeugen abgeholt, lediglich für separat erfassten Sperrmüll sowie kommunale Garten-, Park-, und Friedhofsabfälle wird ein gesonderter Transport mit LKWs angesetzt. Der eingesetzte Fuhrpark repräsentiert das bundesdeutsche Mittel [VKS 2002], deren Emissionen das von ifeu entwickelte Modell TREMOD<sup>7</sup> berechnet [ifeu 2005].

In dieser Kurzstudie wird davon ausgegangen, dass sich die Aufwendungen für Sammlung und Transport auch im Jahr 2020 nicht wesentlich gegenüber dem Jahr 2005 ändern, da die Abfallmengen über die Zeit konstant bleiben. Zwar ist die Diskussion über Veränderungen der Sammelsysteme bereits in vollem Gange, doch soll dieser Aspekt hier nicht untersucht werden, denn es ist derzeit kaum abzusehen, welches System sich durchsetzen wird. Unabhängig davon beeinflussen die Sammelsysteme die Ergebnisse nur in geringem Maße.

<sup>7</sup> Bei den verrechneten Gutschriften, die auf Basis von GEMIS 4.3 (siehe [www.gemis.de](http://www.gemis.de)) bestimmt wurden, ist der Transportaufwand für die Brennstoffe ebenfalls einbezogen.

## 2.5.2 Mechanisch-biologische Behandlung (MBA)

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung, kurz MBA, umfasst Verfahren wie das Zerkleinern, Sortieren und das Vergären oder Verrotten [vgl. auch Dehoust et al. 1998, Öko/ifeu 2001, Öko/igw 2003]. Da im Jahr 1990 noch keine MBA im Betrieb war, gehen folglich für das Szenario 1990 auch keine Abfallströme in diesen Entsorgungspfad. Für die Szenarien zu den anderen Zeitpunkten ist die MBA dagegen ins Entsorgungssystem integriert.

In der mechanischen Aufbereitung werden 20 % des Inputs als Leichtstoffe abgetrennt. Darüber hinaus erfolgt in allen Anlagen eine Abtrennung von Fe-Metallen und NE-Metallen (Aluminium). Die Spannweite in den einzelnen Anlagen reicht von 0 % bis 70 % Abscheidung. Es wird davon ausgegangen, dass 20 % der Anlagen als biologische Behandlung die Vergärung einsetzen und das gewonnene Gas in einem Gasmotor zur Stromgewinnung nutzen. Die Vergärungsreste werden in einer aeroben Rotte nachbehandelt und genauso wie die Reste aus den aeroben Anlagen der MBA-Deponie zugeführt. Die Bilanzdaten sind der Tab. 2.5 zu entnehmen. Gegenüber dem BMU-Bericht der als Grundlage der Bilanz herangezogen wurde [ifeu 2005], wurden die Vergärung und die Abscheidung von NE-Metallen neu aufgenommen.

Von der **MBA-2020** gehen im Gegensatz zu den vorhergehenden Jahren keine Stoffströme mehr zur Deponie. Für die verbliebenen Reste kommen drei Verfahrensalternativen in Frage:

1. herkömmliche MBA mit Verbringung des Rotterests in einer MVA
2. MBA mit Vergärung der Nassfraktion, anschließende Trocknung des Vergärungsrückstandes in einer Nachrotte und Verbringung in die MVA
3. Mechanisch - Biologische Stabilisierungsanlage (MBS) mit Trocknung des Gesamtinputs in einer Kurzrotte, mechanische Trennung des getrockneten Abfalls in eine oder zwei Sekundärbrennstofffraktionen, Metalle und ggf. Inertstoffe.

Bezüglich der hier bilanzierten Kriterien unterscheiden sich die drei Verfahrensvarianten nicht wesentlich. Es ist davon auszugehen, dass sich die MBS durchsetzen wird - unter der Prämisse keine Reste mehr zu deponieren, da die MBS in Verbindung mit der anschließenden Verbrennung der Reste das billigste Verfahren darstellt. Durch die kürzere Rottedauer kann Energie und Zeit gespart werden. Gegenüber der technisch ohnehin aufwendigeren Vergärung entfällt zudem noch das Trocknen der nassen Gärreste. Bereits heute in Betrieb befindliche Vergärungsanlagen für Restmüll könnten dann für die Behandlung von Bioabfällen umgewidmet werden.. Entsprechend werden sich die beiden MBA-Varianten der MBS annähern. Daher wurde eine Anlage bilanziert, die sowohl eine MBS sein könnte, als auch eine den neuen Umständen angepasste MBA.

Im Szenario Basis II und in der optimierten Variante wird für das Jahr 2020 davon ausgegangen, dass 30 % des Inputs als heizwertreiche Fraktion abgetrennt und der Mitverbrennung zugeführt werden. Als Anreiz wirken die hohen Auslastungen der MVA

sowie die Unterstützung der Mitverbrennung durch den Emissionshandel<sup>8</sup>. Der Rest wird in einer Kurzrotte behandelt, die etwa 50 % weniger Strom verbraucht als die MBA.

Im Szenario 2020 Basis I bleibt der mechanische Aufbereitungsschritt gegenüber dem Jahr 2005 unverändert. In den Szenarien „2020 Basis II“ und „2020 optimiert“ wird die Ausschleusung von NE-Metallen als Folge optimierter Trennanlagen angehoben (siehe Tabelle 2.7).

Tabelle 2.7 Bilanzdaten MBA Szenarien 2020

	2005	Basis I	Basis II/ optimiert	
<b>Mechanische Aufbereitung</b>				
abgetrennte Leichtstoffe	20%	20%	30%	des Inputs
ausgeschleuste Störstoffe	3%	3%	3%	des Inputs
Wirkungsgrad Metallabtrennung				
Eisen (Fe)	80%	80%	80%	der Metallfraktion
Nicht-Eisenmetalle (NE)	30%	30%	70%	der Metallfraktion
<b>Biologische Aufbereitung</b>				
Aerob	80%	100%	100%	des Anlagendurchsatzes
Anaerob	20%	0%	0%	des Anlagendurchsatzes
Rotteverlust	30%	10%	10%	des Rotteinputs
Gasertrag Vergärung	54,8			m <sup>3</sup> /t Input
Methangehalt	55			Vol %

### 2.5.3 Müllverbrennung (MVA)

In der hier durchgeführten Bilanz schlagen als Belastung die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der MVA und der Betriebsmitteleinsatz zu Buche. In allen fünf Szenarien sind diese beiden Größen konstant gehalten. Gutschriften liefern dagegen die *genutzte* Energie aus der Verbrennung<sup>9</sup> und ausgeschleuste Wertstoffe. Diese beiden Größen werden in den Szenarien variiert:

In den Szenarien für die Jahre 1990 und 2005 werden von dem Energieüberschuss 10 % als Strom und 30 % als Wärme abgegeben. Für die stoffliche Verwertung werden 50 % der Fe-Metalle und 10 % der NE-Metalle aus der Asche ausgeschieden (siehe Tabelle 2.8).

In den Szenarien für das Jahr 2020 sind alle MVA gegenüber heute optimiert, die Effizienz der Energiegewinnung wird verbessert und es werden mehr Metalle ausgeschleust. Das setzt voraus, dass Anreize geschaffen werden, die die Wirtschaftlichkeit der Vermarktung des Stroms und insbesondere der Wärme gegenüber heute deutlich steigern (vgl. Kapitel 5 und 6).

<sup>8</sup> Die Kraftwerke und Produktionsanlagen brauchen für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem regenerativen Anteil im Abfall keine CO<sub>2</sub>-Zertifikate (vgl. auch Kapitel 5)

<sup>9</sup> Die genutzte Energie repräsentiert stets den Heizwert des Abfallinputs nach Abzug der Verluste und des Eigenbedarfs der Anlage (Überschuss).

Die Verwertungsquote ausgeschleuster Metalle bleibt im Szenario 2020 Basis I gegenüber dem Szenario 2005 unverändert. In den Szenarien Basis II und optimiert steigt der Wirkungsgrad der Ausschleusung für Fe-Metalle auf 70 % und für NE-Metalle auf 50 %.

Tabelle 2.8 Zusammenfassung Bilanzdaten MVA für betrachteten Szenarien

	<b>1990 und 2005</b>	<b>2020 Basis I</b>	<b>2020 Basis II und optimiert</b>
Energieproduktion netto			
$\eta_{el}$	10%	15%	15%
$\eta_{th}$	30%	36,8%	36,8%
Rückgewinnung			
Fe	50%	50%	70%
NE –Metalle (als Alu)	10%	10%	50%

Gutschriften für die Verwertung von Aschen aus der MVA werden nicht berücksichtigt, da der Ersatz von Kies weder einen relevanten Beitrag zum Klimaschutz noch eine signifikante Einsparung fossiler Energieträger liefert.

## Substitutionsprozesse für Energie aus MVA

Gibt eine MVA Strom ab, muss diese Energie nicht mehr von anderen Kraftwerken erzeugt werden, die eingesparten Emissionen werden der MVA gutgeschrieben. Die Wahl, welche Kraftwerke durch MVA-Strom ersetzt werden, beeinflusst also die Höhe dieser CO<sub>2</sub>-Gutschrift und damit auch das Endergebnis empfindlich.

Für die Vergangenheit werden vereinfachend die CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommix für das jeweilige Jahr herangezogen, für die Zukunft wird eine Veränderung des Mixes unterstellt (siehe Tabelle 2.9).

Die Szenarien für das Jahr 2020 verrechnen allerdings nur den Strom aus *heutigen* Anlagen mit dem Strommix. Durch Zubau und Effizienzsteigerung der Anlagen wird in Zukunft aber zusätzlicher MVA-Strom erzeugt. Dieser Strom erhält je nach Szenario unterschiedliche Gutschriften:

1. Die erste Überlegung geht dahin, dass zusätzlich erzeugter Strom den Neubau moderner Erdgas-GuD-Kraftwerke verhindern könnte. In den Szenarien „2020 Basis I“ und „2020 Basis II“ erfolgt die Gutschrift auf Grundlage dieses Anlagentyps.
2. Vor dem Hintergrund des Emissionshandels und weiterer Klimaschutzinstrumente zeichnet sich jedoch ab, dass Strom aus Kohle teurer werden könnte und daher zunehmend Kohlekraftwerke ersetzt werden, während der Neubau moderner Kraftwerke uneingeschränkt voranschreitet. Diesen Fall bildet das Szenario 2020 optimiert ab und die Gutschrift erfolgt auf Basis der Stromerzeugung mit Importkohle.



Tabelle 2.9 Zusammenfassung des Strommix für die einzelnen Szenarien

	<b>1990</b>	<b>2005</b>	<b>2020*</b>
Steinkohle	23,5%	22%	32,1%
Braunkohle	26,2%	24,4%	30,6%
Gas	12,0%	14,25%	10,4%
Öl-schwer	0,7%	0,6%	0,2%
Müll		2,3%	2,5%
Uran	29,7%	28,25%	13,9%
Wasser	4,4%	4,5%	4,4%
Wind	1,9%	2,7%	4,7%
Solar			0,2%
Holz		1%	1%
Sonstiges	1,7%		

\* gilt nicht für den Zubau

Quellen: 1990: [ifeu 2005], 2005/2020: [GEMIS 2005]

Für 2020 wurde der Strommix des Referenz-Szenarios aus GEMIS 4.3 verwendet, das wiederum auf den Daten der EU-Kommission<sup>10</sup> basiert, da hierdurch die Vergleichbarkeit zu den meisten entsprechenden europäischen Bilanzdaten gegeben ist. Der von der Bundesregierung geplante Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien auf 20 Prozent ist darin nicht, der Ausstieg aus der Atomenergienutzung nach dem Atomkonsens nur teilweise abgebildet. Für die hier untersuchten Aspekte des Klimaschutzes wirkt sich dieser Aspekt allerdings nur geringfügig auf die Bilanz aus, da im Ergebnis rund 10 Prozent mehr Strom aus regenerativen Energien etwa dem gleichen Anteil weniger aus Atomenergie entgegen steht und der Anteil fossiler Kraftwerke im Mix etwa gleich ist.

Gravierender wirkt sich aus, dass das PRIMES-Szenario aus GEMIS von einem steigendem Anteil Stein- und Braunkohleverstromung und einem zurück gehenden Anteil Gasverstromung ausgeht. Da dies nicht mit den deutschen Klimaschutzziele vereinbar wäre, ist aus heutiger Sicht eher ein Szenario wahrscheinlich, indem statt 63 % Kohle und 10 % Gas nur 46 % Kohle aber 25 % Gas für den Strommix 2020 anzusetzen ist [EWI/PROGNOS 2005, BMU 2004]. Damit wird der tatsächliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Kraftwerksparks niedriger als nach GEMIS berechnet liegen und die Strom-CO<sub>2</sub>-Gutschriften wären dementsprechend geringer. Da der Strommix in den Szenarien nur für den Bestand herangezogen wird und der Anteil der Stromauskopplung an der Energienutzung insgesamt nur 30 % beträgt, ist der Einfluss auf das Ergebnis nicht gravierend.

Für die Wärmegutschriften werden für die Szenarien 1990 und 2005 die Annahmen aus [IFEU 2005] übernommen (siehe Tabelle 2.3). Demnach gehen 82,6 % der Wärme in die Fernwärmeversorgung und ersetzen dort Hausheizungen. Die restliche Wärme wird als Prozessdampf der Industrie zugeführt und ersetzt dort den Mix zur Heißdampfherzeugung.

<sup>10</sup> DG-TREN – PRIMES-REF-Szenarien



Für das Jahr 2020 bleibt die Bilanzierung der industriellen Wärmenutzung unverändert. Bei den Hausheizungen verdrängen dagegen die Gasheizungen zu einem großen Anteil die heute noch verbreitete Ölheizung (siehe Tabelle 2.10), so dass für die eingespeiste Fernwärme zum großen Teil nur noch die geringeren Emissionen der Gasheizungen zugeschrieben werden können (vgl. Tabelle A2.2 in Anhang 2).

Tabelle 2.10 Zusammenfassung der Wärmegutschriften für die einzelnen Szenarien

	<b>1990/2005</b>	<b>2020</b>
<b>Prozesswärme*</b>	17,4%	17,4%
davon Leichtöl	7,5%	7,5%
davon Schweröl	9,2%	9,2%
davon Gas	57,8%	57,8%
davon Steinkohle	21,3%	21,3%
davon Braunkohle	4,2%	4,2%
<b>Fernwärme</b>	82,6%	82,6%
davon Ölheizung	85%	30%
davon Gasheizung	10%	70%
davon Stromheizung	5%	0%

\* Quellen: Mix für Prozesswärme [ITAD 2002],

Annahmen für Gutschriften 1990/2005 [IFEU, 2005] und eigenen Annahmen für 2020.

## 2.5.4 Mitverbrennung

Als Mitverbrennung wird die Verbrennung von Abfällen in konventionellen Kraftwerken und Produktionsanlagen bezeichnet, das sind in der Regel Kohlekraftwerke und Zementwerke. Zum Einsatz kommen dabei Sekundärbrennstoffe, die aus heizwertreichen Abfällen und heizwertreichen Fraktionen gemischt erfasster Abfälle gezielt hergestellt werden.

Für das Szenario 1990 spielt die Mitverbrennung nur eine untergeordnete Rolle, lediglich Papierschlämme aus der Aufbereitung von Papier, Pappen und Kartonagen (PPK-Aufbereitung) sind mit einer Menge von 72.000 t relevant.

Anders sieht die Situation bereits für das Jahr 2005 aus: Durch die Pflicht zur Vorbehandlung von Abfällen vor der Deponierung kommen zu den Papierschlämmen aus der PPK-Aufbereitung noch weitere Sekundärrohstoffe dazu. Die gehen jeweils zur Hälfte in Kohlekraftwerke und Zementwerke. In die Zementwerke gehen zusätzlich noch die Sortier- und Aufbereitungsreste aus der Verwertung von Leichtverpackungen (LVP).

Die Mengen für die Mitverbrennung im Jahr 2020 werden entsprechend den Daten der LAGA festgelegt [LAGA 2004]. Demnach sollen Kohlekraftwerke, Zementwerke und spezielle Feuerungsanlagen zukünftig je ein Drittel der anfallenden SBS verbrennen. Die vorliegende Bilanz fasst die Kohlekraftwerke und die speziellen Feuerungsanlagen zusammen, da Letztere in ihren Umweltwirkungen je Anlage völlig unterschiedlich sein können und deshalb für die Bilanz keine durchschnittlichen Werte prognostiziert werden

können. Kohlekraftwerke spiegeln die möglichen Belastungen und Gutschriften jedoch im Gegensatz zu Zementwerken relativ gut wider.

### 2.5.5 Deponierung

Bei der Deponierung sind insbesondere die Methanemissionen klimawirksam. Das Methan entsteht dann über *viele Jahre* durch anaeroben Abbau des organischen Anteils in den Siedlungsabfällen. Die Emissionen von Deponiegas können nun durch zwei Methoden erfasst werden:

In der ersten wird dem Bilanzjahr das gesamte Potenzial der Methan und CO<sub>2</sub>-Emissionen zugewiesen, das über einen Zeitraum von 50 Jahren und mehr freigesetzt wird. Dieses Verfahren ist bei Abfallbilanzen üblich, um alle durch Abfälle verursachte Emissionen dem Jahr zuzuordnen, in dem sie produziert wurde, und auch das hier angewendete Ökobilanzmodell Umberto® von ifeu rechnet auf diese Weise.

Die zweite Methode ermittelt die Emissionen mit einem dynamischen Modell und die Zurechnung erfolgt über mehrere Bilanzjahre verteilt. Diese Methode entspricht besser dem Verhalten einer Deponie, doch ist sie nicht geeignet, um Leistungen der Siedlungsabfallwirtschaft mit Bezug auf das bilanzierte Jahr zu beschreiben<sup>11</sup>.

Im Szenario 1990 haben Deponiegase noch erhebliche Bedeutung. Alle anderen Szenarien bilden den Zustand *nach* dem Deponierungsverbot unbehandelter Abfälle ab. In den Szenarien für die Jahre 2005 und 2020 werden nur noch Inertstoffe deponiert von denen keine Treibhausgasemissionen ausgehen. Vor dem Hintergrund der gewählten Bilanzmethode, sind die deponierten Abfälle aus den Jahren zuvor nicht mehr relevant, da die Emissionen dem Jahr zugeteilt werden, in dem sie verursacht wurden.

Der exakte zeitliche Verlauf der Deponiegasemissionen hätte bei den Szenarien keinen wesentlichen Einfluss, da die betrachtete Zeitspannen zwischen den Szenarien mit jeweils 15 Jahren so lang ist, dass auch nach dem Modell Tier 2 der größte Anteil des Methans freigesetzt wäre.

Zusätzlich zur Bildung von Deponiegas werden über alle Jahre hinweg die erforderlichen Betriebsmittel für die Deponierung mitbetrachtet. Die damit verbundenen Emissionen klimawirksamer Gase sowie der Bedarf an Energieträgern werden daher erfasst.

Deponiegas kann auch aufgefangen und wie Erdgas genutzt werden. Doch haben nicht alle Deponien in Deutschland das Gas erfasst, in den neuen Bundesländern waren es im Jahr 1990 gerade 3 % und in den alten Bundesländern lag der Anteil bei 62 %. Das aufgefangene Deponiegas wurde im selben Jahr zu einem ein Drittel motorisch verbrannt [ifeu 2005]. Der erzeugte Strom substituierte Strom aus dem bundesdeutschen Strommix. Der Rest wurde wenigstens abgefackelt, da Methan ein stärkeres Treibhausgas ist als CO<sub>2</sub>.

---

<sup>11</sup> Im Rahmen der internationalen Berichtspflichten der Treibhausgase wird ebenfalls zwischen diesen beiden Methoden unterschieden. Da für das Monitoring die Emissionen möglichst exakt den einzelnen Jahren zugeordnet werden müssen, wird vom IPCC die Modellierung nach der First-Order-Decay-Methode (Tier 2) empfohlen [IPCC 1996].

Datenquelle für das Szenario 1990 sind die Daten zur Umwelt 1990/91 und 1992/93 des Umweltbundesamtes. Dabei wird zwischen dem Stand der Technik in den alten und den neuen Bundesländern unterschieden.

In der Bilanz wird von einem Abbau des regenerativen Kohlenstoffs von 50 % ausgegangen [IPCC 1996b]. Eine Deponiegaserfassung wiesen in den neuen Bundesländern im Jahr 1990 nur 3 % der Deponien auf, während der Anteil in den alten Bundesländern 62 % betrug. Der Anteil an diffusen Emissionen wird mit 50 % angesetzt, so dass für die alten Bundesländer eine gefasste Menge von 31 % berechnet wurde und für die neuen Bundesländer ein Wert von 1,5 %. Für den Methangehalt im Deponiegas wird ein Anteil von 55 % angesetzt [IPCC 1996b]. Für den diffus freigesetzten Methananteil wird für die alten Bundesländer eine Methanoxidation von 10 % berücksichtigt. Für die neuen Bundesländer wird den Empfehlungen des IPCC folgend keine Methanoxidation in der Bilanz eingestellt.

### 2.5.6 Altpapier und Altglas

Altpapier wird nach der Sortierung in die Papierfabriken aufbereitet und verwertet. Dabei fallen Spuckstoffe und Papierschlämme als Abfälle an. Die Spuckstoffe werden in MVAs verbrannt, Papierschlämme in Kohlekraftwerken (vgl. Kapitel 2.5.4). Die Altpapierverwertung geht aber auch direkt in die Bilanz mit ein: Als Gutschrift wird die eingesparte Energie durch den Ersatz von Neufasern aus Industrieholz verrechnet.

Altglas wird der Scherbenaufbereitung für Behälterglas zugeführt. Das gesammelte Altglas wird zunächst zerkleinert, sortiert und aufbereitet, so dass Fremdstoffe und Glasscherben am Ende voneinander getrennt sind. Die sortierten Glasscherben werden in eine Glashütte abgegeben und ersetzen wiederum die Rohstoffe für die Primärglasherstellung und die entsprechenden Energiemengen.

Für die Altpapier- und Altglasverwertung wird angenommen, dass sie sich bis 2020 hinsichtlich der Mengen und Gutschriften nicht verändert.

### 2.5.7 Verwertung von Leichtverpackungen (LVP)

Leichtverpackungen sind Verkaufsverpackungen aus unterschiedlichsten Materialien, wie Kunststoff, Verbundstoffe, Aluminium oder Weißblech. In Sortieranlagen werden die LVP in die einzelnen Fraktionen getrennt. Diese werden dann aufbereitet und einer Verwertung zugeführt.

Die Kunststoffe werden in verschiedene Fraktionen aufgeteilt. Die größte Menge bilden die Mischkunststoffe die sowohl rohstofflich, als auch werkstofflich verwertet werden. Als rohstoffliche Verwertung werden insbesondere die Herstellung von Methanol in den Vergasungsanlagen der Schwarzen Pumpe (SVZ) und der Einsatz als Reduktionsmittel in Metallhütten bezeichnet. Mit werkstofflichem Recycling ist die Herstellung von Regranulaten gemeint, die bei der Herstellung von Werkstoffen aus Kunststoff eingesetzt

werden. Zu geringen Teilen werden die Mischkunststoffe auch als Sekundärbrennstoff in MVAs und in der Mitverbrennung genutzt.

Andere Kunststoffe wie Folien, Becher, PO-, PET-, PS-Fractionen werden überwiegend werkstofflich verwertet. Und schließlich werden daraus auch Formteile aus Sekundärkunststoffen hergestellt, die Produkte aus anderen Materialien ersetzen, wie z. B. Holz oder Betonpalisaden.

Im Jahr 1990 wurden LVP noch nicht getrennt erfasst, entsprechend werden sie in diesem Szenario auch nicht aufgeführt.

Aluminium und Weißblech werden nach weiteren Aufbereitungsschritten (z.B. Aluminiumpyrolyse) der Verhüttung zugeführt, das erzeugte Sekundäraluminium bzw. Sekundär-Weißblech ersetzt die äquivalenten Primärrohstoffe.

Tetrapacks als Beispiel für Verbunde werden in die Bestandteile Papierfasern und Aluminiumfolien aufgetrennt und verwertet.

In den Szenarien für das Jahr 2020 bleiben die LVP-Mengen und die Gutschriften für die einzelnen bereitgestellten Produkte und Rohstoffe unverändert wie im Jahr 2005. Allerdings wird davon ausgegangen, dass 2020 keine rohstoffliche Verwertung der Kunststoffe und keine Deponierung von Reststoffen mehr stattfinden wird. Die Kunststoffe die 2005 noch rohstofflich verwertet wurden, werden 2020 je zur Hälfte der werkstofflichen und der energetischen Verwertung zugeordnet. Dies führt dazu, dass sich ein Teil der Gutschriften zu der Mitverbrennung verlagert.

Für Metalle die mit der LVP-Fraktion erfasst und verwertet werden, sind die Gutschriften [ifeu 2001a] bei LVP vermerkt. Metalle aus der MBA und der MVA werden gesondert bilanziert. Wie bereits beschrieben, nehmen die Verwertungsanteile bei Metallen aus MVA und MBA in den Szenarien „2020 Basis II“ und „2020 optimiert“ zu.

## 2.5.8 Bioabfallverwertung

Im Szenario 1990 erfolgt die Verwertung der Bioabfälle ausschließlich über eine einfache, offen ausgeführte Kompostierung, bei der Treibhausgase wie Methan und Lachgas in nicht zu vernachlässigender Menge emittiert werden und zu einer Klimabelastung führen. Der Energieaufwand, vor allem für die Belüftung der Kompostmieten verschlechtert die Bilanz noch.

Im Szenario 2005 werden 88 % der Bioabfälle kompostiert [ifeu 2005], die Hälfte davon bereits in geschlossenen Anlagen. Die restlichen 12 % Bioabfälle werden nass vergärt [StBA 2004, Kern et al. 1998]. Als Reststoffe aus der Vergärung fallen Gärreste oder kompostierte Gärreste an (Annahme, Verhältnis 50:50). Die frischen Gärreste gelangen zu 90% in die Landwirtschaft und zu 10% in den Obst- und Gartenbau. Die kompostierten Gärreste gelangen zur Hälfte in Landwirtschaft und Obstbau und zu 30 % in den Garten- und Landschaftsbau. Die restlichen 20% finden in anderen Bereichen Verwendung. Die Modellierung der Prozesse erfolgt nach [ifeu 2001b].

In den Basisszenarien 2020 bleibt die Verteilung gleich, aber alle Anlagen arbeiten geschlossen. Dadurch werden die Emissionen an den besonders kritischen Treibhausgasen Methan und Lachgas erheblich reduziert.

Im Szenario „2020 optimiert“ wird angenommen, dass 80 % der Bioabfälle Anlagen zur Vergärung und nur noch 20 % der aeroben Rotte zugeführt werden. Hier wird der Fokus auf den Klimaschutz gelegt. Inwieweit dies abfallwirtschaftlich und unter bodenverbesserungstechnischen Aspekten ökologisch sinnvoll ist, wird in der Studie nicht untersucht.

Kompost substituiert im Wesentlichen die Primärherstellung von mineralischem Dünger (z.B. NP, NPK), [StBA 1997, Patyk und Reinhardt 1997] sowie die Primärerzeugung von Torf und Rindenhumus. Bei Torf wird als Äquivalenzgröße der Gehalt anorganischer Substanz herangezogen. Dabei wird nach [De Groot 1999] angenommen, dass 1 kg trockener Torf bei der Anwendung 2 kg CO<sub>2</sub> produziert. Da Rinden als Abfallprodukt in der Forstwirtschaft anfallen, wird die Erzeugung von Rindenhumus erst ab der Anfallstelle bilanziert. Die Rottedauer wird mit 6 Monaten, der Rotteverlust mit 50% angenommen [Eurich-Menden 1996].

Das Methangas aus der Vergärung wird in Gasmotoren verstromt und ersetzt den jeweiligen Strommix (vgl. Tabelle 2.2).

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Allgemeine Diskussion der Bilanzergebnisse**

Durch die Abkehr von der Deponierung hat die Abfallwirtschaft im Zeitraum von 1990 bis 2005 einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Weitere Einsparungen sind in dieser Höhe weder für die fossilen Ressourcen noch für die Treibhausgasemissionen in der Zukunft zu erreichen. Trotzdem liegen bis ins Jahr 2020 und darüber hinaus noch Potenziale in der Effizienzsteigerung bei der energetischen und stofflichen Verwertung. Im Vergleich mit anderen Wirtschaftssektoren sind das Potenzial und die erbrachten Einsparungen bedeutend. Damit spielt die Abfallwirtschaft auch zukünftig eine wichtige Rolle für die Einhaltung der zugesagten CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Rahmen des Kioto-Protokolls.

In den folgenden Grafiken werden die Ergebnisse der Bilanz dargestellt.

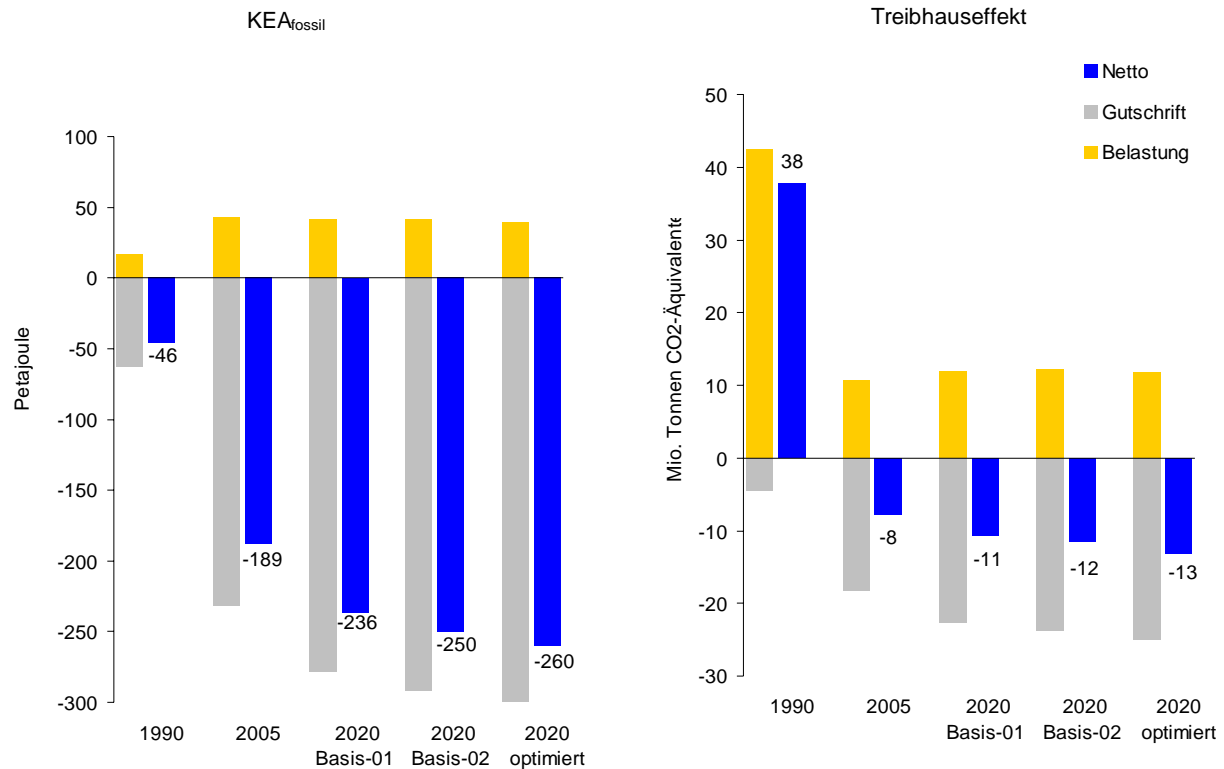


Abbildung 3.1 Zusammengefasste Darstellung der Bilanzergebnisse für fossile Ressourcen und Treibhauseffekt

### 3.2 Beiträge der einzelnen Entsorgungswege

In allen Szenarien werden durch die Verwertung und Beseitigung von Siedlungsabfällen fossile Energieträger eingespart (vgl. Abbildung 3.2). Dafür sorgen vor allem die Strom- und Wärmeerzeugung in der MVA und Mitverbrennung – mit wachsender Tendenz, da sich bis 2020 die Effizienz der Anlagen verbessert und weiterer Zubau stattfindet. Auch das Altpapierrecycling spart unter dem Strich Ressourcen ein, obwohl es von allen betrachteten Entsorgungswegen den höchsten Verbrauch an fossilen Energieträgern verursacht. Eine verstärkte Erfassung und Verwertung von Metallen in der MBA und MVA in den Szenarien 2020 Basis II und optimiert, kann die Gutschriften für diese Fraktion gegenüber 2005 und 2020 Basis I etwa verdoppeln.

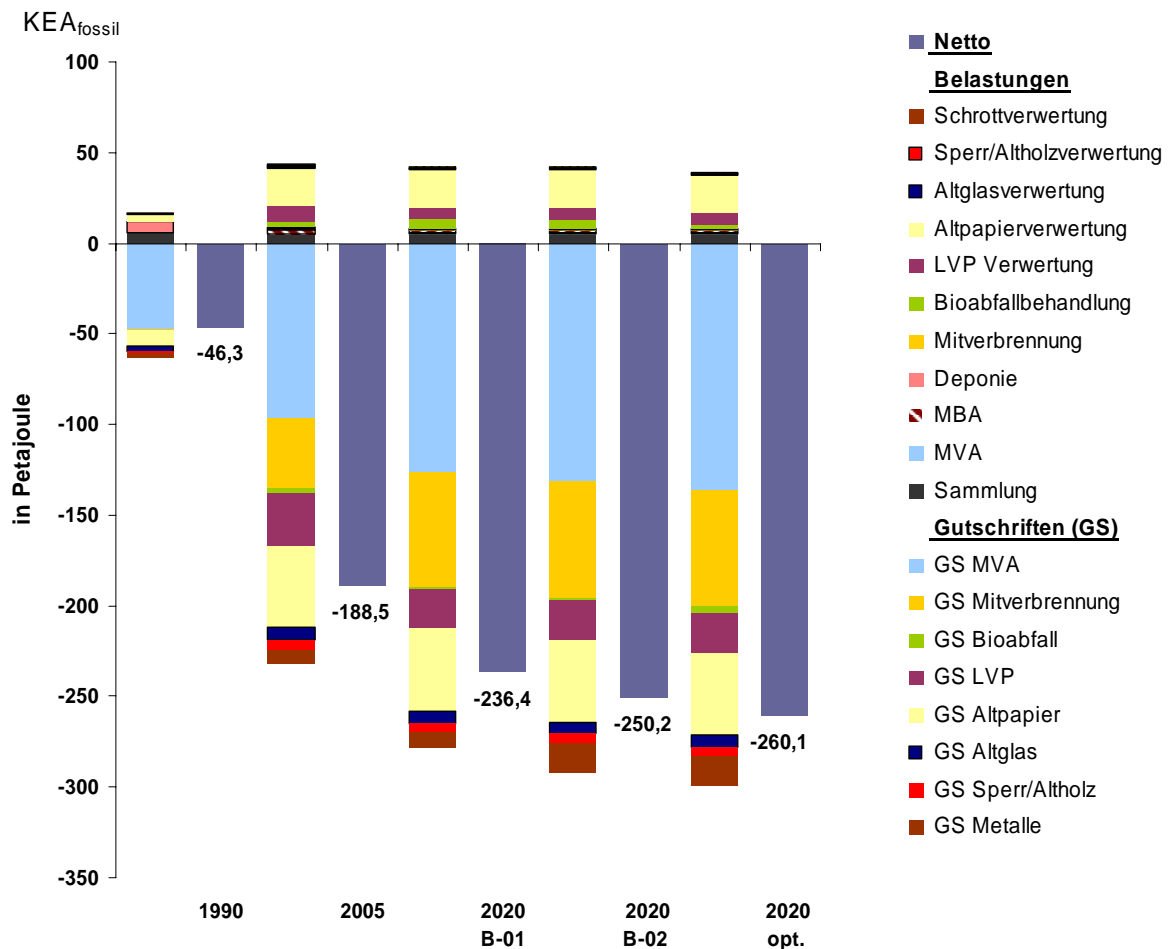


Abbildung 3.2 Darstellung der Belastungen und Gutschriften der einzelnen Entsorgungswege als Beitrag zur Schonung fossiler Energieträger

Abbildung 3.3 zeigt die Gut- und Lastschriften der einzelnen Entsorgungswege für die Treibhausgasemissionen. Die Bilanz wurde 1990 ganz überwiegend durch die Methanemissionen aus der Deponie bestimmt. Da 2005 bereits ohne Deponierung bilanziert wird, können die Reduktionen bei den Belastungen und die Bilanzergebnisse zwischen 2005 und 2020 nicht mehr in dem Umfang erfolgen, wie dies zwischen 1990 und 2005 der Fall war. Das Reduktionspotenzial für den Zeitraum ab 2005 ist im Endergebnis mit über 5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente doch sehr relevant und kann die Reduktionsziele zum Klimaschutz in Deutschland mit nennenswertem Anteil unterstützen.

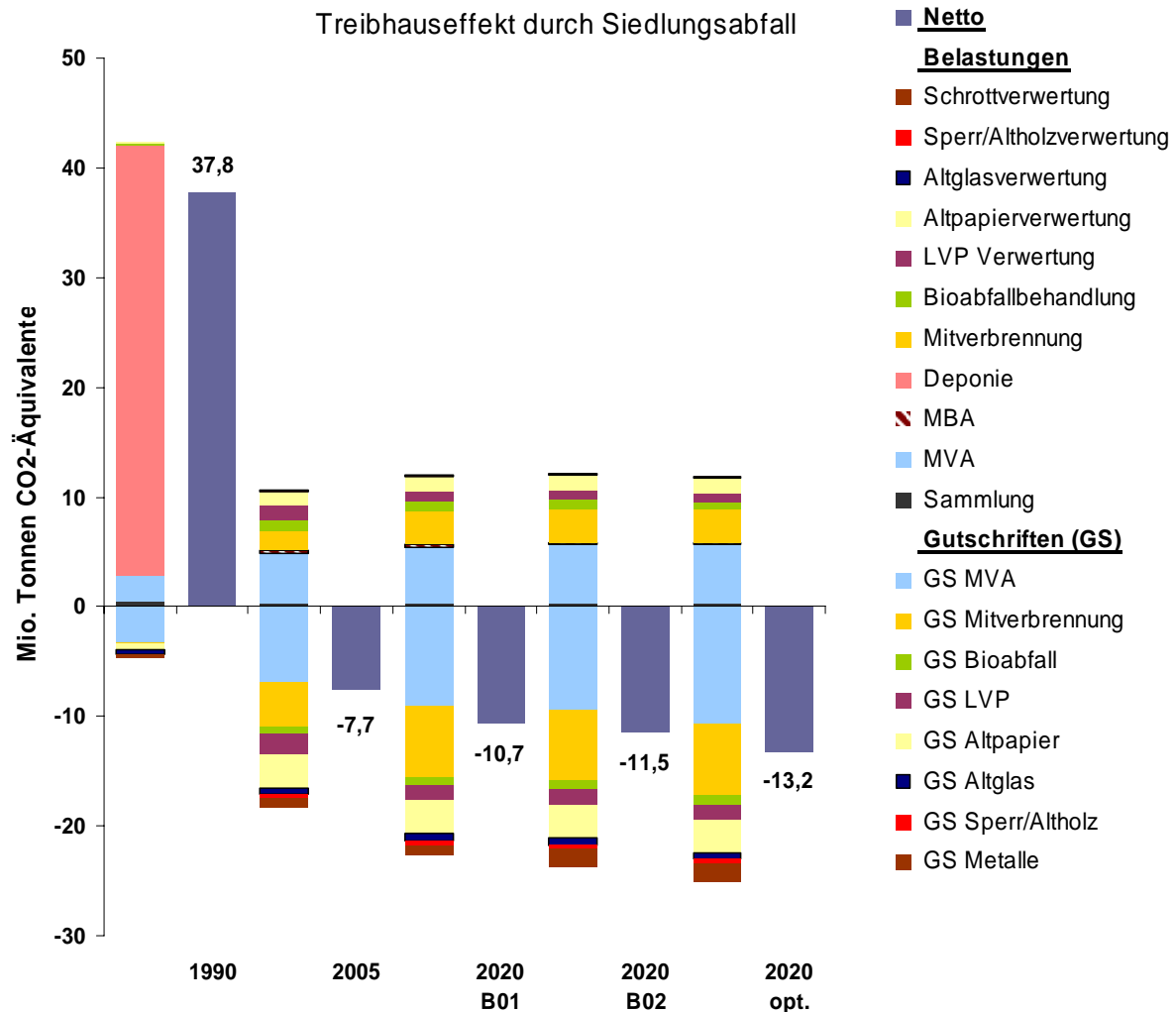


Abbildung 3.3 Darstellung der Belastungen und Gutschriften der einzelnen Entsorgungswege als Beitrag zu den Treibhausgasemissionen

Die Beiträge für die Sammlung und den Transport der Abfälle fallen kaum ins Gewicht (vgl. Abbildung 3.3 und Tabelle A4.1 in Anhang 4). Das zeigt, dass, bei der Diskussion um verschiedene Abfall-Sammelsysteme, dem Aufwand für die Sammlung häufig zuviel Bedeutung beigemessen wird.

Die Gutschriften für die energetische Verwertung von Mischkunststoffen aus der LVP-Fraktion werden unter der Mitverbrennung aufgeführt. In Folge des vermehrten werkstofflichen Recyclings nimmt der Beitrag des LVP-Recyclings dennoch zu.

Bis 2020 bleibt gegenüber 2005 per saldo weiterhin ein Reduktionspotenzial von 5,5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Das größte Potenzial haben in allen Szenarien nach wie vor die MVA und Mitverbrennung.



Im Szenario „2020 optimiert“ bringt der von 10 % auf 80 % gestiegene Anteil der Vergärung an der Bioabfallbehandlung einen zusätzlichen Einsparerfolg. Größer ist aber der Effekt, der veränderten Gutschrift für Strom aus der MVA von Erdgas-GuD auf Importkohle (vgl. Kapitel 3.2.1).

Der Beitrag einer Abfallfraktion und ihres Entsorgungspaths hängt von ihrem Aufkommen sowie von ihrer spezifischen Gutschrift ab, also der Gutschrift pro Tonne Abfall. Die Höhe der Gutschrift gibt wertvolle Hinweise zu zukünftigen Verbesserungspotenzialen. Die spezifischen Gutschriften sind in Anhang 4 aufgeführt.

### 3.2.1 Beitrag der MVA

Im verwendeten Stoffstrommodell wird zunächst die Kapazität aller anderen Entsorgungspfade ausgeschöpft, bevor Abfälle als Restsiedlungsabfälle in die MVA gelangen. Dieses Verfahren ist den Anforderungen an die Modellierung geschuldet (vergleiche Kapitel 2), wird aber der wichtigen Stellung der MVA im Abfallwirtschaftssystem nicht ganz gerecht, da der Beitrag der MVA unterschätzt wird<sup>12</sup>. Insofern soll dieses Kapitel noch einmal im Detail aufzeigen, welchen Einfluss eine Variation der Substitutionsprozesse (also der Gutschriften) und der Abfallmengen auf die Bilanz der MVA hat.

Durch Effizienzsteigerungen und Kapazitätsausweitungen wird in den Szenarien für das Jahr 2020 mehr MVA-Strom bereitgestellt als im Jahr 2005 [vergleiche auch Johnke, Treder 2004]. Für diesen Zubau werden unterschiedliche Gutschriften herangezogen, wie in Kapitel 2.5.3 beschrieben, nämlich Strom aus Erdgas-GuD-Anlagen oder Strom aus Import-Kohle. Allein durch diese Variation steigt die Netto-Gutschrift der MVA zwischen den Szenarien um das Doppelte an, von ca. 1,5 Mio t für GuD-Strom auf 3 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für den Kohlestrom. Die Entscheidung über die Substitutionsprozesse hat also einen wesentlichen Einfluss auf das Bilanzergebnis.

Derzeit werden zu einem gewissen Teil auch Abfallarten in MVA verbrannt, die außerhalb des betrachteten Bilanzrahmens liegen, wie z. B. Industrieabfälle und Klärschlamm. Daher ist die genutzte Kapazität durch Restsiedlungsabfälle nicht exakt zu bestimmen. Aufgrund der momentanen Marktsituation ist jedoch davon auszugehen, dass der Restsiedlungsabfall die Kapazität der MVA voll ausschöpfen wird. Damit würde der Beitrag der MVA zum Klimaschutz zusätzlich ansteigen.

In Tabelle 3.1 ist sowohl der Einfluss der **Gutschriften** als auch der Einfluss der **Kapazität** auf den Netto-Bonus dargestellt. Der Bonus umfasst sowohl Strom als auch Wärme, die Variation in der Tabelle bezieht sich aber nur auf den Strom, der nur ca. 30 % der Energie ausmacht. Die Wärmegutschriften bleiben nahezu gleich.

Die Variation für die Gutschrift findet innerhalb der verschiedenen Zeilen statt: In den grau unterlegten Zellen sind Daten gemäß der ursprünglichen Szenariologik dargestellt (also nur

<sup>12</sup> Aus bilanztechnischen Gründen wurde bei der Müllverbrennung nicht die laut LAGA 2004 zukünftig zur Verfügung stehende MVA-Kapazität von 17,8 Mio t/a ausgeschöpft, sondern wie beschrieben etwa 16,2 Mio t/a.

für den Zubau). In den blau unterlegten Zellen sind dagegen Gutschriften für die *gesamte* Strommenge für das Jahr 2020 vergeben worden (also ohne Unterscheidung zwischen Bestand und Zuwachs). In den orange markierten Zellen wurde die MVA-Kapazität gegenüber den Bilanzdaten erhöht. In den grün markierten Zellen sind beide Variationen kombiniert worden.

Tabelle 3.1 Stromgutschriften Gutschriften (Netto-Bonus) für MVA

MVA-Gutschrift	Spezi- fischer  Netto- Bonus  kg/t	Bilan- zierte  Menge Mio t Abfall	Netto- Bonus  Bilanz Mio t CO <sub>2</sub>	Ein- sparung gegen über 2005  Mio t CO <sub>2</sub>	Max. MVA Kapa- zität* Mio t Abfall	Netto- Bonus  Max. Mio t CO <sub>2</sub>	Ein- sparung gegen über 2005  Mio t CO <sub>2</sub>
Szenario 1990	-126	7,9	-1,0				
Szenario 2005	-184	13,4	-2,5		16,2	-3,0	
Szenario 2020 Basis II	-251	16,3	-4,1	1,6	17,8	-4,5	1,5
Szenario 2020 optimiert	-333	16,3	-5,4	2,9	17,8	-5,9	2,9
Strommix 2020	-285	16,3	-4,6	2,1	17,8	-5,1	2,1
Erdgas-GuD 2020	-160	16,3	-2,6	0,1	17,8	-2,8	-0,2
Importsteinkohle 2020	-363	16,3	-5,9	3,4	17,8	-6,5	3,5
rhein. Braunkohle 2020	-415	16,3	-6,8	4,3	17,8	-7,4	4,4

\* nach [LAGA 2004]

Es zeigt sich, dass der Einfluss durch die Gutschriftenwahl größer ist als die exakte Festlegung bei der Kapazitätsauslastung: Der Ersatz von Kohlestrom aus rheinischer Braunkohle würde eine Einsparung von 6,8 Mio t (bzw. 7,4 Mio t bei maximaler Auslastung) erbringen, im Gegensatz zu 2,6 Mio t (bzw. 2,8 Mio t) für den Strom aus GuD-Kraftwerken. Die effizientere Nutzung der Energiepotenziale der MVA nach dem Stand der Technik, bei voller Auslastung und einer Gutschriftenzuteilung nach den Szenariovorgaben, führt zu einem CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial von 4,5 Mio bis rund 6 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

### 3.2.2 Beitrag der Bioabfallverwertung

Im Fokus dieser Kurzstudie stehen Beitrag und Potenzial der *gesamten* Siedlungsabfallwirtschaft zum Klimaschutz. Aus diesem Grunde sind die auf der Deponie eingesparten Methanemissionen keinem Prozess als Gutschrift zugewiesen worden. Doch spielt die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen in modernen, geschlossenen Anlagen eine herausragende Rolle, da sie einen der Verwertungspfade darstellt, der die Abkehr von der Deponierung erst ermöglichte.

Werden biogene Reststoffe energetisch und stofflich verwertet, trägt dieser Weg durch vermiedene Methanemissionen zur Reduktion von Klimagasen bei. Zusätzlich können auch noch fossile Brennstoffe ersetzt werden, wenn der Abfall mit Erzeugung von Biogas

vergoren wird. Hierfür müssten Vergärungsanlagen die heute gebräuchliche aerobe Kompostierung ersetzen. Das gewonnene Biogas kann in effizienten Gasmotoren in Kraft-Wärmekopplung genutzt werden. Die Vergärungsanlagen als geschlossene Systeme haben darüber hinaus den Vorteil, dass sie die besonders klimarelevanten Lachgasemissionen minimieren. Die wirtschaftliche Grundlage zur Umstellung auf Vergärung ist durch das EEG gegeben [Fritsche et al. 2004].

### 3.2.3 Beitrag der Verwertung trockener Wertstoffe

Die trockenen Wertstoffe LVP, Altglas, Altpapier und Metalle sind an der guten Treibhausgasbilanz von 2005 in der Siedlungsabfallwirtschaft mit 47 % maßgeblich beteiligt.

Für die Prognosen im Szenario 2020 Basis I wurden die thermischen Verfahren alle optimiert und die Verwertung trockener Wertstoffe ohne Änderung übernommen, deshalb geht der Anteil am Ergebnis relativ auf 35 % zurück. Demzufolge ist die Verwertung an der weiteren Reduktion der Treibhausgase gegenüber 2005 nur mit ca. 5 % beteiligt.

Durch die Annahme, dass die Metalle in der MBA und aus den MVA-Aschen effektiver abgeschieden werden, nimmt der Anteil der Verwertung an der Reduktion im Szenario 2020 Basis II gegenüber 2005 auf etwa 21 % zu.

### 3.2.4 Beitrag der Deponierung

Die angewandte Modellierung führt dazu, dass in Jahren, in denen keine biologisch abbaubare Abfallbestandteile mehr deponiert werden, auch keine Methanemissionen verursacht und bilanziert werden. Im Szenario 2005 sind nur noch die Rückstände aus den MBA für geringe Methanemissionen verantwortlich, während in den Szenarien 2020 keine Methan mehr aus der Deponie emittiert wird.

Die Bilanzergebnisse dürfen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Methanemissionen aus Hausmülldeponien in Deutschland auch nach 2005 noch von Bedeutung sind. Nach Prognose des Umweltbundesamtes nehmen die Methanemissionen von 2005 bis 2012 von ca. 400.000 t auf ca. 100.000 t je Jahr ab [Butz 2005]. Daraus resultieren Beiträge von 8,4 Mio bzw. 2,1 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten [Johnke, Butz 2005].

Deshalb muss die aktive Fassung und energetische Nutzung von Deponiegas noch über Jahre hinaus als relevanter Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen aufrechterhalten bleiben. Da die Methanemissionen aus offenen Deponien nicht effektiv verhindert werden können, müssen im Rahmen der Stilllegung der Deponien unverzüglich gasdichte Oberflächenabdichtungen aufgebracht werden.

## 3.3 Einsparungspotenziale von Klärschlamm und Altholz

Die vorliegende Bilanz berücksichtigt keine Klärschlämme und Althölzer. Daher wird im Folgenden anhand einer orientierenden Abschätzung gezeigt, welche Beiträge eine

energetische Verwertung von kommunalem Klärschlamm und von Altholz zum Klimaschutz beitragen kann. Es werden nur die Jahre 2005 und 2020 betrachtet.

### 3.3.1 Klärschlamm

Im Jahr 2001 fielen insgesamt 2,4 Mio t kommunaler Klärschlamm an [UBA 2004]. Als Verwertungs- bzw. Beseitigungswege spielten die Landwirtschaft, die Verwertung im Landschaftsbau und die Deponierung sowie die Verbrennung eine wesentliche Rolle (siehe Abbildung 3.4). Die 1,3 Mio t industrieller Klärschlamm wurden hier nicht weiter berücksichtigt.

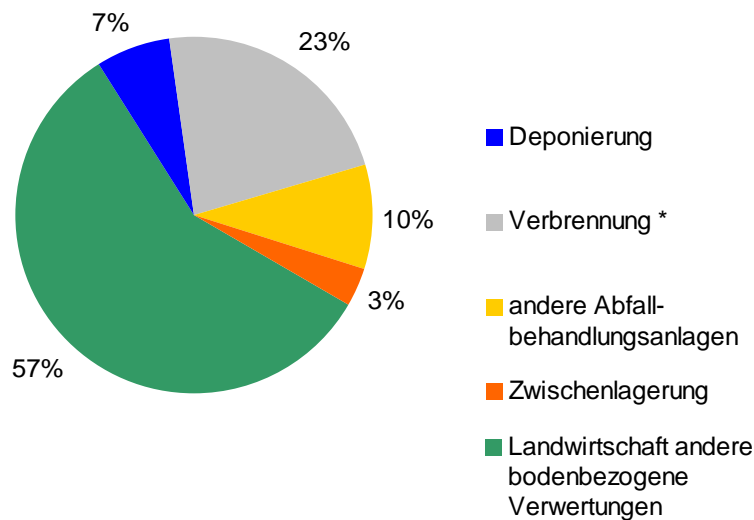


Abbildung 3.4 Verwertungs- und Entsorgungswege für kommunalen Klärschlamm  
 \* Verbrennung in MVA, Kohlekraftwerk, Klärschlammverbrennungsanlage in 2001

Ab dem 01. Juni 2005 dürfen auch keine unbehandelten Klärschlämme mehr deponiert werden, die Verbrennung in speziellen Klärschlammverbrennungsanlagen wird voraussichtlich stagnieren. Dafür hat der Anteil der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk und zunehmend auch in Zementwerken einen erheblichen Zuwachs.

Der Heizwert von getrocknetem Klärschlamm liegt im Bereich von 9-12 MJ/kg TS [UBA 2004]. Für die Berechnung wurde ein Wert von 10,5 MJ/kg TS angenommen.

Für die Abschätzung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Im Jahr 2005 werden 0,6 Mio t kommunaler Klärschlamm einer Verbrennung zugeführt. Davon gelangt der wesentliche Anteil in Monoklärschlammverbrennungsanlagen. Dabei ist der Klärschlamm zwar entwässert aber ungetrocknet, was keinen wesentlichen energetischen Nutzen bringt. Entsprechend wird für diesen Entsorgungspfad keine Gutschrift erteilt.

- Die andere Hälfte gelangt über die Mitverbrennung in Kohlekraftwerke und andere Anlagen mit einem ähnlichen Wirkungsgrad. Dort wird der Klärschlamm in die Kohlemühle aufgegeben und mit Hilfe von Abwärme getrocknet. Die Energieerzeugung erfolgt nur auf der Basis von Strom. Wärme wird nicht extern genutzt.
- Im Jahr 2020 wird der gesamte anfallende kommunale Klärschlamm in Kohlekraftwerken mit verbrannt. Die Verbrennungszahlen für Klärschlamm in MVA werden weiter abnehmen, die Monoklärschlammverbrennung wird im Wesentlichen den höher belasteten Klärschlämmen vorbehalten sein.
- Für den energetischen Wirkungsgrad im Kohlekraftwerk wird ein Wert von 40 % angenommen. Die Mitverbrennung von Klärschlamm führt zur Substitution von Importkohle<sup>13</sup>

Die Gutschriften für Strom aus Importkohle sind in Anhang 2, Tabelle A2.1 aufgeführt. und Ergebnisse der Rechnung sind in Tabelle 3.2 dargestellt (vgl. auch Fußnote 11). Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial für das Jahr 2020 entspricht mit 2,5 Mio Tonnen gut dem 8-fachen dessen, was durch heutige Verfahren der thermischen Klärschlammverwertung erreicht wird.

Tabelle 3.2 Ergebnis der überschlägigen Berechnung der CO<sub>2</sub>-Gutschriften für Klärschlämme

	[ Mio t. CO <sub>2</sub> -Äq.]
2005	0,3
2020	2,5
Differenz	2,2

### 3.3.2 Altholz und Restholz

Das Potenzial an Industrierestholz wird für 2005 auf 55 Peta Joule (PJ) geschätzt [Fritsche et al. 2004]. Ein Großteil dieses Potenzials wird schon derzeit genutzt. Die zukünftige Mengenentwicklung hängt daher in erster Linie von der Nachfrage der Holzverarbeitung und insbesondere von der Bauentwicklung ab. Da diese aber mit sehr großen Prognoseunsicherheiten verbunden ist [Fritsche et al. 2004], wird für diese Betrachtung ein konstant bleibendes Restholzpotenzial angenommen.

Das Potenzial für Waldrestholz liegt für 2005 bei 149 PJ angenommen und wird bis 2020 auf 156 PJ zunehmen [Fritsche et al. 2004]. Im Vergleich zu Industrierestholz wird dieses Potenzial bisher nicht ausgeschöpft (vergleiche Tabelle 3.3).

<sup>13</sup> Der spezifische Emissionsfaktor unterscheidet sich für die beiden Jahre etwas. Im Jahr 2005 liegt er bei 928,3 und im Jahr 2020 bei 870,9 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilowattstunde Strom.

Tabelle 3.3 Anteile einzelner Holzkategorien an der thermischen Nutzung in Biomasseheizkraftwerken, bezogen auf den Gesamtinput holzartiger Biomasse [vgl. Fritsche et al. 2004]

	<b>PJ</b>	<b>Mio t</b>	<b>Anteil</b>
holzartige Biomasse gesamt	48	3,9	100%
davon A I/II	24	2,0	50%
davon AIII/IV	14	1,2	30%
davon Waldrestholz	10	0,8	20%

Für die Abschätzung werden entgegen den Daten in Tabelle 3-3 folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

- Im Jahr 2005 wird eine Altholzmenge (ohne Waldrestholz) von 3,1 Mio t. verbrannt (siehe Tabelle 3.3). Energie wird ausschließlich in Form von Strom mit einem Wirkungsgrad von 30% erzeugt.
- Waldrestholz wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da dieser Stoffstrom nicht in den Bereich der Abfallwirtschaft gezählt wird, sondern klassische nachwachsende Rohstoffe darstellt.
- Für das Jahr 2020 erhöhen sich die verbrannten Altholzmengen nicht. Auch der elektrische Wirkungsgrad bleibt gegenüber 2005 gleich. Es wird aber zusätzlich eine Wärmenutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung in Höhe von 30 % des Inputs berücksichtigt.
- Als Gutschriften werden für den Strom im Jahr 2005 624 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh und für das 2020 694 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh berechnet. Für die Wärmenutzung beträgt die Gutschrift 109 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh.

Die gesteigerte energetische Verwertung von Altholz, insbesondere aber die zusätzliche Kraft-Wärme-Kopplung spart gegenüber heute 1,4 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente bis ins Jahr 2020 ein.

Tabelle 3.4 Ergebnis der überschlägigen Berechnung der CO<sub>2</sub>-Gutschriften für Altholz

	<b>[ Mio t. CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
2005	2,0
2020	3,4
Differenz	1,4

### 3.4 Bewertung der Bilanzergebnisse vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele

Von 1990 bis 2003 wurde in Deutschland ein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Verbrennungsprozessen um 150 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente bilanziert, das entspricht knapp 15 % der Emissionen aus Verbrennungsprozessen im Jahr 1990. Dabei haben alle Sektoren bis auf den Verkehr in dieser Zeit Emissionen eingespart (vergleiche Abbildung 3.5). Die

verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind dagegen noch um 8 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente angestiegen.

Den Hauptanteil daran hat die Industrie mit 65 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten beigetragen, gefolgt von dem Energiesektor mit 57 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und dem Gewerbe mit 30 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (siehe Abbildung 3.5).

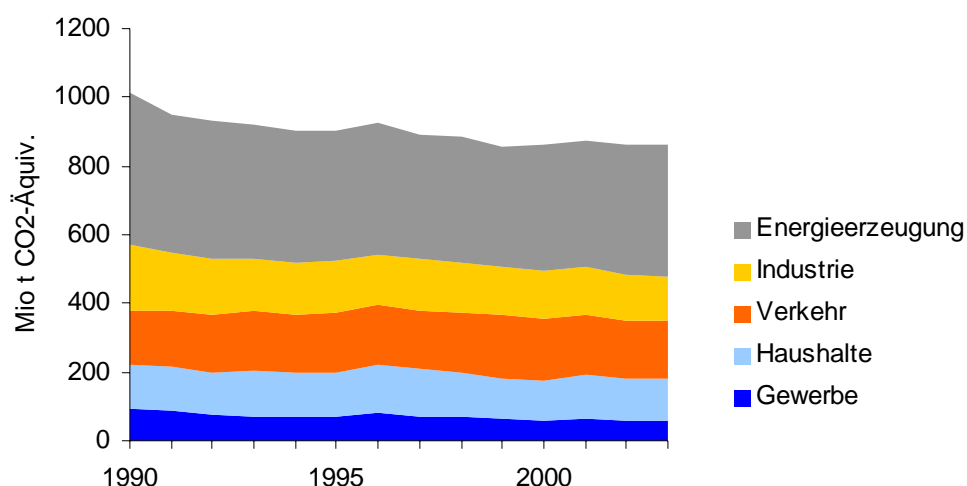


Abbildung 3.5 Sektorale Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Verbrennungsprozessen in Deutschland (Angaben in Mio t CO<sub>2</sub>), [aus BMU 2005a]

Werden weitere Treibhausgase, insbesondere Methan- und Lachgasemissionen aus den Sektoren Abfall und Landwirtschaft hinzugezählt, ergeben sich die in Tabelle 3.5 dargestellten Treibhausgasemissionen.

Tabelle 3.5 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland (Angaben in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) [BMU 2005a]

Treibhausgase	1990	1995	2000	2003
CO <sub>2</sub>	1015	902	860	865
CH <sub>4</sub>	132	105	83	75
N <sub>2</sub> O	86	81	62	64
H-FKW	4	6	7	8
FKW	3	2	2	1
SF <sub>6</sub>	4	6	3	4
Insgesamt (ohne LULUCF)*	1244	1102	1017	1017
Insgesamt (mit LULUCF)*	1251	1108	1031	1031

\* LULUCF = Quellen und Senken aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und der Land- und Forstwirtschaft  
 grau markierte Zellen = Basisjahr für jeweiliges Treibhausgas



Die Reduktionsverpflichtungen beziehen sich für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auf das Jahr 1990 und für die restlichen Parameter wird dagegen 1995 als Bezugsjahr herangezogen. Somit errechnet sich ein Ausgangswert von 1.248,3 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, der als Grundlage für die Reduktionsziele heranzuziehen ist. Bis 2003 konnte der Ausgangswert um 230,8 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf 1.017,5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden (vgl. Tabelle 4.1).

Dem Abfallbereich werden für diesen Zeitraum allein durch vermiedene Methanemissionen bei der Deponierung 20 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente zugerechnet. Damit hat die Abfallwirtschaft den von ihr erwarteten Beitrag zum Minderungsziel des nationalen Klimaschutzprogramms erreicht.

Tabelle 3.6 Im Klimaschutzprogramm vom 18. Oktober 2000 festgelegte Minderungsbeiträge der einzelnen Sektoren bis 2012 [aus BMU 2005a]

<b>Maßnahmen und Instrumente</b>	<b>Minderungspotenzial (in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente)</b>
Ökologische Steuerreform	20
Erneuerbare Energien	20
Maßnahmen im Bereich private Haushalte und im Gebäudebereich	18 bis 25 (bis 2005)
Maßnahmen in der Industrie	15 bis 20 (bis 2005)
Maßnahmen im Verkehrssektor	15 bis 20 (bis 2005)
Maßnahmen der Energiewirtschaft	20 (bis 2005)
Beitrag des Abfallbereichs	20
Maßnahmen im Bereich Land- und Forstwirtschaft	Keine Quantifizierung

\* Quelle: Nationales Klimaschutzprogramm vom 18. Oktober 2000

Bis 2012 wird eine weitere Einsparung von 8,4 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten durch die Stilllegung der Deponien prognostiziert. Für die Zeitspanne von 1990 bis 2012 ergibt sich damit eine Reduktion von 28,4 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, die im nationalen Klimaschutzprogramm nach Beschluss der Bundesregierung vom 13. Juli 2005 (BMU 2005a) dem Entsorgungsweg der Deponie zugesprochen werden.

Das Bilanzergebnis in dieser Kurzstudie weist dagegen für den Zeitraum von 1990 bis 2005 eine Entlastung von 46 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf. Aufgrund der unterschiedlichen Bilanzmethoden sind die Werte allerdings nicht direkt vergleichbar. Insbesondere werden in den Nationalen Immissionsberichten (NIR) für bereitgestellte Energie aus der energetischen Nutzung von Abfällen keinerlei Gutschriften verrechnet.

Für die Müllverbrennung gibt das nationale Klimaschutzprogramm Reduktionspotenziale von 1,5 Mio bis 2 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für den Zeitraum von 2005 bis 2012 an. Dieses Potenzial entspricht den Ergebnissen dieser Kurzstudie, wonach die MVA zwischen 2005 und 2020 einem Beitrag von 1,5 Mio t bis 3 Mio t CO<sub>2</sub> leisten kann. Das entspräche einem Anteil von 0,6 bis 2 % des deutschen Reduktionsziels für CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsprozessen in Höhe von 150 bis 250 Mio t allein durch die effizientere Energienutzung und



Ausweitung der Kapazitäten der MVA. Es wäre durchaus möglich diese ehrgeizigen Ziele bei entsprechender Rahmensetzung schon bis 2012 umzusetzen.

Für das Metallrecycling werden im nationalen Klimaschutzprogramm 0,7 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente als Einsparpotenzial genannt. Das bestätigen auch die Ergebnisse dieser Bilanz (Reduktion um 0,77 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente), sofern eine hohe Rückgewinnung der Metalle, insbesondere der NE-Metalle erreicht werden kann.

Auch die genannten Werte von 2,2 bis 3,7 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die Mitverbrennung liegen in dem Bereich der hier ermittelten Reduktionspotentiale dieses Sektors (3,5 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die Zeitspanne von 1990 bis 2020).

Insgesamt hat Deutschland bis 2020 eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 40 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zugesagt<sup>14</sup>. Werden die 1.248,3 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus dem Jahr 1990 (vgl. Tabelle 4.1) als Ausgangspunkt gesetzt, war mit einer Reduktion um 230,8 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahr 2003 eine Abnahme um 18, % erreicht worden. Von 2003 bis 2020 müsste die Minderung der jährlichen Treibhausgasemissionen also weitere 270 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente erbringen, soll das Ziel einer Reduktion um 40 % erreicht werden.

Hierzu kann die Abfallwirtschaft durch verschiedene Maßnahmen mit insgesamt ca. 2 % beitragen<sup>15</sup>. Notwendig sind dafür entsprechende Maßnahmen zur Ausschöpfung aller Potenziale, die unter der Annahme der Vollauslastung der MVA sogar bei ca. 4,5 Mio t bis 6 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente liegen könnten. Nimmt man die in Kapitel 3.3 abgeschätzten Reduktions-Anteile aus der energetischen Verwertung von Altholz und Klärschlamm mit einem weiteren Potenzial von zusammen ca. 3,6 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten hinzu, steigt der Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft bis zu einem Anteil von etwa 3,5 % an.

Für den gesamten Zeitraum von 1990 bis 2020 ist der Anteil der Abfallwirtschaft aufgrund der erheblichen Reduktion der Methanemissionen auf Deponien noch deutlich höher. Von der in dieser Zeitspanne insgesamt erfolgten bzw. geplanten Reduktion von 500 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten hat die Siedlungsabfallwirtschaft dann ca. 50 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente erbracht, also einen Anteil von ca. 10 %.

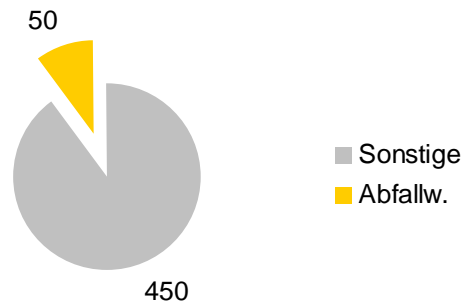
In der offiziellen Bilanz im NIR werden allerdings dem Sektor Abfall in der Regel nur die vermiedenen Methanemissionen der Deponien zugeordnet. Die Gutschrift für die bereitgestellte Energie aus der stofflichen und energetischen Abfallverwertung werden den Sektoren Energieerzeugung und Industrie angerechnet.

---

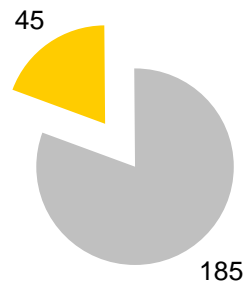
<sup>14</sup> 40 % wurden unter der Bedingung zugesagt, dass Europa insgesamt eine Reduktion von 30 % durchsetzt [BMU 2005b].

<sup>15</sup> Wie bereits beschrieben, ist dabei die Reduktion durch die Methangasemissionen, die noch aus den stillgelegten Deponien emittiert werden nicht enthalten, da diese bereits im Szenario 2005 gutgeschrieben wurden.

**1990 bis 2020**



**1990 bis 2003/2005**



**2003/2005 bis 2020**

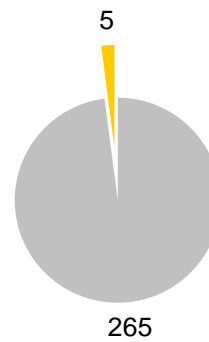


Abbildung 3.6 Beitrag der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft an der insgesamt geplanten Reduktion von 40 % der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland im Zeitraum 1990 bis 2020.

## 4 Möglichkeiten zur Einsparung von Treibhausgasemissionen im Abfallsektor in Europa (EU-15)

### 4.1 Situation in Europa gemäß der Meldungen der Mitgliedsstaaten

In den einzelnen Staaten in Europa EU-15 waren die Erfolge in der Reduktion von Treibhausgasemissionen bisher sehr unterschiedlich.

Tabelle 4.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen der EU-15 [aus BMU 2005a]

	Basis-jahr*	1990	1995	2000	2003	Absolute Veränderung 2003/Basisjahr	Ver-änderung 2003/Basisjahr	Emmissionsziel gemäß Kyoto-Protokoll(EU-burden sharing) bis 2008/2012
	in Mio t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten					in Mio t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten	in %	
Belgien	147	146	152	148	148	1	+0,6	-7,5
Dänemark	70	69	77	68	74	4	+6,3	-21,0
Deutschland	1248	1244	1103	1017	1018	-230,8	-18,5	-21,0
Finnland	70	70	71	70	86	15	+21,5	0
Frankreich	568	568	563	560	557	-10,8	-1,9	0
Griechenland	112	109	114	132	138	26	+23,2	+25,0
Großbritannien	751	748	691	652	651	-100,3	-13,3	-12,5
Irland	54	54	58	69	68	14	+25,2	+13,0
Italien	510	511	528	551	570	60	+11,6	-6,5
Luxemburg	13	13	10	10	11	-1,4	-11,5	-28,0
Niederlande	213	212	224	214	215	2	+0,8	-6,0
Österreich	79	79	80	81	92	13	+16,6	-13,0
Portugal	59	59	70	80	81	22	+36,7	+27,0
Schweden	72	72	73	67	71	-1,7	-2,4	+4,0
Spanien	286	284	315	380	402	116	+40,6	+15,0
EU-15	4.253	4.238	4.129	4.100	4.180	-72,9	-1,7	-8,0

\* Die Daten für das Basisjahr beruhen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auf den Emissionen aus dem Jahr 1990, für alle anderen Gase auf Emissionen für das Jahr 1995

Quelle: Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2003 and inventory report 2005 (EEA, Mai 2005)

Tabelle 4.1 zeigt, dass neben Deutschland nur noch Großbritannien und Luxemburg in nennenswertem Umfang Treibhausgasemissionen einsparen konnten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Deutschland auch mit dem höchsten Emissionsbestand und damit mit dem höchsten theoretischen Reduktionspotenzial an den Start ging.

In der EU-15 wurde in den 13 Jahren von 1990 bis 2003 eine Reduktion um etwa 73 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente (1,7 %) erreicht. Soll bis 2020 das diskutierte Reduktionsziel von 30 % gegenüber 1990 erreicht werden, müssen in den ab 2003 verbleibenden 17 Jahren etwa 1.200 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart werden. Es ist offensichtlich, dass hierzu jedes Potenzial konsequent ausgeschöpft werden muss.

Zwischen 1990 und 2003 konnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Abfallsektor (Deponie, Verbrennung, Abwasserbehandlung) in den EU-15-Staaten, gemäß ihrer gemeldeten Reduktionserfolge um 44 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden (vgl. Abbildung 4.1).

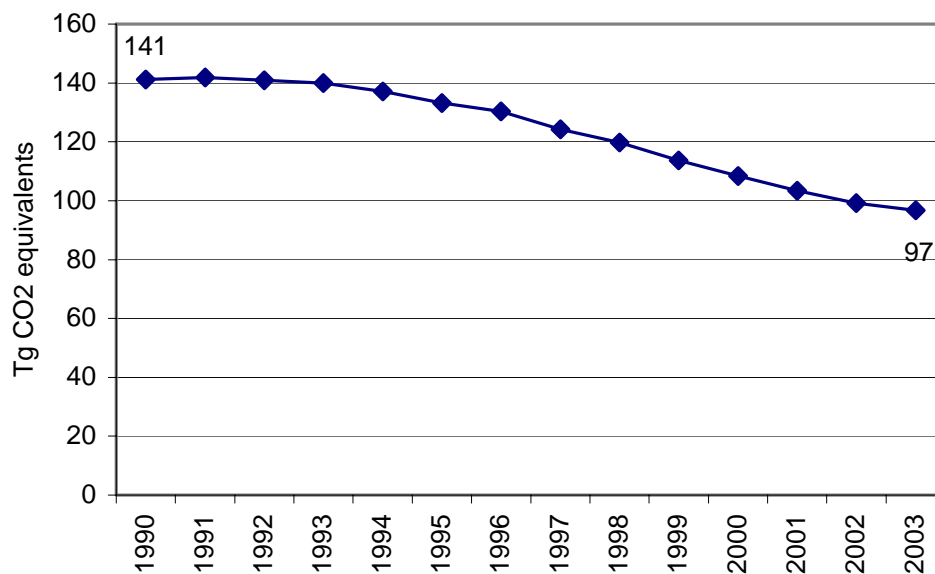


Abbildung 4.1 Verlauf der EU-15 Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2003 für den Abfallsektor in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
Quelle [Deuber, Herold 2005]

Davon gehen gut 90 % der erreichten Reduktionen im Abfallsektor auf eingesparte Methanemissionen von kontrollierten und unkontrollierten Deponien zurück (vgl. Abbildung 4.2). Insgesamt wurde mehr als die Hälfte aller geleisteten Reduktionen an CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch den Abfallsektor erreicht.

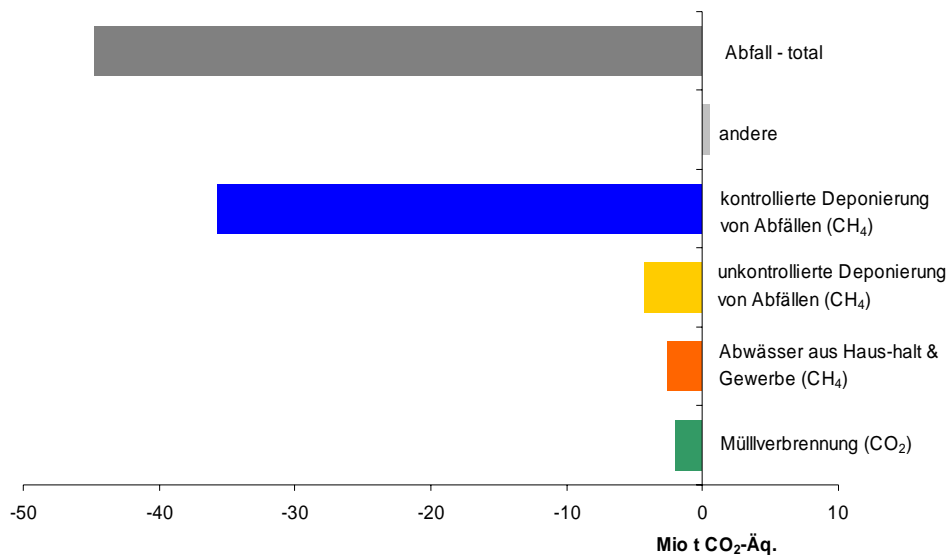


Abbildung 4.2 Reduktion von Treibhausgasemissionen einzelner Abfall-Sektoren in der EU-15 von 1990 bis 2003 in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
Quelle [Deuber, Herold 2005]

Trotzdem dominierte Methan aus Deponien auch im Jahr 2003 die noch verbliebenen Treibhausgasemissionen mit einem Anteil von 73 %.

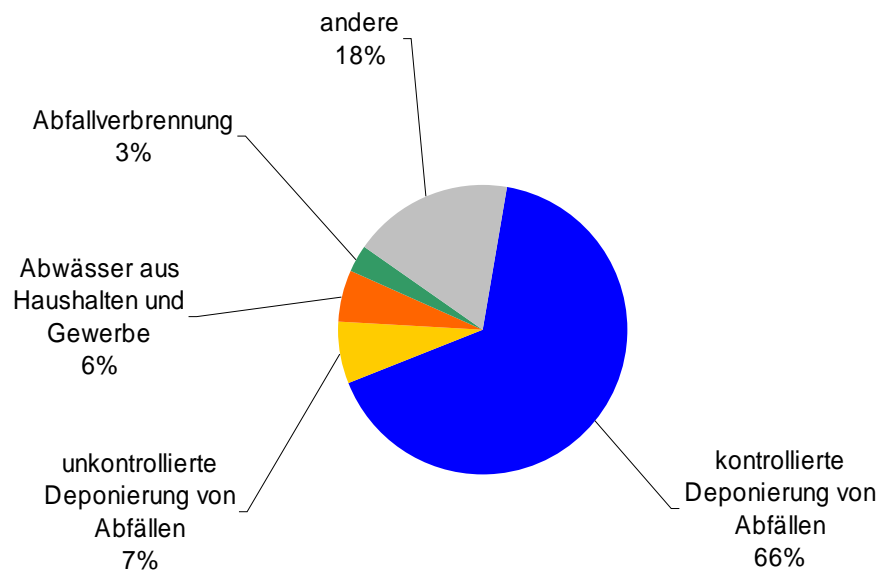


Abbildung 4.3 Anteile der einzelnen Abfallsektoren an den 2003 noch verbleibenden Treibhausgasemissionen in der EU-15  
Quelle [Deuber, Herold 2005]

Tabelle 4.2 Von den Mitgliedsstaaten gemeldete Beiträge zu den Methan-Emissionen von Abfalldeponien in der EU-15 in 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
 Quelle [Deuber, Herold 2005]

Mitgliedsstaaten	1990			2003			Reduktion Gesamt
	kontrolliert	unkontr.	Summe	kontrolliert	unkontr.	Summe	
Österreich	4,1	0	4,1	2,8	0	2,8	1,3
Belgien	2,6	0	2,6	0,9	0	0,9	1,2
Dänemark	1,3	0	1,3	1,2	0	1,2	0,2
Finnland	2,2	0	2,2	1,5	0	1,5	0,7
Frankreich	6,3	4,9	11,2	8,0	2,4	10,3	0,9
<b>Deutschland</b>	<b>31,5</b>	<b>0</b>	<b>31,5</b>	<b>11,7</b>	<b>0</b>	<b>11,7</b>	<b>19,8</b>
Griechenland	1,1	1,6	2,7	2,1	1,8	3,9	-1,2
Irland	0,9	0,3	1,2	1,5	0,5	1,9	-0,7
Italien	7,8	2,6	10,4	9,3	0,4	9,7	0,7
Luxemburg	0,1	0	0	0	0	0	0
Niederlande	12,0	0	12,0	6,8	0	6,8	5,2
Portugal	0,5	1,3	1,8	1,7	1,3	3,0	-1,1
Spanien	2,7	0,8	3,4	6,4	1,0	7,4	-4,0
Schweden	2,6	0	2,6	1,7	0	1,7	0,8
Großbritannien	23,8	0	23,8	8,0	0	8,0	15,7
<b>EU-15</b>	<b>99,5</b>	<b>11,4</b>	<b>110,8</b>	<b>63,7</b>	<b>7,2</b>	<b>70,9</b>	<b>40</b>

\* Abweichungen in der Summe sind durch Rundungsfehler begründet.  
 Quelle: [Deuber, Herold 2005]

Würden alle europäischen Staaten die Deponierung unbehandelter Abfälle zeitnah unterbinden, verbliebe die gesamte Summe aus 2003 als Reduktionspotenzial bis 2020, das entspricht 70 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Über den gesamten Zeitraum von 1990 bis 2020 berechnet sich das Reduktionspotenzial aus vermiedenen Methanemissionen auf 110 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Gemessen an der geplanten Reduktion von 1.266 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, unterstellt man als Reduktionsziel 30 % vom Ausgangswert 1990<sup>16</sup>, ist das noch immer ein bemerkenswerter Anteil von knapp 9 %.

<sup>16</sup> Die EU hat inzwischen festgelegt, dass eine Reduktion um 30 % angestrebt wird und ein Korridor von 15 bis 30 % zugesagt wird.

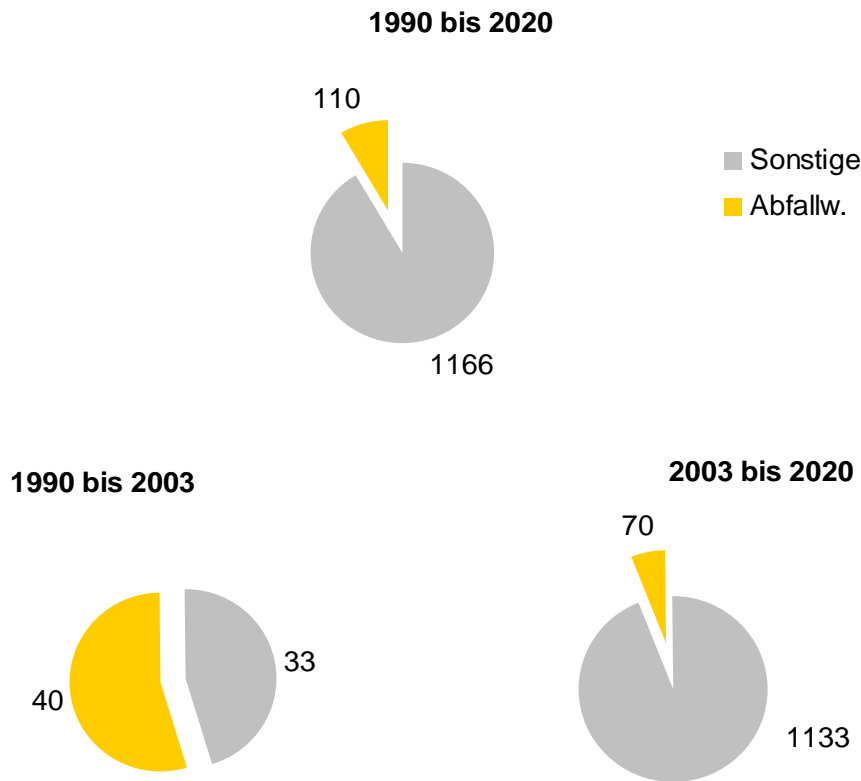


Abbildung 4.4 Beitrag durch vermiedene bzw. noch zu vermeidende Methanemissionen in Europa an der insgesamt geplanten Reduktion von 30 % der Treibhausgas-Emissionen im Zeitraum 1990 bis 2020

Die europäischen Daten für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus MVA sind deutlich schwieriger mit den Zahlen für Deutschland aus dieser Arbeit zu vergleichen, da die zugrunde liegenden Daten für unterschiedliche Systemgrenzen erhoben wurden. Deshalb können die gemeldeten Emissionsdaten zur Schätzung weiterer Reduktionspotenziale unter den Prämissen dieser Kurzstudie nicht herangezogen werden (vgl. Tabelle A5.1 in Anhang 5).

## 4.2 Eigene Schätzungen auf der Basis der europäischen Abfallstatistik

### 4.2.1 Nutzung des gesamten Reduktionspotenzials

Um trotzdem die Reduktionspotenziale von Deutschland denen der EU-15 gegenüberstellen zu können, werden die Abfalldaten der Europäischen Gemeinschaft (EU-15) aus einer umfassenden, von der europäischen Kommission veröffentlichten Erhebung europäischer Daten zur Abfallwirtschaft [Europäische Kommission 2003] für das Jahr 2000 herangezogen (vgl. Tabelle 4.3). Daraus werden die Reduktionspotenziale der EU-



15-Staaten nach der in diesem Bericht angewandten Modellbetrachtungen abgeleitet. Dabei handelt es sich um eine Schätzung der Potenziale aus abfallwirtschaftlicher Sicht die mit gemeldeten Emissionen der Mitgliedstaaten nicht direkt vergleichbar ist (Details zur unterschiedlichen Systematik sind u. a. in Kapitel 3.4 beschrieben).

Der Vergleich der statistischen Abfalldaten von 1990 und 2000 zeigt, dass die älteren Daten offensichtlich sehr große Unsicherheiten und Fehlmengen aufweisen. Erstens wurden nicht in allen Mitgliedsstaaten Abfalldaten erhoben, zweitens wurde in einigen EU-15 Ländern 1990 ein großer Teil der Abfälle nicht nach der erforderlichen Systematik erfasst. Die Problematik wird nicht zuletzt daraus ersichtlich, dass Daten für das Jahr 1990 nicht in allen Mitgliedstaaten vorlagen und deshalb z. T. auf Daten von 1991 bis 1995 ausgewichen werden musste (vgl. Tabelle A6.1 in Anhang 6). CO<sub>2</sub>-Emissionen können aus diesen Daten nicht sinnvoll ermittelt werden.

Tabelle 4.3 Abfallmengen in der EU-15 und Aufteilung auf die wichtigsten Entsorgungswege für 2000 in Mio t (Europäische Kommission 2003)

Mitgliedsstaaten		Bioabfall	MVA mit	MVA ohne	Deponie	
	Recycling	Kompost	Energien	Energien	gesamt	Summe
Österreich	1,0	1,9	0,5		1,6	4,9
Belgien*1	2,0	0,8	0,1	0,2	1,5	4,7
Dänemark	7,7	0,6	1,9		0,4	10,5
Finnland			0,3		1,6	1,9
Frankreich	3,6	3,0	8,8	1,5	14,3	31,2
<b>Deutschland</b>	<b>16,5</b>	<b>4,0</b>	<b>10,5</b>		<b>14,6</b>	<b>45,6</b>
Griechenland	0,4	0			2,3	2,7
Irland	0,3	0			2,1	2,4
Italien	2,6	2,2	2,1		21,8	28,7
Luxemburg	0	0	0,1		0,1	0,2
Niederlande	2,4	2,3	3,7		1,3	9,7
Portugal	0,4	0,3	0,9		3,4	5,0
Spanien	1,1	0,4	1,5		1,2	4,1
Schweden	1,8	3,1	1,7		10,3	16,9
Großbritannien	3,8		2,5	0,02	27,6	33,9
<b>EU-15</b>	<b>43,5</b>	<b>18,6</b>	<b>34,6</b>	<b>1,8</b>	<b>103,9</b>	<b>202,3</b>

\*1: 1998 \*2: 1999, Abweichungen in den Summen basieren auf gerundeten Werten

Die in Tabelle 4.3 aufsummierten Gesamtwerte für die EU-15 stellen die Grundlage des Ist-Szenarios (Stand 2000) dar. Im Zukunfts-Szenario wird das Klimaschutz-Potenzial aufgezeigt, das durch ein engagiertes Konzept zur Optimierung der Abfallwirtschaft in Europa (möglichst bis 2020) umgesetzt werden könnte. Dazu ist erforderlich, dass

- die Deponierung ausschließlich für inerte Abfälle zugelassen wird,
- die Verwertung von trockenen Wertstoffen und der Biofraktion vorgeschrieben wird und

- die energetisch nutzbaren Anteile der Siedlungsabfälle einer effizienten Energienutzung zugeführt werden.

Um das Klimaschutzpotenzial der EU-15 abzuschätzen, wird die Summe der Abfälle aus dem Jahr 2000 den Entsorgungswegen Recycling, Bioabfallverwertung und energetische Verwertung prozentual auf gleiche Weise zugeteilt (siehe Tabelle 4.5), wie in dem Szenario „Siedlungsabfälle 2020 optimiert“ für Deutschland (siehe Tabelle 2.7).

Der Anteil für Recycling von 34 % enthält die Entsorgungswege Altpapier, Altglas, Altholzanteile aus dem Sperrmüll, Metalle und LVP. Die MBA fungiert in diesem Szenario nur als Zwischenbehandlung und geht deshalb in die Ermittlung der Anteile in Bezug auf die Gesamtmenge nicht ein. Bei der Ermittlung der Emission von Treibhausgasen aus der Behandlung der Abfälle wird sie jedoch berücksichtigt.

Die spezifischen Gutschriften der einzelnen Entsorgungswege zur Abschätzung des Klimaschutzpotenzials in der EU-15 werden auf Basis der entsprechenden Daten für Deutschland abgeschätzt.

Die Belastungen aus der Deponierung (insbesondere bedingt durch die Methanemissionen) sowie die Aufwendungen für Sammlung, Transport und Behandlung der Abfälle und den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung können unverändert übernommen werden.

Für Recycling wird die gleiche Verteilung wie in Deutschland auf die einzelnen Pfade unterstellt, so dass das gewichtete Mittel der einzelnen Gutschriften heranzuziehen ist. Da die spezifischen Netto-Beiträge der einzelnen Verwertungspfade mit Ausnahme der Metalle nur wenig differieren, würde auch eine andere Wertstoffverteilung das Ergebnis nicht wesentlich beeinflussen.

Die Gutschriften für die Strombereitstellung in der EU-15 fallen geringer als in Deutschland aus, weil der Kraftwerkspark weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom verursacht, (vergleiche Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4 Kraftwerkspark EU-15

<b>Erzeugungsmix für Strom EU-15</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2020</b>
Uran	33,6%	31,5%	22,5%
Wasserkraft und Wind	13,4%	14,6%	16,1%
Kohle	25,6%	22,3%	20,7%
Öl (inkl. Raffineriegas)	6,4%	4,8%	1,7%
Gas	17,7%	22,8%	34,5%
Biomasse und Abfall	2,9%	3,4%	4,0%
Sonstige	0,5%	0,5%	0,6%

\*Quelle Daten nach GEMIS 4.3

Da die Gutschriften für die MVA einen bedeutenden Einfluss auf das Ergebnis haben, musste eine Anpassung der Strom- und Wärmeauskopplung für die EU-Verhältnisse durchgeführt werden. Die Energieauskopplung wird europaweit auf 10 % Strom und 20 %

Wärme geschätzt und damit - gegenüber den deutschen Daten - die Wärmeabgabe um ein Drittel geringer angesetzt. Für die Berechnung der Gutschriften sind folgende Annahmen getroffen worden:

- Der Heizwert des MVA Inputs (Mischung aus Restabfall und HMG) wird insgesamt mit 10 MJ/kg angesetzt.
- Die Belastungen für die Müllverbrennung, die sich aus den klimawirksamen Emissionen (CO<sub>2</sub> aus fossilem Anteil) und den Betriebsmittelaufwendungen von 335 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Tonne Abfall kann ohne Anpassung übernommen werden.
- Für die Strombereitstellung im Ist-Szenario wird der Wert für den europäischen Strommix 2005 (EU-15) von 406 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kWh [GEMIS 2005] gutgeschrieben.
- Im Zukunftsszenario wird für die Stromgutschrift, wie bereits beschrieben, zwischen dem Bestand und dem Zuwachs unterschieden. Für den Bestand wird der europäische Strommix 2020 mit 388 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kWh angesetzt, für den Zusatz zu je 50 % Strom aus Erdgas-GuD (412 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh) und Importsteinkohle (868 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh).
- Für die Wärmebereitstellung werden die Ansätze aus der Bilanz für die Bereitstellung der Wärme in Deutschland übernommen.

Daraus ergeben sich spezifische Gutschriften für die Energiebereitstellung (Strom und Wärme) von 342 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Tonne Abfall im Ist-Szenario und 523 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Tonne Abfall im Zukunftsszenario. Abzüglich der Belastung verbleiben spezifische Netto-Gutschriften von 8 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/t Abfall im Ist-Szenario bzw. 187 kg CO<sub>2</sub>- Äquivalente/t Abfall im Zukunfts-Szenario.

Für die stoffliche Verwertung muss der spezifische Netto-Beitrag dagegen nicht angepasst werden, da die Recyclingverfahren überwiegend thermische Energie einsetzen, deren Mix sich innerhalb der EU-15 nicht so gravierend unterscheidet.

Das Gleiche gilt für die Mitverbrennung, bei der für die EU-15 genauso wie für Deutschland Importkohle als ersetzter Brennstoff gutgeschrieben wird.

Tabelle 4.5 Entwicklungen der Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft in der EU-15 unter der Annahme, dass die Abfälle mit ähnlicher Qualität behandelt werden, wie in den Szenarien für 2020 in der Bilanz für Deutschland

	<b>Ist 2000</b>				<b>Zukunft 2020</b>			
<b>Entsorgungs-Wege</b>	<b>Anteile an Gesamt</b>	<b>Abfall-menge</b>	<b>spez. Bonus</b>	<b>Netto Bonus</b>	<b>Anteile an Gesamt</b>	<b>Abfall-menge</b>	<b>spez. Bonus</b>	<b>Netto Bonus</b>
	<b>%</b>	<b>Mio t</b>	<b>kg/t</b>	<b>Mio t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>	<b>%</b>	<b>Mio t</b>	<b>kg/t</b>	<b>Mio t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>
Recycling	22	43,5	-275	-12,0	34	68,8	-275	-18,9
Kompost	9	18,6	25	0,5	18	36,4	-8	-0,3
MVA mit E	17	34,6	-8	-0,3	38	76,8	-187	-14,4
MVA ohne E	1	1,8	335	0,6	0	0	335	0
Deponie	51	103,9	928	96,4	2	4,0	20	0,1
Mitverbrennung					8	16,2	-1006	-16,3
MBA					16,7	33,8	27	0,9
Sammlung	100	202,3	9	1,8	100	202,3	9	1,8
<b>Summe</b>	<b>100</b>	<b>202,3</b>		<b>87</b>	<b>100</b>	<b>202,3</b>		<b>-47</b>

Für das Ist-Szenario noch eine Zusatzbelastung von 87 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgewiesen. Im Zukunftsszenario könnte die Siedlungsabfallwirtschaft in der EU-15 schon zu einer Entlastung von 47 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten beitragen (vgl. Tabelle 4.5), würde das gesamte Potenzial konsequent umgesetzt und nicht wie derzeit in einigen EU-15 Staaten noch geplant, weiterhin auf die Deponierung von Haushaltsabfällen gesetzt würde.

Daraus ergibt sich ein Reduktionspotenzial von 2000 bis 2020 für die Siedlungsabfallwirtschaft der EU-15 von 134 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Den Hauptanteil daran tragen mit fast 100 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten die vermiedenen Methanemissionen in Folge der Aufgabe der Deponierung von nicht inertisierten Abfällen. Die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen hat daran einen nicht zu vernachlässigenden Anteil, da die Bioabfälle in der Deponie maßgeblich an der Methanproduktion beteiligt sind.

Die getrennte Entsorgung einzelner Abfallfraktionen führt zur Reduktion von Methanemissionen. Dieser Rückgang wird in der Bilanz nur dadurch sichtbar, dass die Emissionen aus der Deponie massiv zurückgehen. Die vermiedenen Methanemissionen werden aber nicht den beteiligten Entsorgungswegen gutgeschrieben. Durch diese Darstellung wird insbesondere der Effekt durch die getrennte Erfassung und Verwertung von Bioabfällen nicht in adäquater Weise sichtbar.

Durch eine Optimierung der Gasnutzung könnte der Beitrag aus der Bioabfallvergärung noch gesteigert werden (siehe auch Kapitel 3.2.2).

Die Deponiegasemissionen können auch durch die Optimierung der Gasfassung aus Deponien reduziert werden. Unabhängig von einem möglichen Verbot der Deponierung unbehandelter Abfälle sind erhebliche Anstrengungen auf diesem Sektor erforderlich, um die Methanemissionen auf den vorhandenen Deponien zu reduzieren. Da es aber nicht

möglich ist Deponiegase vollständig zu erfassen, muss ein Verbot der Deponierung mittel und langfristig auch in der EU umgesetzt werden.

Der Anteil des Recycling trägt mit 12 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (2002) und 19 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (2020) ebenfalls maßgeblich zum Bilanzergebnis der untersuchten Varianten bei. Da der absolute Zuwachs nicht so hoch ist wie bei den Entsorgungswegen der thermischen Verwertung, sind diese für den Rückgang von 1990 bis 2020 mit ca. 30 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von besonderer Bedeutung.

Wichtig ist das der erforderliche Zubau von Verbrennungsanlagen nach dem modernsten Stand der Technik erfolgt [BREF 2005], damit einerseits die Potenziale der Energiebereitstellung in vollem Umfang ausgeschöpft werden und die Einsparungserfolge bei CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht auf Kosten durch zusätzliche Belastungen durch luftgetragene Schadstoffe erkauft wird.

Setzt man das Reduktionspotenzial von 134 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in der Siedlungsabfallwirtschaft in Bezug zu den geplanten Treibhaus-Reduktionen in der EU-15 von 1.203 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 2003 bis 2020 ergäbe sich ein Anteil von 11 %.

Die Ermittlung des Gesamtbeitrags der europäischen Siedlungsabfallwirtschaft an den gesamten CO<sub>2</sub>-Reduktionen von 1990 bis 2020 lässt sich nach dem hier vorgenommenen Ansatz wie oben ausgeführt wegen der schlechten Datenlage nicht ermitteln.

Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Differenz der hier ermittelten Einsparungen zu dem gesamten Einsparungspotenzial für 1990 bis 2020 fast ausschließlich durch die Methanemissionen auf Deponien verursacht wurde, da der Anteil an Verwertung im Basisjahr 1990 sehr gering war. Zudem heben sich bei der Müllverbrennung die Belastungen und Gutschriften nahezu auf (vgl. Tabelle 4.5, Szenario 2000).

Anhand der Meldungen für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Deponien (vgl. Tabelle 4.2) lassen sich für den Zeitraum vor 2000 in erster Annäherung zusätzlich etwa 30 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente abschätzen. Aufgrund der aufgezeigten Unterschiede bei der Erhebung dieser Daten, können diese jedoch nicht zu einem Gesamtpotenzial verrechnet werden.

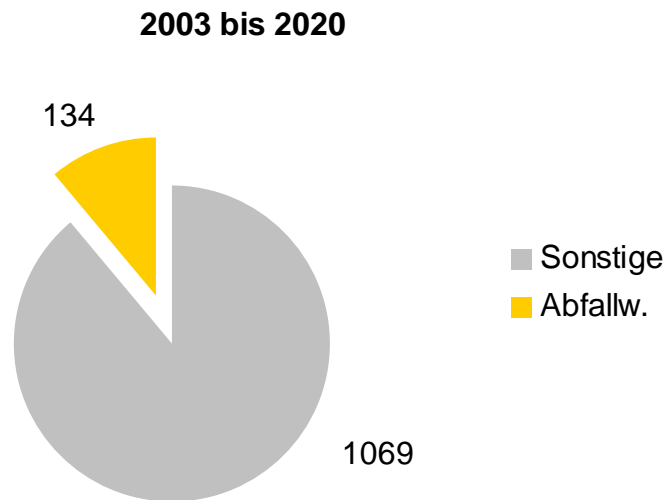


Abbildung 4.5 Möglicher Beitrag der Siedlungsabfallwirtschaft an der insgesamt geplanten in Reduktion von Klimagas-Emissionen in der EU-15 im Zeitraum 2003 bis 2020

#### 4.2.2 Reduktion der deponierten Abfallmengen nach den Vorgaben der Deponierichtlinie

Unter der Annahme, dass die Deponierung nicht vollständig unterbunden, sondern gemäß den Vorgaben der EU-Deponierichtlinie von 1999 reduziert wird, ergeben sich in der EU-15 ebenfalls beachtliche Reduktionspotenziale für Treibhausgasemissionen. Danach sind die Deponiemengen an biologisch abbaubarer Substanz bis 2006 auf 75 %, bis 2009 auf 50 % und bis 2016 auf 35 % der Menge von 1995 zu reduzieren. Da auf der Deponie ausschließlich die abbaubare Menge zu Methanemissionen führt, kann für das hier angewandte Rechenmodell eine entsprechende Reduktion des gesamten Abfallinputs auf die Deponien angesetzt werden (vergleiche Anhang 7, Tabelle A7.1). Da in Deutschland ab 2005 so gut wie keine biologisch abbaubaren Abfälle mehr deponiert werden, wurde der Wert auf Null korrigiert.

Tabelle 4.6 zeigt, dass allein die konsequente Einhaltung der Deponierichtlinie bis 2016 ein erhebliches Reduktionspotenzial für Treibhausgasemissionen von 74 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch Deponiegas mit sich bringen kann.

Würden die Abfallmengen, die nicht mehr deponiert werden in entsprechendem Umfang stofflich und energetisch verwertet werden wie in dem obigen Beispiel angesetzt, könnte dies nochmals zu ähnlichen Einsparungen für diese Entsorgungswege in der Größenordnung von 30 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Jahr (vergleiche Tabelle 4.5) führen.

Tabelle 4.6 Deponiebürtige Treibhausgasemissionen in der EU-15 in Abhängigkeit der deponierten Menge biologisch abbaubarer Abfälle (spezifische Belastung 928 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente je t Abfall)

	<b>Abfälle 1.000 t</b>	<b>Treibhausgase Mio t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>	<b>Reduktion zu 2000 Mio t CO<sub>2</sub>-Äq.</b>
Bezugsjahr			
1995	111.240	103	-
Ist 2000	103.858	96	-
2006	66.360	62	42
2009	44.240	41	62
2016	30.968	29	74

## **5 Optionen zur Ausschöpfung vorhandener Effizienzsteigerungspotenziale bei der Energienutzung**

Effizienzpotenziale werden in folgenden Bereichen gesehen:

1. Intensivierung von KWK bei MVA und EBS-Spezialkraftwerken
2. Erhöhte Bereitstellung und Nutzung von Prozessdampf
3. Einsatz von qualitätsgesicherten Sekundärbrennstoffen in Mitverbrennungsprozessen
4. Intensivierung der effizienten Stromgewinnung in MVA, möglichst in Verbindung mit KWK.

Für die Mitverbrennung von Abfällen sind durch den Emissionshandel neue Anreize geschaffen worden und im Normalfall bedarf sie keiner zusätzlichen Unterstützung.

Qualitätsgesicherte Sekundärbrennstoffe, die in hocheffizienten industriellen Feuerungsprozessen mitverbrannt werden, wirken sich aufgrund ihres biogenen Anteils im Rahmen des Emissionshandels positiv für diese Feuerungsanlagen aus. Bei den Feuerungsanlagen handelt es sich in der Regel um Stein- bzw. Braunkohlekraftwerke und um Zementwerke.

Durch verbesserte Sortiertechniken (Positivsortierung) können zukünftig ganz gezielt und beständig die Brennstoffqualitäten hergestellt werden, die von den Kraftwerksbetreibern und der Industrie gewünscht werden. Dadurch können weitere Anlagen für den Einsatz von SBS gewonnen werden. Die intelligente Kombination von MVA und modernen Kraftwerken (z.B. Einspeisung von Heißdampf aus MVA in GuD-Anlagen) stellt eine weitere Möglichkeit dar, die Energiebereitstellung aus der Verbrennung von Abfällen zu optimieren.

Maßnahmen zur Förderung der effizienten Energienutzung könnten grundsätzlich den Neubau von Anlagen beeinflussen. Ziel wäre dabei, die Verschwendung nutzbarer Energiepotenziale und die Abgabe als zusätzlich die Umwelt belastende Abwärme unwirtschaftlich zu machen. Bei der Planung von Neuanlagen sollte die effiziente Energienutzung bereits ein wichtiges Kriterium sein und beispielsweise die Standortauswahl wesentlich mitbestimmen.

Es ist aber nicht zielführend, Instrumente lediglich auf den Neubau von Anlagen auszurichten, da in den nächsten Jahren kein nennenswerter Zubau von Anlagen zur energetischen Nutzung von Abfällen zu erwarten ist. Deshalb müssen die Instrumente besonders auf Verbesserungen im Anlagenbestand abzielen. In diesem Kapitel werden denkbare Instrumente kurz beschrieben, ohne dass eine abschließende Empfehlung für ein bestimmtes Instrument oder einer Kombination verschiedener Instrumente gegeben wird.



Dies könnte erst nach einer genauen Erhebung der Ist-Situation im Rahmen der Durchführung von ökonomischen und ökologischen Wirkungsanalysen erfolgen.

## 5.1 Wärmenetze

Häufig sind fehlende Wärmenetze am Anlagenstandort ein Grund dafür, dass keine Abnehmer für die Wärme aus MVAs gefunden werden können. Die Förderung von Fernwärmenetzen würde die Wärmenutzung auch bei anderen Anlagen steigern. Das betrifft sowohl die herkömmlichen Energiegewinnungs- oder Produktionsanlagen als auch die Gewinnung von regenerativer Energie, z. B. in Biomasseheizkraftwerken und Solaranlagen.

Wäre dieses Investitionshemmnis für die Neuerrichtung oder Erweiterung von Wärmenetzen beseitigt, könnte zum Beispiel die MVA infolge der möglichen günstigen Einspeisepreise von Wärme Vorteile insbesondere gegenüber Produktionsanlagen nutzen, die meist erst noch Heißdampf produzieren müssten, der bei Müll(heiz)-, Kohle- und Biomassekraftwerken prozessbedingt anfällt.

Für die Förderung von Wärmenetzen müsste ein Investitionsförderungsprogramm eingeführt werden, dass in der Größenordnung von 25-35 %<sup>17</sup> der Investitionskosten bezuschusst bzw. äquivalente Finanzierungsbedingungen (Zinsverbilligung) bietet.

Zur Finanzierung dieses Instruments ist die Kopplung mit weiteren hier diskutierten Maßnahmen möglich. Außerdem sollten die Bedingungen zur Einspeisung von Wärme aus regenerativen Brennstoffen und KWK (mindestens zu marktüblichen Bedingungen) in die geförderten Wärmenetze geregelt werden.

## 5.2 Regeneratives Wärmegesetz

Die Nutzung der regenerativen Anteile im Restabfall führt zur Bereitstellung von erneuerbarer Energie, die in einem zukünftigen regenerativen Wärmegesetz geregelt werden könnte. Möglich wäre zur Förderung der Wärmenutzung eine Wärmeeinspeisungsvergütung, bei der (nach dem Vorbild der Vergütung für Strom im EEG) die Einspeisung von Wärme in Wärmenetze über den Marktpreis hinaus durch eine – auf alle Wärmekunden umzulegende – Vergütung bezuschusst wird. Da die Nutzung von Wärme aber noch effektiver ist, wenn Produzent und Abnehmer der Wärme in direkter Nachbarschaft oder sogar in einem Anlagenverbund liegen, sollte auch die direkte Wärmenutzung im Rahmen eines Gesetzes zur Förderung regenerativer Wärmenutzung geregelt werden.

Der Vergütung müsste eine Erhebung und einvernehmliche Festschreibung der regenerativen C-Anteile im Abfall zugrunde liegen, die wiederum in regelmäßigen Abstand kontrolliert und fortgeschrieben werden müsste. Andernfalls wäre die Messung und Kontrolle im Betrieb, mit dem damit verbundenen Aufwand, notwendig.

---

<sup>17</sup> Das Zukunftsinvestitionsprogramm ZIP 1 löste von 1977 bis 1981 mit einer Fördersumme von 730 Mio DM eine Investitionssumme von 2,6 Mrd. DM aus, was einer Förderquote von 28 % entsprach [AGFW 2000]

Mit der Förderung der Nutzung der Wärme aus dem regenerativen Anteil des Abfalls wird indirekt auch die Wärmenutzung aus dem fossilen Anteil unterstützt, schließlich profitiert diese aus einem Infrastrukturausbau gleichermaßen.

Da eine entsprechende Förderung grundsätzlich nur auf die ansonsten nicht umsetzbaren Wärmeanteile abzielen kann, muss der Status Quo der Wärmeauskopplung bei der Müllverbrennung als Bemessungsgrundlage definiert werden. Die Finanzierung entsprechender Vergütungen, i.A. müsste mehr oder weniger aufkommensneutral aus dem System selbst bereitgestellt werden. Eine entsprechende Regelung zur Finanzierung ist beim Wärmemarkt, der häufig für jeden Einzelfall ganz spezielle Rahmenbedingungen aufweist, deutlich schwieriger zu finden als beim Strommarkt.

### **5.3 Abwärmeabgabe**

Durch eine Abwärmeabgabe würde die Wirtschaftlichkeit zur Auskopplung von Wärme eher erreicht werden, da neben den Einnahmen für die abgegebene Wärme noch eingesparte Abgaben zu Buche schlagen, das System also doppelt wirkt. Das Abgabenaufkommen muss zweckgebunden eingesetzt werden, also den gleichen Zweck verfolgen wie die Abgabe selbst [Öko-Institut 1997]. Deshalb hat die Aufgabe gleich in doppelter Hinsicht lenkende Wirkung: durch die Erhebung der Abgabe und insbesondere durch ihre Aufkommensverwendung. Infrage kommen dafür die hier diskutierten Instrumente, wie beispielsweise die Förderung der Wärmenetze und das regenerative Wärmegesetz.

Die Bemessung der Höhe einer Abwärmeabgabe sollte differenziert ausgestaltet sein und Altanlagen, bei denen trotz in Anspruchnahme von Förderinstrumenten zur Abwärmenutzung keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann, in geringerem Umfang belasten als Neuanlagen. Die Abwärmeabgabe sollte außerdem den Stand der Technik berücksichtigen. Das heißt, die Abgabe würde nur für Anlagen anfallen, die mehr Abwärme produzieren, als dem Stand der Technik entspricht.

Der Nachteil einer Wärmeabgabe ist, dass eine Akzeptanz hierfür bei den Betroffenen schwer zu erreichen sein wird. Neben den zusätzlichen finanziellen Belastungen wird oft auch der zusätzliche Verwaltungsaufwand ins Feld geführt.

Auf der Nachfrageseite können Abgaben für Wärmenutzer, die nicht mindestens einen vorzugebenden Teil ihrer Wärme aus KWK oder regenerativ erzeugter Wärme beziehen, die Nachfrage nach KWK-Wärme steigern. Ebenfalls könnten Wärmenetzbetreiber ein Mindestanteil an Wärme aus KWK oder regenerativen Brennstoffen vorgegeben werden.

### **5.4 Förderung von Premiumstrom/-wärme**

Anlagenbetreiber könnten auch eine Prämie für Strom und Wärme erhalten, die aus Leistungszuwachs infolge einer Effizienzsteigerung resultieren. Dazu wäre der Standard der Energienutzung bei der Abfallverbrennung zu definieren. Die zusätzlich ausgekoppelte Energie in optimierten Anlagen wird als „Premiumstrom“ bzw. „Premiumwärme“ bezuschusst.

Entsprechende Programme werden in den Niederlanden erfolgreich durchgeführt. Der Vorteil ist, dass ganz gezielt nur der Teil der abgegebenen Energie gefördert wird, der über das übliche Maß hinaus genutzt wird. Hierdurch würden auch Anlagen profitieren, die bereits in der Vergangenheit gute Wirkungsgrade erreicht haben und damit eine Vorreiterrolle übernommen haben. Für die Finanzierung dieses Instruments müsste der Energiemarkt die Mittel selbst erbringen.

## **5.5 Förderung von KWK-Strom**

Die Förderung von KWK-Strom und damit indirekt auch der KWK-Wärme ist bereits im Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 1. April 2002 geregelt. Eine Steigerung der Bonussätze könnte die Auskopplung von Wärme wirtschaftlich attraktiver gestalten. Die Akzeptanz der Netzbetreiber an der Finanzierung erhöhter Boni für KWK-Strom ist allerdings gering.

## **5.6 Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP)**

Insgesamt könnte ein Investitionsprogramm zur Förderung von Zukunftstechnologien (ZIP) die energetische Nutzung von Siedlungsabfällen effektiv unterstützen. Beispielsweise könnte durch die Weiterentwicklung moderner Wärmenutzungstechnologien, wie etwa die mobile Wärmespeicherung (z.B. mit Zeolithen), die Kältebereitstellung aus Wärme, Trocknungsverfahren auf der Basis von Niedrigtemperaturdampf usw. die Nutzung von Abwärme gesteigert werden. Besonders kommt es darauf an, zu Zeiten eines geringen Heizwärmebedarfs (in den Sommermonaten und nachts) geeignete Anwendungen für die angebotene Wärme weiter zu entwickeln. Noch wichtiger als die Förderung von technischen Neuentwicklungen ist allerdings die Unterstützung der Markteinführung von neuen Technologien, die an der Grenze zur Marktreife stehen.

## **5.7 Joint Implementation/Clean Development Mechanism**

Die projektbezogenen Mechanismen Joint Implementation (JI) und Clean Development Mechanism (CDM) sind im Kyoto-Protokoll festgelegte Instrumente, die es den Industrie- und Schwellenländern ermöglichen, einen Teil ihrer Verpflichtungen aus dem Kioto-Protokoll zur Minderung ihrer Treibhausgasemissionen zu möglichst geringen Kosten auch außerhalb ihres Territoriums einzulösen. Die sog. Linking-Directive [2004/101/EG] regelt die Verknüpfung dieser Kyoto-Mechanismen mit dem europäischen Emissionshandel. Danach können die dem Emissionshandel unterliegenden Unternehmen ihre Verpflichtung zur Abgabe von Berechtigungen zukünftig auch durch Abgabe von Emissionsgutschriften erfüllen, die im Rahmen derartiger Projekte für erzielte Emissionsminderungen ausgestellt wurden.

Mit dem Gesetz zur Einführung der projektbezogenen Mechanismen, das bereits von Bundestag und Bundesrat verabschiedet wurde, werden die nationalen Rechtsgrundlagen für die Durchführung der Projektstätigkeiten nach den internationalen Vorgaben sowie für die Umsetzung der Linking-Directive geschaffen.

Entsprechend den Vorgaben der Linking-Directive und dem Kyoto-Protokoll werden die Emissionsgutschriften aus JI-Projekten ab dem Jahr 2008 und die aus dem CDM bereits von Beginn an bzw. ab Inkrafttreten der genannten gesetzlichen Grundlage im EU-Emissionshandel genutzt werden können.

Diese Instrumente zielen darauf ab, die internationalen Bemühungen zur Einsparung von Treibhausgasemissionen flexibler zu gestalten. Deponiegasprojekte spielen im Rahmen dieser Instrumente, wie jetzt bereits rückblickend auf die Startphase der Kyoto-Mechanismen gesehen werden kann, eine herausragende Rolle. Ihr internationaler Replikationswert ist ausgesprochen hoch.

## 6 Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung bei der energetischen Nutzung von Restabfällen

In diesem Kapitel werden am Beispiel der Müllverbrennung die systembedingten Möglichkeiten und Probleme bei der Steigerung der Energieauskopplung etwas näher beleuchtet.

### 6.1 Stromauskopplung aus der Müllverbrennung

#### 6.1.1 Stand der Technik

Bei der Bewertung der Wirkungsgrade der MVA bezüglich Energieausbeute ist immer zu berücksichtigen, dass der Hauptzweck der Müllverbrennung die Behandlung von Abfällen ist und nur als Beiprodukt die anfallende Energie genutzt wird. Wesentliche Unterschiede zur Gewinnung von Energie aus Primär-Energieträgern sind die:

- inhomogene Zusammensetzung des Brennstoffes ‚Abfall‘ sowie
- höheren Schadstoffgehalte im Abfall.

Aus diesem Grund sind der energetischen Nutzung bei der Abfallverbrennung technisch und/oder wirtschaftlich Grenzen gesetzt. Die wesentlichen Gründe hierfür sind:

1. Begrenzung der Dampfparameter

Wegen des hohen Chlorgehaltes im Abfall und dessen Korrosivität, können Kessel nicht mit teuren hochwarmfesten Stählen ausgerüstet und daher nur mit suboptimalen Drücken und Temperaturen betrieben werden. Übliche Dampfparameter in der MVA liegen daher bei Temperaturen um 400 C° und Drücken um 40 bar. Dieser Kompromiss lässt noch hohe Kesselverfügbarkeit zu und ermöglicht einen theoretischen Stromerzeugungswirkungsgrad von 31,8 % [Schirmer 2002a]. Bei reiner Verstromung des erzeugten Dampfes erreichen die bezüglich der Energiegewinnung besten deutschen MVA einen Wirkungsgrad von ca. 21 %.<sup>18</sup>

2. Hoher Eigenenergieverbrauch

Gegenüber Kraftwerken für Primärbrennstoffe ist der Eigenenergieverbrauch der MVA deutlich höher. Dies liegt in den höheren Aufwendungen für das Brennstoffhandling und die Abgasreinigung begründet. Derzeit sind für den Eigenbedarf von MVA, gemessen an der mit dem Abfall eingebrachten Energie, im Durchschnitt ca. 4 % Strom, 6,5 % Wärme und 3,5 % Fremdenergie anzusetzen (Öko-Institut 2002, Reimann 2005).

3. Abgasverluste

Der thermische Wirkungsgrad einer Verbrennungsanlage wird durch die mit dem

---

<sup>18</sup> In den NL ist durch gezielte Strom-Förderung der Strom-Wirkungsgrad einer Anlage bis auf 29% gesteigert worden. (Siehe hierzu auch die Studie von Wandschneider und Gutjahr Juni 2005 für die Schweiz zum Ausbau der Energienutzung bei der KVA.)

Abgas ausgetragene Wärme begrenzt. Je mehr Abgas den Kessel verlässt und je höher dessen Temperatur ist, umso höher sind die Verluste. Zur sicheren Zerstörung der Schadstoffe im Abfall ist ein hoher Luftüberschuss im Verbrennungsgas erforderlich, was eine hohe Abgasmenge bedingt. Für die Abgasreinigung ist eine Mindesttemperatur des Abgases erforderlich, die dessen Nutzung im Kessel begrenzt. Kesselaustrittstemperaturen unter 170 °C sind deshalb kaum möglich, es sei denn, das Rauchgas wird aufwendig wieder erhitzt.

#### 4. Brennstoffbedingte Wärmeverluste

Durch den hohen Anteil an nicht Brennbarem (Inertstoffen) im Abfall entstehen Verluste durch den Wärmeartrag mit der Asche. Der hohe Wassergehalt im Abfall (ca. 30 %) führt zu Verlusten, da für dessen Verdampfung Wärme erforderlich ist.

### 6.1.2 Technische Möglichkeiten

Eine Reihe von Anlagen arbeitet jedoch mit Dampftemperaturen bzw. –drücken deutlich unter 400 °C und 40 bar. Bei diesen Anlagen ist eine Erhöhung der Frischdampfparameter zumindest mittelfristig im Rahmen einer Erneuerung der Kesselanlagen trotz des nicht unerheblichen Investitionsbedarfs technisch möglich.

Mit erhöhten Dampfdrücken und –temperaturen lassen sich grundsätzlich auch höhere Wirkungsgrade erreichen. So errechnet sich bei 100 bar und 500 °C ein theoretischer Stromerzeugungswirkungsgrad von ca. 34 %. Noch höhere Kesseldrücke bringen aber eine Reihe von Nachteilen mit sich:

- Bei der Entspannung auf das übliche Vakuum (0,05 bar) ergibt sich eine Dampf- feuchte, die die Turbine nicht verkraftet, was dazu führt, dass eine Zwischen- überhitzung zur „Trocknung“ des Dampfes erforderlich ist.
- Ein höherer Dampfdruck bedeutet auch höhere Kesseltemperaturen im Ver- dampferbereich, was die korrosive Wirkung der Salzfracht im Feuerraum verstärkt.
- Temperaturen über 500 °C und Drücke über 120 bar erfordern Rohrwerkstoffe, die bei den für MVA typischen mechanischen Beanspruchungen aufgrund ihrer Sprödigkeit problematisch sind. Darüber hinaus weisen diese Werkstoffe eine wesentlich geringere Chlor-Resistenz auf.

Eine weitere Maßnahme zur optimierten Wärmenutzung besteht in der Reduzierung des Luftüberschusses durch optimierte Verbrennungsführung mit einer damit verbundenen Reduzierung der Verbrennungsluftmenge. Je geringer die Verbrennungsluftmengen, desto geringer sind auch die Rauchgasvolumenströme mit den damit verbundenen Verlusten durch Wiederaufheizung etc.

Die Probleme durch Salzkorrosion lassen sich umgehen, wenn die für eine effiziente Energienutzung erforderlichen Dampfparameter durch die kombinierte Nutzung von Abfall und Edelfbrennstoffen, z. B. Erdgas erreicht wird. Mit dem Abfall wird der Dampf nur so weit erhitzt, dass Korrosionsprobleme gar nicht auftreten oder in Grenzen gehalten werden

können. Mit Hilfe des Edelbrennstoffes werden dann die für optimale Wirkungsgrade erforderlichen Dampftemperaturen erreicht.

Aus der Praxis lassen sich hierzu die zwei folgenden Beispiele nennen.

In der MVA Mannheim wird ein aufgesetzter, mit Edelbrennstoff beheizter Kessel betrieben, mit dem Dampfdrücke von 120 bar und Temperaturen von 500° C erreicht werden. Der über den Edelbrennstoff zusätzlich erforderliche Energiebedarf liegt bei ca. 15 % der eingesetzten Abfallwärme. Ähnliche Konzepte wurden in Anlagen in Dänemark und Holland realisiert [Schirmer 2002b].

In Mainz wird eine MVA im Verbund mit einem Erdgas-GuD-Kraftwerk betrieben. Dort wird der MVA-Frischdampf (400 °C, 40 bar) mit dem Rauchgas einer 400-MW-GuD-Anlage isobar weiter aufgeheizt und dem MD- und ND-Teil der Dampfturbine der GuD-Anlage zugeführt, so dass der Einsatz von zusätzlichen Edelbrennstoffen nicht erforderlich ist. Der Wirkungsgrad der MVA lässt sich hierdurch gegenüber herkömmlichen MVA deutlich erhöhen, da die größere Dampfturbine der GuD-Anlage effizienter arbeitet als bei Auslegung auf MVA-Dampf alleine.

## **6.2 Probleme bei der Nutzung von KWK-Wärme und Prozessdampf**

Zusätzlich zur Stromabgabe weist die MVA ein erhebliches Nutzungspotenzial für Dampf in Form von Fernwärme und Prozessdampf auf. Bei elektrischen Wirkungsgraden von 5 bis 15 % sind Gesamtnutzungsgrade durch Kraft-Wärme-Kopplung von bis zu 70 % möglich. So nutzen beispielsweise die 5 derzeit in Deutschland betriebenen Anlagen mit den jeweils höchsten energetischen Wirkungsgraden neben einer durchschnittlichen Stromabgabe von 7,6 % der eingebrachten Brennstoffenergie zusätzlich ca. 60 % Abfallwärme in Form von Fernwärme oder Prozessdampf. Andere Anlagen wiederum kommen lediglich auf Gesamtwirkungsgrade von ca. 18 %, wovon durchschnittlich 4,6 % auf Stromabgabe entfallen [Öko-Institut 2002]. Bei solchen Anlagen kann demnach ein erheblicher Anteil des erzeugten Dampfes nicht genutzt werden.

Die Gründe hierfür sind vielfältig:

- Die, für die Nutzung von Dampf erforderliche Infrastruktur in Form von Fernwärme- und Prozessdampfnetzen ist nicht vorhanden.
- MVA-Fernwärme dient z. T. zur Abdeckung von Mittel- und Spitzenlasten. Zur Deckung der Grundlast werden in der Regel fossil befeuerte Heizkraftwerke eingesetzt. Eine Grundlast-Fernwärmeversorgung aus der MVA steht vielfach in Konkurrenz zu diesen von Stadtwerken betriebenen HKW's und würde den Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit der kohle- oder erdgasgefeuerten Heizkraftwerke senken.
- Potenzielle Abnehmer von Prozessdampf und Fernwärme stehen vor Ort nicht zur Verfügung.
- Verträge gestatten nur die Abgabe bestimmter Mengen.



- Der Bedarf an Fernwärme unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen. Insbesondere im Sommerhalbjahr verringert sich der Bedarf für Heizzwecke erheblich.

Zur Nutzung der bestehenden Potenziale für Fernwärme- und Prozessdampfabgabe gibt es grundsätzlich die Möglichkeit der Netzerweiterung. Eine solche ist zur energetischen Optimierung der MVA dann sinnvoll, wenn am MVA-Standort keine oder keine ausreichenden Fernwärme- oder Prozessdampfabgabemöglichkeiten bestehen.

Die Erweiterung oder Neuerrichtung von Fernwärmenetzen setzt eine ausreichende Anschlussdichte voraus (mindestens 15 MW/km<sup>2</sup>, günstig bei über 40 MW/km<sup>2</sup>), da sonst die Wärmeverluste einerseits und die Investitionskosten andererseits (derzeit ca. 500 €/m Fernwärmeleitung) eine Netzeinrichtung oder –erweiterung unrealistisch machen [AGFW 1998]. In Ausnahmefällen kann bei günstigen lokalen Verhältnissen eine Verdichtung von bestehenden Wärmenetzen durch moderne Verlegetechniken und KMR-Rohre auch zu Kostenreduzierungen führen. Dies gilt insbesondere dann, wenn alternativ die Sanierung oder der Neuaufbau eines Erdgasnetzes erfolgen müsste.

Grundsätzlich ist auch eine Nachrüstung der Anlagen mit einer Möglichkeit zur Auskopplung von Prozessdampf möglich. Die Auskopplung von Prozessdampf kann entweder direkt ohne Verstromung des Dampfes zur Eigenbedarfsdeckung in Form einer Entnahme aus der Turbine oder bei Gegendruckturbinen am Austritt der Turbine erfolgen. Der Ausbau der Prozessdampfauskopplung ist jedoch stark an die Standortrahmenbedingungen geknüpft. Aufgrund der hohen Investitionskosten von bis zu 2.000 €/m Dampfleitung und zur Vermeidung von Verlusten sollten die Dampfabnehmer in unmittelbarer Nähe der MVA angesiedelt sein [vgl. Dehoust et al. 1999].

Insbesondere beim Neubau von MVA sollte die Möglichkeit der Dampfabnahme stärker berücksichtigt werden. Neue Anlagen werden derzeit oft ohne Wärmeauskopplung geplant, das zeigt, dass die Rahmenbedingungen zur effizienten Energieauskopplung aus MVA durch entsprechende Anreizprogramme verbessert werden sollten.



## 7 Fazit

Die im Rahmen des Kioto-Protokolls von Deutschland und der EU-15 eingegangenen Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgase stellen eine bisher einzigartige Herausforderung im Bereich des Umweltschutzes dar. Die ambitionierten Ziele können nur erreicht werden, wenn alle vorhandenen Potenziale konsequent genutzt werden.

Die Ergebnisse dieser Studie machen deutlich, dass die Siedlungsabfallwirtschaft einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele in Deutschland beiträgt. Besonders durch das Verbot der Deponierung unbehandelter Abfälle und der damit verbundene Rückgang der Methanemissionen trägt der Abfallsektor an den bisher erreichten Reduktionen den hohen Anteil von 20 % bei. Der Anteil der Siedlungsabfallwirtschaft bleibt aber auch in Zukunft beachtlich: Zum ambitionierten Reduktionsziel von 40 % gegenüber 1990 kann dieser Sektor auch zukünftig mit bis zu 4,6 % beitragen, sofern die geschätzten Potenziale für Altholz und Klärschlamm hinzugezogen werden.

Tabelle 7.1 zeigt die Anteile der wichtigsten Entsorgungswege am Reduktionspotenzial der Siedlungsabfallwirtschaft in den bilanzierten und geschätzten Bandbreiten. Demzufolge kann die MVA bei optimierter Energienutzung etwa zu einem Drittel zu dem Reduktionspotenzial beitragen. Alle energetischen Verfahren zusammen tragen unter den Rahmenbedingungen dieser Bilanz zu ca. 90 % zu dem erreichbaren Reduktionspotenzial bei. Mögliche Steigerungspotenziale der stofflichen Verwertung wurden nicht untersucht.

Tabelle 7.1 Spannweite des Einsparungspotenzial in 2020 gegenüber 2005

	Einsparung	
	von Mio t CO <sub>2</sub> -Äq.	bis Mio t CO <sub>2</sub> -Äq.
MVA	-1,5	-3,0
Mitverbrennung	-1,4*	-3,6**
Altholz	-1,4	-1,4
Bioabfall	0,1	-0,3
stoffliche Verwertung	-0,2	-0,8
Summe	-4,4	-9,1

\* ohne Klärschlamm

\*\* mit Klärschlamm

Zu den gesamten Treibhausgasreduktionen von 1990 bis 2020 haben die eingesparten Deponiegasemissionen zu 76 %, die energetische Verwertung zu ca. 7 %, die stoffliche Verwertung zu 5 % und die MVA zu 9 % beigetragen.

Die zukünftigen Potenziale der Siedlungsabfallwirtschaft lassen sich aber nur nutzen, wenn die zusätzliche Energiebereitstellung aus der thermischen Nutzung von Abfällen unterstützt wird. Keine der diskutierten Optionen wird für sich allein in der Lage sein, die erforderlichen Weichenstellungen zu bewirken. Insofern kann nur ein Mix aus mehreren Maßnahmen zum Erfolg führen. Dieser muss möglichst exakt auf die Situation der bestehenden Müllverbrennungsanlagen und den Marktbedingungen an den Standorten

angepasst werden. Es wird empfohlen hierzu im Sinne einer Akteurskooperation alle Beteiligten an einen Tisch zu holen, um den optimalen Instrumentenmix festzulegen. Hierzu sollte möglichst schnell die konkrete Situation der einzelnen Standorte erhoben werden und mittels Ökologischer und Ökonomischer Wirkungsanalyse bewertet werden. Diese sollte die spezifischen Hemmnisse der einzelnen Anlagen berücksichtigen und das zu erarbeitende Förderprogramm entsprechend ausrichten.

Ein entsprechendes Programm sollte die Umstellung der Bioabfallverwertung von der aeroben zur anaeroben Behandlung unterstützen – inklusive der optimalen Energienutzung des Biogases. Dabei kann auf das bereits installierte Förderinstrument des EEG zurückgegriffen werden. Die beteiligten Akteure sollten darüber informiert werden, wie sie die Möglichkeiten des EEG in vollem Umfang auszuschöpfen können.

Auch in der EU-15 hat die Siedlungsabfallwirtschaft mit 11 % ein großes Potenzial für die Einhaltung der Klimaschutzziele. Um dieses zu nutzen, müssen die Siedlungsabfälle konsequent einem stofflichen und energetischen Recycling zugeführt werden, anstatt sie wie bisher in großem Umfang ohne Vorbehandlung zu deponieren. Ein Meilenstein auf dem Weg dahin könnte ein europaweites Deponieverbot unbehandelter Abfälle sein. Hierfür ist eine flächendeckende Trennung und Verwertung von Bioabfällen und anderen Wertstoffen bei trockenen Abfällen notwendig. Die verbleibenden Mengen sollten dann energetisch genutzt werden.

In jedem Falle sollte von Anfang an auf eine optimierte Auskopplung von Strom und Wärme bei der energetischen Nutzung von Abfällen und Biogas geachtet werden. Die Voraussetzungen hierzu müssen bereits bei der Planung der Anlagen geschaffen werden, in dem z.B. die Anlagenstandorte so gewählt werden, dass für die Wärme Abnehmer gefunden werden können.

## 8 Literatur

- AGFW 1998      Arbeitsgemeinschaft      Fernwärme:      AGFW-Hauptbericht      zur  
Fernwärmeversorgung 1997, Frankfurt a. M. 1998
- BayLfU 2003      Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (LfU): Zusammensetzung und  
Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen, Augsburg 2003
- BfA 1998      Würdinger, E. et al: Studie über die energetische Nutzung der Biomasseanteile in  
Abfällen. BfA GmbH (Bayerisches Institut für Abfallforschung), BfA-Texte  
Nr. 5, Augsburg, April 1998
- BMU 2004      Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in  
Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(Hrsg.); Berlin 2004
- BMU 2005a      Nationales Klimaschutzprogramm 2005; Berlin/Bonn, Juli, 2005
- BMU 2005b      Nationales Klimaschutzprogramm 2005 – Häufig gestellte Fragen (FAQ's)“;  
Berlin/Bonn, Juli, 2005
- BREF 2005      European Comission Institut for Prospective Technolocical Studies (Seville):  
Intergrated Pollution Prevention and Control - Draft Referece Document on the  
Best Available Techniques for Waste Incineration - Final Draft May 2005,  
Sevillia 2005
- Butz 2004      Treibhausgasemissionen aus Deponien – Berichtspflichten, Berechnungsansätze  
und Ergebnisse, Umweltbundesamt, Berlin 2004
- CML 1992      Heijungs, R. et al.: Backgrounds – Environmental Life Cycle Assessment of  
Products, CML Centre of Environmental Science Leiden Univerity, Dutch  
Organisation for Applied Scientific Research Apeldoorn (HG.), B&G Fuels and  
Raew Materials Bureau Rotterdam, 1992
- CML 1992      Heijungs, R. et al.: Backgrounds – Environmental Life Cycle Assessment of  
Products, CML Centre of Environmental Science Leiden Univerity, Dutch  
Organisation for Applied Scientific Research Apeldoorn (HG.), B&G Fuels and  
Raew Materials Bureau Rotterdam, 1992
- CML 2001      Centrum voor Milieukunde: spreadsheet with characterisation factors for the  
Problem Oriented Approach and for the Damage Approach Eco-Indicator 99.  
Version 2.5, Update September 2001; Leiden 2001;  
<http://www.leidenuniv.nl/cml/lca2/index.html>
- De Groot 1999      De Groot, M., Van Lierop, W.-E. (DHV Amersfoort, NL): Environmental  
efficiency of composting versus anaerobic digestion of seperately collected,  
organic waste. In ORBIT 1999, S. 667-676
- Dehoust et al. 1998      Dehoust, G. et al.: Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der  
Restabfallbehandlung für die Stadt Münster. Öko-Institut, Darmstadt, August  
1998
- Dehoust et al. 1999      Dehoust, G. et al.: Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung  
von Verpackungstoffen. Öko-Institut, Darmstadt; Deutsche Projekt Union,  
Essen; November 1999

- 
- Deuber, Herold 2005      “Overview on inventory methods and parameters used in the waste sector in European greenhouse gas inventories - Background paper for Workshop on waste (CRF Sector 6)”; Öko-Institut e.V.; Berlin, Mai, 2005
- EEA 2005      “Waste management in Europe and the Landfill Directive” – Background paper from the ETC/RWM to the ETC/ACC workshop ‘Inventories and Projections of Greenhouse Gas Emissions from Waste’; European Environment Agency; Brüssel, April, 2005
- EPER 2004      Ergebnisse zur Ersten Berichterstattung zum Europäischen Schadstoffregister – EPER; Umweltbundesamt, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Berlin, Karlsruhe, Juni, 2004
- ETH 1998      Frischknecht; R. et. Al.: Ökobilanz-Allokationsmethoden. ETH Zürich 1998.
- EU 2004      Richtlinie zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System des E-Handels im Sinne der projektbezogenen Mechanismen; Brüssel 13.11.2004
- EU DG-TREN 2003      European Energy and Transport Trends to 2030 (PRIMES), European Commission Directorate-General for Transport and Energy, Brüssel, 2003
- Eurich-Menden 1996      Eurich-Menden, B. et al: Humuswirtschaft in Deutschland – Literaturstudie der Universität Giessen zur vergleichenden Darstellung des Kreislaufs organischer Substanz im Naturhaushalt unter Berücksichtigung des Umfeldes in der Industrie-Gesellschaft Deutschlands, Giesen 1996
- Europäische Kommission 2003      „Waste generated and treated in Europe – Data 1990 – 2001“; Luxemburg, 2003
- Fritsche et al. 2004      Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Öko-Institut, IUSE, IE, ifeu, izes, TU Braunschweig, TU München; Freiburg/Darmstadt/Berlin, 2004
- GEMIS 1994      Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen – Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) – Version 2.1, aktualisierter und erweiterter Endbericht, i.A. des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, und Bundesangelegenheiten, Darmstadt/Kassel 1994.
- GEMIS 2005      Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3, Darmstadt 2005
- ifeu 1999      Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Orlik, W.; Schwarz, M.: Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft. UBA Texte 10/1999, Berlin 1999
- ifeu 2001a      Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. FuE-Vorhaben des Umweltbundesamtes Berlin, Arbeitsgemeinschaft aus HTP, Ingenieurges. f. Aufbereitungstechnik und Umweltverfahrenstechnik, Aachen und ifeu-Institut Heidelberg, 2001
- Ifeu 2001b      Untersuchung zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen. Gefördert von der deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (AZ 08848), ifeu-Institut Heidelberg, Dezember, 2001

---

IPCC 1996°	Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
IPCC 1996b	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 1995 – The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J. T. Houghton et al. (eds.), Cambridge 1996
Johnke et al. 2004	Johnke, Scheffran, Soye (Hrsg.): Abfall, Energie und Klima – Wege und Konzepte für eine integrierte Ressourcenschonung, Erich Schmidt Verlag; Potsdam 2004
Johnke, Butz 2005	Klimarelevanz der Abfallwirtschaft, Umweltbundesamt, Berlin 2005
Johnke, Treder 2004	Abfallwirtschaft, Energienutzung und Emissionsminderung bei Treibhausgasen; in Johnke et al. 2004
Kern et al. 1998	Kern, M. et al.: Stand der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland, Teil 1: Kompostierung. In Müll und Abfall 11, 1998 S. 694-699
LAGA 2004	Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz – Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung – 3. Fortschreibung – Stand 31.08.2004; Landesarbeitsgemeinschaft Abfall; Mainz, 2004
NIR 2005	German Greenhouse Gas Inventory 1990-2003. National Inventory Report 2005, Umweltbundesamt, Berlin, April, 2005
Öko 2003	Auswirkungen des europäischen Emissionshandels auf die deutsche Industrie, Öko-Institut e.V., Deutsches Institut für Wirtschaftsförderung, ecofys, Untersuchung im Auftrag der Bundesumweltministeriums und WWF Deutschland; Berlin, 2003
Öko/BASF 2003	Dehoust, Dr. Kicherer et al.: Liberalisierung in der Abfallwirtschaft, Öko-Institut e.V. und BASF im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, Darmstadt/Ludwigshafen 2003
Öko/ifeu 2001	Knappe, Dehoust et al.: Systemvergleich der Abfallentsorgung für den Landkreis Delitzsch unter besonderer Berücksichtigung von ökologischer Vertretbarkeit und Auswirkungen auf die Schutzgüter nach UVPG. Im Auftrag des Landkreises Delitzsch, ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Öko-Institut Darmstadt, Juli 2001
Öko-igw 2003	Zukünftige Restabfallbehandlung im Landkreis Ebersberg, Ingenieursgemeinschaft Witzenhausen, Öko-Institut e.V., im Auftrag des Landkreises Ebersberg; Witzenhausen, Darmstadt 2003
Öko-Institut 1997	Cames, C. et al.: Wirkungsanalyse für ökologisch orientierte Abgaben in Nordrhein-Westfalen; Darmstadt, Berlin 1997
Öko-Institut 1999	Fritsche, U.; Rausch, L.; Jenseit, W.: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) und HAB, Weimar; Darmstadt 1999
Öko-Institut 2002	Dehoust, G. et al.: Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen Deutschland (ITAD), Darmstadt 2002
Patyk und Reinhardt 1997	Patyk, A., Reinhardt, G.: Düngemittel – Energie und Stoffstrombilanzen, Wiesbaden 1997
Reimann 2005	Energiedaten zur thermischen Restabfallbehandlung, Kennzahlen zur Energie

---

	und zur Anlagennutzung sowie Wirkungsgrade deutscher Abfallverbrennungsanlagen in dem Zeitraum 2001 – 2004; Bericht für die Interessengemeinschaft Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.; Bamberg/Würzburg, 2005
Schirmer 2002a	Schreiben von Dr. U. Schirmer, MVA Essen-Karnap, vom 6.2.2002
Schirmer 2002b	Nachricht von Herr Schirmer, VGB Power Tech, Essen, Februar 2002
StBA 1994	Fachserie 19, Reihe 1.1. Umweltschutz, Öffentliche Abfallbeseitigung; 1990 Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 1994
StBA 1997	Statistisches Bundesamt: Produzierendes Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 8.2, Düngemittelversorgung, Wirtschaftsjahr 1996/1997, Wiesbaden 1997
StBA 2003	Fachserie 19, Reihe 1. Umwelt, Abfallentsorgung 2001; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2003
StBA 2004	Vom Statistischen Bundesamt übermittelte Zahlen, Mai 2004
UBA 1995	Umweltbundesamt: Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen - Wirkungsbilanz und Bewertung. Texte 23/95; Berlin 1995.
UBA 2004	Hermann, T., Goldau, K.: Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in Deutschland. Umweltbundesamt (UBA) Fachgebiet III 3.3 Abfallbehandlung Ablagerung, 3. überarbeitete Auflage, Berlin August 2004
UBA/DEHST 2005	Klimaschutz: Joint Implementation und Clean Development Mechanism – Die projektbasierten Mechanismen des Kyoto-Protokolls; Umweltbundesamt/Deutsche Emissionshandelsstelle, Berlin 2005
VKS 2002	Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. – VKS. Informationsschrift 57, VKS-Betriebsdatenauswertung 2002, Köln
Wallmann 1999	Wallmann, R.: Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen, Schriftenreihe des Arbeitskreises zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen ANS e.V. Heft 38 April 1999
Wollny 2002	Abschätzung des Gehaltes an nachwachsendem Kohlenstoff in einzelnen Abfallfraktionen bezogen auf den Glühverlust, Öko-Institut, Darmstadt, März 2002

## **9 Anhang**

**Anhang 1: Abfallverbleib**

**Anhang 2: Strom- und Wärmegutschriften**

**Anhang 3: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse**

**Anhang 4: Netto-Bonus und spezifischer Beitrag GWP**

**Anhang 5: Gemeldete Beiträge der MVA (EU-15)**

**Anhang 6: Abfallmengen in der EU-15 für das Jahr 1990**

**Anhang 7: Deponierte Abfallmengen in der EU-15 für das Jahr 1995**

## Anhang 1: Abfallverbleib

Tabelle A1.1 Verbleib der Abfälle wie bilanziert (Abfallmengen in Tonnen)

Entsorgungswege	1990	2005	2020 Basis I	2020 Basis II	2020 Optimiert
Altpapier	1.604.758	7.599.985	7.599.985	7.599.985	7.599.985
Altglas	1.314.393	3.171.583	3.171.583	3.171.583	3.171.583
Leichtverpackungen		2.121.948	2.121.948	2.121.948	2.121.948
Organische Abfälle in Behandlung HM, HMG, Sperrmüll über Müllabfuhr	1.005.790	7.604.000	7.604.000	7.604.000	7.604.000
Sperrmüll (gesondert angeliefert)		685.833	685.833	685.833	685.833
Sperrmüll (gesondert angeliefert)	107.205	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	312.271	1.794.000	1.794.000	1.794.000	1.794.000
<b>Summe Input Verwertung*<sup>1</sup></b>	<b>4.344.417</b>	<b>23.977.349</b>	<b>23.977.349</b>	<b>23.977.349</b>	<b>23.977.349</b>
<b>Summe Input MBA*<sup>2</sup></b>		<b>6.221.000</b>	<b>7.122.000</b>	<b>7.122.000</b>	<b>7.122.000</b>
Papierschlämme	72.281	396.544	396.544	396.544	396.544
Abfälle aus LVP-Sortierung HMG* <sup>3</sup>		452.622	558.539	558.539	558.539
		440.000	440.000		
SBS aus MBA		1.244.200	1.424.400	2.136.600	2.136.600
<b>Summe Input Mitverbrennung</b>	<b>72.281</b>	<b>2.093.366</b>	<b>3.529.483</b>	<b>3.531.683</b>	<b>3.531.683</b>
HM, HMG, Sperrmüll über Müllabfuhr	5.586.510	9.303.637	8.402.637	8.402.637	8.402.637
Sperrmüll (gesondert angeliefert)	366.863				
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	1.789.968	2.366.940	1.216.940	1.926.940	1.926.940
Organische Abfälle in MVA	28.208				
Reste aus Bioabfallbehandlung		4.000	4.000	4.000	4.000
GPF		382.000	382.000	382.000	382.000
<b>Summe Primärabfälle zur MVA</b>	<b>7.771.549</b>	<b>12.056.577</b>	<b>10.005.577</b>	<b>10.715.577</b>	<b>10.715.577</b>
Abfälle aus Papiersortierung	76.143	75.247	75.247	75.247	75.247
Spuckstoffe aus Deinking	7.948	43.604	43.604	43.604	43.604
Abfälle aus Glasaufbereitung (Etikette, Verschlüsse)	7.744	19.233	19.233	19.233	19.233
Abfälle aus LVP-Sortierung/-Aufb.		658.021	700.016	700.016	700.016
Abfälle aus Kompostierung	50.290	340.738	340.738	340.738	76.040
Abfälle aus Vergärung		39.462	39.462	39.462	304.160
Sortierreste MBA zur MVA		186.630	213.660	213.660	213.660
MBA-Rest zur MVA			4.799.658	4.148.423	4.148.423
<b>Summe Sekundärabfälle zur MVA</b>	<b>142.124</b>	<b>1.362.934</b>	<b>6.231.618</b>	<b>5.580.383</b>	<b>5.580.383</b>
<b>Summe Input MVA gesamt*<sup>4</sup></b>	<b>7.913.673</b>	<b>13.419.511</b>	<b>16.237.195</b>	<b>16.295.960</b>	<b>16.295.960</b>
Schlacke aus der MVA* <sup>5</sup>	1.301.799	2.300.279	2.806.489	2.806.698	2.806.698



Tabelle A1.1 Fortsetzung: Verbleib der Abfälle wie bilanziert

<b>Fe-Metalle aus MBA und MVA</b>	<b>109.390</b>	<b>309.916</b>	<b>354.532</b>	<b>447.852</b>	<b>447.852</b>
<b>NE-Metalle aus MBA und MVA</b>	<b>12.833</b>	<b>15.041</b>	<b>52.534</b>	<b>52.534</b>	<b>52.534</b>
HM, HMG, Sperrmüll über Müllabfuhr	24.874.343				
Sperrmüll (gesondert angeliefert)	2.952.624				
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	13.136.219				
Organische Abfälle	948.308				
<b>Summe Primärabfälle zur Deponie</b>	<b>41.911.494</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
inerte Abfälle aus Papiersortierung	73.744	0	0	0	0
inerte Abfälle aus Glassortierung	30.650	31.716	31.716	31.716	31.716
inerte Abfälle aus Vergärung		31.570	31.570	31.570	243.328
<b>Summe Sortierreste zur Deponie</b>	<b>104.394</b>	<b>63.285</b>	<b>63.285</b>	<b>63.285</b>	<b>275.044</b>
MVA-Schlacke zur Inertstoffdeponie	83.094	146.826	179.138	179.151	179.151
Grobasche aus Mitverbrennung	2.703	33.172	79.803	72.479	72.479
Filterstaub Biomasse-HKW		1.258	1.258	1.258	1.258
Sonstige Verbrennungsreste zur SAD	175.258	285.642	345.061	346.428	346.428
<b>Verbrennungsreste zur Deponie</b>	<b>261.055</b>	<b>466.899</b>	<b>605.260</b>	<b>599.315</b>	<b>599.315</b>
<b>MBA-Rest zur Deponie</b>	<b>0</b>	<b>3.260.799</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Summe Input Deponie gesamt</b>	<b>42.276.943</b>	<b>3.790.983</b>	<b>668.546</b>	<b>662.601</b>	<b>874.359</b>

\*<sup>1</sup> Die Mengen für die trockenen Abfälle in die Sortierung wurden ermittelt aus Gesamtaufkommen abzüglich der Sekundärabfälle zu MVA, Deponie nach Sortierung

\*<sup>2</sup> HM, HMG, Sperrmüll über Müllabfuhr mit der Annahme das die Kapazitäten nach LAGA ausgelastet werden

\*<sup>3</sup> Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die *aufgrund der Kapazitäten dem Kraftwerk zugeteilt werden*

\*<sup>4</sup> die Kapazitäten für die MVA ergeben sich aus der Bilanz, nach dem die Kapazitäten für MBA, Mitverbrennung und Verwertung fix vorgeben wurden. Tatsächlich werden von der LAGA MVA-Kkapazitäten von 16,3 Mio t für 2005 und 17,7 Mio t längerfristig angegeben

\*<sup>5</sup> die Schlacken aus der MVA verlassen nach der Abtrennung der Metalle das System ohne Berücksichtigung der Aufwendungen für die weitere Aufbereitung der Schlacken und der Gutschriften für ersetzte Baustoffe, da die ersetzten Baustoffe keine relevanten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale aufweisen

## Anhang 2: Strom- und Wärmegutschriften

Tabelle A2.1

Gutschriften für Strombereitstellung

Gutschriften für Strombereitstellung, je  
kWh Strom

**Systemgrenzen:** Gesamter Lebenszyklus inkl. Transporte + Materialvorleistung, ohne Entsorgung

Option [g/kWh <sub>out</sub> ]	Treibhausgase		Kumulierter Energie-Verbrauch (KEV) [kWh <sub>primär</sub> /kWh <sub>out</sub> ]		
	CO <sub>2</sub> -		KEV Summe	KEV nicht- erneuerbar	KEV erneuerbar
	Äquivalent	CO <sub>2</sub>			
KW-Park D 2000	626,6	594,0	2,90	2,57	0,33
<b>KW-Park D 2005</b>	<b>624,4</b>	<b>593,7</b>	<b>2,82</b>	<b>2,52</b>	<b>0,29</b>
KW-Park D 2010	622,3	593,4	2,73	2,48	0,26
<b>KW-Park D 2020</b>	<b>694,3</b>	<b>665,5</b>	<b>2,52</b>	<b>2,24</b>	<b>0,27</b>
KW-Park D 2030	741,8	713,2	2,29	1,96	0,34
StK-Import 2000	949,4	896,7	2,62	2,62	0,01
StK-Import 2010	907,2	853,9	2,51	2,50	0,01
<b>StK-Import 2020</b>	<b>870,9</b>	<b>819,1</b>	<b>2,40</b>	<b>2,39</b>	<b>0,01</b>
StK-Import 2030	795,4	754,5	2,21	2,20	0,01
Gas-GuD 2000	432,4	401,3	2,05	2,05	0,00
Gas-GuD 2010	417,6	388,0	1,99	1,99	0,00
<b>Gas-GuD 2020</b>	<b>409,5</b>	<b>382,1</b>	<b>1,96</b>	<b>1,96</b>	<b>0,00</b>
Gas-GuD 2030	407,3	380,7	1,97	1,97	0,00
Braunkohle-Lausitz 2020	963				
Braunkohle-rheinisch 2020	991				

Ergebnisse aus GEMIS 4.3, Stand Aug. 2005  
[GEMIS 2005]

Tabelle A2.2

Gutschriften für Wärmebereitstellung

**Gutschriften für Wärmebereitstellung  
je kWh Endenergie**
**Systemgrenzen:** Gesamter Lebenszyklus inkl. Transporte + Materialvorleistung, ohne Entsorgung

Option [g/kWh <sub>end</sub> ]	Treibhausgase		Kumulierter Energie-Verbrauch (KEV)		
	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	CO <sub>2</sub>	[kWh <sub>primär</sub> /kWh <sub>end</sub> ]		
			KEV Summe	KEV nicht-erneuerbar	KEV erneuerbar
Heizöl-Hzg 2000	335,1	324,3	1,22	1,21	0,01
Heizöl-Hzg 2005	333,9	323,9	1,22	1,21	0,01
Heizöl-Hzg 2010	332,8	323,5	1,21	1,21	0,01
<b>Heizöl-Hzg 2020</b>	<b>331,2</b>	<b>323,4</b>	<b>1,21</b>	<b>1,20</b>	<b>0,01</b>
Heizöl-Hzg 2030	330,5	324,8	1,21	1,20	0,01
Erdgas-Hzg 2000	256,5	230,0	1,17	1,17	0,01
Erdgas-Hzg 2005	255,4	229,1	1,17	1,17	0,01
Erdgas-Hzg 2010	254,3	228,1	1,17	1,17	0,01
<b>Erdgas-Hzg 2020</b>	<b>255,3</b>	<b>229,3</b>	<b>1,18</b>	<b>1,17</b>	<b>0,01</b>
Erdgas-Hzg 2030	259,3	232,8	1,20	1,19	0,01
Gas-HW-mittel 2000	260,3	232,6	1,20	1,19	0,01
Gas-HW-mittel 2005	260,4	232,8	1,20	1,19	0,01
Gas-HW-mittel 2010	260,5	233,1	1,20	1,19	0,01
<b>Gas-HW-mittel 2020</b>	<b>262,2</b>	<b>235,0</b>	<b>1,20</b>	<b>1,19</b>	<b>0,01</b>
Gas-HW-mittel 2030	266,7	239,0	1,22	1,21	0,01
Braunkohle-Kessel-WSF-2000	475,0	426,8	1,21	1,21	0,00
Braunkohle-Kessel-WSF-2005	474,1	425,9	1,21	1,21	0,00
Braunkohle-Kessel-WSF-2010	473,2	425,1	1,21	1,20	0,00
<b>Braunkohle-Kessel-WSF-2020</b>	<b>473,3</b>	<b>425,2</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>0,00</b>
Braunkohle-Kessel-WSF-2030	473,2	425,1	1,20	1,19	0,00

Ergebnisse aus GEMIS 4.3, Stand Aug. 2005

## Anhang 3: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse

### Treibhausgaspotential

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege am GWP  
in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

	<b>Siedlungsabfall 1990</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Bilanzmenge	Bonus- spez.
	Mio t	Mio t	Mio t	t	kg/t
MVA	-3,29	2,29	-1,00	7.913.673	-126
Mitverbrennung	-0,05	0,0018	-0,05	72.281	-635
Bioabfall	-0,013	0,12	0,10	1.005.790	102
LVP	0	0	0	0	0
Altpapier	-0,55	0,24	-0,31	1.604.758	-191
Altglas	-0,39	0,01	-0,39	1.314.393	-294
Sperrmüll/Altholz	-0,02	0,01	-0,005	107.205	-45
Metalle	-0,28	0,0020	-0,28	109.390	-2.568
Sammlung	0,00	0,48	0,48	54.027.460	9
MBA	0	0	0	0	0
Deponie		39,23	39,23	42.276.943	928

ohne Berücksichtigung C-Senke

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege am GWP  
in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

	<b>Siedlungsabfall 2005</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Bilanzmenge	Bonus- spez.
	Mio t	Mio t	Mio t	t	kg/t
MVA	-6,97	4,50	-2,47	13.419.511	-184
Mitverbrennung	-3,94	1,79	-2,16	2.093.366	-1.030
Bioabfall	-0,70	0,89	0,19	7.604.000	25
LVP	-1,90	1,36	-0,54	2.121.948	-254
Altpapier	-3,00	1,29	-1,71	7.599.985	-226
Altglas	-0,63	0,02	-0,61	3.171.583	-192
Sperr/Altholz	-0,37	0,10	-0,27	1.000.000	-272
Metalle	-0,79	0,0044	-0,78	322.749	-2.424
Sammlung		0,36	0,36	40.935.410	9
MBA		0,21	0,21	6.221.000	34
Deponie		0,09	0,09	3.790.983	25

ohne Berücksichtigung C-Senke

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege am GWP  
in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

	<b>Siedlungsabfall 2020 Basis I</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Bilanzmenge	Bonus-spez.
	Mio t	Mio t	Mio t	t	kg/t
MVA	-8,99	5,07	-3,93	16.237.195	-242
Mitverbrennung	-6,53	3,02	-3,51	3.529.483	-995
Bioabfall	-0,71	0,99	0,28	7.604.000	37
LVP	-1,44	0,81	-0,63	2.121.948	-299
Altpapier	-3,00	1,35	-1,65	7.599.985	-217
Altglas	-0,63	0,02	-0,61	3.171.583	-192
Sperr/Altholz	-0,41	0,11	-0,30	1.000.000	-304
Metalle	-0,91	0,01	-0,90	369.573	-2.445
Sammlung		0,36	0,36	40.935.410	9
MBA		0,19	0,19	7.122.000	27
Deponie		0,01	0,01	668.546	21

ohne Berücksichtigung C-Senke

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege am GWP  
in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

	<b>Siedlungsabfall 2020 Basis II</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Bilanzmenge	Bonus-spez.
	Mio t	Mio t	Mio t	t	kg/t
MVA	-9,35	5,26	-4,09	16.295.960	-251
Mitverbrennung	-6,57	3,02	-3,55	3.531.683	-1.006
Bioabfall	-0,71	0,99	0,28	7.604.000	37
LVP	-1,44	0,81	-0,63	2.121.948	-299
Altpapier	-3,00	1,35	-1,65	7.599.985	-217
Altglas	-0,63	0,02	-0,61	3.171.583	-192
Sperr/Altholz	-0,41	0,11	-0,30	1.000.000	-304
Metalle	-1,55	0,01	-1,55	500.386	-3.094
Sammlung		0,36	0,36	40.935.410	9
MBA		0,19	0,19	7.122.000	27
Deponie		0,01	0,01	662.601	21

ohne Berücksichtigung C-Senke

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege am GWP  
in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

	<b>Siedlungsabfall 2020 optimiert</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Bilanzmenge	Bonus- spez.
	Mio t	Mio t	Mio t	t	kg/t
MVA	-10,69	5,26	-5,42	16.295.960	-333
Mitverbrennung	-6,57	3,02	-3,55	3.531.683	-1.006
Bioabfall	-0,74	0,68	-0,06	7.604.000	-8
LVP	-1,44	0,81	-0,63	2.121.948	-299
Altpapier	-3,00	1,35	-1,65	7.599.985	-217
Altglas	-0,63	0,02	-0,61	3.171.583	-192
Sperr/Altholz	-0,41	0,11	-0,30	1.000.000	-304
Metalle	-1,55	0,01	-1,55	500.386	-3.094
Sammlung		0,36	0,36	40.935.410	9
MBA		0,19	0,19	7.122.000	27
Deponie		0,02	0,02	874.359	20

ohne Berücksichtigung C-Senke

## Fossile Energieträger

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege an der Einsparung fossiler Energieträger, berechnet als KEA, in Petajoule**

	<b>Siedlungsabfall 1990</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Wertstoffmenge	Bonus-spez.
	PJ	PJ	PJ	t	MJ/t
MVA	-47,65	0,02	-47,63	7.913.673	-6,02
Mitverbrennung	-0,38	0,01	-0,36	72.281	-5,02
Bioabfall	-0,08	0,23	0,16	1.005.790	0,16
LVP	0,00	0,00	0,00	0	0,00
Altpapier	-8,23	4,20	-4,02	1.604.758	-2,51
Altglas	-3,77	0,13	-3,63	1.314.393	-2,76
Sperr/Altholz	-0,24	0,18	-0,06	107.205	-0,57
Metalle	-2,59	0,20	-2,39	109.390	-21,89
Sammlung		6,16	6,16	54.027.460	0,11
MBA		0,00	0,00	0	0,00
Deponie		5,44	5,44	42.276.943	0,13

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege an der Einsparung fossiler Energieträger, berechnet als KEA, in Petajoule**

	<b>Siedlungsabfall 2005</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Wertstoffmenge	Bonus-spez.
	PJ	PJ	PJ	t	MJ/t
MVA	-97,13	0,21	-96,92	13.419.511	-7,22
Mitverbrennung	-38,61	0,41	-38,20	2.093.366	-18,25
Bioabfall	-1,94	3,63	1,69	7.604.000	0,22
LVP	-29,23	7,80	-21,44	2.121.948	-10,10
Altpapier	-45,13	21,57	-23,56	7.599.985	-3,10
Altglas	-6,66	0,28	-6,37	3.171.583	-2,01
Sperr/Altholz	-5,35	0,83	-4,52	1.000.000	-4,52
Metalle	-7,74	0,44	-7,30	322.749	-22,63
Sammlung		4,68	4,68	40.935.410	0,11
MBA		2,47	2,47	6.221.000	0,40
Deponie		0,95	0,95	3.790.983	0,25

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege an der Einsparung fossiler Energieträger, berechnet als KEA, in Petajoule**

	<b>Siedlungsabfall 2020 B01</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Wertstoffmenge	Bonus-spez.
	PJ	PJ	PJ	t	MJ/t
MVA	-125,85	0,96	-124,89	16.237.195	-7,69
Mitverbrennung	-63,50	0,76	-62,74	3.529.483	-17,78
Bioabfall	-1,89	5,00	3,11	7.604.000	0,41
LVP	-21,72	6,64	-15,08	2.121.948	-7,11
Altpapier	-45,13	20,59	-24,54	7.599.985	-3,23
Altglas	-6,63	0,25	-6,38	3.171.583	-2,01
Sperr/Altholz	-4,80	0,74	-4,06	1.000.000	-4,06
Metalle	-8,85	0,50	-8,35	369.573	-22,59
Sammlung		4,68	4,68	40.935.410	0,11
MBA		1,66	1,66	7.122.000	0,23
Deponie		0,18	0,18	668.546	0,26

**Anteile der einzelnen Entsorgungswege an der Einsparung fossiler Energieträger, berechnet als KEA, in Petajoule**

	<b>Siedlungsabfall 2020 B02</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Wertstoffmenge	Bonus-spez.
	PJ	PJ	PJ	t	PJ/t
MVA	-131,48	0,86	-130,62	16.295.960	-8,02
Mitverbrennung	-64,02	0,74	-63,28	3.531.683	-17,92
Bioabfall	-1,89	5,00	3,11	7.604.000	0,41
LVP	-21,72	6,64	-15,08	2.121.948	-7,11
Altpapier	-45,13	20,59	-24,54	7.599.985	-3,23
Altglas	-6,63	0,25	-6,38	3.171.583	-2,01
Sperr/Altholz	-4,80	0,74	-4,06	1.000.000	-4,06
Metalle	-16,48	0,64	-15,85	500.386	-31,67
Sammlung		4,68	4,68	40.935.410	0,11
MBA		1,66	1,66	7.122.000	0,23
Deponie		0,18	0,18	662.601	0,27



**Anteile der einzelnen Entsorgungswege an der Einsparung fossiler Energieträger, berechnet als KEA, in Petajoule**

	<b>Siedlungsabfall 2020 opt.</b>				
	Gutschrift	Aufwand	Bonus-Netto	Wertstoffmenge	Bonus-spez.
MJ/t	PJ	PJ	PJ	t	MJ/t
MVA	-135,94	0,86	-135,08	16.295.960	-8,29
Mitverbrennung	-64,02	0,74	-63,28	3.531.683	-17,92
Bioabfall	-4,51	2,13	-2,38	7.604.000	-0,31
LVP	-21,72	6,64	-15,08	2.121.948	-7,11
Altpapier	-45,13	20,59	-24,54	7.599.985	-3,23
Altglas	-6,63	0,25	-6,38	3.171.583	-2,01
Sperr/Altholz	-4,80	0,74	-4,06	1.000.000	-4,06
Metalle	-16,48	0,64	-15,85	500.386	-31,67
Sammlung		4,68	4,68	40.935.410	0,11
MBA		1,66	1,66	7.122.000	0,23
Deponie		0,22	0,22	874.359	0,25

## Anhang 4: Netto-Bonus und spezifischer Beitrag GWP

Tabelle A4.1 Netto Bonus GWP und Veränderung im Betrachtungszeitraum

	1990	2005	Differenz zu 1990	2020	Differenz zu 2005	2020	Differenz zu 2005	2020	Differenz zu 2005
	Mio. t	Mio. t	Mio. t	Basis I Mio. t	Mio. t	Basis II Mio. t	Mio. t	optimiert Mio. t	Mio. t
MVA	-1,00	-2,47	-1,47	-3,93	-1,46	-4,09	-1,62	-5,42	-2,96
Mitverbrennung	-0,05	-2,16	-2,11	-3,51	-1,36	-3,55	-1,39	-3,55	-1,39
Bioabfall	0,102	0,19	0,09	0,28	0,10	0,28	0,10	-0,06	-0,25
LVP	0	-0,54	-0,54	-0,63	-0,09	-0,63	-0,09	-0,63	-0,09
Altpapier	-0,31	-1,71	-1,41	-1,65	0,07	-1,65	0,07	-1,65	0,07
Altglas	-0,39	-0,61	-0,22	-0,61	0,00	-0,61	0,00	-0,61	0,00
Sperrmüll/Altholz	0,00	-0,27	-0,27	-0,30	-0,03	-0,30	-0,03	-0,30	-0,03
Metalle	-0,28	-0,78	-0,50	-0,90	-0,12	-1,55	-0,77	-1,55	-0,77
Sammlung	0,48	0,36	-0,12	0,36	0,00	0,36	0,00	0,36	0,00
MBA	0	0,21	0,21	0,19	-0,02	0,19	-0,02	0,19	-0,02
Deponie	39,23	0,09	-39,13	0,01	-0,08	0,01	-0,08	0,02	-0,08
Summe	37,79	-7,69	-45,48	-10,68	-3,00	-11,53	-3,8	-13,20	-5,5

Der Netto-Bonus der MVA läge bei voller Auslastung der prognostizierten MVA-Kapazitäten im Szenario 2005 um 20 % und in den Szenarien 2020 um 10 % höher (vgl. Tabelle 4)

Tabelle A4.2 Spezifische Gutschriften bzw. Belastung (spezifischer Bonus) der einzelnen Entsorgungswege

	1990	2005	2020	2020	2020
	kg/t	kg/t	Basis I Kg/t	Basis II kg/t	optimiert kg/t
MVA	-126	-184	-242	-251	-333
Mitverbrennung	-635	-1.030	-995	-1.006	-1.006
Bioabfall	102	25	37	37	-8
LVP	0	-254	-299	-299	-299
Altpapier	-191	-226	-217	-217	-217
Altglas	-294	-192	-192	-192	-192
Sperrmüll/Altholz	-45	-272	-304	-304	-304
Metalle	-2.568	-2.424	-2.445	-3.094	-3.094
Sammlung	9	9	9	9	9
MBA	0	34	27	27	27
Deponie	928	25	21	21	20

Die Spannweite der spezifischen Netto-Gutschriften liegt zwischen einer Belastung von +928 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Tonne Abfall für die Hausmülldeponie im Jahr 1990 und einer Gutschrift von 3.094 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Tonne Metalle, die einer Verwertung zugeführt wurden.

Bei den Metallen handelt es sich um eine Mischung von Fe- und NE-Metallen (bilanziert als 100 % Aluminium). Je höher der Anteil an Aluminium ist (2020 Basis II und 2020 optimiert) umso höher ist die Gutschrift.

Der spezifische Wert für das LVP-Recycling ist etwas reduziert, da die energetische Verwertung der Sortierreste zur Mitverbrennung gerechnet wird. Entsprechend fallen die Gutschriften für diese Fraktion etwas geringer aus.

Ähnliches gilt für die MBA, der lediglich die Belastungen aus der Behandlung, nicht aber die Gutschriften aus der Verwertung der abgetrennten Fraktionen zugeschrieben werden. Trotz der Gutschriften für die Stromgewinnung aus der Vergärung im Szenario 2005, schneidet die MBS in den Szenarien 2020 wegen dem reduzierten Strombedarf geringfügig besser ab.

## Anhang 5: Gemeldete Beiträge der MVA (EU-15)

Tabelle A5.1 Von den Mitgliedsstaaten gemeldete Beiträge zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Müllverbrennung in 1.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente  
Quelle [nach Deuber, Herold 2005]

Mitgliedsstaaten	1990	2003	Differenz
Österreich	21	11	10
Belgien	339	344	-5
Dänemark	0	0	0
Finnland		0	
Frankreich	2.300	1.386	914
Deutschland			
Griechenland	0	0	0
Irland			
Italien	493	168	325
Luxemburg	19	0	19
Niederlande			
Portugal	10	350	-340
Spanien	750	178	572
Schweden	44	121	-77
Großbritannien	1.201	460	741

## Anhang 6: Abfallmengen in der EU-15 für das Jahr 1990

Tabelle A6.1 Abfallmengen in der EU-15 und Aufteilung auf die wichtigsten Entsorgungswege für 1990 in 1000 t (Europäische Kommission 2000)

Mitgliedsstaaten	Recycling	Kompost	MVA mit Energien.	MVA ohne Energien.	Deponie gesamt	Summe
Österreich	399	814	312		1.977	3.502
Belgien	318	247	983	576	2.232	4.356
Dänemark* <sup>1</sup>	203	206	1.500		468	2.377
Finnland	600	50	50		2.400	3.100
Frankreich* <sup>1</sup>	1.927	2.105	7.103	3.036	13.677	27.848
Deutschland	1.384	2.241	8.552		27.840	40.017
Griechenland	179				1.745	1.924
Irland* <sup>3</sup>	118				1.432	1.550
Italien* <sup>3</sup>					24.000	24.000
Luxemburg* <sup>2</sup>			142			142
Niederlande* <sup>2</sup>	578	475	2.535		3.610	7.198
Portugal* <sup>1</sup>		448			1.488	1.936
Spanien* <sup>2</sup>		1.898	476	159	10.289	12.822
Schweden	400	100	1.300		1.400	3.200
Großbritannien* <sup>3</sup>	2.020		1.450	1.160	23.990	28.620
EU-15	8.126	8.584	24.403	4.931	116.548	162.592

\*<sup>1</sup>: 1993    \*<sup>2</sup>: 1991    \*<sup>3</sup>: 1995

## Anhang 7: Deponierte Abfallmengen in der EU-15 für das Jahr 1995

Tabelle A7.1 Deponierte Abfallmengen in der EU-15 1995 und Reduktion bei Einhaltung der Vorgaben der Deponierichtlinie in 1000 t [Europäische Kommission 2003]

Mitgliedsstaaten	1.995 Deponie	2006 75%	2009 50%	2016 35%
Österreich	1.626	1.220	813	569
Belgien	2.107	1.580	1.054	737
Dänemark	503	377	252	176
Finnland	1.366	1.025	683	478
Frankreich	13.651	10.238	6.826	4.778
Deutschland*	22.760	0	0	0
Griechenland**	1.763	1.322	881	617
Irland	1.432	1.074	716	501
Italien	24.000	18.000	12.000	8.400
Luxemburg	65	49	33	23
Niederlande***	2.870	2.153	1.435	1.005
Portugal	2.007	1.505	1.004	702
Spanien***	11.901	8.926	5.951	4.165
Schweden***	1.200	900	600	420
Großbritannien	23.990	17.993	11.995	8.397
<b>EU-15</b>	<b>111.241</b>	<b>66.360</b>	<b>44.240</b>	<b>30.968</b>

\* Mittelwert aus 1993 und 1997

\*\*\* Mittelwert aus 1993 und 1997

\*\*\* 1994

Die Reduktion nach der Deponierichtlinie betrifft den biologisch abbaubaren Anteil. Da nur dieser zur Methanproduktion beiträgt, kann zur Ermittlung der resultierenden Methangasmengen nach dem hier angewandten Rechenmodell mittels Emissionsfaktoren je t Abfallinput in erster Näherung die gesamte deponierte Menge entsprechend reduziert werden.