

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

vertreten durch das

Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie

Referat 34, Abfallwirtschaft

Zwischenbericht:	Nr.:	1
	Berichtszeitraum:	09/2007 bis 12/2007
	Seitenzahl:	93 + 13 (Anhang)
	Tabellen (Anzahl):	10
	Abbildungen (Anzahl):	10
	Sonstige Anhänge:	2

zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben:

**Untersuchungen zur Klimarelevanz der
Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des
Freistaates Sachsen, Modul A**

Aktenzeichen: 13-8802.3529/49

von

Autoren:

Dr. Steffen Wagner, Dipl.-Ing. Heiko Ibold

Dr. Barbara Zeschmar-Lahl

Prof. Dr. Manfred Born

Durchführende Institutionen:

- BIWA Consult GbR, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg,
- BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Lindenstraße 33, 28876 Oyten
- SIDAF – Sächsisches Informations- und Demonstrationszentrum „Abfallbehandlungstechnologie“ Freiberg, Halsbrücker Straße 34, 09599 Freiberg

Projektleiter:

Dr. Steffen Wagner

11.01.2008

Unterschrift

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	HINTERGRUND	2
2.1	Internationaler Klimaschutz	2
2.2	Nationaler Klimaschutz	6
2.3	Klimaschutz im Freistaat Sachsen	8
3	AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	10
4	METHODISCHE UMSETZUNG UND ABLAUFPLAN	12
5	BETRACHTUNGEN ZU DEN DURCHZUFÜHRENDEN UNTERSUCHUNGEN (ERGEBNISSE MODUL A)	14
5.1	Methodenabgleich	15
5.1.1	Vorbemerkung	15
5.1.2	Methodik zur Berechnung der Klimarelevanz	16
5.1.2.1	Methodik der Studie „Klimarelevanz 1“	16
5.1.2.1.1	Basis IPCC: Richtlinie zur Erstellung eines Treibhausgas-Inventars	16
5.1.2.1.2	Anwendung der Methodik der Ökobilanzierung	17
5.1.2.1.3	Schlussfolgerungen	19
5.1.2.2	Aktualisierung der IPCC-Methodik	19
5.1.2.3	Aktualisierung der Sachsen spezifische Daten	23
5.1.2.3.1	Daten Restabfall	23
5.1.2.3.2	Sächsischer Strommix	24
5.1.2.3.3	Sachsen-Mix für Wärmeauskopplung	25
5.1.2.4	Aktualisierung der allgemeinen Datenbasis für Last- und Gutschriften	25
5.1.2.5	Aktualisierung der Daten zur Fahrzeugflotte der schweren Nutzfahrzeuge (EURO3/EURO4)	26
5.1.2.6	Abgleich mit dem methodischem Vorgehen vergleichbarer Bilanzierungsstudien	27
5.1.2.6.1	Öko-Institut 2005	28
5.1.2.6.2	GUA 2005	32
5.1.2.6.3	IKr - Institut für Kreislaufwirtschaft 2006	34
	„Klimarelevanz 2“, Modul A, Bericht 11.01.2008	II

5.1.2.6.4	BIFA 2007	37
5.1.2.6.5	MUNLV/IFEU 2007	40
5.1.2.6.6	Fazit Methodenabgleich	45
5.1.3	Methodik zur Berechnung der Energieeffizienz	47
5.1.3.1	Anlagen	47
5.1.3.2	Energetischer Wirkungsgrad von Anlagen	47
5.1.3.2.1	Effizienzkriterium der Abfallrahmenrichtlinie	48
5.1.3.2.2	Energetischer Wirkungsgrad thermischer Prozesse (bezogen auf Inputenergie)	49
5.1.3.2.3	Energetischer Wirkungsgrad (bezogen auf Primärenergie)	51
5.1.3.3	Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen	53
5.1.3.3.1	Energetische Verwertung in Kraftwerken	53
5.1.3.3.2	Nutzenergieverhältnis	54
5.1.3.3.3	Energetische Verwertung in Zement- oder Kalkwerken	55
5.1.3.3.4	Berechnungsweg	56
5.2	Betrachtungsrahmen	58
5.2.1	Bilanzgrenzen für die Berechnung der Klimarelevanz	59
5.2.2	Betrachtungsrahmen für die Energieeffizienzberechnungen	61
5.2.3	„Zusätzlich“ zu betrachtende Abfälle	62
5.2.4	„Zusätzlich“ zu betrachtende Aspekte	63
5.2.5	Zeitebenen	65
5.3	Planungs-, Bewertungsgrundlagen sowie Datenquellen	67
5.4	Anlagentechnik, Erhebungsumfang	69
5.4.1	Zu befragende Anlagen	69
5.4.2	Prinzipielle Vorgehensweise	72
5.4.3	Ablauf der Erhebungen	72
5.4.4	Inhalt der Erhebung von Anlagendaten	73
5.5	Zu erwartende Ergebnisse, Ableitung von Handlungs- und Optimierungsempfehlungen	74

6	SCHLUSSBEMERKUNG	78
7	VERZEICHNIS DER VERWENDETEN QUELLEN	81
7.1	Quellenangaben für Kapitel 2	81
7.2	Quellenangaben für Kapitel 5.1.2	82
7.3	Quellenangaben für Kapitel 5.1.3	86
7.4	Quellenangaben für Kapitel 5.2	87

Anhang

Anhang A: Erforderliche Daten und Informationen sowie Zusammenstellung potenzieller Quellen

Anhang B: Fragebogen zur Erhebung von Anlagendaten aus dem FuE-Vorhaben „Klimarelevanz 1“ (2001 bis 2003), beispielhaft für

- mechanisch-biologische Abfallaufbereitungsanlagen und**
- Müllverbrennungsanlagen**

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Arbeitsinhalte und Ablaufplan für „Klimarelevanz 2“, unterteilt in die Module A, B und C	13
Tab. 2:	Direkte Treibhauspotenziale (Global Warming Potentials, GWPs) für Gase, deren Lebensdauer adäquat charakterisiert werden konnte, auf der Basis des Treibhauseffektes der atmosphärischen Emission von 1 kg CO ₂	22
Tab. 3:	Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „Öko-Institut 2005“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“	28
Tab. 4:	Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „GUA 2005“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“	32
Tab. 5:	Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „IKr 2006“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“	35
Tab. 6:	Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „bifa 2007“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“	38
Tab. 7:	IFEU 2007: Unterschiede zwischen den drei Systemoptionen zur thermischen Abfallentsorgung, normiert und in EDW ausgedrückt; skaliert auf 2,6 Mio. Mg Sperrmüll	41
Tab. 8:	Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „MUNLV/IFEU 2007“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“	43
Tab. 9:	Wirkungskategorien und Indikatoren einer Ökobilanz (Auswahl)	64
Tab. 10:	Entsorgung von zu beseitigenden Abfällen in Sachsen, Erstbehandlungsanlagen der Abfallzweckverbände und verbandsfreien ÖRE	70

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Definition des Nettowirkungsgrades von Abfallbehandlungsverfahren (thermisch und nicht-thermisch)	51
Abb. 2:	Definition des Netto-Primär-Wirkungsgrades von Abfallbehandlungsverfahren (thermisch und nicht-thermisch)	52
Abb. 3:	Nettowirkungsgrad in Behandlungssystemen	54
Abb. 4:	Beispiel für das Energieaustauschverhältnis für einen Hochtemperaturprozess	56
Abb. 5:	Berechnungsschema für das Nutzenergieverhältnis in Abfallverwertungssystemen (hier Beispiel MBA)	56
Abb. 6:	Allgemeiner Betrachtungsrahmen für das FuE-Vorhaben „Klimarelevanz 2“	59
Abb. 7:	Bilanzgrenzen für die Berechnungen zur Klimarelevanz, Abfallbeseitigung (schematische Darstellung)	61

Fotoverzeichnis

Foto 1:	Herr Dr. Vollbrecht (LfUG): Voranschreitender Klimawandel	78
Foto 2:	Herr Prof. Born (SIDAF): Energieeffizienzberechnungen	79
Foto 3:	Pausengespräch	79

1 Zusammenfassung

In den Jahren 2001 bis 2003 haben die BIWA Consult GbR Freiberg und die BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten unter Mitarbeit von Prof. Manfred Born im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie ein FuE-Vorhaben zur „Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen“ durchgeführt. Mit dem nunmehr laufenden Vorhaben „Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“ werden die Betrachtungen fortgeführt.

In der ersten Phase des Vorhabens (Modul A), die Gegenstand dieses Berichtes ist, wurden methodische und andere vorbereitende Arbeiten durchgeführt. Damit wurden die Inhalte für die nachfolgenden Bearbeitungsphasen festgelegt (Modul B: Datenerhebung und –auswertung, Modul C: Systemvergleich, Bewertung, Szenarienbetrachtung, Maßnahmen und Handlungsempfehlung). Die Module B und C werden im Jahr 2008 bearbeitet.

Folgende Untersuchungen und Berechnungen sind vorgesehen:

- Berechnungen zur Klimarelevanz für die Entsorgung von zu beseitigenden Abfällen und von Bioabfällen auf der Grundlage von Daten zu Anlagen, die in die Entsorgungssysteme der ÖRE eingebunden sind,
- Berechnungen zur Energieeffizienz für Anlagen und Systeme zur Beseitigung von Abfällen,
- qualitative und halbquantitative Betrachtungen zu anderen umwelt- und gesellschaftlich relevanten Aspekten für zu beseitigende Abfälle, Bioabfälle und weitere ausgewählte Abfallarten,
- Abschätzung von Potenzialen zur weiteren Reduzierung von Treibhausgasemissionen durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen,
- Vergleich der Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft in den Jahren 2000 (Bezug 2000), 2006 (Plandaten 2006), 2007 (Ist-Daten 2007) und in Zukunft (Potenzialabschätzung),

- Diskussion des Beitrags der Abfallwirtschaft in Sachsen zum Erreichen des Kyoto-Ziels unter Verwendung der Daten des LfUG zu den deponiebürtigen Emissionen der Jahre 1998 und früher (bis zurück zum Kyoto-Bezugsjahr 1990),
- Bewertung der Ergebnisse und Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen.

2 Hintergrund

2.1 Internationaler Klimaschutz

Aktuell stellt der Klimawandel eine der größten globalen Herausforderungen für Politik, Gesellschaft und Wirtschaft dar. Zwar wurde schon seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts von der Fachwelt vor dem Klimawandel gewarnt (vgl. die erste Klimaschutzkonferenz 1979 in Genf), doch es dauerte noch Jahre, bis sich die internationale Staatengemeinschaft zum Handeln entschloss. Immerhin gründeten die Welt-Meteorologie-Organisation WMO und das UN-Umweltprogramm UNEP im Jahr 1988 das zwischenstaatliche Arbeitsgremium über Klimaveränderungen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), heute besser bekannt als der „Weltklimarat“. Das IPCC sollte alle Informationen über Klimaveränderungen, insbesondere eine globale Erwärmung des Weltklimas durch menschliche Aktivitäten, erfassen und bündeln. Im August 1990 legte das IPCC seinen ersten Bericht vor, in dem ein sicherer Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen als Folge menschlicher Aktivitäten vorausgesagt wurde. Insbesondere dieser Bericht diente der Vorbereitung, Formulierung und letztlich auch Beschlussfassung der Klimaschutz-Rahmenkonvention [1] auf dem Erdgipfel der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro 1992 [2].

Die Klima-Rahmenkonvention oder auch kurz Klimakonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change / UNFCCC) trat am 21.03.1994 –

90 Tage nach Ratifizierung durch den 50. Vertragspartner – in Kraft und ist mittlerweile von mehr als 180 Staaten ratifiziert worden, darunter auch von den Hauptverursachern der Treibhausgasemissionen – den USA, Russland, der Europäischen Union, China und Indien. In Artikel 4 verpflichten sich die in Annex I benannten Vertragsstaaten (die OECD-Länder sowie die Staaten, die sich im Übergang zur Marktwirtschaft befinden¹) u.a., entsprechende Maßnahmen zur Abschwächung der Klimaänderungen zu ergreifen, indem sie ihre anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen begrenzen und ihre Treibhausgasen-ken und -speicher schützen und erweitern. Zudem müssen sie jährlich ein Inventar ihrer Treibhausgase – das sind CO₂ und die „anderen nicht durch das Montrealer Protokoll geregelten Treibhausgase“ – mit Angabe der Emissionen und Senken seit dem Basisjahr an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention übermitteln. Aufgabe der 1. Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties/COP1) in Berlin 1995 sollte es u.a. sein, festzulegen, um welche Treibhausgase es sich im Detail handelte.

Die Festlegung der betreffenden Treibhausgase und verbindlicher Reduktionsziele erfolge allerdings erst auf der 3. Vertragsstaatenkonferenz 1997 im japanischen Kyoto. Hier wurden erstmals rechtsverbindliche Begrenzungs- und Verringerungsverpflichtungen vereinbart. So sollen die Industrieländer ihre Emis-

¹ Australien, Belarus (= Weißrussland), Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Europäische Gemeinschaft, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Lettland, Litauen, Luxemburg, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Russische Föderation, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechoslowakei, Türkei, Ukraine, Ungarn, Vereinigte Staaten von Amerika, Vereinigtes Königreich Großbritannien und Nordirland.

Länder, die sich im Übergang zur Marktwirtschaft befinden, sind Belarus, Bulgarien, Estland, Lettland, Litauen, Polen, Rumänien, Russische Föderation, Tschechoslowakei, Ukraine, Ungarn.

onen an Treibhausgasen bis zum Jahre 2012 um mindestens 5,2 % unter das Niveau von 1990 bzw. 1995 senken.

- Annex A des Kyoto-Protokolls enthält die betreffenden Treibhausgase bzw. -gasgruppen und das jeweilige Basisjahr: Kohlenstoffdioxid (Kohlendioxid, CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (Lachgas, N₂O), jeweils Basisjahr 1990; Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs), Perfluorkohlenwasserstoffe (PFCs) und Schwefelhexafluorid (SF₆), jeweils Basisjahr 1995.
- Annex B enthält die zur Verringerung verpflichteten Staaten: dies sind alle Annex I-Länder der Klimakonvention außer Türkei und Weißrussland.
- Für die damals 15 EU-Mitgliedsstaaten (EU-15) wurde eine Minderung um 8 % vereinbart. Im Rahmen des so genannten *burden sharing* nahmen die EU-15 jeweils unterschiedlich hohe Reduktionsverpflichtungen auf sich. Deutschland etwa verpflichtete sich zu einer Reduktion um 21 %.

Da große Emittenten die Ratifizierung verweigerten, so etwa die USA seit dem Amtsantritt des republikanischen Präsidenten George W. Bush im Jahr 2000, konnte das Kyoto-Protokoll erst nach Ratifizierung durch die russische Duma endlich am 16.02.2005 in Kraft treten.

Die Erkenntnisse hinsichtlich der Ursachen und Konsequenzen des Klimawandels wurden seither weiter abgesichert. Am 17.11.2007 hat schließlich der UN-Klimarat im spanischen Valencia den letzten Teil seines 4. Assessment Report (AR4) – den Synthese-Bericht – vorgelegt. In diesem werden die bereits seit Jahresbeginn vorliegenden Einzelberichte der drei IPCC-Arbeitsgruppen (WG1 – The Physical Science Basis, WG2 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, WG3 – Mitigation of Climate Change) zusammengeführt, daraus Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen für politische Entscheidungsträger [3] abgeleitet. Die wichtigsten Punkte sind [4, 5]:

- Seit 1970 hat der Ausstoß von Treibhausgasen um 70 % zugenommen. Die Konzentration des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) lag 2005 höher als in den vergangenen 650.000 Jahren.
- Der Mensch steht als Ursache des Klimawandels praktisch fest. Die Folgen dieses Wandels werden vermutlich „unumkehrbar“ sein.
- Die weltweite Durchschnittstemperatur wird in diesem Jahrhundert voraussichtlich zwischen 1,1 und 6,4 °C zunehmen. Um die Erwärmung auf maximal 2,4 °C zu begrenzen, muss der CO₂-Ausstoß bis 2050 um 50 bis 85 % niedriger sein als im Jahr 2000.
- Elf der vergangenen zwölf Jahre sind unter den wärmsten Jahren seit Beginn der globalen Temperaturlaufzeichnung 1850.
- Die Meeresspiegel steigen in diesem Jahrhundert voraussichtlich zwischen 18 und 59 cm.
- Wenn der Temperaturanstieg mehr als 1,5 bis 2,5 °C beträgt, sind 20 bis 30 % aller Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht.
- Das Risiko extremer Wetterereignisse nimmt zu: Es wird mehr Überflutungen, Dürreperioden und Hitzewellen geben.
- Einzigartige Biosysteme sind gefährdet: am Nord- und Südpol, in Hochgebirgsregionen und Korallenriffe.
- Die Folgen des Klimawandels sind ungleich verteilt: Arme und alte Menschen leiden am stärksten darunter, ebenso die Länder am Äquator, die in Afrika ohnehin zu den ärmsten Staaten gehören.
- Am stärksten betroffen sind Afrika, die Arktis, kleine Inseln und die Riesensdeltas an den asiatischen Küsten.

- Die Kosten für den Kampf gegen den Klimawandel belaufen sich selbst bei den ehrgeizigsten Szenarien auf weniger als 0,12 % des jährlichen weltweiten Bruttoinlandsprodukts (BIP). Selbst im teuersten Fall würden bis 2030 weniger als 3 % des BIP aufgewendet.

2.2 Nationaler Klimaschutz

Das Nationale Klimaschutzprogramm von 2005 – eine Fortschreibung des ersten Programms vom 18.10.2000 – soll mittels umfangreicher, aufeinander abgestimmter Maßnahmen sicherstellen, dass das für Deutschland gesteckte Kyoto-Ziel einer 21 %igen Reduktion der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2008 bis 2012, bezogen auf 1990, erreicht wird. Zwar hatte Deutschland bis zum Jahr 2003 bereits eine Reduktion um 18,5 % erreicht, doch war absehbar, dass ohne weitere Maßnahmen das Kyoto-Ziel nicht würde erreicht werden können. Für Sektoren, die nicht vom Emissionshandel betroffen sind, wie private Haushalte, Verkehr und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, wurde der Handlungsbedarf definiert und es wurden klare Zielvorgaben festgelegt. Entsprechend der Ergebnisse der Evaluierung des Klimaschutzprogramms von 2000 wurde ein Maßnahmenkatalog mit den Schwerpunkten Verkehr und private Haushalte beschlossen.

In seiner Regierungserklärung vom 26.04.2007 hat Bundesumweltminister Gabriel einen 8-Punkte-Plan vorgestellt, der aufzeigt, wie Deutschland ein anspruchsvolles Klimaschutzziel für das Jahr 2020 erreichen kann. Ziel des Planes ist die Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 von 40 % gegenüber 1990. Er umfasst folgende konkrete Maßnahmen [6]:

1. Reduktion des Stromverbrauchs um 11 % durch massive Steigerung der Energieeffizienz (Einsparvolumen: 40 Mio. Mg),
2. Erneuerung des Kraftwerksparks durch effizientere Kraftwerke (30 Mio. Mg),
3. Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf über 27 % (55 Mio. Mg),

4. Verdoppelung der effizienten Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung auf 25 % (20 Mio. Mg),
5. Reduktion des Energieverbrauchs durch Gebäudesanierung, effiziente Heizungsanlagen und in Produktionsprozessen (41 Mio. Mg),
6. Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien im Wärmesektor auf 14 % (14 Mio. Mg),
7. Steigerung der Effizienz im Verkehr und Steigerung des Anteils der Biokraftstoffe auf 17 % (30 Mio. Mg),
8. Reduktion der Emissionen von anderen Treibhausgasen wie zum Beispiel Methan (40 Mio. Mg).

Ein Teil dieser Maßnahmen – 2, 3, 4 und insbesondere 8 – ist auch im Bereich Abfallwirtschaft umzusetzen.

Wichtige Instrumente zur Verringerung der Treibhausgasemissionen sind die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Steigerung der Energieeffizienz. Das Bundeskabinett hat am 23.08.2007 auf seiner Klausursitzung in Meseberg ein 30 Einzelmaßnahmen umfassendes Klima- und Energiepaket beschlossen. Mit dessen Umsetzung sollen die CO₂-Emissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 reduziert werden. Das Programm soll noch vor der Klimakonferenz (Vertragssaatenkonferenz) auf Bali im Dezember 2007 als Gesetzespaket vom Kabinett beschlossen und in den Bundestag eingebracht werden. Mehrere dieser 30 Maßnahmen sind auch im Rahmen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen umzusetzen:

1. Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz,
2. Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich (u.a. EE-Strom aus Biomasseabfällen),
9. Einspeiseregulierung für Biogas in Erdgasnetze („Dezentral erzeugtes Biogas soll verstärkt effizient und zielgerichtet in der Kraft-Wärme-Kopplung und als Kraftstoff eingesetzt werden.“),
14. Erneuerbare-Energien Wärmegesetz (EEWärmeG),
23. Reduktion der Emissionen fluorierter Treibhausgase (Klima- und Kälteanlagen).

2.3 Klimaschutz im Freistaat Sachsen

Die bundesdeutschen Anstrengungen auf dem Gebiet des Klimaschutzes werden durch länderspezifischen Aktivitäten untersetzt. Bereits im Jahr 2001 wurde das „Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen“ verabschiedet [7], flankiert vom „Energieprogramm Sachsen 2004“ [8], das Anfang des Jahres 2007 aktualisiert und fortgeschrieben wurde [9]. Im Klimaschutzbericht 2005 [10] wurden die Ergebnisse der Umsetzung des Sächsischen Klimaschutzprogramms ausführlich dargestellt. Der Bereich der Abfallwirtschaft bildet im Klimaschutzprogramm einen gesonderten Schwerpunkt.

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wurde im Zeitraum September 2001 bis Juni 2003 ein Forschungsvorhaben zum Thema „Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen“ bearbeitet [11]. Auftragnehmer war die Bietergemeinschaft, bestehend aus der BIWA Consult GbR Freiberg und der BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten. Als Unterauftragnehmer wurde Herr Prof. Manfred Born, TU Bergakademie Freiberg, eingebunden.

Zu den Aufgaben für die Studie gehörten u. a. methodische Entwicklungen zur Ermittlung von Klimaauswirkungen und Untersuchungen zu Holzabfällen (Ist-Stand und Entwicklungen). Wesentliches Ziel der Studie war es, klimarelevante Auswirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen im Freistaat Sachsen darzustellen. Im Fokus standen dabei Behandlungs-, Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für die in Zuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (ÖRE) erfassten Abfälle. Zu betrachten waren Verfahren und Verfahrenskombinationen, die in Sachsen praktiziert wurden oder werden sollten. Dabei waren ausgehend vom Ist-Stand die zu erwartenden Entwicklungen für 2005 und darüber hinaus abzubilden.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurde festgestellt, dass durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen, die in Umsetzung der Vorgaben der Abfallablagerungsverordnung geplant waren, die Freisetzung von ca. 1 Mio. Mg CO₂-Äqui-

valenten vermieden werden würde, bezogen auf den Stand im Jahr 2000 mit vorzugsweiser Deponierung der unbehandelten Abfälle. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist Folgendes zu beachten:

- Die Ergebnisse beziehen sich auf die durch die ÖRE erfassten Abfälle (Restabfälle, sperrige Abfälle, Abfälle von öffentlichen Flächen, Holzabfälle, Bioabfälle). Andere Siedlungsabfälle zur Verwertung sowie Abfälle aus Gewerbe und Industrie und deren klimarelevanten Auswirkungen durch Verwertung und Beseitigung wurden nicht betrachtet.
- Im Zeitraum der Bearbeitung befanden sich die Behandlungsanlagen für die zu beseitigenden Abfällen erst in Planung oder im Aufbau. Bei einigen Gebietskörperschaften lagen noch nicht einmal Planungen oder Konzepte zur Behandlung und Beseitigung der überlassungspflichtigen Abfälle ab 2005 vor. Die ermittelten resp. verwendeten anlagenspezifischen Daten waren also mit teilweise großen Unsicherheiten behaftet. Zum Teil mussten begründete Annahmen getroffen und für die Berechnungen zu Grunde gelegt werden.

Auf der Abschlusspräsentation am 20.06.2003 vor dem Auftraggeber, verschiedenen Experten und Vertretern der Fachbehörden wurde deshalb von allen Anwesenden der Vorschlag begrüßt, die Untersuchungen fortzuschreiben, wenn die Anlagen und Verfahren zur Behandlung von zu beseitigenden Abfällen in Sachsen realisiert wären und wenn somit Praxiswerte vorlägen.

Im Vergleich zu der Entsorgungssituation im Jahr 2003 haben sich wesentliche Änderungen ergeben, wie etwa

- veränderte Mengen für zu beseitigende Abfälle durch sprunghafte Zunahme der zu beseitigenden Gewerbeabfallmengen nach dem 01.06.2005,
- Realisierung anderer Entsorgungswege durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (in Folge von Änderungen beim Anlagenbestand und anderer Rahmenbedingungen),

- Entsorgungsschwierigkeiten bzw. Engpässe bei den Entsorgungskapazitäten insbesondere für heizwertreiche Fraktionen und damit verbundene Zwischenlagerungen.

Auch vor diesem Hintergrund sind die Betrachtungen zur Klimarelevanz der sächsischen Abfallwirtschaft den aktuellen Gegebenheiten anzupassen.

Zudem lassen sich durch die vorgeschlagenen Betrachtungen fundierte Daten für die Berichterstattung zur Erfüllung der Aufgaben aus dem Klimaschutzprogramm Sachsen schaffen.

3 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen aus dem Jahr 2003 sind nach Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung die mittlerweile in Betrieb befindlichen Entsorgungssysteme mit entsprechender Anlagentechnik hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und Klimarelevanz zu untersuchen. Ein Systemvergleich ist durchzuführen. Konkrete Vorschläge zur Effizienzverbesserung sind zu erarbeiten. Ferner sind die klimarelevanten Effekte zu bewerten, im Rahmen der Klimaschutzziele des Freistaat Sachsen einzuordnen und Empfehlungen für weitere abfallwirtschaftliche und u.a. auch politische Maßnahmen abzuleiten.

Die Ziele des Vorhabens sind insbesondere diese:

- Die Ergebnisse aus dem Jahr 2003 bzgl. Behandlung von Restabfällen und Verwertung von Bioabfällen sind mit anlagenspezifischen praxisbezogenen Daten zu untersetzen.

- Aus den Ergebnissen sind unter dem Aspekt des Klimaschutzes Anlagenkonfigurationen mit dem bestmöglichen Standard (Restabfallbehandlung, Bioabfallverwertung) abzuleiten.
- Der Betrachtungsrahmen ist auf andere Abfälle aus Haushaltungen auszuweiten, zu den „zusätzlichen“ Abfällen sind Betrachtungen zur Klimarelevanz qualitativ bzw. möglichst halbquantitativ vorzunehmen.
- Die klimarelevanten Effekte der Maßnahmen zur Entsorgung der einzelnen Abfallarten sind unter Einbeziehung anderer ökologischer (u.a. Emission weiterer Schadstoffe) sowie ausgewählter ökonomischer/gesellschaftlicher Aspekte zu diskutieren, zu bewerten und einzuordnen.
- Ausgehend von den neuen Erkenntnissen sind Empfehlungen und Maßnahmen zur Umsetzung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen zur weiteren Minimierung der Treibhausgasemissionen im Freistaat Sachsen abzuleiten.

Die Ergebnisse des Projektes sollen die Grundlage einer fachlich fundierten Fortschreibung des Klimaschutzprogramms des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) bilden und der Beurteilung der im Freistaat Sachsen realisierten Entsorgungssysteme hinsichtlich ihrer Klimarelevanz, Energieeffizienz und Einsparungspotenzialen an klimarelevanten Gasen (CO₂-Äq.) dienen.

Die Bietergemeinschaft, bestehend aus BIWA Consult GbR Freiberg und BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten, wurde vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) Dresden – in Analogie zur Klimarelevanzstudie aus dem Zeitraum 2001 bis 2003 – beauftragt, die anstehenden Untersuchungen im FuE-Vorhaben „Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“ (nachfolgend auch „Klimarelevanz 2“) durchzuführen. Herr Prof. Manfred Born (freier Mitarbeiter im Sächsischen Informations- und Demonstrationszentrum „Abfallbe-

handlungstechnologien“ Freiberg - SIDAF) wird ebenfalls wieder als Unterauftragnehmer eingebunden.

4 Methodische Umsetzung und Ablaufplan

Das Vorhaben wird in drei Etappen (Modulen) realisiert:

Modul A (01.09. bis 26.11.2007)

Methodenabgleich, Konsolidierung der Planungs- und Bewertungsgrundlagen, Anlagentechnik, Erhebungsumfang

Modul B (01.02. bis 01.07.2008)

Datenerhebung und –auswertung

Modul C (01.06. bis 15.11.2008)

Systemvergleich und Bewertung, Szenarienbetrachtung, Maßnahmen und Handlungsempfehlungen.

In Tabelle 1 werden die Ziele und Aufgaben der durchzuführenden Untersuchungen in Arbeitsinhalte umgesetzt. Diese sind in die bereits benannten Module strukturiert, die inhaltlich und zeitlich aufeinander aufbauen.

Tab. 1: Arbeitsinhalte und Ablaufplan für „Klimarelevanz 2“, unterteilt in die Module A, B und C

Arbeitsinhalte	
Modul A (01.09. bis 26.11.2007)	
A1	Methodenabgleich, Betrachtungsrahmen <ul style="list-style-type: none"> - ggf. Anpassung der Methodik aus Studie 2003, - Festlegung Betrachtungsrahmen bzgl. Abfälle, Entsorgungswege, über Klimarelevanz hinausgehende Aspekte
A2	Planungs-, Bewertungsgrundlagen <ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung zur Verfügbarkeit und zum Stand der Daten zu Abfallarten, -mengen, Entsorgungswege, Verfahren, Anlagen, Anlagendaten usw., - Festlegungen zu erforderlichen Datenerhebungen
A3	Datenquellen <ul style="list-style-type: none"> - Recherche nach möglichen Datenquellen für die unterschiedlichen Betrachtungen, - Festlegung der Wege der Informationsbeschaffung (z.B. Anlagenbefragung für sächsische Lösungen der Restabfallbehandlung, Literatur-/ Datenbankauswertung für Betrachtungen zu weiteren Abfällen)
A4	Anlagentechnik, Erhebungsumfang <ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der zu befragenden Anlagen/Betreiber und der abzufragenden Themenbereiche, - ggf. Entwicklung von Fragelisten im Erstentwurf
Modul B (01.02. bis 01.07.2008)	
B1	Datenerhebung <ul style="list-style-type: none"> - Anlagenbefragung über Fragebögen und Telefonaktion, Plausibilisierung der Daten - Literatur-, Datenbank- und Internetrecherchen, - ggf. Expertengespräche
B2	Datenauswertung <ul style="list-style-type: none"> - Erstellung von Anlagenstandort-Steckbriefe, Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz, - Qualitative und/oder halbquantitative Betrachtung zu „zusätzlichen“ Abfällen und zu über Klimarelevanz hinausgehenden Aspekten
Modul C (01.06. bis 15.11.2008)	
C1	Systemvergleich <ul style="list-style-type: none"> - Vergleich Restabfallbehandlung zur Deponierung, - Aufstellen von Rangfolgen für sächsische Anlagen zur Restabfallbehandlung und zur Bioabfallverwertung unter dem Aspekt der Klimarelevanz, - Ableitung von bestmöglichen Anlagen für Restabfallbehandlung und Bioabfallverwertung unter dem Aspekt der Klimarelevanz - Einbeziehung der (Literatur-)Ergebnisse für die „zusätzlichen“ Abfälle
C2	Bewertung <ul style="list-style-type: none"> - Diskussion der Ergebnisse unter Beachtung weiterer Aspekte (weitere ökologische sowie ökonomische Aspekte) – qualitative, halbquantitative Betrachtungen - Zusammenfassende Bewertung und ggf. neue Einordnung der Verfahren/Anlagen
C3	Entwicklungsszenarien <ul style="list-style-type: none"> - Darstellung von Potenzialen zur Einsparung von Treibhausgasemissionen über Szenarienbetrachtungen (z.B. Deponie – derzeitiger Stand – Umsetzung optimierte Technik), - Einschätzung der Realisierbarkeit von Zukunftsszenarien
C4	Empfehlungen, Maßnahmen <ul style="list-style-type: none"> - Ableitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen ggf. zur Politik/Organisation in der sächsischen Abfallwirtschaft, zu Technik resp. Technikentwicklung, zur Schaffung von Anreizen (z.B. durch finanzielle Förderung), - Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaprogramms des Freistaates Sachsen, - Ableitung von ggf. weiterem Forschungsbedarf

Im vorliegenden Bericht sind die **Ergebnisse zu den Arbeiten für Modul A** dargestellt.

5 Betrachtungen zu den durchzuführenden Untersuchungen (Ergebnisse Modul A)

Die Arbeiten für Modul A hatten insbesondere das Ziel, tiefer gehende Betrachtungen darüber anzustellen,

- ▶ welche methodischen Entwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Klimarelevanzberechnungen zu beachten sind,
- ▶ wie weit sich die Betrachtungen erstrecken sollen (Betrachtungsrahmen),
- ▶ welche weiteren Abfälle in die Untersuchungen auf der Grundlage von Literaturdaten einbezogen werden können,
- ▶ auf welche zusätzlichen Umweltaspekte oder ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekte die Betrachtungen ausgedehnt werden können/sollten.

Die Arbeitsinhalte für Modul A sind in Tabelle 1 umfassend dargestellt.

Mit den Ergebnissen für Modul A werden

- die konkreten Inhalte, d.h.
- die Methodik für die Klimarelevanz- und Energieeffizienzberechnungen,
- die Umsetzung und die Vorgehensweise,
- die Grundlagen für die Bearbeitung und
- die vorzunehmenden Auswertungen

für die Untersuchungen, die im Jahr 2008 in den Modulen B und C zu realisieren sind, festgelegt.

5.1 Methodenabgleich

5.1.1 Vorbemerkung

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie die Berechnung der Klimarelevanz und der Energieeffizienz in diesem Vorhaben erfolgen soll.

Die zur Anwendung gelangende Methodik bzgl. der Berechnung der klimarelevanten Emissionen resp. Emissionseinsparungen soll sich grundsätzlich am Vorgehen der Klimarelevanz-Studie 2001-2003 („Klimarelevanz 1“) orientieren, damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist. Auf der anderen Seite ist zu berücksichtigen, dass in den Jahren seit Fertigstellung dieser Studie möglicherweise interessante methodische Weiterentwicklungen stattgefunden haben. So haben mehrere renommierte Institute seither eine Reihe von Studien zur Betrachtung der Klimarelevanz abfallwirtschaftlicher Verfahren veröffentlicht. Die wichtigsten dieser Studien sollen daher auf methodische Optimierungsmöglichkeiten für das Vorhaben „Klimarelevanz 2“ untersucht werden.

Die Berechnung der Energieeffizienz war nicht Gegenstand des Vorhabens „Klimarelevanz 1“, auch wenn die Energieeffizienz von Anlagen bzw. Anlagenkonfigurationen mittelbar bei der Modellierung der Entsorgungslösungen mit eingeflossen ist. Aufgrund der großen Bedeutung der Energieeffizienz – vgl. u.a. das am 23.08.2007 auf der Klausursitzung in Meseberg von der Bundesregierung beschlossene Klima- und Energiepaket – wird dieser Aspekt im Folgenden vertieft betrachtet. Die unterschiedlichen Ansätze zur Berechnung der Energieeffizienz werden dargestellt und die zu verwendende Methodik festgelegt.

5.1.2 Methodik zur Berechnung der Klimarelevanz

5.1.2.1 Methodik der Studie „Klimarelevanz 1“

Die Studie „Klimarelevanz 1“ verwendete zum Einen die Methodik der überarbeiteten IPCC-Richtlinie aus dem Jahr 1996 zur Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare, zum Anderen einen ökobilanziellen Ansatz.

5.1.2.1.1 Basis IPCC: Richtlinie zur Erstellung eines Treibhausgas-Inventars

Nach der Methodik der überarbeiteten IPCC-Richtlinie aus dem Jahre 1996 zur Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare „Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories“ [1] wird die Freisetzung von klimarelevantem CO₂ etwa aus der Verbrennung von Abfällen (ohne Energierückgewinnung) anhand einer Input-Output-Berechnung bestimmt:

$$\text{CO}_2\text{-Emission [Gg/a]} = \sum_i (\text{IW}_i \cdot \text{CCW}_i \cdot \text{FCF}_i \cdot \text{EF}_i) \cdot 44/12$$

wobei gilt:

i = Abfallart (Restabfall, Sonderabfall, Klinikmüll, Klärschlamm)

IW_i = Menge an verbrannter Abfallart i pro Jahr [Gg/a]

CCW_i = Kohlenstoffgehalt in Abfallart i , z.B. 0,4 = 40%

FCF_i = Anteil an fossilem C in Abfallart i ²

EF_i = Grad des Ausbrandes der Verbrennungsanlage für Abfallart i

44/12 = Umrechnung von C zu CO₂

Sofern keine exakten eigenen Daten vorliegen, sind vom IPCC vorgegebene Standardwerte (default values) zu verwenden. Eine Überprüfung der Werte ergab, dass zwei Standardwerte für die Situation in Deutschland bzw. in Sachsen

² In der Gleichung 5.11 bezieht sich FCF_i auf die Abfallart, in Table 5.6 mit den Default-Werten wird aber klar, dass es sich um Prozent bezogen auf den Kohlenstoffanteil und nicht bezogen auf den gesamten Abfall handelt.

nicht zutreffend waren. Daher wurden im Einklang mit der IPCC-Richtlinie folgende Anpassung vorgenommen:

- Berechnung des mittleren Ausbrandgrades von deutschen MVAs,
- Modellierung eines Standardwertes für den C-Gehalt für deutschen Restabfall,
- Modellierung eines Standardwertes für den C-Gehalt für sächsischen Restabfall auf der Basis von:
 - Sortieranalysen verschiedener sächsischer Kommunen, aber nicht flächendeckend,
 - vier Sortierkampagnen an der TU Dresden (Dissertation Kost) modelliertem Restabfall,
 - einer Abschätzung des Kohlenstoffgehaltes von Sortierfraktionen und Anteil $C_{\text{regenerativ}}$ bzw. C_{fossil} nach Literaturangaben.

Diese Modellierung ergab einen niedrigeren C-Gehalt und einen höheren Anteil an regenerativem C im Restabfall als die vom IPCC vorgegebenen Standardwerte.

5.1.2.1.2 Anwendung der Methodik der Ökobilanzierung

Die IPCC-Methode war für die gewählte Fragestellung nicht ausreichend:

- Bei der Behandlung und Verwertung von Abfällen wird nicht nur Energie eingesetzt, sondern es werden auch anteilig Energieträger und verwertbare Stoffe abgetrennt und stehen einer Verwertung zur Verfügung. Nach IPCC-Richtlinie sind derartige Effekte durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen in der **Strom- und Wärmeversorgung** – hier: Verdrängung von fossilen Energieträgern – zu bilanzieren.
- Nach IPCC ist der Ersatz von fossilem durch regenerativen Kohlenstoff in der Strom- und Wärmeversorgung nicht im Abfall-, sondern im **Energiesektor** zu bilanzieren.

Aus diesem Grund wurde für das weitere Vorgehen ein ökobilanzieller Ansatz gewählt, um diese in der Abfallwirtschaft erzielten Effekte auch dort abzubilden.

Auf eine ausführliche Darstellung der Methodik der Ökobilanzierung wird an dieser Stelle verzichtet, da sie hinreichend bekannt und durch DIN EN ISO-Norm geregelt ist [2]. Die Studie erhebt allerdings nicht den Anspruch einer umfassenden Ökobilanz.

Gemäß dem Prinzip der Nutzengleichheit wurde für die verbrauchten bzw. erzeugten Stoffe Systeme modelliert, die denselben Nutzen auf anderem Weg (andere Rohstoffe, andere Verfahren) erzeugen (Äquivalenzsystem). Die Erzeugung der äquivalenten Nutzen wird dann dem jeweiligen Verfahren gutgeschrieben (z.B. Verdrängung von Strom aus fossilem C oder von Wärme aus Öl und Gas).

Dabei wurde versucht, innerhalb der Bilanzgrenze Freistaat Sachsen zu bleiben. So wurde nicht nur ein sächsischer Restabfall modelliert, sondern auch folgende Sachsen spezifische Daten:

- Modellierung eines sächsischen Strommixes 2000 anhand von GEMIS-Daten für Verbrauch (Lastschrift) bzw. Erzeugung (Gutschrift) von Strom.
- Modellierung eines Sachsen-Mixes [26 % Öl- + 74 % GUS-Erdgasfeuerung] für Wärmeauskopplung, anhand GEMIS-Daten.

Die Modellierung der Gutschriften für ausgeschleuste bzw. erzeugte Metalle, Methanol, Klinker und Salzsäure erfolgte anhand von Literaturdaten.

Auf der anderen Seite sind in einer Ökobilanz auch die erforderlichen Aufwendungen und Vorketten der verbrauchten/ersetzten Stoffe, z.B. der Bedarf an Zusatzbrennstoff oder der erforderliche (Mehr-)Aufwand für die Abgasreinigung zu berücksichtigen. Hier konnte nicht auf Sachsen spezifische Daten zurückgegriffen werden, daher wurden diese anhand einschlägiger Datenbanken (insbesondere GEMIS 4.0) berücksichtigt. Dies gilt für Lastschriften für Erdgas, Dieselaggregate, Betriebsmittel Rauchgasreinigung und Schwertransportemissionen.

Die Transporte wurden ebenfalls in der Bilanz berücksichtigt. Hierbei wurden aus Vereinfachungsgründen nur Transporte mit schweren Nutzfahrzeugen der Klasse EURO3 modelliert. Die Modellierung der Transportentfernungen zwischen den Anlagen erfolgte dann anhand eines elektronischen Routenplaners.

5.1.2.1.3 Schlussfolgerungen

Vor der weiteren Anwendung der Methodik ist zu prüfen, wo Anpassungsnotwendigkeiten und Optimierungsmöglichkeiten bestehen, insbesondere

- Aktualisierung der IPCC-Methodik,
- Aktualisierung der Sachsen spezifische Daten,
- Aktualisierung der Datenbasis (GEMIS) für Last- und Gutschriften,
- Aktualisierung der Daten zur Fahrzeugflotte der schweren Nutzfahrzeuge (EURO3/EURO4),
- Abgleich mit dem methodischem Vorgehen vergleichbarer Bilanzierungsstudien.

5.1.2.2 Aktualisierung der IPCC-Methodik

Das IPCC hat seine Methodik für die Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare zuletzt im Jahr 2006 aktualisiert [3]. Es haben sich im Detail Konkretisierungen und Ergänzungen ergeben, die Basis aber – reine Input-Output-Bilanzierung – ist unverändert.

Im Kapitel Abfall wird die Methodik für die Abschätzung der Emissionen an CO₂, Methan und Lachgas für folgende Kategorien beschrieben:

- Ablagerung fester Abfälle,
- biologische Behandlung fester Abfälle (Kompostierung, anaerobe Behandlung in Biogasanlagen),
- Verbrennung und offenes Abbrennen von Abfällen,
- Behandlung und Beseitigung von Abwasser.

Auch hier wird wieder mit Standard- oder länderspezifischen Durchschnittswerten gearbeitet, die – wo möglich - durch eigene, konkretere Daten ersetzt werden sollten [4].

- Abfallablagerung

Es ist vorgesehen, dass für die Studie „Klimarelevanz 2“ wieder die Berechnungen des LfUG zu den Emissionen aus (Alt-)Ablagerungen herangezogen werden, da diese Daten für das nationale Treibhausgas-Inventar zur Verfügung gestellt werden müssen und so Doppelarbeit vermieden werden kann. Es ist zu hinterfragen, in wie weit im LfUG diese neue Methodik eingesetzt wird bzw. ob die bisherigen Berechnungen bereits auf dieser Basis durchgeführt wurden.

Im Abschnitt Ablagerung fester Abfälle ist die Ablagerung vorbehandelter Abfälle – also Rottefraktion oder Gärrest aus der Vergärung – bei der Berechnung der Emissionen nicht vorgesehen. Sie wird im Abschnitt Biologische Behandlung berücksichtigt. Dort wird davon ausgegangen, dass die Methanemission vorbehandelten Materials maximal 5% der Emission aus der Ablagerung unbehandelten Abfalls entspricht:

„Due to the reduced amount in material, organic content and biological activity, the MB-treated waste will produce up to 95 percent less CH₄ than untreated waste when disposed in SWDS.“ [5].

- Biologische Behandlung

Anhand der eingebrachten Masse und spezifischer Emissionsfaktoren sollen die Emissionen von Methan und Lachgas berechnet werden. Im einfachsten Fall werden Standardwerte eingesetzt (Ebene 1), falls vorhanden, länderspezifische Emissionsfaktoren, die auf der Basis repräsentativer Messungen erhoben wurden (Ebene 2), oder im besten Fall an Anlagen oder Standorten ermittelte Messwerte (Ebene 3).

- Verbrennung (und offenes Abbrennen von Abfällen)

Bei der Formel für die Berechnung der CO₂-Emissionen wurde die irreführende Definition von FCF_i korrigiert (jetzt Bezug auf C-Gehalt). Zudem wird nunmehr der Gehalt an Trockenmasse im Abfall berücksichtigt.

$$\text{CO}_2\text{-Emission [Gg/a]} = \sum_i (\text{SW}_i \cdot \text{dm}_i \cdot \text{CF}_i \cdot \text{FCF}_i \cdot \text{OF}_i) \cdot 44/12$$

wobei gilt:

i = Abfallart (Restabfall, Sonderabfall, Klinikmüll, Klärschlamm)

SW_i = Menge an verbrannter fester Abfallart i pro Jahr [Gg/a]

dm_i = Trockensubstanz-Gehalt in der verbrannten Abfallart i (Frischsubstanz)

CF_i = Kohlenstoffgehalt in der Trockensubstanz der Abfallart i, z.B. 0,4 = 40%

FCF_i = Anteil an fossilem C im C-Gehalt von Abfallart i

OF_i = Oxidationsfaktor/Grad des Ausbrandes der Verbrennungsanlage für Abfallart i

44/12 = Umrechnung von C zu CO₂

Als „gute Praxis“ wird auch die Berechnung der CO₂-Emissionen anhand der Zusammensetzung des Abfalls aus Fraktionen bezeichnet, die analog der obigen Formel erfolgt. Auch hier werden im einfachsten Fall Standardwerte eingesetzt (Ebene 1), falls vorhanden, länderspezifische Daten zur Abfallzusammensetzung und zu Emissionsfaktoren (Ebene 2), oder im besten Fall an Anlagen oder Standorten ermittelte Messwerte (Ebene 3).

Die offene Abfallverbrennung und die Abwasserbehandlung werden in der Studie „Klimarelevanz 2“ nicht weiter behandelt, daher wird auf eine Darstellung der diesbezüglichen IPCC-Methodik an dieser Stelle verzichtet.

- GWP-Faktoren

Für die Berechnung der Inventare werden nach wie vor die 100-Jahres-GWPs aus dem Jahr 1996 und nicht die von der TAR-WG1 vorgeschlagenen GWP verwendet, vgl. Tabelle 2. Dies wird nicht explizit dargestellt, sondern ergibt sich aus dem Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC) [6]. Dort werden in Abbildung SPM.1 die nach globalem Erwärmungspotenzial (GWP) gewichteten globale Treibhausgasemissionen 1970 bis 2004 dargestellt. Dabei wird Bezug genommen auf die 100-Jahres-GWPs aus dem IPCC-Bericht 1996 (SAR; vgl. UNFCCC-Richtlinien für die Berichterstattung) [7].

Tab. 2: Direkte Treibhauspotenziale (Global Warming Potentials, GWPs) für Gase, deren Lebensdauer adäquat charakterisiert werden konnte, auf der Basis des Treibhauseffektes der atmosphärischen Emission von 1 kg CO₂

Treibhausgas	GWP _{100 Jahre} 1994	GWP _{100 Jahre} 1995 [7]	GWP _{100 Jahre} 2001 [8]
Kohlendioxid (CO ₂)	1	1	1
Methan (CH ₄)	24,5	21	23
Lachgas (N ₂ O)	320	310	296

Die Studie „Klimarelevanz 1“ hat in Absprache mit dem Auftraggeber die GWP_{100 Jahre} aus dem Jahr 2001 (TAR, WG1) verwendet. Um eine Vergleichbarkeit der Daten von „Klimarelevanz 2“ mit „Klimarelevanz 1“, aber auch mit anderen Studien auf diesem Gebiet und den Angaben für das Treibhausgas-Inventar zu erreichen, ist vorgesehen, die Ergebnisse im Projekt „Klimarelevanz 2“ jeweils für die GWP_{100 Jahre}-Faktoren 1995 und 2001 separat auszuweisen. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse werden sich im Bereich unterhalb von

10 % (Methan) bzw. 5 % (Lachgas) bewegen, wobei für den einen Parameter eine Erhöhung, für den anderen dagegen eine Verringerung des CO₂-Äquivalentwertes auftritt, so dass die Abweichungen in der Summe deutlich unter 10 % des Gesamtergebnisses betragen werden.

5.1.2.3 Aktualisierung der Sachsen spezifische Daten

In „Klimarelevanz 1“ wurden folgende Sachsen spezifischen Daten modelliert:

- Sächsischer Restabfall (Stadt, Land), mit Modellierung eines Standardwertes für den C-Gehalt und den Anteil fossilen Kohlenstoffs
- daraus abgeleitet C_{gesamt}- und C_{fossil}-Gehalt der heizwertreiche Fraktion aus MBA bzw. aus MBS
- Modellierung eines sächsischen Strommixes 2000
- Modellierung eines Sachsen-Mixes für Wärmeauskopplung.

Diese Daten sind zu aktualisieren.

5.1.2.3.1 Daten Restabfall

Aufkommen und Zusammensetzung des Restabfalls können sich aufgrund verschiedener Faktoren teils deutlich geändert haben, u.a.

- Reduzierung des Biomasseanteils aufgrund der Einführung der getrennten Bioabfallerfassung in weiteren Kommunen,
- Reduzierung des Holzanteils aufgrund verstärkter separater Erfassung für Biomasse-Kraftwerke bzw. direkter Einsatz in Biomasse-Einzelfeuerungen,
- veränderte Zusammensetzung und Anteil an LVP im Restabfall in Folge der letzten Novelle VerpackV (Pflichtpfand auf Einwegverpackungen, Ersatz Getränkedosen durch Kunststoffbehältnisse, ...),
- Greifen weiterer Maßnahmen zur separaten Erfassung schadstoffreicher, heizwertreicher Altprodukte (ElektroG, ...),
- usw.

Um Daten zur aktuellen Zusammensetzung des Restabfalls in Sachsen zu erhalten, sind Abfragen bei den ÖRE/Zweckverbänden, den Bezirksregierungen, dem LfUG und der TU Dresden sowie ggf. Anlagenbetreibern durchzuführen.

5.1.2.3.2 Sächsischer Strommix

Bei der Modellierung der Last-/Gutschriften für den sächsischen Strommix ist zu prüfen, ob und in welchem Umfang die Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger und die Einspeisung von Strom aus neuen thermischen Anlagen (u.a. MVA Lauta) zu einer Veränderung des Sächsischen Energiemixes geführt haben. So hat das LfUG seit dem Jahr 2003 deutliche Zuwächse für aus Biomasse erzeugter Elektroenergie berechnet (siehe Kasten).

Dynamisches Wachstum der Energieerzeugung aus Biomasse in Sachsen

Im Jahr 2006 wurden nach einer Prognose des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie etwa 728 GWh aus Biomasse erzeugter Elektroenergie in die Netze der sächsischen Energieversorgungsunternehmen eingespeist. Die Verwendung von fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse für die Energieerzeugung konnte damit gegenüber dem Jahr 2003 auf das 3,25 fache gesteigert werden. Auch im Vergleich zum Jahr 2005 wuchs die Energieerzeugung aus Biomasse wiederum um rund 33 %.

Zu diesem beachtlichen Zuwachs haben insbesondere mehrere größere Kraftwerke mit Leistungen von mehreren MW beigetragen, die nunmehr ganzjährig in das Netz einspeisen. Diese Entwicklung stimmt optimistisch, da die Bereitstellung von Strom und Wärme aus Biomasse die Zweidrittel-Marke der Zielstellung aus dem Sächsischen Klimaschutzprogramm von etwa 3.080 GWh schon erheblich überschritten hat. Dabei liefern Biomasseanlagen mit festen und flüssigen Energieträgern den Hauptanteil der erzeugten Energie.

http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/1270_1442.htm

Die Daten für den Energiemix Sachsen sind insbesondere anhand der Energieberichte des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit zu aktualisieren und darauf basierend der Energiemix neu zu modellieren.

5.1.2.3.3 Sachsen-Mix für Wärmeauskopplung

Bei der Modellierung der Gutschriften für Wärmeauskopplung ist zu prüfen, ob und in welchem Umfang die Maßnahmen zur Steigerung des Anschlusses an Nah- oder Fernwärmenetze, zum Ersatz von alten, ineffizienten Heizkesseln durch moderne Kessel (wie Brennwert-Technik) und zur Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger (Biomasse-Einzelfeuerungen, Solarthermie-Anlagen, Mikro-BHKW [9]) zu einer Veränderung des Sachsen-Mixes für Wärmeauskopplung geführt haben.

Die Daten für den Sachsen-Mix für Wärmeauskopplung sind insbesondere anhand der Energieberichte des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit zu aktualisieren und darauf basierend der Wärmemix neu zu modellieren.

5.1.2.4 Aktualisierung der allgemeinen Datenbasis für Last- und Gutschriften

Ein Großteil der Daten für die Last- und Gutschriften wurde anhand der vom Öko-Institut Freiburg/Darmstadt/Berlin entwickelten, frei zugänglichen Datenbank GEMIS (Gesamtemissionsmodell Integrierter Systeme), Version 4.0, ermittelt.

Diese Datenbank liegt mittlerweile in der Version 4.42 vor [10]. So wurden u.a. folgende Aktualisierungen vorgenommen:

- komplette Aktualisierung der fossilen Vorketten-Daten,
- neue Daten für Energieprozesse in Deutschland für das Jahr 2005,
- komplette Daten aus dem UBA-Vorhaben „Monitoring BiomasseVO“,

- komplette Daten aus dem EEA³-Projekt zu Biomasse in Europa,
- Aktualisierung der Photovoltaik-Daten.

5.1.2.5 Aktualisierung der Daten zur Fahrzeugflotte der schweren Nutzfahrzeuge (EURO3/EURO4)

Die Lastschrift für Transporte per Lkw und per Bahn wurde in „Klimarelevanz 1“ anhand der Daten aus GEMIS 4.0 modelliert. Dabei wurde aus dem Mix für Abfalltransporte aus GEMIS 4.0 nur der Lkw-Typ EURO3 ausgewählt, da dieser seinerzeit Standard war. Die anderen Lkw-Typen (EURO2 und EURO4) unterschieden sich hinsichtlich ihrer spezifischen Emissionen von NO_x, CO und NMVOC nur geringfügig und bzgl. der übrigen Treibhausgase gar nicht, so dass aus Vereinfachungsgründen nur EURO3 modelliert wurde.

Es ist zu prüfen, in wieweit zum gegenwärtigen Zeitpunkt vermehrt EURO4- oder EEV-Nutzfahrzeuge im Bereich der Abfalltransporte zum Einsatz kommen.

Die Datenbasis zur Emission aus den Abfalltransporten (inkl. Vorketten) ist anhand GEMIS 4.42 zu aktualisieren. Dabei ist auch darauf zu achten, dass die mittlerweile vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beimischung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen Auswirkungen auf die direkten Emissionen (und die Vorketten) hat.

Zudem sind weitere Parameter in die ökologische Bewertung einzubeziehen – vgl. Kap. „Zusätzlich“ zu betrachtende Umwelt- und andere Aspekte – wie insbesondere der Parameter PM₁₀ und NO_x als Sekundärpartikelbildner (für PM₁₀) für die Wirkungskategorie Humantoxizität. Der PM₁₀-Grenzwert nach EURO3 beträgt 0,1 g/kWh, nach EURO4 und EEV dagegen nur 0,02 g/kWh. Die Grenzwerte für NO_x sinken ebenfalls mit steigender Euro-Klasse von 5 g/kWh für EURO3 über 3,5 g/kWh für EURO4 auf 2,0 g/kWh für EURO5/EEV.

³ EEA = European Environment Agency, Europäische Umweltagentur

5.1.2.6 Abgleich mit dem methodischem Vorgehen vergleichbarer Bilanzierungsstudien

Seit Veröffentlichung der Studie „Klimarelevanz 1“ haben mehrere renommierte Institute Studien zur Klimarelevanz ausgewählter abfallwirtschaftlicher Konzepte oder Szenarien durchgeführt. In der Mehrzahl der Fälle bedienten sich die Autoren ebenfalls der Methodik der Ökobilanzierung.

Im Folgenden wird eine Auswahl dieser Studien daraufhin untersucht, wo im Vergleich zur Studie „Klimarelevanz 1“ ähnliche oder abweichende Modellierungen und Berechnungsansätze durchgeführt wurden. Im letzteren Fall wird diskutiert, ob eine Anpassung der Methodik für die Studie „Klimarelevanz 2“ an das abweichende methodische Vorgehen sinnvoll oder vorteilhaft ist.

Da die durchführenden Institute auf dem Gebiet der Ökobilanzierung abfallwirtschaftlicher Lösungen im deutschsprachigen Raum führend oder marktrelevant sind, wurde pro Institut jeweils nur eine Studie für den Vergleich ausgewählt, unter der Annahme, dass diese Institute ihre jeweilige Methode bei unterschiedlichen Studien beibehalten oder nur unwesentlich ändern würden. Aus der Vielzahl der Studien wurden für den Abgleich ausgewählt:

- **Öko-Institut, Freiburg, 2005:** Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. Studie unter Mitarbeit von IFEU-Heidelberg GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes
- **GUA, Wien, 2005:** Klimarelevanz der kommunalen Wiener Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag der Magistratsabteilungen 22 und 48, der Magistratsdirektion Klimaschutzkoordination, der Fernwärme Wien, der Wiener Kommunal-Umweltschutzprojektgesellschaft mbH und der Wiener Umwelthanwaltschaft
- **IKr - Institut für Kreislaufwirtschaft, Bremen, 2006:** Ökologische und energetische Bilanzierung des Vorhabens MKK, Studie im Auftrag der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen

- **bifa Umweltinstitut, Augsburg, 2007:** Abfallwirtschaft und Klimaschutz: Studie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt
- **MUNLV/IFEU, Düsseldorf/Heidelberg, 2007:** Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen; Forschungsarbeit im Auftrag des MUNLV, Düsseldorf

5.1.2.6.1 Öko-Institut 2005

Das Öko-Institut hat unter Mitarbeit des IFEU im Jahr 2005 eine Studie für das Umweltbundesamt mit dem Titel „Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale“ erstellt [11]. Tabelle 3 zeigt einen Vergleich wesentlicher Elemente dieser Studie mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Tab. 3: Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „Öko-Institut 2005“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Ansatzpunkt	Öko-Institut 2005	„Klimarelevanz 1“
Methodik	Ökobilanzierung	Ökobilanzierung
Bilanzierungsraum	Deutschland und EU-15, Jahresbasis	Sachsen, Jahresbasis
Abfallarten	Haus- und Sperrmüll, hmäGA, Altpapier, Altglas, LVP, Bioabfall	Restabfall, Bioabfall, Holzabfall
Wirkungsparameter	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.) Fossile Ressourcen (KEA) (PJ)	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)
GWP	CO ₂ fossil: 1 Methan fossil: 21 Methan regenerativ: 18 Lachgas: 310	CO ₂ fossil: 1 Methan fossil und regenerativ: 23 Lachgas: 296
Bilanzgrenze	Entstehung Abfall (inkl. Sammlung und Transport) bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken	Transport (ohne Sammlung) des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken

Fortsetzung Tab. 3

Ansatzpunkt	Öko-Institut 2005	„Klimarelevanz 1“
Anlagen für Restabfall	<ul style="list-style-type: none"> MBA, MVA, Kraftwerk und Zementwerk („Mitverbrennung“) Modellierung anhand von Massenflüssen 	<ul style="list-style-type: none"> MBA, MVA, Kraftwerk, Zementwerk Modellierung anhand von Massenflüssen
MVA	<ul style="list-style-type: none"> Direkte CO₂-Emission und Betriebsmittelbelastung gleich bleibend, lediglich Variation der Energie- und Metallauskopplung 	<ul style="list-style-type: none"> Differenzierte Modellierung mit unterschiedlicher Betriebsmittelbelastung und Variation der Energie- und Wertstoffauskopplung (Metalle, Salzsäure)
MBA	<ul style="list-style-type: none"> Reststoffe MBA (Rottegut) nach 2005 nur noch in MVA „Bezüglich der hier bilanzierten Kriterien unterscheiden sich die drei Verfahrensvarianten nicht wesentlich.“ 	<ul style="list-style-type: none"> Reststoffe (Rottegut) teils auf Deponie Bezüglich der hier bilanzierten Kriterien unterscheiden sich die modellierten Verfahrensvarianten wesentlich.
Angaben zu Technologie, Energiebedarf, Abgasreinigung, Betriebsmitteln etc.	nicht im Detail publiziert, sondern nur kumuliert als „Aufwand“	im Detail publiziert
Verwertung heizwertreiche Fraktion	<ul style="list-style-type: none"> In Stein- bzw. Braunkohlekraftwerken und in Zementwerken; Modellierung nicht publiziert 	<ul style="list-style-type: none"> In Braunkohlekraftwerk, SVZ und in Zementwerken Modellierung publiziert
Substitution Strom	Deutscher Strommix für 1990 und 2005, für 2020 verändert aufgrund Zubaus und Effizienzsteigerung	Sächsischer Strommix 2000
Substitution Wärme	Deutscher Mix nach IFEU 2005 [12], dort zitiert: Öko-Institut 2002 [13]	Sachsen-Mix
Transporte	„Die Beiträge für die Sammlung und den Transport der Abfälle fallen kaum ins Gewicht.“	Ähnlich
Abschneidekriterium ⁴	Irrelevanzgrenze von 1%, in Summe maximal 5 %	Kein explizites

⁴ 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.

Das methodische Vorgehen von „Klimarelevanz 1“ und Öko-Institut 2005 ist trotz Abweichungen im Detail durchaus vergleichbar. Auch hinsichtlich der verwendeten Datenbanken (GEMIS) ist von einer Vergleichbarkeit auszugehen.

Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen und den **Kernaussagen** der Studie des Öko-Instituts wider (keine Hervorhebungen im Original):

„Im Nationalen Inventarbericht (NIR) werden dem Abfallbereich durch das Deponierungsverbot allein 20 Mio. t CO₂-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 CO₂-Äquivalenten durch die Stilllegung der Deponien prognostiziert. ...

*Das Bilanzergebnis in dieser Kurzstudie weist dagegen für den Zeitraum von 1990 bis 2005 eine Entlastung von ca. 46 Mio. t CO₂-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.*

...

***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 CO₂-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.

...

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 CO₂-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.“

Die hier zur Anwendung gelangende Methodik wird auch in anderen Ökobilanz-Studien des Öko-Instituts/IFEU verwendet:

- IFEU/Öko-Institut 2007: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Verwertung organischer Abfälle, Studie des IFEU-Institut und Öko-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes [14]

5.1.2.6.2 GUA 2005

Die GUA - Gesellschaft für umfassende Analysen (inzwischen: Denkstatt), Wien, hat im Jahr 2005 eine Studie im Auftrag der Magistratsabteilungen 22 (Umweltschutz) und 48 (Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark), der Magistratsdirektion Klimaschutzkoordination, der Fernwärme Wien, der Wiener Kommunal-Umweltschutzprojektgesellschaft mbH und der Wiener Umweltanwaltschaft mit dem Titel „Klimarelevanz der kommunalen Wiener Abfallwirtschaft“ erstellt [15]. Tabelle 4 zeigt einen Vergleich wesentlicher Elemente dieser Studie mit der Studie „Klimarelevanz 1“.

Tab. 4: Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „GUA 2005“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Ansatzpunkt	GUA 2005	„Klimarelevanz 1“
Methodik	Ökobilanzierung	Ökobilanzierung
Bilanzierungsraum	Wien, Jahresbasis inkl. Altstoffverwertungsanlagen außerhalb Wiens	Sachsen, Jahresbasis
Abfallarten	Wiener Siedlungsabfälle: Restabfall, Papier-, Glas-, Metall- und Kunststoffverpackungen	Restabfall, Bioabfall, Holzabfall
Wirkungsparameter	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)
GWP	CO ₂ fossil: 1 Methan: 21 Lachgas: 310	CO ₂ fossil: 1 Methan: 23 Lachgas: 296
Bilanzgrenze	Sammlung und Transport des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich Verwertung in Anlagen außerhalb Wiens	Transport (ohne Sammlung) des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken
Anlagen für Restabfall	<ul style="list-style-type: none"> • MA, MVA, Deponie • Modellierung anhand von Massenflüssen • Daten von Anlagenbetreibern 	<ul style="list-style-type: none"> • MBA, MVA, Kraftwerk, Zementwerk, z.T. Deponie • Modellierung anhand von Massenflüssen
MVA	<ul style="list-style-type: none"> • Konkrete Anlagen (MVA Spittelau, Flötzersteig, Werk Simmeringer Haide) • Geplante Anlage (MVA Pfaffenau) 	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzierte Modellierung mit unterschiedlicher Betriebsmittelbelastung und Variation der Energie- und Wertstoffauskopplung (Metalle, Salzsäure)

Fortsetzung Tab. 4

Ansatzpunkt	GUA 2005	„Klimarelevanz 1“
M(B)A	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Aufbereitung (MA), keine Biologie (Aufbereitungsanlage Rinterzelt (ABA)) • Reststoffe (Schwerfraktion) teils auf Deponie 	<ul style="list-style-type: none"> • MA, MBA, MBS • MBA: Reststoffe (Rottegut) teils auf Deponie
Angaben zu Technologie, Energiebedarf, Abgasreinigung, Betriebsmitteln etc.	im Detail nicht publiziert	im Detail publiziert
Verwertung heizwertreiche Fraktion	<ul style="list-style-type: none"> • In MVA • Teils auch im Wirbelschichtofen (WSO4) des Werks Simmeringer Haide (Wien) • Detailangaben nicht publiziert 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Braunkohlekraftwerk, SVZ und in Zementwerken • Modellierung publiziert
Substitution Strom	Österreichischer thermischer Mix [16]	Sächsischer Strommix 2000
Substitution Wärme	Hausbrand in Wien ohne Fernwärme [17]	Sachsen-Mix
Transporte	<i>„Zu erkennen ist weiters die untergeordnete Bedeutung der aus der Sammlung und dem Transport resultierenden treibhausrelevanten Emissionen.“</i>	ähnlich
Abschneidekriterium	Kein explizites	Kein explizites

Trotz Abweichungen im Detail ist das methodische Vorgehen von „Klimarelevanz 1“ und GUA 2005 vergleichbar. Hinsichtlich der verwendeten Datenbanken (ÖAWM-DST⁵) kann keine Aussage zur Vergleichbarkeit getroffen werden, da das von GUA verwendete Tool nicht öffentlich zugänglich ist.

⁵ Österreichisches Abfallwirtschaftsmodell-Decision Support Tool, von der GUA (heute: denkstatt GmbH) und ARCS (Austrian Research Centers) entwickeltes Softwaretool

Die Ergebnisse der GUA-Studie decken sich vom Grundsatz her mit denen vergleichbarer Studien. Die Kernaussagen lauten:

- *„Die freigesetzten treibhausrelevanten Emissionen aus der kommunalen Wiener Abfallwirtschaft haben seit 1990 deutlich abgenommen (rund - 25%) und werden sich auch zukünftig reduzieren (- 9%).
Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion lieferten die verstärkte thermische Behandlung des Restmülls, die getrennte Sammlung von Bioabfällen und deren Kompostierung und die Errichtung eines Deponiegaseraffassungssystems mit einer Verstromung des Deponiegases.*
- *Die Emissionsgutschriften aus der Gewinnung von Fernwärme, Strom und Kompost sind seit 1990 deutlich gestiegen (+ 67%) und werden auch zukünftig deutlich weiter steigen (+ 22%).
Die Gründe für den Anstieg der Emissionsgutschriften sind in erster Linie die Steigerung der Energieabgabe der thermischen Anlagen, der Ausbau des Fernwärmenetzes und die Steigerungen der erzeugten Kompostmengen.“*

Weitere Ergebnisse:

- *„Zunächst zeigt sich, dass Sammlung und Transport hinsichtlich der Emission treibhauswirksamer Luftschadstoffe von deutlich untergeordneter Bedeutung sind. Weit größer wirkt sich der positive Einfluss der Verwertung von Altstoffen aus.“*
- *„Insgesamt zeigt diese Art der Bilanzierung somit noch deutlicher, dass die eingesparten treibhausrelevanten Emissionen die auftretenden Emissionen übersteigen.“*

5.1.2.6.3 IKr - Institut für Kreislaufwirtschaft 2006

Das Institut für Kreislaufwirtschaft an der Hochschule Bremen hat im Jahr 2006 im Auftrag der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen eine ökologische und energetische Bilanzierung des Vorhabens Mittelkalorik-Kraftwerk vorgenommen [18]. Die Studie wurde als solche nicht publiziert, ihre Ergebnisse wurden als Tagungsbeitrag veröffentlicht [19]. Der Auftraggeber swb hat der BZL GmbH die

Studie für den Methodenvergleich im Rahmen der Studie „Klimarelevanz 2“ überlassen, allerdings ohne den Anhang mit den technischen Daten.

Tabelle 5 zeigt einen Vergleich wesentlicher Elemente dieser Studie mit der Studie „Klimarelevanz 1“.

Tab. 5: Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „IKr 2006“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Ansatzpunkt	IKr 2006	„Klimarelevanz 1“
Methodik	Ökobilanzierung	Ökobilanzierung
Bilanzierungsraum	MKK-Gesamtsystem aus Stoffstrommanagement (MA), Mittelkalorikkraftwerk, Müllheizwerk und Deponie, am Standort Bremen, Jahresbasis	Sachsen, Jahresbasis
Abfallarten	198.000 Mg Abfall-Mix aus Bremen (HM, hmäGA, SM, DSD-Rest, Baustellenabfall, heizwertreicher GA)	Restabfall, Bioabfall, Holzabfall
Wirkungsparameter	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)
GWP	CO ₂ fossil: 1 Methan: 21 Lachgas: k.A.	CO ₂ fossil: 1 Methan: 23 Lachgas: 296
Bilanzgrenze	<ul style="list-style-type: none"> Sammlung und Transport des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich energetische Verwertung stoffliche Verwertung von Sekundärmaterialien wird nicht bilanziert 	<ul style="list-style-type: none"> Transport (ohne Sammlung) des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken stoffliche und energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen oder Metallen sowie Entsorgung Reststoffe auch außerhalb Sachsens
Anlagen für Restabfall/Abfall-Mix	<ul style="list-style-type: none"> MA (Stoffstrommanagement) MVA (MHW) MKK Deponie 	<ul style="list-style-type: none"> MBA, MVA, Kraftwerk, Zementwerk, z.T. Deponie Modellierung anhand von Massenflüssen
MVA/MKK	<ul style="list-style-type: none"> MHW: Konkrete Anlagenkonfiguration, Daten des Betreibers MKK: Planungsdaten 	<ul style="list-style-type: none"> Differenzierte Modellierung mit unterschiedlicher Betriebsmittelbelastung und Variation der Energie- und Wertstoffauskopplung (Metalle, Salzsäure)

Fortsetzung Tab. 5

Ansatzpunkt	IKr 2006	„Klimarelevanz 1“
M(B)A	<ul style="list-style-type: none"> Stoffstrommanagement / Gewerbeabfallsortieranlagen 	<ul style="list-style-type: none"> MA, MBA, MBS Reststoffe (Rottegut) teils auf Deponie
Angaben zu Technologie, Energiebedarf, Abgasreinigung, Betriebsmitteln etc.	im Detail nicht zugänglich	im Detail publiziert
Verwertung heizwertreiche Fraktion	<ul style="list-style-type: none"> Im MKK 	<ul style="list-style-type: none"> Im Braunkohlekraftwerk, SVZ und in Zementwerken Modellierung publiziert
Substitution Strom	Strommix Bremen (Steinkohle-dominiert)	Sächsischer Strommix 2000
Substitution thermische Energie (Fernwärme, Prozessdampf) aus der thermischen Abfallbehandlung	Bundesdeutscher Mix nach GEMIS 4.14	Sachsen-Mix
Substitution thermische Energie aus der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Zement- bzw. Kohlekraftwerken	Bundesdeutscher Mix nach GEMIS 4.14 (für MKK)	Sachsen-Mix
Transporte	Gehen mit weniger als 1 % in die Bilanzierung ein	Nicht ergebnisrelevant
Abschneidekriterium	Kein explizites	Kein explizites

Auch wenn der Datenanhang der Studie nicht zur Verfügung steht, lassen sich doch Schlussfolgerungen hinsichtlich der eingesetzten Methodik ziehen. So ist trotz Abweichungen im Detail das methodische Vorgehen von „Klimarelevanz 1“ und IKr 2006 vergleichbar. Hinsichtlich der verwendeten Datenbanken (GaBi 4, GEMIS 4.14) ist ebenfalls von einer Vergleichbarkeit auszugehen.

Die IKr-Studie greift zudem einen methodischen Ansatz auf, der bereits in der Studie „Klimarelevanz 1“ für Sachsen zur Anwendung kam: die Modellierung eines Strommixes innerhalb des Bilanzierungsraums, hier des Bremer Strommi-

xes. Diese Modellierung hat deutliche Auswirkungen auf das Ergebnis der Studie:

„Für die Interpretation dieser Ergebnisse sei nochmals auf den hohen Steinkohleanteil im für die Gutschriftenberechnung angesetzten „Strom-Mix Bremen“ hingewiesen (vgl. Kap. 3.3.1), der im Vergleich zum bundesdeutschen bzw. UCTPE-Strom-Mix höhere Gutschriften und damit eine insgesamt positivere Bilanz bewirkt. Diese Aussage gilt für den Standort Bremen und kann nicht für ganz Deutschland verallgemeinert werden. An anderen Standorten müssen die dort vorliegenden Energie-Mixes betrachtet werden, die u.U. aufgrund niedrigerer fossiler Energieanteile nur noch relative, aber keine absoluten CO₂-Einsparungen mehr ergeben.“

5.1.2.6.4 BIFA 2007

Das bifa Umweltinstitut hat sich in den vergangenen Jahren mehrfach mit der ökobilanziellen Betrachtung abfallwirtschaftlicher Szenarien befasst, so u.a. in Studien wie

- bifa: Ökoeffizienz von öffentlichen Entsorgungsstrukturen. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2004 [20]
- bifa: Abfallwirtschaft und Klimaschutz. Studie angefertigt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, 2007 [21]

Tabelle 6 zeigt einen Vergleich wesentlicher Elemente der bifa-Studie 2007 [21] mit der Studie „Klimarelevanz 1“.

Tab. 6: Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „bifa 2007“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Ansatzpunkt	bifa 2007	„Klimarelevanz 1“
Methodik	Ökobilanzierung	Ökobilanzierung
Bilanzierungsraum	Bayern, Jahresbasis (2003)	Sachsen, Jahresbasis
Abfallarten	In Bayern gesammelte und erfasste Siedlungs-, Bau- und Gewerbeabfälle (Papier, Pappe und Kartonagen (PPK), Altglas, Altmetall, Leichtverpackungen (LVP), Altholz, Grün- gut, Bioabfall, Restabfall, Ab- fälle zur energetischen Ver- wertung Kunststoffe, Gemischte Ge- werbeabfälle, Baurestmassen)	Restabfall, Bioabfall, Holzab- fall
Wirkungsparameter	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)
GWP	CO ₂ fossil: 1 Methan: 21 Lachgas: 310	CO ₂ fossil: 1 Methan: 23 Lachgas: 296
Bilanzgrenze	<ul style="list-style-type: none"> Sammlung und Transport des Abfalls zur Erstbehandlungs- anlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Ze- mentwerken stoffliche und energetische Verwertung von Ersatzbrenn- stoffen oder Metallen auch außerhalb Bayerns 	<ul style="list-style-type: none"> Transport (ohne Sammlung) des Abfalls zur Erstbehand- lungsanlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Ze- mentwerken Stoffliche und energetische Verwertung von Ersatzbrenn- stoffen oder Metallen sowie Entsorgung Reststoffe auch außerhalb Sachsens
Anlagen für Rest- abfall	<ul style="list-style-type: none"> MVA (89%), Deponie (9%), MBA (2%) (+ Deponie/Hochofen) 	<ul style="list-style-type: none"> MBA, MVA, Kraftwerk, Ze- mentwerk, z.T. Deponie Modellierung anhand von Massenflüssen
MVA	<ul style="list-style-type: none"> Vereinfachtes Modell nach Literaturangaben Keine weiteren Angaben 	<ul style="list-style-type: none"> Differenzierte Modellierung mit unterschiedlicher Be- triebsmittelbelastung und Va- riation der Energie- und Wert- stoffauskopplung (Metalle, Salzsäure)
MBA	„Aufgrund der geringen Relevanz wurden die Vorbehandlung in der MBA und die Herstellung von Ersatzbrennstoffen ... nicht modelliert“	<ul style="list-style-type: none"> MA, MBA, MBS Reststoffe (Rottegut) teils auf Deponie

Fortsetzung Tab. 6

Ansatzpunkt	bifa 2007	„Klimarelevanz 1“
Angaben zu Technologie, Energiebedarf, Abgasreinigung, Betriebsmitteln etc.	im Detail nicht publiziert	im Detail publiziert
Verwertung heizwertreiche Fraktion	<ul style="list-style-type: none"> • Im Hochofen • In MVA: Abfall zur energetischen Verwertung • Detailangaben nicht publiziert 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Braunkohlekraftwerk, SVZ und in Zementwerken • Modellierung publiziert
Substitution Strom	Elektrische Energie aus dem Strommix Deutschland (keine Detailangaben)	Sächsischer Strommix 2000
Substitution thermische Energie (Fernwärme, Prozessdampf) Aus der thermischen Abfallbehandlung	Thermische Energie (Fernwärme, Prozessdampf) aus einem repräsentativen Erzeugungsmix für Deutschland (keine Detailangaben)	Sachsen-Mix
Substitution thermische Energie aus der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Zement- bzw. Kohlekraftwerken	Thermische Energie aus Primärbrennstoff (Kohle) in Zement- bzw. Kohlekraftwerken (keine Detailangaben)	Sachsen-Mix
Transporte	Keine Aussage	Nicht ergebnisrelevant
Abschneidekriterium	Kein explizites	Kein explizites

Die Darstellung der Datenbasis in der (kostenpflichtig) publizierten Studie ist vergleichsweise dürftig. Andere Institute arbeiten hier weitaus transparenter, was auch die Ergebnisse besser nachvollziehbar macht. Gleichwohl sind die Ergebnisse der bifa-Studie 2007 plausibel. Angesichts der hohen Dichte von MVAs sind die Kernaussagen der Studie durchaus nachvollziehbar:

„Das Szenario Bayern 2003 zeigt, dass im Jahr 2003 von der bayerischen Abfallwirtschaft keine Belastung der Umwelt mit treibhauswirksamen Gasen ausging.“

Mit dem Verzicht auf die Deponierung von Abfällen konnte, wie im Szenario Bayern 2003 ohne Deponierung ermittelt, die bereits im Szenario Bayern 2003 ermittelte Entlastung der Umwelt von treibhauswirksamen Gasen um weitere ca. 14 % erhöht werden.

Das Szenario Bayern 2003 vollständige Deponierung zeigt, dass eine Deponierung der gesamten 2003 angefallenen Siedlungs- und Gewerbeabfallmenge zu einer Belastung der Umwelt mit treibhauswirksamen Gasen in Höhe von 9,58 Mio. t CO₂-Äquivalenten geführt hätte. Wird dieses Treibhauspotenzial dem aktuellen Beitrag der bayerischen Abfallwirtschaft zur Treibhausgasminderung des Szenarios Bayern 2003 gegenüber gestellt, dann ergibt sich für die bayerische Abfallwirtschaft ein Beitrag zur Minderung der Emission von Treibhausgasen in Höhe von 12,78 Mio. t CO₂-Äquivalenten. Wird auch der Verzicht auf Deponierung von Abfällen eingerechnet (Szenario Bayern 2003 ohne Deponierung), dann erhöht sich der Gesamtbeitrag zur Treibhausgasminderung auf 13,22 Mio. t CO₂-Äquivalente.“

5.1.2.6.5 MUNLV/IFEU 2007

Das IFEU hat aktuell weitere abfallwirtschaftliche Studien unter Anwendung der Methodik der Ökobilanz durchgeführt, wie

- IFEU 2007: Behandlungsalternativen für klimarelevante Stoffströme. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [22]
- MUNLV/IFEU 2007: Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen; Forschungsarbeit im Auftrag des MUNLV, Düsseldorf [23]

Das IFEU verwendet die Methodik der Ökobilanzierung schon seit Jahren. Bei der Bewertung der Ergebnisse wendet die IFEU auch die am Umweltbundesamt entwickelten Bewertungsansätze für Ökobilanzen [24], insbesondere die Normierung der Ergebnisse an, so auch in den beiden oben zitierten Studien [22]:

„Auch bei Beschränkung der Indikatoren auf wenige Leitsubstanzen können die Kernelemente des am Umweltbundesamt entwickelten Bewertungsansatzes für Ökobilanzen [UBA 1999] zu sinnvollem Einsatz kommen. Wichtigstes Element ist dabei die **Normierung** (Ermittlung des spezifisches Beitrags). Der spezifische Beitrag, der sozusagen das rechnerische Ergebnis der Bilanzierung darstellt (Normierung der Wirkungsabschätzung), wird hier in absoluter Größe in der Einheit „Einwohnerdurchschnittswerte“ (EDW) ausgedrückt. Der Einwohnerdurchschnittswert stellt die mittlere Pro-Kopf-Last eines Bundesbürgers dar (z.B. 13 t CO₂-Äquivalente pro Jahr). Teilt man die Last einer Verwertungsoption bzw. den Unterschied zwischen zwei Optionen durch diesen Wert, so erhält man die Anzahl an Einwohnern, die der Option oder dem Unterschied entspricht.“

Die Normierung führt zu einer weiteren Abstraktion der Ergebnisse. Es werden nicht mehr absolute Zahlen, sondern nur noch Einwohnerdurchschnittswerte oder – noch weiter abstrahiert – „Abstände zur jeweils besten Option“ dargestellt werden, vgl. Tabelle 7.

Tab. 7: IFEU 2007: Unterschiede zwischen den drei Systemoptionen zur thermischen Abfallentsorgung, normiert und in EDW ausgedrückt; skaliert auf 2,6 Mio. Mg Sperrmüll [22]

	MVA SM1	Kraftwerk SM2	Zementwerk SM3
Fossiles CO₂	130.000	①	320
Stickstoffoxide	33.000	①	3.900
Cadmium	①	670.000	230.000
Quecksilber	43.000	①	68.000

Die Zahlen drücken die Abstände zur jeweils besten Option (①) aus. 1 EDW ist per Definition die Durchschnittslast, per Umlage verursacht durch einen Einwohner Deutschlands.
1 Quadrat entspricht 100.000 EDW (gerundet).

Für eine bessere Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Ergebnisse ist deren Darstellung in absoluten Zahlen aber unerlässlich, und sie sollte daher nicht durch die Darstellung normierter Werte ersetzt, sondern lediglich ergänzt werden. [In der IFEU-Studie sind aber auch die Ergebnisse in CO₂-Äq. angegeben, darum trifft in diesem Fall die Kritik nicht zu.]

Eine weitere Neuerung zeigt die Studie „Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen“ im Auftrag des nordrhein-westfälischen Umweltministeriums aus dem Jahr 2007 [23]. Hier wurden unter Bezugnahme auf das IPCC 2001 [25] neue GWP-Faktoren für die Berechnung des Treibhauseffektes von Methan und Lachgas verwendet. Allerdings ist der GWP-Faktor für Methan (fossil) von 25,8 in der angegebenen Quelle [25] nicht enthalten. Auf Nachfrage teilte das IFEU mit [26]:

„Die 23 beziehen sich bei IPCC 2001 nach unserer Lesart ausschließlich auf das Methan als solches. In der 100 Jahresbilanz ist dabei der Abbau zu CO₂ (CH₄ „lebt“ nur 15 a) nicht enthalten. Das ist für CH₄ aus regenerativen Quellen dann auch so richtig. Für fossiles CH₄ (Erdgas, Grubengas) muss man aber nach dem Abbau zu CO₂ (von diffus freigesetztem Gas, Pipeline, Grube) noch die 85 Jahre als fossiles CO₂ in der Atmosphäre (100 a Lebensdauer von CO₂) draufrechnen. IPCC hat das damals wegargumentiert, weil bei Verbrennungsprozessen das dort freigesetzte Rest-CH₄ in den Bilanzen ja immer schon vollständig als CO₂ angerechnet wird (Totaloxidation allen Cs). Das gilt aber eben nicht für die diffusen Quellen, und die sind nach unsere Erfahrungen eigentlich immer dominant.

So gesehen sind die 25,8 ein von uns errechneter Wert auf Basis IPCC und deren Modelldaten.“

Es ist nicht Aufgabe des Vorhabens „Klimarelevanz 2“, diese strittige Frage zu klären, daher wird für das Vorhaben der vom IFEU abgeleitete GWP-Wert für fossiles Methan nicht verwendet.

Tabelle 8 zeigt einen Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „MUNLV/IFEU 2007“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“.

Tab. 8: Vergleich wesentlicher Elemente der Studie „MUNLV/IFEU 2007“ mit der Studie „Klimarelevanz 1“

Ansatzpunkt	MUNLV/IFEU 2007	„Klimarelevanz 1“
Methodik	Ökobilanzierung	Ökobilanzierung
Bilanzierungsraum	Nordrhein-Westfalen, Jahresbasis	Sachsen, Jahresbasis
Abfallarten	Hausmüll (NRW-typisch), hmäGA, LVP-Sortierreste	Restabfall, Bioabfall, Holzabfall
Wirkungsparameter	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.) Versauerung (SO ₂ -Äq.) Eutrophierung, terrestrisch (PO ₄ ³⁺ -Äq.) Humantoxizität (As-Äq., Hg, PM ₁₀ -Äq.) Ressourcenbeanspruchung (MJ/kg) Deponievolumen (m ³)	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)
GWP	CO ₂ fossil: 1 Methan fossil: 25,8 Methan regenerativ: 23 Lachgas: 296	CO ₂ fossil: 1 Methan fossil und regenerativ: 23 Lachgas: 296
Bilanzgrenze	Entstehung Abfall (inkl. Sammlung und Transport) bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken	Transport (ohne Sammlung) des Abfalls zur Erstbehandlungsanlage bis einschließlich Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken
Anlagen für Restabfall	<ul style="list-style-type: none"> MVA, MBA + Kraftwerk oder Zementwerk 	<ul style="list-style-type: none"> MBA, MVA, Kraftwerk, Zementwerk
MVA	<ul style="list-style-type: none"> Modellierung (mittlere, typische Kennwerte) beispielhafter Anlagen anhand konkreter Anlagen in NRW 	<ul style="list-style-type: none"> Differenzierte Modellierung mit unterschiedlicher Betriebsmittelbelastung und Variation der Energie- und Wertstoffauskopplung (Metalle, Salzsäure)
MBA	<ul style="list-style-type: none"> Modellierung (mittlere, typische Kennwerte) beispielhafter Anlagen anhand konkreter Anlagen in NRW 	<ul style="list-style-type: none"> Modellierung (mittlere, typische Kennwerte) beispielhafter Anlagen anhand konkreter Anlagen in Deutschland

Fortsetzung Tab. 8

Ansatzpunkt	MUNLV/IFEU 2007	„Klimarelevanz 1“
Angaben zu Technologie, Energiebedarf, Abgasreinigung, Betriebsmitteln etc.	im Detail publiziert (<u>vorbildlich!</u>)	im Detail publiziert
Verwertung heizwertreiche Fraktion	<ul style="list-style-type: none"> • In Stein- bzw. Braunkohlekraftwerken und Zementwerken; • Modellierung im Detail publiziert (<u>vorbildlich!</u>) 	<ul style="list-style-type: none"> • In Braunkohlekraftwerken, SVZ und in Zementwerken • Modellierung publiziert
Substitution Strom	Deutscher Strommix 2003 nach AG Energiebilanzen [DIW 2004] Sensitivitätsbetrachtung: ein Mix von 50 % Steinkohle und 50 % Erdgas; dieser Mix wird u.a. vom Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (BKWK) als Basis zur Substitutionsrechnung von KWK-Strom herangezogen.	Sächsischer Strommix 2000
Substitution Wärme	Energieträgermix 2003 nach AG Energiebilanzen [27]	Sachsen-Mix
Transporte	<i>„Der Einfluss der Transportvorgänge auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung stellte sich für die Mehrzahl der Kategorien (z.B. Treibhauseffekt, toxische Emissionen) als sehr geringfügig dar.“</i>	Ähnlich
Abschneidekriterium	Irrelevanzgrenze von 1%, in Summe maximal 5 %	Kein explizites

Trotz Abweichungen im Detail ist das methodische Vorgehen in der Studie MUNLV/IFEU 2007 und „Klimarelevanz 1“ vergleichbar. Hinsichtlich der verwendeten Datenbanken (GEMIS, ECOINVENT 2000, UMBERTO®) ist ebenfalls von einer Vergleichbarkeit auszugehen.

Auch weisen die Ergebnisse in die gleiche Richtung:

„Ergebnisse nach Systemen und Anlagen

Aus den umfangreichen Analysen und Bewertungen lassen sich bezogen auf das betrachtete Spektrum an Anlagen folgende Ergebnisse für die Entsorgungssysteme ableiten:

1. *Die Entsorgungssysteme Mitverbrennung in Zement- oder Kraftwerken – die die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen durch Aufbereitung, deren Einsatz in Kraft- oder Zementwerken sowie die Entsorgung der Reste über MVA und/oder Deponie umfasst – weisen beim Umweltindikator Treibhauseffekt und anderen energiedominierten Kategorien im Durchschnitt eine etwas günstigere Bilanz auf als das Entsorgungssystem der Monoverbrennung in Müllverbrennungsanlagen.*
2. *Bei optimaler Energienutzung (vollständige Dampfverwertung) kann das Entsorgungssystem MVA beim Treibhauseffekt ein dem Entsorgungssystem Mitverbrennung vergleichbares Ergebnis erzielen oder – je nach Einzelfallbetrachtung – auch dem Entsorgungssystem der Mitverbrennung überlegen sein.*
3. *Im Entsorgungssystem Mitverbrennung beeinflussen drei Faktoren das Ergebnis für den Treibhauseffekt:*
 - a. *die Ausbringungsmenge an EBS durch die Aufbereitung*
 - b. *die Art des substituierten Regelbrennstoffs und*
 - c. *die Energieeffizienz der MVA, die im Entsorgungssystem Mitverbrennung zur Entsorgung der nach der Aufbereitung verbleibenden Restfraktion enthalten ist.“*

5.1.2.6.6 Fazit Methodenabgleich

Der vorgenommene kurze Methodenabgleich zeigt, dass die Methode der Ökobilanzierung in der Abfallwirtschaft etabliert ist und dass sich in den analysierten Studien führender Institute lediglich Abweichungen im Detail bezogen auf das Vorgehen von „Klimarelevanz 1“ ergeben:

- In den zum Methodenabgleich herangezogenen Studien wurden teilweise abweichende GWP-Faktoren verwendet. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse bewegen sich im Bereich von kleiner 5 bis kleiner 10%. Dies dürfte angesichts der Verwendung von Modellen und der Berechnung mit Schätzwerten weniger ergebnisrelevant sein als etwa Veränderungen bspw. der Modellierung der Massenströme oder der Effizienz der energetischen Verwertung/Energieauskopplung (Strom und Wärme). Die im Projekt „Klimarelevanz 1“ verwendeten GWP finden mittlerweile auch Eingang in neuere Studien, z.T. in abgewandelter Form (MUNLV/IFEU 2007).
- Die Modellierung der Behandlung/Verwertung/Beseitigung wird entweder anhand konkreter Anlagen (IKr, bifa) oder auch anhand typischer mittlerer Anlagen durchgeführt.
- Die Modellierung eines Mixes für Strom (IKr) oder Wärme (GUA) für einen Bilanzraum, der kleiner ist als das gesamte Land (Deutschland bzw. Österreich), wird auch von anderen Instituten praktiziert .
- Die Normierung der Ergebnisse auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) hat sich bislang nicht durchgesetzt, sondern wird lediglich vom IFEU praktiziert.
- In allen Studien, in der die Sammlung der Abfälle mit berücksichtigt wurde, erwies sich, dass deren Beitrag „kaum ins Gewicht fällt“ bzw. die Irrelevanzgrenze (1%) erreicht.

Dieser kurze Methodenabgleich erlaubt die Schlussfolgerung, dass die im Projekt „Klimarelevanz 1“ angewandte Methodik – mit aktualisierter Datenbasis – mit der Methodik der führenden Institute vergleichbar ist und somit auch im Vorhaben „Klimarelevanz 2“ zum Einsatz kommen kann.

5.1.3 Methodik zur Berechnung der Energieeffizienz

5.1.3.1 Anlagen

Als „Anlagen“ werden im Folgenden:

- Abfall-(Müll-)verbrennungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle,
- Energetische Verwertungsanlagen (Mitverbrennung in Kraftwerken oder Monoverbrennungsanlagen für abfallstämmige Brennstoffe),
- Zement- und Kalkbrennanlagen sowie
- Mechanisch (-biologische) Vorbehandlungsanlagen für Siedlungsabfälle

bezeichnet.

5.1.3.2 Energetischer Wirkungsgrad von Anlagen

Basis für die Bewertung der Energieeffizienz ist die Berechnung eines Kriteriums, das auf der Definition eines energetischen Wirkungsgrades aufbaut. Als Wirkungsgrad ist für einen gegebenen Bilanzkreis das Verhältnis von Nutzen zum Aufwand, hier als Energieströme zu betrachten, definiert. Somit ergibt sich folgende allgemeine Berechnungsgleichung:

$$\eta = \frac{\text{erzeugte Energiemenge}}{\text{Abfallenergie} + \text{Fremdenergie}}$$

Nutzen ist für die hier zu bewertenden Verfahren nur der aus der Abfallverwertung gewonnene Energiebetrag (Strom, Wärme oder Heizwert eines Stoffstroms). Dabei ist zu berücksichtigen, dass „importierte“ Energieströme zur Aufrechterhaltung des Prozesses notwendig sind. Sie werden als Fremdenergie bezeichnet. Es ist zu unterscheiden zwischen

- Zusatzenergie, die z.B. für das An- und Abfahren, die Temperatur- und Warmhaltung (auch bei fehlendem Abfall) benötigt wird und
- Eigenenergie, die aus der eigenen Produktion von z.B. Dampf oder Strom für die Prozessführung rückgeführt werden kann.

Voraussetzungen für eine Berechnung sinnvoller Wirkungsgrade sind schlüssige Stoff- und Energiebilanzen der Prozesse. Nur bei Übereinstimmung der Input- und Outputströme geben die Berechnungskennwerte eine reale Einsicht in die Qualität der Energiewandlungsverfahren. Da es in vielen Anwendungsfällen sehr schwierig ist, die Stoff- und Energieströme zu ermitteln, müssen Annahmen oder Mittelwerte verwendet werden, deren Angabe bei der Bewertung der Kennwerte wesentlich ist. Insbesondere der wichtigste Wert der Bilanzen, der Energieinhalt der Abfallmengen (Heizwert, H_u) ist meist nur indirekt bestimmbar oder wird durch Plausibilitätsrechnungen ermittelt.

Als Berechnungsgleichung für eine Plausibilitätsberechnung des H_u aus Verbrennungsprozessen wird in [1] angegeben (s.a. [2]):

$$H_u = (1,133 * \frac{m_D}{m_A} * h_D + 0,008 * T_R) / 1,085 \quad \text{darin bedeuten:}$$

- H_u : Abfallheizwert in MJ/kg
- 1,133: Regressionskonstante
- m_D : aus dem Abfall erzeugte Dampfmenge in Mg/Zeiteinheit
- m_A : verbrannte Abfallmenge in Mg/Zeiteinheit
- h_D : Nettodampfenthalpie in MJ/kg
- 0,008: spezifische Rauchgasenthalpie in MJ/(kg * K)
- T_R : Rauchgastemperatur nach Kessel (bei 4 bis 12 % O_2) in °C
- 1,085: Regressionskonstante

5.1.3.2.1 Effizienzkriterium der Abfallrahmenrichtlinie

Der Entwurf der EU-Abfallrahmenrichtlinie (vom 21.12.2005) enthält eine Formel, die es erlauben soll, thermische Anlagen als Prozesse zur Verwertung oder als Beseitigung von Abfällen einzustufen („R1-Formel“). Als unterer Grenzwert soll ein Wirkungsgrad von zunächst 60 % für die Anerkennung als Verwertungsanlage gelten. Aus dem Anliegen geht hervor, dass die Berechnung eines Wirkungsgrades für einen bestimmten Bilanzkreis untergeordnete Bedeutung haben soll.

Die Berechnungsformel lautet:

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 * (E_w + E_f))} \quad \text{darin bedeuten:}$$

- E_p : jährlich als Strom, Wärme und/oder Prozessdampf produzierter Energiestrom (belegt mit Äquivalenzfaktoren), ggf. auch gebundene Energie bei Synthesegaserzeugung,
 - E_f : jährlicher Energieinput aus Brennstoffen, die zur Erzeugung von Dampf beitragen (z.B. zur Temperaturhaltung),
 - E_i : jährlich importierte Energiemenge (ohne E_w und E_f),
 - E_w : jährliche Energiemenge aus dem behandelten Abfall (= Masse x Heizwert)
 - 0,97: Berücksichtigung der Verluste durch Rost- und Kesselasche, Unverbranntes sowie Leitung und Strahlung
- alle Werte angegeben in GJ/a.

Diese Gleichung entspricht formal nicht der korrekten Wirkungsgraddefinition, da sie den Aufwand für die eingetragene Energie E_f sowohl im Zähler (Nutzen) als auch im Nenner (Aufwand) enthält. Durch den Faktor 0,97 im Nenner wird der erforderliche Aufwand für die Nutzenergiegewinnung unzulässig reduziert. Der Normenausschuss der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) hat daher die Anwendung dieser Formel abgelehnt [3].

5.1.3.2.2 Energetischer Wirkungsgrad thermischer Prozesse (bezogen auf Inputenergie)

In thermischen Prozessen werden Strom, Wärme oder der Heizwert eines Prozessgases als Zielenergie gewonnen. Wenn der Nutzen eines thermischen Verfahrens die Energie ist, die den Prozess zur unmittelbaren Nutzung verlässt (Wärme, Strom, Heizwert eines Stoffstroms), so ergibt sich der Wirkungsgrad aus dem Quotienten dieses Energiestroms zum eingebrachten Energiestrom.

Da zum Betrieb der Anlage, vorwiegend durch Rechtsverordnung festgelegt, Fremdenergie benötigt wird, ist deren Beitrag vom erzielten Nutzenergiestrom in Abzug zu bringen. Der mit der Fremdenergie eingebrachte Anteil an der Wärme- bzw. Stromproduktion ist separat zu ermitteln.

Mit der Zusatzenergien die z.B. zum Anfahren oder zum Einhalten der Verbrennungstemperatur von 850 °C (vorgeschrieben nach 17. BImSchV) erforderlich ist (Erdgas, Heizöl), wird in thermischen Prozessen Zielenergie (Strom oder Dampf oder Heizwert eines Stoffstroms) erzeugt. Ihr energetischer Anteil ist aus der Gesamtproduktion an Nutzenergie herauszurechnen. Sie kann allerdings nur dann in einem Effizienzkriterium berücksichtigt werden, wenn sie während der Anlagenverfügbarkeit benötigt wird. Es ist daher erforderlich, die Stillstände der Anlagen zu analysieren.

Muss eine Anlage wegen logistischer Mängel (Abfallmangel) auf Warmhaltung betrieben werden, so ist der dafür erforderliche Zusatzenergiestrom nicht der Verminderung des Wirkungsgrades anzurechnen. Weist aber ein Prozess durch Störungen häufige An- und Abfahrvorgänge auf, so sinkt die Anlagenverfügbarkeit und reduziert damit auch den Wirkungsgrad.

Die erforderliche Eigenenergie zur Sicherung eines kontinuierlichen Prozesses (Strom- und Wärmebedarf z.B. für Antriebe oder Luftvorwärmung) sind aus den erzeugten Wärme- oder Strommengen zu decken (Rückführung). Dieser Teil der Zielenergieströme führt nicht zur Bereitstellung von Nutzenergie.

Da sich der Wirkungsgrad auf die Qualität der Energiewandlung der mit dem Abfall eingebrachten Energiemenge (Heizwert) bezieht, wird der Aufwand nur auf diese Größe bezogen.

Durch Abzug des Energiestroms aus Fremdenergie (Zusatz- und Eigenenergie) erhält man den Nettowirkungsgrad.

Abbildung 1 zeigt den Bilanzkreis, bezogen auf 1 Mg Abfall.

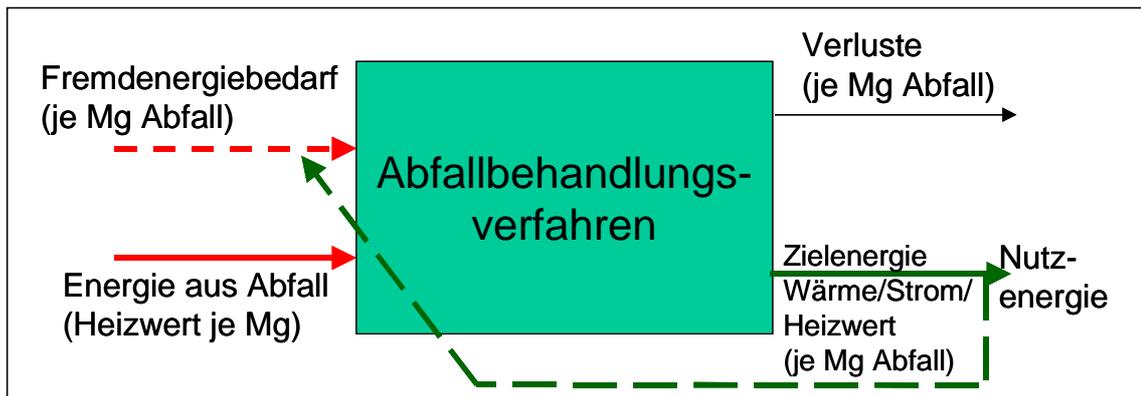


Abb. 1: Definition des Nettowirkungsgrades von Abfallbehandlungsverfahren (thermisch und nicht-thermisch)

Daraus ergibt sich folgende Wirkungsgraddefinition (Nettowirkungsgrad):

$$\eta_{\text{Netto}} = \frac{\text{erzeugte Energiemenge} - \text{Fremdenergiebedarf}}{\text{mit dem Abfall eingebrachte Energie}}$$

Die Energieströme werden in kWh oder unter Berücksichtigung der jährlichen Durchsatzmenge in GJ/a eingesetzt.

Der energetische Nettowirkungsgrad kann für die verschiedenen Zielenergien ermittelt werden (η_{therm} oder $\eta_{\text{elektrisch}}$). Die Summe der beiden Wirkungsgrade ist der Gesamtnettowirkungsgrad (η_{ges}). Diese Berechnungsmethode ist für thermische Prozesse allgemein üblich.

5.1.3.2.3 Energetischer Wirkungsgrad (bezogen auf Primärenergie)

Die Definition unter 5.1.3.1.2 bewertet alle Energieströme gleich (z.B. kWh oder GJ/a). Dabei wird nicht berücksichtigt, dass zur Erzeugung von importiertem Strom ein höherer Primärenergiebedarf notwendig war, als in der Fremdenenergiemenge berücksichtigt wird. Die Berechnung bewertet, dass für die Entsorgung des Abfalls ein Primärenergiebedarf besteht, der nicht benötigt würde, wenn der Abfall nicht entsorgt werden müsste. Die Einbeziehung des Primärenergieaufwandes ist dort wichtig, wo kein Strom, Wärme oder Prozessdampf zum Ausgleich des Aufwandes erzeugt wird (z.B. MBA, Vergasung und Vergä-

zung). Die in diesen Anlagen erzeugten Stoffe (heizwertreiche Fraktion, Pyrolysegas, Biogas) tragen ihren Energieinhalt im Heizwert, der durch die nachträgliche Energiewandlung erst mit dem Wirkungsgrad der Wandlungsanlage zu Nutzenergie wird.

Daraus ergibt sich folgende Wirkungsgraddefinition (Netto-Primär-Wirkungsgrad, s.a. Abbildung 2 und [4]):

$$\eta_{\text{Netto}} = \frac{\text{erzeugte Energiemenge} - \text{Primärenergiebedarf}}{\text{mit dem Abfall eingebrachte Energie}}$$

Die Maßeinheiten der Energieströme sind wie in 5.1.3.1.2 einzusetzen.

Der Eigenenergiebedarf berücksichtigt auch hier sowohl die zur Erzeugung von Dampf, Strom oder Heizwert benötigten Energieströme als auch sonstige „importierte“ Energien, die zum Betrieb der Anlage erforderlich sind (z. B. Abgasreinigung).

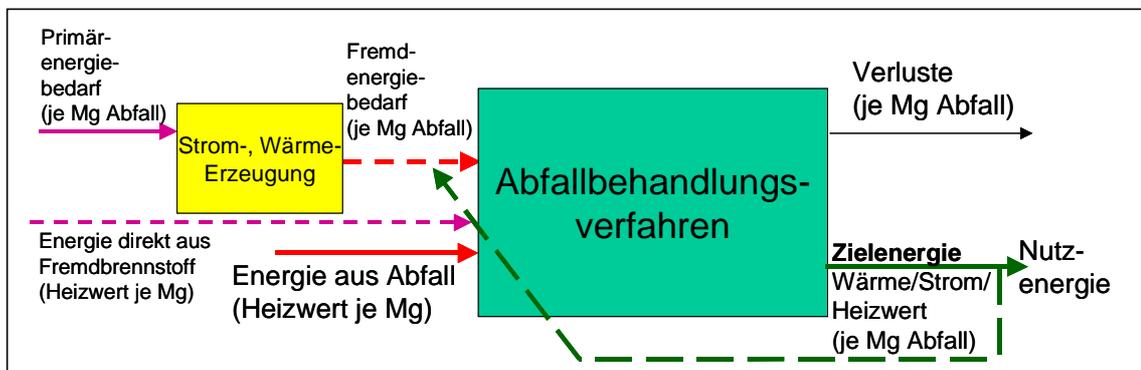


Abb. 2: Definition des Netto-Primär-Wirkungsgrades von Abfallbehandlungsverfahren (thermisch und nicht-thermisch)

Für die Ermittlung des Primärenergiebedarf werden die Energieströme an Hand von Äquivalentwerten berechnet [2]. Es gelten:

- $1 \text{ MWh}_{\text{elektrisch}} \div 2,6316 \text{ MWh}_{\text{equ}}$
(entspricht einem Wirkungsgrad von 38 %)
- $1 \text{ MWh}_{\text{Wärme}} \div 1,0989 \text{ MWh}_{\text{equ}}$
(entspricht einem Wirkungsgrad von 91 %)
- $1 \text{ MWh}_{\text{Dampf}} \div 1,0 \text{ MWh}_{\text{equ}}$

Diese Rechnung lässt den Vergleich von einzelnen Verfahren zu, da sie auch die Ressourcenschonung mit berücksichtigt. Sie kann für Anlagen verwendet werden, die selbst kein „Endprodukt“ (Strom oder Wärme) erzeugen. Es ist allerdings nicht sinnvoll, für „Vorbehandlungsanlagen“ (MBA, Vergärung) energetische Wirkungsgrade zu ermitteln, um sie mit den Daten thermischer Anlagen nach 5.1.3.2 zu vergleichen. Für interne Vergleiche zwischen gleichartigen Prozessen können sie jedoch informativ sein.

5.1.3.3 Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen

Werden Abfallströme durch Vorbehandlungsverfahren (MBA, MBS o.a.) in mehreren Prozessen mit Energieströmen behandelt, so sind die Systemgrenzen entsprechend zu erweitern. Dabei werden bei der Bewertung der Energieeffizienz die erforderlichen Transportwege nicht berücksichtigt. Sie finden sich in der Bewertung der Klimarelevanz.

5.1.3.3.1 Energetische Verwertung in Kraftwerken

Sofern im Endergebnis der Verwertung der Abfallenergie Strom oder Wärme erzeugt werden, kann der Nettowirkungsgrad unter Berücksichtigung der Systemgrenzen angewendet werden. Neben der Vorbehandlung der Abfälle (z.B. MBA oder Vergärung) werden die Strom- oder Wärmeerzeugungsanlagen einbezogen. Die Berechnung erfolgt, wie in 5.1.3.1.2 angegeben. Abbildung 3 zeigt den Bilanzkreis vereinfacht.

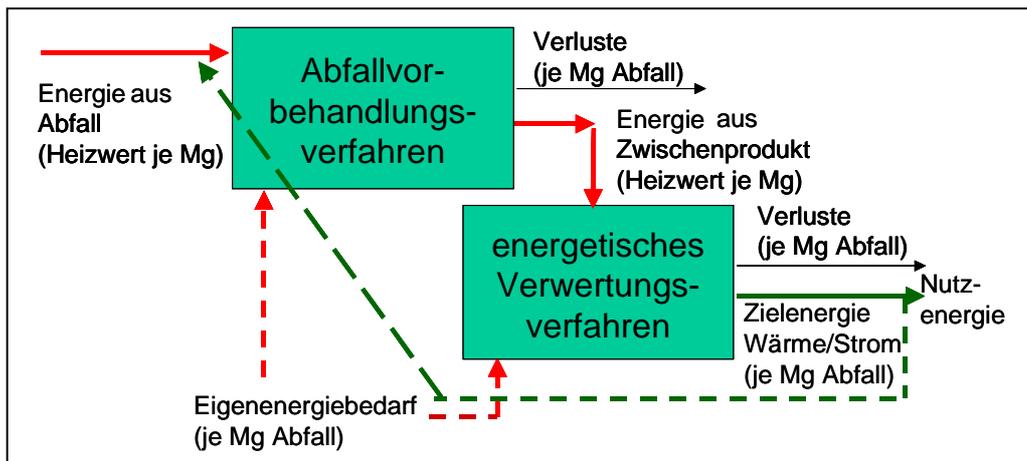


Abb. 3: Nettowirkungsgrad in Behandlungssystemen

5.1.3.3.2 Nutzenergieverhältnis

Zur Bewertung der Effizienz von Abfallverwertungssystemen ist ein Vergleich unterschiedlicher Konzepte von Interesse. Hier wird z.B. durch einen Effizienzkennwert verglichen, ob die Verbrennung von gemischten Siedlungsabfällen in einer Abfallverbrennungsanlage energetisch effektiver ist als die Vorbehandlung des Abfalls durch z.B. MBA oder Vergärung und die nachfolgende Erzeugung von Strom oder Wärme aus der heizwertreichen Fraktion bzw. dem erzeugten Biogas.

Für den Vergleich der Bilanzkreise von Abbildung 1 oder 3 ergibt sich ein Kennwert größer oder kleiner als 1, wenn z.B. die direkte Verbrennung mit dem Wert 1 belegt wird.

Dabei ist darauf zu achten, dass die erzeugte Nutzenergie auf die gleiche Energieform (Strom oder Wärme) bezogen wird. Das Nutzenergieverhältnis (Z_{Nutz}) wird wie folgt definiert (s.a. [5, 6, 7]):

$$Z_{\text{Nutz}} = \frac{\text{Nutzenergie aus Abfall des Systems (netto)}}{\text{Nutzenergie aus Abfall des (Müll-)Verbrennungsprozesses (netto)}}$$

Die Energien werden wie in 5.1.3.1.2 eingesetzt

Für die Berechnung werden den Verbrennungsanlagen (z.B. externe Abfall- oder Monoverbrennungsanlage und Kohlekraftwerk) elektrische Nettowirkungsgrade zugeordnet, sofern sie nicht durch deren Bilanzen nachgewiesen sind.

5.1.3.3.3 Energetische Verwertung in Zement- oder Kalkwerken

Wird ein Abfallstrom nach einer Vorbehandlung in der Zement- oder Kalkindustrie energetisch verwertet, so wird die Energie des Abfalls für die Herstellung des Produktes in einem Hochtemperaturprozess benötigt. Sie kann nicht als Energieinhalt des Produktes ausgewiesen werden.

In diesem Fall ist lediglich eine Ressourcenschonung an Regelbrennstoff ausweisbar, der in der Klimarelevanz bewertet wird.

Bei diesem Verwertungsweg ist zu berücksichtigen, dass nicht der gleiche Energiestrom an aufbereitetem Abfall (Ersatzbrennstoff, EBS) in die Bilanzen eingeht, wie er aus dem Regelbrennstoff benötigt würde. Je nach Heizwert des Ersatzbrennstoffs ist ein Energieaustauschverhältnis zu ermitteln, das mit im Vergleich zum Regelbrennstoff abnehmendem Heizwert einen höheren Energiebetrag für den EBS-Einsatz erfordert, je geringer dessen Heizwert ist [8].

Der Zusammenhang wird in Abbildung 4 dargestellt. Weist der Ersatzbrennstoff einen geringeren Heizwert als der Regelbrennstoff (hier 25 MJ/kg) auf, so steigt der Brennstoffbedarf für den Prozess an.

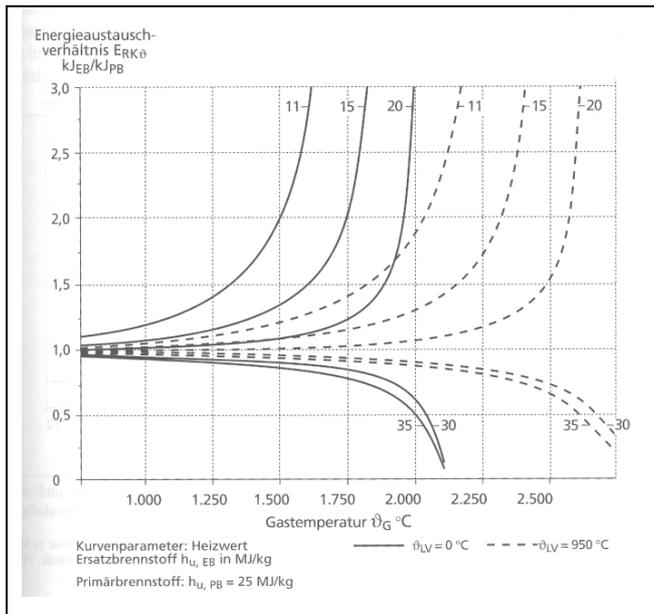


Abb. 4: Beispiel für das Energieaustauschverhältnis für einen Hochtemperaturprozess [8]

5.1.3.3.4 Berechnungsweg

Die Berechnung des Nutzenergieverhältnisses erfolgt nach folgenden Schritten:

- Berechnung des Nutzenergiestroms aus der Vorbehandlung (nach Abbildung 5)

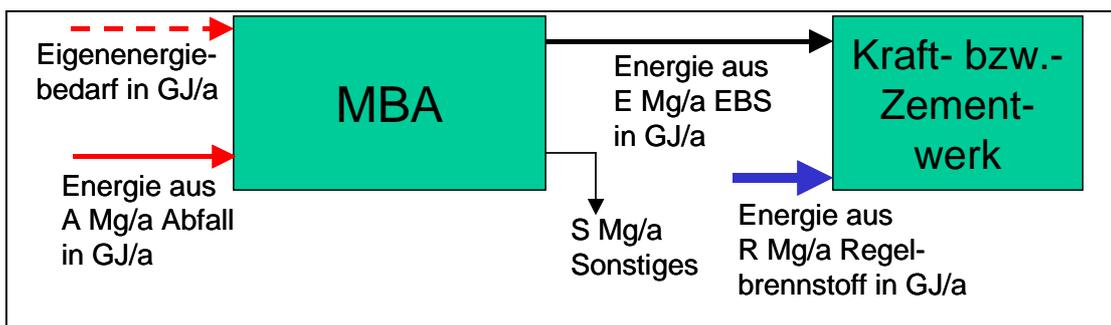


Abb. 5: Berechnungsschema für das Nutzenergieverhältnis in Abfallwertungssystemen (hier Beispiel MBA)

1. Ermittlung des mit dem EBS-Strom (m_E) in die Verwertung überführten Energiestroms (E_{EBS}),
2. Ermittlung des mit dem EBS-Strom in die Verwertung überführten Nettoenergiestroms durch Subtraktion des Eigenenergiebedarfs in der MBA ($E_{EBS, netto}$),
3. Ermittlung des substituierten Energiestroms aus Regelbrennstoff (E_R) durch den Ersatzbrennstoffstrom m_E (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Heizwerte). Da aus den Fremdanlagen die Datenlage nicht ausreichend ist, muss das Energieaustauschverhältnis mit 1 angesetzt werden.
4. Ermittlung der aus dem substituierten Regelbrennstoff gewinnbaren Strommenge (E_{KW} in GJ/a), wenn der Regelbrennstoff in einem Kraftwerk mit festgelegtem energetischen Wirkungsgrad (üblich 36 %, s. [6]) verstromt werden würde.

Im Falle einer biologischen (MBS) oder physikalischen Stabilisierungsanlage (MPS), einer rein mechanischen Aufbereitungs- (MA) oder einer Vergärungsanlage wird analog vorgegangen. Die Energieaufwendungen für die Aufbereitung der heizwertreichen Fraktion zu einem verwertbaren Ersatzbrennstoff (EBS) sind in diesem Beispiel im Energiebedarf der MBA enthalten, sie können jedoch auch im Kraft- oder Zementwerk anfallen und wären dann dort zu berücksichtigen.

- Berechnung des in einer MVA gewinnbaren Energiestroms:

5. Ermittlung des Energiestroms, der in einer MVA aus dem gesamten Abfallstrom m_A gewinnbar wäre (zum Vergleich: reine Stromerzeugung sowie Kraft-Wärme-Kopplung), wenn eine MVA aus dem möglichen Einzugsgebiet berücksichtigt wird,

6. Vergleich der substituierten Strommenge in einem Kraftwerk mit der in einer MVA gewinnbaren Energiemenge (E_{MVA})

$$\text{Nutzenergieverhältnis } z_{\text{Nutz}} = \frac{E_{\text{KW}}}{E_{\text{MVA}}}$$

Die Berechnung des Nutzenergieverhältnisses lässt durch einen Kennwert die Effektivität der Verwertung im Vergleich zur Verbrennung in einer MVA zu und gibt daher für den Vergleich der Verwertungsverfahren einen guten Überblick.

5.2 Betrachtungsrahmen

Die Untersuchungen sind für ausgewählte **Abfälle** aus dem Zuständigkeitsbereich der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (ÖRE) durchzuführen. Sie betreffen die **Entsorgung** der Abfälle und die damit verbundenen **Auswirkungen auf die Umwelt**, insbesondere im Hinblick auf die Freisetzung bzw. die Vermeidung der Freisetzung von klimarelevanten Treibhausgasen. Die zu untersuchenden abfallwirtschaftlichen Maßnahmen sollen hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen in verschiedenen **Zeithorizonten** untersucht und gegenübergestellt werden. Die erhaltenen Ergebnisse müssen einer **Bewertung** unterzogen werden.

Abbildung 6 stellt den vorgenannten Sachverhalt und damit die Aufgabenstellung graphisch dar und gibt den allgemeinen Betrachtungsrahmen wieder.

Der gelb hinterlegte Bereich (oben) bildet das „Untersuchungsgebiet“ für die Sachsen spezifischen und anlagenkonkreten Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz ab. Der rosa hinterlegte Bereich (unten) umfasst die Erweiterung hinsichtlich Abfallarten und hinsichtlich über Klimarelevanz hinausgehender Aspekte.

- Der zeitliche Bilanzraum ist jeweils ein Kalenderjahr. Als Referenzjahr wird das Jahr 2000 gewählt („Klimarelevanz 1“).
- Der prozessuale Bilanzraum beginnt nicht mit, sondern **nach** der Erfassung (Sammlung) des Abfalls. Die Aufwendungen für die Sammlung (Treibstoffbedarf Dieselfahrzeuge) und die damit verbundenen direkten Emissionen (Abgas) werden nicht berücksichtigt, da mehrere bilanzielle Studien gezeigt haben, dass diese Aufwendungen nicht ergebnisrelevant sind und im Einzelfall sogar weniger als 1 % des Ergebnisses ausmachen.
- Transporte innerhalb der Bilanzgrenzen – z.B. von der Erstbehandlungsanlage zum Zwischenlager oder zur Zweitbehandlungsanlage sowie zur finalen Entsorgungsanlage (ggf. auch außerhalb von Sachsen) – werden dagegen berücksichtigt, weil sie angesichts der in Frage kommenden Entfernungen und Massenströme ergebnisrelevant sein können. Auf die Modellierung der Transporte mengenmäßig wenig relevanter Inputströme (z.B. Betriebsstoffe) oder Outputströme (Fe, NE) kann aus Vereinfachungsgründen verzichtet werden.
- Die Hilfs- und Betriebsstoffe sowie die notwendige Energie für die Behandlung oder Verwertung des Abfalls werden von der Rohstoffgewinnung bis zum Eintritt in den Bilanzraum (d.h. inkl. Vorketten) bilanziert. Gleiches gilt für die Hilfs-/Betriebsstoffe und Energie für die Beseitigung von Sekundärabfällen, die durch die Aufbereitung und Behandlung der Abfälle entstehen (MBA-Rottefraktion, Aschen, Schlacken, RGR-Rückstände), oder die Verwertung von Sekundärrohstoffen (heizwertreiche Fraktion, Metalle etc.). Bei letzteren werden die Umweltbelastungen bilanziert, die bis zur Erzeugung eines marktfähigen (Vor-)Produktes auftreten.
- Für die Verwertungsprodukte wird eine Gutschrift angerechnet, die sich aus dem so genannten Äquivalenzprozess auf der Basis von Primärrohstoffen ergibt. Der Äquivalenzprozess wird ebenfalls ab der Gewinnung der Rohstoffe bilanziert (also inkl. Vorketten).

derungsmaßnahmen. Er enthält nicht die Aufwendungen zur Nachbehandlung von Schlacken oder Rauchgasreinigungsrückständen. Es wird nur die in Sachsen etablierte MVA-Technik betrachtet.

Für die Abfallverwertungssysteme werden die Bilanzgrenzen um die Abfallvorbehandlung (z.B. MBA) und die energetische Verwertung der heizwertreichen Fraktion (ggf. EBS) gezogen. Sie beginnen mit der Restabfallanlieferung und enden bei der Erzeugung von Strom bzw. Wärme innerhalb der Anlage bzw. als Produkt der Anlage (z.B. Zementwerk, Kraftwerk). Da die Verwertung auch in Anlagen außerhalb Sachsens erfolgen kann, sind im Bilanzrahmen auch entsprechende Anlagen zu berücksichtigen (Zementwerk oder Kraftwerk mit Strom- und Wärmeauskopplung). Zum Vergleich ist dann auch eine MVA mit hohem Anteil an Wärmeproduktion (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung zur Bereitstellung von Prozesswärme) zu berücksichtigen.

Die Aufwendungen zur Entsorgung weiterer Stoffströme (z.B. Deponie) sind nicht Gegenstand des Bilanzraumes.

5.2.3 „Zusätzlich“ zu betrachtende Abfälle

Im Rahmen der Studie „Klimarelevanz 2“ werden Abfallarten und -mengen, die in der Zuständigkeit der ÖRE entsorgt und über die jährliche Abfallbilanz in deren Statistik erfasst werden, in die Betrachtungen einbezogen.

Für die zu beseitigenden Abfälle und deren Entsorgungswege sollen Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz durchgeführt werden. Für die separat erfassten Bioabfälle werden Berechnungen zur Klimarelevanz angestellt. Die Methoden und die Betrachtungsrahmen hierfür wurden bereits ausführlich beschrieben.

Unter den „zusätzlich“ zu betrachtenden Abfällen sollen Abfälle zusammengefasst werden, für die darüber hinaus Überlegungen zur Klimarelevanz und zu anderen Aspekte (siehe nächstes Kapitel) vorgenommen werden. In diese Überlegungen fließen wiederum Abfallarten, -mengen und weitere Informatio-

nen aus den jährlichen für die Landesabfallbilanz zu erstellenden Abfallbilanzen der ÖRE ein. Folgende Abfälle werden in diese Überlegungen einbezogen:

- Papier, Pappe, Kartonagen (PPK),
- Altglas,
- Altmetalle (Fe, NE),
- Leichtverpackungen (LVP).

Auf der Grundlage von Daten aus der Literatur und aus Datenbanken werden für die benannten Abfälle und deren Verwertungswege Auswirkungen bzgl. der Emission von klimarelevanten Gasen abgeschätzt. Ziel ist es, anhand von Literaturdaten zu halbquantitativen Aussagen zur Klimarelevanz zu gelangen und damit die Ergebnisse aus den Berechnungen zur Klimarelevanz für zu beseitigende Abfälle und für Bioabfälle abzurunden.

Für die „zusätzlich“ zu betrachtenden Abfälle sollen die Literaturquellen auch in Bezug „zusätzlich“ zu betrachtender Umweltaspekte (siehe nächstes Kapitel) ausgewertet werden, wobei hinsichtlich der Wirkung der „zusätzlichen“ Umweltaspekte qualitative Aussagen abgeleitet werden.

5.2.4 „Zusätzlich“ zu betrachtende Aspekte

Die Studie „Klimarelevanz 2“ soll sich neben der Berechnung der Treibhauseffekte der Entsorgung von Restabfällen durch die ÖRE in Sachsen auch mit weitergehenden Aspekten der sächsischen Abfallwirtschaft befassen. Da das Vorhaben anhand der Methodik der Ökobilanzierung durchgeführt wird, läge es nahe, weitere Wirkungskategorien wie etwa Versauerung, terrestrische Eutrophierung, Humantoxizität oder Ressourcenbeanspruchung mit zu berechnen. Hierfür wäre allerdings die Ermittlung weiterer Indikatoren erforderlich, wie Tabelle 9 zeigt.

Tab. 9: Wirkungskategorien und Indikatoren einer Ökobilanz (Auswahl)

Wirkungskategorie	Indikatoren									
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	NO _x	NH ₃	HCl	HF	KS*	Hg
Treibhauseffekt	X	X	X							
Versauerung				X	X	X	X	X		
Eutrophierung, terrestrisch					X	X				
Humantoxizität					X**				X	X

* Kanzerogene Stoffe ** NO_x als Sekundärpartikelbildner (= Feinstaub (PM₁₀))

Da die Erhebung weiterer Indikatoren (vgl. Tabelle 9), die mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden wäre, nicht Gegenstand des Angebots/des Auftrags war, können die über die Klimarelevanz hinausgehenden Aspekte nur qualitativ behandelt werden. Es liegen aber hinreichende Literaturdaten vor – u.a. in den im Methodik-Teil kurz dargestellten Ökobilanzen anderer Institute, um hier fundierte qualitative Aussagen zur Versauerung, terrestrischen Eutrophierung und Humantoxizität treffen zu können.

Weitere wichtige Aspekte aus Sicht der Nachhaltigkeit sind ökonomische und gesellschaftliche (auch „soziale“) Aspekte, z.B.

- Kosten und Gebühren,
- CO₂-Vermeidungskosten,
- regionale Wertschöpfung,
- Produktverantwortung,
- Verstärkung der Abfallvermeidung,
- Akzeptanz und Umsetzbarkeit veränderter Sammelsysteme,
- Zuständigkeitsverteilung zwischen öffentlich-rechtlichen und privaten Entsorgern.

Für die fundierte Bearbeitung dieser Aspekte wären zusätzliche Erhebungen erforderlich, die aber nicht Gegenstand des Vorhabens sind. Es ist vorgesehen, dass zu den Aspekten Produktverantwortung, Verstärkung der Abfallvermei-

dung und Zuständigkeitsverteilung zwischen öffentlich-rechtlichen und privaten Entsorgern qualitative Betrachtungen durchgeführt werden.

5.2.5 Zeitebenen

Mit dem Vorhaben „Klimarelevanz 2“ sollen – wie bereits mehrfach erwähnt – die Ergebnisse der Studie „Klimarelevanz 1“ fortgeschrieben, untersetzt und fundamentiert werden.

Im Ergebnis von „Klimarelevanz 1“ liegen u. a. Angaben zur Emission klimarelevanter Gase für die Beseitigung von Abfällen und die Verwertung von Bioabfällen im Jahr 2000 für den Freistaat Sachsen vor, wobei im Jahr 2000 zu beseitigende Abfälle ohne Vorbehandlung komplett deponiert wurden. Das Jahr 2000 stellt das Bezugsjahr dar – **Bezug 2000**.

Darauf basierend wurden entsprechende Betrachtungen als Vorausschau für die Jahre 2005 bzw. 2006 durchgeführt. Grundlage bildeten u. a. Plan-/Prognosedaten oder angenommene Daten für die zu betrachtenden Abfälle, Verfahren und Anlagen – **Plandaten 2006**.

Mit den nunmehr durchzuführenden Untersuchungen sollen diese Ergebnisse (Plandaten 2006) mit Ist-Daten verifiziert werden. Bilanzjahr ist das Jahr 2007 – **Ist-Daten 2007**. Für das Jahr 2007 müssen demzufolge die für die Berechnungen zur Klimarelevanz erforderlichen Daten bzgl. Menge und Zusammensetzung von Abfällen, Stoffströmen, Entsorgungswegen für zu beseitigende Abfälle und Bioabfälle, Anlagendaten usw. ermittelt werden. Analoges gilt für die Berechnungen zur Energieeffizienz bzgl. zu beseitigender Abfälle.

Vor dem Hintergrund, dass die Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz bis Mitte des Jahres 2008 abgeschlossen sein sollen, stellt die Festlegung des Jahres 2007 als Bilanzjahr für die Berechnungen eine sehr anspruchsvolle Anforderung dar. Der Bezug auf das Bilanzjahr 2007 ist allerdings unbedingt nötig,

- weil infolge der Insolvenz der Fa. Herhof einige Zweckverbände ihre Konzepte zur Beseitigung von Abfällen neu erstellen bzw. bereits abgeschlossene Ausschreibungen erneut beginnen mussten,
- weil Anlagen zur Behandlung sächsischer Abfälle zur Beseitigung dadurch z. T. erst 2007 ihren Betrieb aufgenommen haben,
- weil auch Anlagen, die frühzeitig in Betrieb genommen wurden, längere Einlaufphasen für einen stabilen Anlagenbetrieb benötigt haben,
- weil in den Jahren 2005 und 2006 Engpässe bei der Behandlung von Abfällen und insbesondere bei der Verwertung heizwertreicher Fraktionen aufgetreten sind (Aufbau von Zwischenlagern),
- weil durch die angesprochenen Probleme die Entsorgungssysteme der Zweckverbände und ÖRE teilweise erst jetzt vergleichsweise stabil laufen und
- weil die Anlagen der Fa. Sustec, Schwarze Pumpe (SVZ), zur Vergasung von Abfällen seit Mitte des Jahres 2007 für die Abfallentsorgung nicht mehr zur Verfügung stehen.

Ausgehend von den Berechnungen zur Klimarelevanz für die Beseitigung von Abfällen und die Verwertung von Bioabfällen im Jahr 2007, werden Abschätzungen zur weiteren Einsparung klimarelevanter Emissionen vorgenommen – **Potenzialabschätzung**. Entsprechende Potenziale ergeben sich beispielsweise, indem alle anfallenden Abfälle einer Art der unter Klimaaspekten besten Technik zugeführt werden (theoretischer Ansatz) oder indem technische Verbesserungen (z.B. Effizienzsteigerung) angenommen werden. Ausgehend von den dadurch ermittelten theoretischen Potenzialen werden in Zusammenarbeit mit Experten des Landesamtes für Umwelt und Geologie die praktisch realisierbaren Potenziale abgeleitet und ggf. Zeithorizonten zugeordnet.

Auf Wunsch des Auftraggebers werden die erhaltenen Ergebnisse in Bezug gesetzt zu den Daten des LfUG betreffend die deponiebürtigen Emissionen der Jahre 1998 und früher (bis zurück zum Kyoto-Bezugsjahr 1990), um den Beitrag der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen zur Erreichung des Kyoto-Ziels – Senkung der Emissionen um 21 % – insgesamt zu diskutieren.

5.3 Planungs-, Bewertungsgrundlagen sowie Datenquellen

Für die erfolgreiche Realisierung des FuE-Vorhaben sind fundierte Daten und Informationen als Grundlage für die durchzuführenden Berechnungen und Betrachtungen essentiell. Nur auf der Grundlage einer soliden Basis an Daten und Informationen lassen sich belastbare Ergebnisse erzielen.

Für die Datenerhebung werden deshalb alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten genutzt. In ersten Linie sind hierbei Datensammlungen und -datenbanken des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie oder auch anderer Institutionen zu nennen. Zusätzlich werden Literatur- und Internet-Recherchen durchgeführt. Um anlagenspezifische Informationen und Daten zu generieren, müssen entsprechende Erhebungen durchgeführt werden.

Nachfolgend werden für die relevanten Daten und Themenbereiche wesentliche Grundlagen, Quellen und Möglichkeiten zur Datenerhebung benannt (siehe hierzu auch Kapitel 5.1.2 und Anhang A).

Abfallarten, -mengen, -mengenströme:

- Siedlungsabfallbilanz des Freistaates Sachsen für das Jahr 2007

Die jährlich zu erstellenden Abfallbilanzen der ÖRE bilden die Grundlage für die Landesabfallbilanz. Die ÖRE-Bilanzen enthalten Angaben zu den anfallenden Abfallmengen und zu den Entsorgungswegen, denen die Abfälle zugeführt werden.

Mit den ÖRE und den Abfallzweckverbänden sollte vereinbart werden, dass die Bilanzen für das Jahr 2007 so früh als möglich erstellt und übergeben werden. Zumindest die Mengendaten und die Entsorgungswege für die zu beseitigenden Abfälle und für die Bioabfälle sollten spätestens Mitte Mai 2008 so vorliegen, dass sie für die Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz genutzt werden können. Im Bedarfsfall steht das Bearbeiterteam für eine entsprechende Aufarbeitung der gemeldeten Daten (Prüfung, Plausibilisierung, Aggregation usw.) zur Verfügung.

- Weitere Quellen

Zur Untersetzung der ÖRE-Daten werden bei Bedarf weitere Informationsquellen herangezogen, beispielsweise Berichte und Meldungen der Systembetreiber zur Entsorgung von Verpackungsabfällen.

Abfallzusammensetzungen, Abfalleigenschaften:

Speziell für die zu beseitigenden Abfälle sind Angaben zur Zusammensetzung, zum Kohlenstoffgehalt, zum Anteil fossilen Kohlenstoffs und zum Heizwert von Bedeutung. Im Rahmen des Vorhabens „Klimarelevanz 1“ wurde anhand von Analysendaten die mittlere Zusammensetzung für sächsische Restabfälle berechnet.

Auf der Grundlage neuerer Untersuchungen wird geprüft, ob und inwieweit sich die mittlere Zusammensetzung der sächsischen Restabfälle in den letzten Jahren geändert hat. Falls erforderlich, werden die Daten angepasst. Dazu werden folgende Informationsquellen genutzt:

- Sortieranalysen aus den Jahren nach 2001 (derzeit sind folgende Sortieranalysen bekannt: Dresden 2003, Leipzig 2003/04, Görlitz 2005, Dresden 2005, Niederschlesischer Oberlausitzkreis 2007, Dresden 2007),
- Untersuchungen zum Kohlenstoffgehalt in Abfällen an der TU Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten.

Sonstige Sachsen spezifische Daten (z. B. Energiemix):

- Energieberichte des Freistaates Sachsen (Strom und Wärme)

Anlagendaten:

Anlagenspezifische Daten zu Entsorgungsanlagen werden für die Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz benötigt. Von Interesse sind Anlagen, in denen in Sachsen anfallende Abfälle zur Beseitigung entsorgt und Bioabfälle behandelt werden, wobei alle Anlagen bis zur endgültigen Entsorgung der Abfälle mit betrachtet werden (zum Betrachtungsrahmen siehe Kapitel 5.2):

- Erhebung von Daten über Fragebogenaktionen, flankiert durch Telefonfragerunden und bei Bedarf durch Vor-Ort-Besuche

Umfang, Inhalte und Herangehensweise für die Fragebogenaktion bei Anlagenbetreibern werden im nachfolgenden Kapitel näher erläutert.

- Nutzung weiterer Datenquellen

Zur Ergänzung von anlagenspezifischen Daten und zur Plausibilisierung der Angaben aus der Fragebogenaktion werden auch Eigendarstellungen der Anlagen im Internet, in der Literatur und in Prospektmaterialien genutzt.

Obwohl seit Mitte 2005 keine unbehandelten Restabfälle mehr deponiert werden, stellen Deponien nach wie Emissionsquellen für klimarelevante Gase dar. Die aktuellen deponiebürtigen Emissionen werden deshalb unter Beachtung der bisherigen Entwicklungen beispielsweise auf dem Gebiet der Deponiegaserfassung und -nutzung mit betrachtet. Basis hierfür bilden insbesondere Datenquellen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.

- Kataster der Deponieanlagen des Freistaates Sachsen,
- Emissionskataster

Über Klimarelevanz und Energieeffizienz hinausgehende Umweltaspekte:

- Auswertung von Forschungsvorhaben,
- Auswertung von Datenbanken,
- Internetrecherchen,
- Literaturrecherchen, Auswertung von Tagungsmaterialien.

5.4 Anlagentechnik, Erhebungsumfang

5.4.1 Zu befragende Anlagen

Anlagen zur Entsorgung zu beseitigender Abfälle

Um den Anlagenbestand zu ermitteln, der für die Entsorgung sächsischer Abfälle und damit für die Fragebogenaktion maßgebend ist, wurden die Abfallzweckverbände und verbandsfreien Körperschaften zu ihren Entsorgungssys-

temen für zu beseitigende Abfälle befragt. Von den Zweckverbänden und verbandsfreien Körperschaften wurden Erstbehandlungsanlagen⁶ (siehe Tabelle 10) und Umladeanlagen sowie ggf. erforderliche Zwischenlager für zu beseitigende Abfälle eindeutig benannt. Die Angaben zu den Anlagen zur weitergehenden Entsorgung der Outputmaterialien der Erstbehandlungsanlagen wurden teilweise über weitergehende Recherchen und Literaturlauswertungen ermittelt.

Tab. 10: Entsorgung von zu beseitigenden Abfällen in Sachsen, Erstbehandlungsanlagen der Abfallzweckverbände und verbandsfreien ÖRE

Abfallzweckverbände, ÖRE	Erstbehandlungsanlagen für Restabfälle	Behandlungsprinzip
Abfallzweckverbände		
Entsorgungsverband Vogtland (EVV)	MBS Oelsnitz	mechanisch-biologisch
Zweckverband Abfallwirtschaft Zwickau (ZAZ)	RABA Chemnitz	mechanisch-physikalisch
Zweckverband Abfallwirtschaft Südwestsachsen (ZAS)	AVS Zorbau	thermisch
Abfallwirtschaftsverband Chemnitz (AWVC)	RABA Chemnitz	mechanisch-physikalisch
Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen (ZAW)	MBA Cröbern	mechanisch-biologisch
Abfallverband Nordsachsen (AVN)	MBA Cröbern / VEZ Espenhain	mechanisch-biologisch / mechanisch
Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal (ZAOE)	MVA Leuna / MVA Lauta	thermisch / thermisch
Regionaler Abfallverband Oberlausitz Niederschlesien (RAVON)	MVA Lauta	thermisch
Verbandsfreie ÖRE		
Landeshauptstadt Dresden	BMA Dresden	mechanisch-biologisch
Landkreis Delitzsch	MBA Cröbern	mechanisch-biologisch
Kreisfreie Stadt Hoyerswerda	BMA Dresden	mechanisch-biologisch

⁶ Unter Erstbehandlungsanlagen werden hier Anlagen verstanden, an die die unbehandelten Abfälle angeliefert und wo sie (erstmalig) behandelt werden. Im Falle der thermischen Behandlung über MVAs, die im vorgenannten Sinne Erstbehandlungsanlagen darstellen, können diese zu gleich auch Anlagen zur „endgültigen“ Behandlung sein. Im Unterschied dazu sind mechanisch-biologischen oder anderen Anlagen weitere Anlagen nachgeschaltet – z.B. Anlagen zur energetischen Verwertung heizwertreicher Fraktionen.

Im Ergebnis der Befragung und Recherchen werden folgende Anlagen zur Entsorgung zu beseitigender Abfälle in die Datenerhebung einbezogen:

Erstbehandlungsanlagen (siehe auch Tabelle 10):

BMA Dresden
RABA Chemnitz
MBA Cröbern
VEZ Espenhain
MBS Oelsnitz
MVA T.A. Lauta
MVA TREA Leuna
AVS Zorbau

Anlagen zur weitergehenden Entsorgung

1 Sortieranlage
1 Anlage zur EBS-Herstellung
1 Kraftwerk (stromgeführt)
1 Kraftwerk (wärmegeführt)
2 EBS-Kraftwerke
1 Zementwerk
1 Deponie

Verwertungsanlagen für Bioabfälle

Der überwiegende Anteil der separat erfassten sächsischen Bioabfälle wird nach wie vor kompostiert. Hierfür sind 70 bis 80 Kompostierungsanlagen in verschiedenen Größen mit unterschiedlichen technischen Standards in Betrieb. Ein kleiner Mengenanteil wird Vergärungsanlagen zugeführt (ca. 10 Anlagen).

In die Datenerhebung werden

- 4 Kompostierungsanlagen und
- 2 Vergärungsanlagen

einbezogen, wobei in Abstimmung mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie festgelegt wird, welche Anlagen befragt werden.

5.4.2 Prinzipielle Vorgehensweise

Die Erhebung der Anlagendaten erfolgt im Rahmen einer Fragebogenaktion. Für jede Anlagenart wird ein gesonderter Fragebogen entwickelt. Der Fragebogen soll durch die jeweiligen Anlagenbetreiber ausgefüllt werden.

Zu erwarten ist, dass seitens der Anlagenbetreiber Fragen zum Erhebungsbogen zu klären sind. Nach Erfahrungen mit „Klimarelevanz 1“ und weiteren vergleichbaren Projekten ist zu erwarten, dass ein Teil der Anlagenbetreiber nicht oder nicht termingemäß reagiert. Aus diesen Gründen wird die Fragebogenaktion durch telefonische Nachfragen begleitet. Im Bedarfsfall sind vor-Ort-Besuche bei den Anlagenbetreibern vorgesehen. Es wird davon ausgegangen, dass bei ca. 50 % der zu befragenden Anlagen vor-Ort-Besuche erforderlich sind.

Die eingehenden Informationen werden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft sowie ggf. geändert. Zur Prüfung der Daten werden im Bedarfsfall Angaben aus anderen Quellen, z. B. Eigendarstellungen der Anlagen im Internet, herangezogen. Änderungen der Anlagendaten erfolgen immer in Abstimmung und mit Bestätigung durch den Anlagenbetreiber. Durch den Anlagenbetreiber nicht legitimierte Angaben werden gesondert ausgewiesen (z.B. Annahmewerte, wenn Anlagenbetreiber keine Daten zur Verfügung stellen).

5.4.3 Ablauf der Erhebungen

Die Fragebogen werden durch das Bearbeiterteam für die unterschiedlichen Anlagenarten entworfen und mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie abgestimmt.

Die Fragebogen und der Ablauf der Anlagenbefragung wird mit den Zweckverbänden und verbandsfreien Körperschaften im Rahmen einer Beratung vorgestellt und diskutiert. Im Ergebnis dieser Beratung beginnt dann die Fragebogenaktion.

Die Versendung erfolgt durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Damit wird die Dringlichkeit und die Bedeutung des Vorhabens dokumentiert.

Die Fragebogen für die Anlagen, auch für die Anlagen zur weitergehenden Entsorgung, werden an die Zweckverbände und verbandsfreien ÖRE versendet. Damit sind die Anlagenbetreiber stärker in der Pflicht, Daten zur Verfügung zu stellen, weil die Zweckverbände und verbandsfreien Körperschaften für die Anlagenbetreiber wichtige Geschäftspartner darstellen.

Der Zeitplan für die Erhebung von Anlagendaten muss in Abstimmung mit den beteiligten Partnern noch festgelegt werden. Die Versendung der Fragebogen sollte möglichst frühzeitig, spätestens Anfang März 2008, beginnen.

5.4.4 Inhalt der Erhebung von Anlagendaten

Die inhaltlichen Schwerpunkte für die Erhebung der Anlagendaten entsprechen der Anlagenbefragung aus dem Projekt „Klimarelevanz 1“. Die „alten“ Fragebogen bilden deshalb die Basis für die „neuen“ Fragebogen. Anhang B enthält zwei „alte“ Fragebogen, beispielhaft für mechanisch-biologische Abfallaufbereitungsanlagen und Müllverbrennungsanlagen.

Mit den Fragebogen werden Angaben zu

- Inputstoffen (Mengen, Eigenschaften),
- Hilfsstoffen,
- Outputstoffen (Mengen, Eigenschaften) und Emissionen,
- Energien (Strom, Wärme, zugeführte Energien, Eigenbedarf, ausgeschleuste Energien)

erhoben.

5.5 Zu erwartende Ergebnisse, Ableitung von Handlungs- und Optimierungsempfehlungen

Das Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen aus dem Jahr 2001 hatte im Sektor Abfallwirtschaft die folgenden vier Bereiche identifiziert, in denen künftig zunehmender Handlungsbedarf gesehen wurde:

1. Erhöhung der Rohstoffproduktivität (Abfallvermeidung),
2. stoffliche Verwertung von Abfällen,
3. energetische Verwertung von Abfällen,
4. Behandlung und Ablagerung von Abfällen.

Insbesondere die drei letzt genannten Punkte werden in dem durchzuführenden Vorhaben genauer betrachtet.

- Stoffliche Verwertung von Abfällen

Hierunter fallen sowohl die stoffliche Verwertung von Bioabfällen (Bodenverbesserung durch Kompost oder Gärrückstände) als auch von getrennt erfassten Altstoffen wie PPK, Altglas, LVP, Altmetalle (Eisen-, Nichteisenmetalle).

- Energetische Verwertung von Abfällen

Hierunter sind alle Verfahren zu subsummieren, die den Energiegehalt von Abfällen oder daraus erzeugten Fraktionen durch Auskopplung von Strom, Dampf und/oder Wärme nutzen. Hierunter fällt die Verbrennung von Abfällen oder daraus abgetrennten heizwertreichen Fraktionen in einer Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage (Kraftwerk, Zementwerk) ebenso wie die Nutzung von Biogas oder Deponiegas etwa in Gasmotoren.

- Behandlung und Ablagerung von Abfällen

Die Behandlung von Abfällen dient dem Zweck, stofflich und/oder energetisch verwertbare Bestandteile abzutrennen und einer Verwertung zuzuführen sowie die verbleibenden Reststoffe soweit zu inertisieren, dass sie je nach Schadstoffgehalt in ober- oder unterirdische Senken verbracht werden können.

Im Vorhaben „Klimarelevanz 1“ wurden die Treibhausgasemissionen resp. -emissionseinsparungen aus der Behandlung und Verwertung bzw. Ablagerung von Siedlungsabfällen – Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten, Abfälle von öffentlichen Flächen, Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen (soweit von ÖRE entsorgt) und getrennt erfasste Bioabfälle – anhand von Modellannahmen hochgerechnet. Diese Abschätzungen sollen nun auf der Basis aktueller Grundlagendaten und anlagenspezifischer Betriebsdaten untersetzt werden. Der Untersetzung der Ergebnisse dienen auch die fundierten Berechnungen zur Energieeffizienz. Durch Betrachtungen zur Klimarelevanz für „zusätzliche“ Abfälle (über Restabfälle und Bioabfälle hinausgehend) wird der Betrachtungsrahmen im Vergleich zur ersten Studie erweitert.

Mit den zu erwartenden Ergebnissen kann der (wesentliche) **Beitrag der sächsischen Abfallwirtschaft bzgl. der Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen** mit belastbaren Daten belegt werden.

Im Ergebnis der Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz lassen sich bzgl. Klimaschutz für die Bereiche Restabfallbehandlung und Bioabfallverwertung **Anlagen bzw. Anlagenkonfigurationen mit dem bestmöglichen Standard** ableiten. Auf dieser Grundlage werden Potenzialabschätzungen vorgenommen und Möglichkeiten für die **weitere Reduzierung von Treibhausgasemissionen** im Bereich der sächsischen Abfallwirtschaft formuliert.

Unter Einbeziehung anderer, über die Klimarelevanz hinausgehender, „zusätzlicher“ Aspekte werden die sächsischen Lösungen der Abfallwirtschaft vergleichend diskutiert, bewertet und eingeordnet.

Im Fokus der Untersuchungen steht die **Ableitung von Handlungs- und Optimierungsempfehlungen**. Es werden hierzu entsprechende Vorschläge erarbeitet und in einem **Maßnahmenkatalog** zusammengestellt. Der Maßnahmenkatalog wird differenziert nach den relevanten Abfallarten

- Restabfall
- Bioabfälle
- Altstoffe

resp. Behandlungstechnologien

- nicht-thermische Behandlung
- energetische Verwertung/thermische Behandlung
- Deponien

Handlungsempfehlungen geben für die Sektoren

- Politik (politische Initiativen, legislative Maßnahmen, Vollzug, Fördermaßnahmen usw.),
- Technik (zukünftige Ausrichtung, technische Entwicklungen usw.) und
- Wissenschaft/Forschung.

Mögliche Themenbereiche für einen Maßnahmenkatalog werden nachfolgend beispielhaft für die Bioabfälle skizziert.

Beispiel Bioabfall-Strategie für Sachsen:

- Vollzug Sanierung offene Bioabfallkompostierungsanlagen (TA Luft)
- Förderung der Kompostierung von Bioabfällen zur Erhöhung des Angebotes an Bodenverbessern und Humusbildnern?
- Förderung des Umbaus von offenen Bioabfallkompostierungsanlagen (Sanierungsfrist TA Luft ist abgelaufen) zu Vergärungsanlagen?
- Steigerung der Energieeffizienz der Biogasverwertung:
 - Förderung effizienter erneuerbarer Wärme bzw. Kraft-Wärme-Erzeugung (z.B. Biogas-Mikro-KWK-Anlagen)
 - Förderung der Aufbereitung und anschließende Einspeisung in das Erdgasnetz und anschließende Nutzung in effizienten KWK-Prozessen bzw. die direkte Nutzung als Treibstoff (vgl. Wendländer BioGas <http://biogastankstelle.de>)
- Förderung weiterer innovativer Technologien zur energetischen Verwertung von abfallstämmiger Biomasse in Verbrennungs- und Vergasungsanlagen bzw. als BtL-Kraftstoff?

Die Ergebnisse der Studie „Klimarelevanz 2“ werden einen wesentlichen Baustein für die fundierte **Fortschreibung des Klimaschutzprogramms** des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, Themenbereich Abfallwirtschaft bilden.

6 Schlussbemerkung

Der vorliegende Bericht macht deutlich, dass mit dem Vorhaben „Klimarelevanz 2“ eine sehr interessante, aktuelle und zukunftsweisende Thematik bearbeitet wird. Die Aufgabestellung stellt aber auch eine sehr komplexe Thematik dar, deren Bearbeitung eine Vielzahl von möglichst fundierten, belastbaren Daten und Informationen erfordert. Die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens wird nur in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern gelingen.

Eine zentrale Rolle spielen dabei die Abfallzweckverbände und verbandsfreien ÖRE. Nicht zuletzt deshalb werden die Abfallzweckverbände im Titel des Vorhabens benannt.

Um die Zweckverbände und verbandsfreien ÖRE frühzeitig in das Projekt einzubinden, wurde bereits eine erste Veranstaltung mit ihnen und anderen potentiellen Ansprechpartnern durchgeführt. Neben den Vertretern des Auftraggebers und dem Bearbeiterteam nahmen an der Auftaktberatung Vertreter des Landesverbandes der Recyclingwirtschaft Sachsen teil (Impressionen siehe Fotos).



Foto 1: Herr Dr. Vollbrecht (LfUG): Voranschreitender Klimawandel



Foto 2: Herr Prof. Born (SIDAF): Energieeffizienzberechnungen



Foto 3: Pausengespräch

Als wichtigstes Ergebnis der Beratung bleibt festzuhalten, dass die Anwesenden ihren uneingeschränkten Willen zur Mitarbeit am Projekt bekundet haben. Das betrifft insbesondere die Bereitstellung von bzw. die Mitarbeit bei der Erhebung von Daten

- zu den Konzepten bzw. Systemen der Entsorgung von zu beseitigenden Abfällen,
- zur möglichst frühzeitigen Bereitstellung von Abfallmengendaten für 2007,
- zur Bereitstellung vorhandener Informationen zur Zusammensetzung von Restabfällen, Bioabfällen, EBS usw. und
- zur Ermittlung von Anlagendaten.

Entscheidend wird auch die Datenbereitstellung durch die Anlagenbetreiber sein, deshalb muss es gelingen, die Anlagenbetreiber in geeigneter Weise zur Mitarbeit zu motivieren. Es bleibt zunächst zu hoffen, dass das gemeinsame Vorgehen bei der Fragebogenaktion durch SMUL, LfUG, Zweckverbände/ÖRE und Bearbeiterteam für eine ausreichende Auskunftsbereitschaft bei den Anlagenbetreibern führt.

Schlussendlich sei noch darauf hingewiesen, dass das Bearbeiterteam einer kontinuierlichen und konstruktiven Zusammenarbeit mit dem LfUG als Auftraggeber und auch dem SMUL große Bedeutung beimisst. Diese Zusammenarbeit bleibt nicht nur auf die Bereitstellung von Daten aus dem eigenen Fundus begrenzt. Die Zusammenarbeit erstreckt sich vielmehr auf

- Diskussionen und Fachgespräche zu Ergebnissen usw.,
- gemeinsame Abstimmungen und Festlegungen zu Inhalten und Vorgehensweisen und
- die Lösung von Problemen, die während der Bearbeitung der Themenstellung auftauchen können.

7 Verzeichnis der verwendeten Quellen

7.1 Quellenangaben für Kapitel 2

- [1] Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>

- [2] Lexikon der Nachhaltigkeit: Weltklimakonferenz in Genf, 1979, zuletzt geändert: 11.4.2005
http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/weltklimakonferenz_genf_1979_689.htm

- [3] IPCC: Fourth Assessment Report – Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers.
http://195.70.10.65/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf

- [4] Artensterben und Hitzewellen. Die wichtigsten Punkte aus dem Weltklimabericht. Süddeutsche Zeitung Nr. 266, 19.11.2007, S. 8

- [5] BMU: 4. Sachstandsbericht (AR4) des IPCC (2007) über Klimaänderungen – Synthesebericht. Kernaussagen, 17.11.2007
http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/syr_kurzzusammenfassung_071117_v5-1.pdf

- [6] Gabriel: Klimaschutz bedeutet Umbau der Industriegesellschaft. 8-Punkte-Plan zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 40 Prozent bis 2020, Pressemitteilung Nr. 116/07, Berlin, 26.04.2007

- [7] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen, Dresden 2001 (Stand: 01. Juni 2001)

- [8] Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit: Energieprogramm Sachsen 2004 – Leitlinien und Handlungsschwerpunkte, Dresden, Juni 2004
- [9] Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit: Energieprogramm Sachsen 2007 – Leitlinien und Schwerpunkte der sächsischen Energiepolitik, Dresden 2007 (Entwurf 31. Januar 2007)
- [10] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimaschutzbericht 2005 – Bericht zur Umsetzung des Sächsischen Klimaschutzprogramms, Dresden 2005
- [11] Berichte unter: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/SabfaWeb/sabfaweb-nt/print/2_FuE/Klimarelevanz.pdf

7.2 Quellenangaben für Kapitel 5.1.2

- [1] IPCC_NGGIP: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook, Volume 1 – 3, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.htm>
- [2] DIN EN ISO 14040 ff. - Umweltmanagement - Ökobilanz
- [3] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>
- [4] http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/worksheets/4_Waste.xls
- [5] http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf
- [6] Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum

Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ipcc_entscheidungstraeger_agiii.pdf

- [7] Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC): Climate Change 1995 – The Science of Climate Change. Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change (SAR), 1996

- [8] Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC): Climate Change 2001 – Synthesis Report. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change (TAR), 2001.

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/english/index.htm>

Technical Summary – A report accepted by Working Group I of the IPCC, but not approved in detail:

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/english/pdf/wg1ts.pdf>

- [9] EWE AG, Oldenburg (Hrsg.): 10 BULLENSEE-THESEN und abgeleitete Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Energieversorgung.

<http://www.ewe.de/download/pdf/BULLENSEE-THESEN.pdf>

- [10] GEMIS 4.42 <http://www.oeko.de/service/gemis/files/setup/gemis442.zip>

- [11] Dehoust G., Wiegmann K., Fritsche U., Stahl H., Jenseit W., Herold A., Cames M., Gebhardt P. (alle Öko-Institut e.V.), unter Mitarbeit von Vogt R., und Giegrich J. (beide IFEU-Heidelberg GmbH): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, August 2005
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3006.pdf>

- [12] IFEU Institut: Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – Teil Siedlungsabfälle, Studie im Auftrag des Umweltbun-

desamtes, UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 203 92 309, Heidelberg, April 2005
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2899.pdf>

- [13] Dehoust, G., Gebhardt, P., Gärtner, S. (Öko-Institut): Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung. Studie im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). April 2002 <http://www.oeko.de/oekodoc/75/2002-013-de.pdf>
- [14] Knappe, F., Böß, A., Dehoust, G., Fehrenbach, H., Fritsche, U., Giegrich, J., Schüler, D., Vogt, R., Wiegmann, K.: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Verwertung organischer Abfälle, Studie des IFEU-Institut und Öko-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes, FZK 205 33 313, UBA-Texte, 04/2007
www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3135.pdf
- [15] Frühwirth W., Stark W. (GUA - Gesellschaft für umfassende Analysen, inzwischen: Denkstatt), Wien: Klimarelevanz der kommunalen Wiener Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag der Magistratsabteilungen 22 und 48, der Magistratsdirektion Klimaschutzkoordination, der Fernwärme Wien, der Wiener Kommunal-Umweltschutzprojektgesellschaft mbH und der Wiener Umweltschutzgesellschaft, 2005
www.wien.gv.at/umweltschutz/pool/pdf/klimarelevanz.pdf
- [16] E.V.A. Energieverwertungsagentur, Wien: Möglichkeiten zur Berücksichtigung von KWK-Anlagen im nationalen Allokationsplan, 2003
- [17] Pölz, W., Rolland Ch. (Umweltbundesamt GmbH, Wien): Die Entwicklung des Wiener Wärmemarktes und die daraus resultierenden ökologischen Effekte. durchgeführt im Auftrag der Fernwärme Wien GmbH. Endbericht, 14. Mai 2003
<http://www.fernwaermefoerderung.at/oekologische.pdf>

- [18] Institut für Kreislaufwirtschaft (IKr), Bremen: Ökologische und energetische Bilanzierung des Vorhabens MKK, Studie im Auftrag der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen, 2006
- [19] Langer S., Sawilla B., Wittmaier M. (IKr, Bremen): Klimarelevanz der energetischen Abfallverwertung. In: TU Dresden, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten Band 52, Abfallwirtschaft und Klimaschutz. Emissionshandel – Emissionsminderung – Klimaschutzprojekte, S. 64 – 76, 2007
- [20] Pitschke T., Roth U., Hottenroth S., Rommel W.: Ökoeffizienz von öffentlichen Entsorgungsstrukturen. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. BlfA-Text Nr. 30, August 2004
- [21] Peche R., Roth U., Kreibe S., Rommel W.: Abfallwirtschaft und Klimaschutz. Studie angefertigt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, bifa-Text Nr. 34, April 2007
- [22] Fehrenbach H., Giegrich J., Möhler S.: Behandlungsalternativen für klimarelevante Stoffströme. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht 205 41 300, UBA-FB 00955, UBA-Texte 39/07
www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3315.pdf
- [23] Fehrenbach H., Giegrich J., Schmidt R.: Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, Stand September 2007, Hrsg.: MUNLV, Düsseldorf
http://www.munlv.nrw.de/umwelt/pdf/therm_entsorg.pdf
- [24] Umweltbundesamt: Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version '99; UBA Texte 92/99

[25] IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change: Third Report – Climate Change Synthesis report; 2001 <http://www.ipcc.ch/pub/SYR-text.pdf>
- neu: http://eetd.lbl.gov/Emills/PUBS/PDF/IPCC_TAR_SYR-text.pdf

[26] Mail von Horst Fehrenbach, IFEU, an BZL GmbH, 22.11.2007

[27] <http://www.ag-energiebilanzen.de/>

7.3 Quellenangaben für Kapitel 5.1.3

- [1] Draft Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, Final Draft, May 2005, European Commission
- [2] Reimann, D.: Ermittlung und Bedeutung von Kennzahlen zur Energie und Anlagennutzung sowie zu Wirkungsgraden für die Abfallverbrennung. Müll und Abfall, 2003, Heft 10, S. 512-520
- [3] Bewertung der Energieeffizienz in Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung. Stellungnahme des Ausschusses VDI 3460 der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL. In Thomé-Kozmiensky, K.J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall Band 2, S. 119-132, 2007
- [4] Scholz, R., Beckmann, M., Schulenberg, F.: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Teubner-Reihe Umwelt, 2000
- [5] Thiel, S.: Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Kohlekraftwerken. Abfallkolloquium SIDAF, Freiberg, 24.10.2007
- [6] Thiel, S.: Ersatzbrennstoffe in Kohlekraftwerken. TK-Verlag, 2007
- [7] Emissionsminderung und Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung, VDI-Richtlinie 3460 Blatt 2, 2007

- [8] Beckmann, M., Horeni, M., Scholz, R., Rüppel, F.: Notwendigkeit der Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen. In Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe Band 3, S. 213-230, 2003

7.4 Quellenangaben für Kapitel 5.2

- [1] Wallmann 1998, zit. bei Schwing, E.: Bewertung der Emissionen der Kombination mechanisch-biologischer und thermischer Abfallbehandlungsverfahren in Südhessen. Dissertation, FB 13, TU Darmstadt, Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg.), Schriftenreihe WAR Bd. 111, Darmstadt 1999