Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
vertreten durch das
Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie
Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz

Bericht

Teile .....2 + 4
Berichtszeitraum: 05/2002-11/2002
Seitenzahl: 142
Tabellen (Anzahl): 53
Abbildungen (Anzahl): 2
Sonstige Anlagen: 10

zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben:

Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen

Aktenzeichen: 13-8802.3523/103

von:

Autoren:
Dr. Steffen Wagner, Dipl.-Ing. Heiko Ibold
Dipl.-Biol. Barbara Zeschmar-Lahl

Durchführende Institutionen:
BIWA Consult GbR, Freiberg
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oyten

Projektleiter:
Dr. Steffen Wagner

12. Mai 2003

Inhaltsverzeichnis (Übersicht)

1 Hintergrund 1

2 Aufgabenstellung 4

3 Ergebnisse aus Teil 1 (Verfahrensvergleich) und Teil 3 (Holzabfallkonzept) 5

4 Darstellung der Anlagen zur Behandlung von Siedlungsabfällen im Freistaat Sachsen 11

5 Klimarelevanz ausgewählter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen im Freistaat Sachsen 34

6 Zusammenfassung 98

7 Literaturverzeichnis 103

8 Anhang 108

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund ... 1

2 Aufgabenstellung ... 4

3 Ergebnisse aus Teil 1 (Verfahrensvergleich) und Teil 3 (Holzabfallkonzept) ... 5

3.1 Ergebnisse aus Teil 1 (Verfahrensvergleich) ... 5

3.1.1 Restabfallbehandlung ... 5

3.1.2 Holzabfallverbrennung/-vergasung ... 8

3.1.3 Weitere Verfahren der Restabfallbehandlung ... 9

3.2 Ergebnisse aus Teil 3 (Holzabfallkonzept) ... 9

4 Darstellung der Anlagen zur Behandlung von Siedlungsabfällen im Freistaat Sachsen ... 11

4.1 Standort-Steckbriefe Restabfallentsorgungsanlagen ... 11

4.1.1 Standort-Steckbriefe Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlagen (MBS) ... 15

4.1.2 Standort-Steckbriefe Mechanische Aufbereitungsanlagen (MA) ... 15

4.1.3 Standort-Steckbriefe Mechanisch-Biologische Splittinganlagen (MBA) ... 15

4.1.4 Standort-Steckbrief MVA ... 17

4.1.5 Standort-Steckbrief Kraftwerk ... 22

4.1.6 Standort-Steckbriefe Methanol-/Stromerzeugung (SVZ) ... 23

4.1.6.1 Erläuterung zur Berechnung: Strombedarf ... 24

4.1.6.2 Plausibilität der Daten zur Pelletierung im SVZ ... 24

4.1.6.3 Erläuterung zur Berechnung: Sauerstoffbedarf für die Vergasung ... 24

4.1.6.4 C-Bilanz und Wirkungsgrad des SVZ ... 25

4.1.6.5 Gutschrift für erzeugtes Methanol ... 26

4.1.6.6 Relevanz des Verschleiss‘ der Anlagenteile aus der Pelletierung ... 26

4.1.7 Standort-Steckbriefe Deponien ... 28

4.2 Standort-Steckbriefe Verwertungsanlagen für Holzabfälle ... 33

4.3 Standort-Steckbriefe Verwertungsanlagen für Bioabfälle ... 33

4.3.1 Bioabfallkompostierung ... 33

4.3.2 Bioabfallvergärung ... 33

5 Klimarelevanz ausgewählter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen im Freistaat Sachsen ... 34
5.1 Klimarelevante Emissionen der Restabfallentsorgung ... 34
5.1.1 Restabfallentsorgung – Bestandsaufnahme für das Jahr 2000 ... 34
5.1.1.1 Deponierung ... 35
5.1.1.1.1 Emissionen von Ablagerungen auf Deponien und Altablagerungen ... 36
5.1.1.1.2 Thermische Behandlung/energetische Verwertung von Deponiegas ... 39
5.1.1.1.3 Klimarelevante Emissionen des Einbaus von Deponiematerial ... 43
5.1.1.1.4 Zusammenfassung Restabfallentsorgung 2000 ... 44
5.1.2 Restabfallentsorgung – Prognose für das Jahr 2005 und Folgejahre ... 45
5.1.2.1 Prognose des Aufkommens an Restabfällen und anderen mit Restabfällen beseitigten Abfällen ... 45
5.1.2.2 Zuordnung des Abfallaufkommens zu Anlagen ... 47
5.1.2.3 Berücksichtigung der Transporte ... 48
5.1.2.4 Modellierung der Restabfallentsorgung 2005 und Folgejahre für die Berechnung der Klimarelevanz ... 51
5.1.2.5 Berechnung der Klimarelevanz der modellierten Restabfallentsorgung 2005 und Folgejahre ... 53
5.1.2.5.1 Restabfallverbrennung (MVA) ... 53
5.1.2.5.2 Mechanische Aufbereitung (MA) und Verwertung ... 54
5.1.2.5.3 Mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) und Verwertung ... 57
5.1.2.5.4 Mechanisch-biologisches Splitting (MBA) und Verwertung/Deponierung ... 60
5.1.2.5.5 Unaufbereiteter Restabfall zum SVZ ... 63
5.1.2.5.6 Deponierung/Deponiegasnutzung ... 64
5.1.2.5.6.1 Restemissionen ... 64
5.1.2.5.6.2 Deponiegasnutzung ... 64
5.1.2.5.6.3 Effekt der Methanoxidationsschicht ... 69
5.1.2.5.6.4 Zusammenfassung klimarelevante Emissionen von Deponien im Jahr 2005 ... 70
5.1.2.5.7 Aufgrund abfallwirtschaftlicher Maßnahmen vermiedene klimarelevante Emissionen ... 71
5.1.3 Zusammenfassung der klimarelevanten Emissionen der Restabfallentsorgung im Jahr 2005 und Folgejahre (Hochrechnung) ... 73
5.1.4 Diskussion der Ergebnisse ... 75

5.1.5 Sensitivitätsbetrachtung ... 77
5.1.5.1 Berücksichtigung der „unsicheren“ Mengen ... 77
5.1.5.2 Veränderte Abfallzusammensetzung (C fossil) ... 78
5.1.5.3 Gutschrift für die Erzeugung von Methanol ... 79
5.1.6 Optimierungspotenziale der Restabfallentsorgung ... 80
5.1.6.1 Optimierungspotenziale der thermischen Behandlung / energetischen Verwertung von Restabfall ... 80
5.1.6.2 Optimierungspotenziale der nicht-thermischen Behandlung / stofflichen Verwertung von Restabfall ... 81
5.1.6.3 Optimierungspotenzial der Deponiegasnutzung ... 82
5.2 Klimarelevante Emissionen der Verwertung von Gebrauchtholz ... 84
5.2.1 Bestandsaufnahme für das Jahr 2000 ... 85
5.2.1.1 Aufkommen und Verbleib ... 85
5.2.1.2 Klimarelevanz 2000 ... 87
5.2.2 Prognose für das Jahr 2005 ... 88
5.2.2.1 Aufkommen (Potenziale) und Verbleib ... 88
5.2.2.2 Klimarelevanz 2005 ... 89
5.2.2.2.1 Vergasung von Holzabfällen ... 89
5.2.2.2.2 Holzabfallverbrennung ... 90
5.2.3 Optimierungsmöglichkeiten der Gebrauchtholzverwertung ... 92
5.3 Klimarelevante Emissionen der Verwertung biogener Abfälle ... 92
5.3.1 Die Bestandsaufnahme für das Jahr 2000 ... 92
5.3.2 Prognose für das Jahr 2005 ... 96
5.3.3 Optimierungspotenziale der Bioabfallverwertung ... 96
6 Zusammenfassung ... 98
6.1 Restabfallentsorgung ... 98
6.2 Holzabfallverwertung ... 101
6.3 Verwertung biogener Abfälle ... 101
6.4 Ergebnisse im Überblick ... 102
7 Literaturverzeichnis ... 103
8 Anhang ... 108

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Ergebnisse des Systems 1 in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall (FS) 6
Abb. 2: Industriegebiet Lauta ([29], ergänzt) 21

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Treibhausgasemissionen im Freistaat Sachsen in 1.000 Mg CO_2-Äquivalent/a, gerundet [4] 3
Tab. 2: Übersicht über die untersuchten Varianten im System 1: Restabfallbehandlung 6
Tab. 3: Übersicht über die untersuchten Varianten im System 2: Holzabfallbehandlung 8
Tab. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten Varianten im System 2 in kg CO_2-Äq./Mg Holzabfall 8
Tab. 5: Bestehende und geplante Anlagen zur Restabfallbehandlung in Sachsen 12
Tab. 6: Klimarelevante Grenzwerte der 17. BImSchV und Antragswerte der T.A. Lauta (N, tr., 11 Vol.-% O_2) 17
Tab. 7: Standort-Steckbrief: Sächsische MVA; wenn nicht anders angegeben, bezogen auf Mg MVA-Input (= Restabfall), H_u 8.500 MJ/Mg 18
Tab. 8: Rechenbeispiel für die zukünftig denkbare Energieerzeugung und den elektrischen Eigenbedarf der T.A. Lauta [[27], ergänzt] 19
Tab. 9: Für die Modellierung des energetisch verwertenden Kraftwerks verwendete Daten 22
Tab. 10: Deponiegaserfassung und energetische Nutzung in den Gebietskörperschaften des Freistaates Sachsen (Stand 3.7.2002) 29
Tab. 11: Siedlungsabfallaufkommen im Freistaat Sachsen im Jahr 2000 [43] 35
Tab. 12: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2000, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 [44] (1.000 CO_2-Äq./a) 37
Tab. 13: Klimarelevante Verbindungen im Deponiegas (in mg/m³, bezogen auf luftfreies Deponiegas) 37
Tab. 14: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2000, ergänzt um die Emissionen von FCKW [44] (Mg CO_2-Äq.) 38
Tab. 15: Im Freistaat Sachsen auf Deponien durch Gasfackeln und Gasmotoren bis zum Jahr 2000 eingesparte Emissionen an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2) (Mg CO_2-Äq./a) 40
Tab. 16: Klimarelevante Emissionen von Deponiegasbehandlungs- und -verwertungsanlagen (eigene Berechnungen auf der Basis von Daten in [50]) 41
Tab. 17: Gasnutzung auf sächsischen Deponien – Ergebnisse einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Stand 08/02) und Abschätzung der aus Deponiegas ins Netz eingespeisten Strommenge [MWh]; MW_{el} = Nennleistung Motor(en) in MW 42
Tab. 18: Umweltentlastung durch Deponiegasverstromung und durch Fernwärme aus Deponiegas auf sächsischen Deponien im Jahr 2000 43

Tab. 19: Zusammenfassung: Klimarelevante Emissionen aus der Restabfallbehandlung im Jahr 2000 (Quelle: eigene Berechnungen) 44
Tab. 20: Mengenprognose: Aufkommen an Abfällen zur Beseitigung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 [53] 46
Tab. 21: Aufkommen an Abfällen zur Behandlung durch die örE ab 2005 und verfügbare/ geplante Abfallbehandlungskapazitäten im Freistaat Sachsen [58], aktualisiert (Stand 11/2002) 47
Tab. 22: Mittlere Transportentfernungen (einfache Fahrt) für die für 2005 die geplanten Entsorgungslösungen (wenn Mittelwerte, dann ungewichtet ohne Berücksichtigung der Mengen) 49
Tab. 23: Restabfallentsorgung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005: Mengenaufkommen und Zuordnung zu Behandlungsanlagen sowie modellierter Mengensplit in % vom Input sowie Transport**mehr**aufwand gegenüber 2000 52
Tab. 24: Struktur der Ergebnisse zur Berechnung der Klimarelevanz der Restabfallverbrennung (MVA), in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall 54
Tab. 25: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanischen Aufbereitung (MA) und Verwertung, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall 56
Tab. 26: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanisch-biologischen Stabilisierung (MBS) und Verwertung, örE 1, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall 58
Tab. 27: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanisch-biologischen Stabilisierung (MBS) und Verwertung, örE 2, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall 59
Tab. 28: Modifizierung der MVA-Daten aus Tab. 7 für die Verbrennung der hochkalorischen Fraktion aus der MBA 61
Tab. 29: Gutschriften für Prozessdampferzeugung (Mix) in einer MVA, in mg/MJ 61
Tab. 30: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz des Mechanisch-biologischen Splittings (MBA) und der Verwertung/Deponierung, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall 62
Tab. 31: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2000 – 2005, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 [44], in 1.000 CO_2-Äq./a 64
Tab. 32: Planungen zur Ausrüstung sächsischer Deponien mit Gasfackeln ab 2001 65
Tab. 33: Planungen zur Gasnutzung auf sächsischen Deponien ab 2001 – Ergebnisse einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Stand 07/02) und Abschätzung der aus Deponiegas zusätzlich ins Netz eingespeisten Strommenge [MWh] 66
Tab. 34: Restemissionen von Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2000 bis 2005, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 (eigene Berechnungen für den Zeitraum ab 2003 auf der Basis der Daten des LfUG [44], einschließlich MBA-Rottegut aus zwei MBAs in der 2. Hälfte von 2005) [1.000 Mg CO_2-Äq./a] 67
Tab. 35: Im Freistaat Sachsen auf Deponien durch Gasfackeln und Gasmotoren voraussichtlich eingesparte Emissionen (= negative Werte) an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2, aber ohne FCKW) [Mg CO_2-Äq./a] 67

Tab. 36: Gutschrift für aus zusätzlicher Deponiegasnutzung bereitgestellte elektrische Energie, mit Vorketten, für das Jahr 2005 68
Tab. 37: Restemissionen von Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2003 bis 2005, einschließlich des Effektes einer 5, 10 oder 20 %igen Methanoxidationsschicht auf allen Ablagerungen und einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2, in 1.000 Mg CO_2-Äq./a 70
Tab. 38: Klimarelevante Emissionen von sächsischen Deponien im Jahr 2005 (Stand 31.12.2005)..... 70
Tab. 39: Abschätzung des Anteils der DOC-Träger in sächsischem Restabfall, nach Daten von Teil 1 dieser Studie [8] 72
Tab. 40: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 und Folgejahre – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung 74
Tab. 41: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung 75
Tab. 42: Sensitivitätsbetrachtung: Veränderung der Ergebnisse der Klimarelevanz der Restabfallentsorgung bei höherem Anteil an fossilem C im Restabfall: 40 % statt 25 %..... 78
Tab. 43: Sensitivitätsbetrachtung: Einfluss der Methanolgutschrift auf die Klimarelevanz der Entsorgungslösung Mechanische Aufbereitung (MA), Pelletierung und Verwertung der hochkalorischen Fraktion im SVZ (örE 2); in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall..... 79
Tab. 44: Brennstoffverbrauch der RTO für die MBA Aßlar [71]..... 82
Tab. 45: Bilanzierung der Klimarelevanz des Einsatzes von Deponiegas in der RTO einer MBS anstelle der Deponiegasverstromung 83
Tab. 46: Gebrauchtholzpotenzial 2000 für den Freistaat Sachsen und dessen Aufteilung nach Sortimenten und nach Entsorgungswegen 85
Tab. 47: Potenzialmengen für das Jahr 2000 und prognostizierte Gebrauchtholzpotenziale für die Jahre 2005 und 2010 im Freistaat Sachsen [9] 88
Tab. 48: Aufkommen an getrennt erfassten Bioabfällen aus Haushalten, Gewerbe/Industrie und von öffentlichen Flächen im Freistaat Sachsen im Jahr 2000 [43]..... 93
Tab. 49: In Betrieb befindliche Biogasanlagen im Freistaat Sachsen [[81], verändert] 94
Tab. 50: Klimaeffekte der die Behandlung von Bioabfällen aus Haushalten, Bilanzergebnisse einer IFEU-Studie [82], in kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall (negative Zahl = Umweltentlastung) 95
Tab. 51: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 und Folgejahre – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung 99

Tab. 52: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung 100
Tab. 53: Übersicht: Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen – Status quo (2000) und Status 2005 sowie Folgejahre in 1.000 Mg CO_2-Äq./Jahr 102

1 Hintergrund

Mit der Ratifizierung des EG-Rechtsaktes über die gemeinsame Erfüllung des Kyoto-Protokolls hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, ihre Treibhausgas-(THG)-Emissionen im Zeitraum von 2008 bis 2012 um 21 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Die Ziele des nationalen Klimaschutzprogramms vom 18.10.2000 [1] sind sogar noch ehrgeiziger:

- Minderung der CO_2-Emission bis 2005 gegenüber 1990 um **25 %**,
- Minderung der Emissionen der sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls im Zeitraum 2008 bis 2012 im Rahmen der EU-Lastenverteilung um 21 %. Basisjahr für CO_2, CH_4 (Methan) und N_2O (Lachgas) ist 1990, für H-FKW, FKW und SF_6 dagegen 1995.

Darüber hinaus hat sich die Bundesregierung folgende weitere Ziele gesetzt:

- Verdoppelung des Anteils der erneuerbaren Energien bis 2010 gegenüber heute und weitere deutliche Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien nach 2010.
- Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung durch eine Quotenregelung mit dem Ziel, die CO_2-Emissionen zusätzlich um 10 Mio. Mg bis 2005 und um 23 Mio. Mg bis 2010 zu senken.
- Deutliche Steigerung der Energieproduktivität in den kommenden Jahren.

Zum Sektor Abfallwirtschaft heißt es im nationalen Klimaschutzprogramm [1]:

> „Schließlich hat die Bundesregierung auch zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der anderen Treibhausgase verabschiedet. So werden etwa die Maßnahmen im Bereich Siedlungsabfälle zwischen 1990 und 2005 zu einer Minderung der CH_4-Emissionen um 15 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente führen."

Bezug genommen wird insbesondere auf die Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung (AbfAblV) [2]:

> „Spätestens ab 2005 dürfen somit nur noch Abfälle abgelagert werden, die die Erreichung der Emissionsminderungspotenziale bei Treibhausgasen nicht gefährden."

Das Sächsische Klimaschutzprogramm [3] hat das Ziel, den CO_2-Ausstoß in Sachsen in den Bereichen Verkehr, private Haushalte, Kleinverbraucher und Industrie bis zum Zeitraum 2005 bis 2010 um 2,5 Mio. Mg gegenüber 1998 zu senken:

> „Da in Sachsen nach der Inbetriebnahme der Neubaublöcke im Kraftwerk Lippendorf sowie in Boxberg die weltweit modernsten Braunkohlekraftwerke mit Wirkungsgraden über 40% stehen, ist das Reduktionspotenzial der CO_2-Emissionen aus Großfeuerungsanlagen in Sachsen auf lange Sicht weitgehend ausgeschöpft. Aus heutiger Sicht werden sich die CO_2-Emissionen ab 2001 dauerhaft bei etwa 27 Mio. t jährlich einpendeln. Die Staatsregierung richtet deshalb ihre Bemühungen zur CO_2-Minderung vorrangig auf die neben den Großfeuerungsanlagen wichtigsten Verursacher Verkehr, private Haushalte, Kleinverbraucher und Industrie.

Die angestrebte Reduzierung der Emissionen um 2,5 Mio. t bis zum Zeitraum 2005 bis 2010 erbringt nach derzeitiger Schätzung eine CO_2-Gesamtemission in Sachsen im Zeitraum 2005 bis 2010 von etwa 44 Mio. t jährlich."

Für den Sektor Abfallwirtschaft hat das sächsische Klimaschutzprogramm folgende Ziele:

„Durch Abfallvermeidung und Abfallverwertung sollen wichtige Beiträge zum Klimaschutz geleistet werden. Diese Beiträge ergeben sich sowohl durch Rohstoffeinsparungseffekte als auch durch Folgewirkungen wie Energieeinsparungen und geringere Mengen zu deponierender Abfälle. Durch drastisches Absenken insbesondere der Methangasemissionen bei Deponien und Altablagerungen sowie Vermeidung/Verminderung der CO_2-Emissionen durch den Einsatz von Abfallbehandlungsanlagen, die dem Stand der Technik entsprechen, sollen die sächsischen Treibhausgasemissionen zusätzlich wirksam reduziert werden. Der Klimaschutz erhält damit künftig in der Abfallwirtschaft vor dem Hintergrund des anspruchsvollen deutschen Minderungsziels ein deutlich größeres Gewicht.

...

Da die Deponierung des Abfalls ohne Vorbehandlung das aus Sicht des Klimaschutzes ungünstigste Verfahren darstellt, werden in Sachsen erhebliche Anstrengungen unternommen, so schnell wie möglich, jedoch spätestens im Jahr 2005, die Ablagerung von unbehandeltem Restabfall zu beenden und Anlagen zur Abfallvorbehandlung zu errichten."

Den Einfluss der Deponien auf die Freisetzung von Treibhausgasen, insbesondere Methan (CH_4) zeigt auch der neueste Bericht des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) „Emissionssituation in Sachsen, Ausgabe 2001" [4], vgl. Tab. 1.

Danach ist die Abfallwirtschaft der weitaus größte Emittent für Methan in Sachsen. Knapp drei Viertel der Methanemissionen werden von Deponien und Altablagerungen freigesetzt. Hinzu kommen deren Emissionen an klimarelevantem CO_2. Insgesamt tragen diese sächsischen Anlagen zu mehr als 9 % der Emissionen der klimarelevanten Gase CO_2, Lachgas und Methan im Freistaat bei.

Nach AEA [5] betrug die Emission von Treibhausgasen in den Mitgliedsstaaten der EU aus der Abfallwirtschaft im Jahr 1990 rund 155 Mio. Mg CO_2-Äq., entsprechend ~5 % aller THG-Emissionen, wobei der Hauptverursacher Methan (größtenteils aus Deponien) darstellte. Ohne weitere Maßnahmen würde nach AEA die Methanemission von Deponien von 1990 bis 2010 EU-weit (15 Mitgliedsstaaten) um rund 2 % zunehmen (auf ~140 Mio. Mg CO_2-Äq./a), für Deutschland sogar um 3 % entsprechend 50.000 Mg Methan. Knapp die Hälfte an Methan (~67 Mio. Mg CO_2-Äq./a EU-weit) soll durch Maßnahmen in den unten genannten Sektoren vermieden werden können.

Tab. 1: Treibhausgasemissionen im Freistaat Sachsen in 1.000 Mg CO_2-Äquivalent/a, gerundet [4]

Emittentengruppe	CO_2	N_2O	CH_4	Summe
Industrie (ohne Feuerungen)	1.875	100	< 1	1.975
GFA (Großfeuerungsanlagen)	26.396	132	17	26.545
sonstige Feuerungen	2.743	21	21	2.785
Kleinverbraucher	2.689	6	2	2.697
Hausbrand	4.152	8	4	4.164
Verkehr	8.738	254	21	9.013
Deponien + Altablagerungen	**701**	**-**	**4.459**	**5.160**
Abwasserbehandlung	93	21	21	135
Kompostierung	86	19	19	124
Landwirtschaft	297	676	1.151	2.124
Braunkohle-Förderung	-	-	33	33
Erdgas-Verbrauch	-	-	280	280
Summe	**47.770**	**1.237**	**6.028**	**55.035**

Die größten Methan-Reduktionspotenziale für Deutschland bestehen nach AEA in

- abfallpolitischen Maßnahmen (waste diversion) ..... 789.000 Mg CH_4
    - sowie Umsetzung der EU-Deponierichtlinie ..... 228.000 Mg CH_4
- vermehrter Oberflächenabdichtung von Deponien und Oxidation der flüchtigen Bestandteile: ..... 67.000 Mg CH_4
- vermehrter Nutzung von Deponiegas: ..... 2.000 Mg CH_4 [6]

In der Summe sollen bis 2010 gegenüber dem Basisszenario („keine Maßnahmen“) rund 1,086 Mio. Mg Methan eingespart werden. Wesentliche Stellschraube sollen die abfallpolitischen Maßnahmen (sowie die Umsetzung der EU-Deponierichtlinie) sein (Summe = 1,017 Mio. Mg CH_4). Deren Einsparpotenziale schätzt AEA gegenüber dem Basisszenario („keine Maßnahmen“) in Deutschland wie folgt ab:

- Verbrennung: .....762.800 Mg CH_4
- mechanisch-biologische Restabfallbehandlung: .....152.600 Mg CH_4
- Kompostierung / anaerobe Vergärung: jeweils .....50.900 Mg CH_4

Die Einsparungen umfassen

- das nicht freigesetzte Methan aus der Deponierung (72 kg Methan/Mg Restabfall),
- den Anteil an fossilem CO_2 aus dem Brennstoff, der bei der Verbrennung freigesetzt wird,
- die aus der Bereitstellung von Strom und Wärme bei der Verbrennung resultierende Substitution fossiler Energieträger (0,37 Mg CO_2/MWh Strom und 0,22 Mg CO_2/MWh Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung).

2 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der erforderlichen Einsparung bei der Emission klimarelevanter Gase hat das Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz) im Jahr 2001 die Studie „**Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen**“ in Auftrag gegeben [7].

Die Aufgabenstellung war in vier Teile untergliedert:

Teil 1: Vergleich der Verfahren und Verfahrenskonzepte (Verfahrensvergleich)
Teil 2: Vergleich von Anlagenstandorten im Freistaat Sachsen (Anlagenvergleich)
Teil 3: Untersuchungen zu Holzabfällen im Freistaat Sachsen (Holzabfallkonzept)
Teil 4: Klimarelevanz sächsischer Abfallwirtschaftsmaßnahmen

Für Teil 1 und 3 waren folgende Verfahren zu untersuchen und zu bewerten:

1. Restabfallverbrennung in der MVA,
2. MBA und Deponierung des Rotterückstandes,
3. Restabfallstabilisierung (MBS) und Vergasung im SVZ,
4. Holzabfallverbrennung/-vergasung,
5. Klärschlammmitverbrennung in Braunkohlekraftwerken,
6. Bioabfallvergärung und energetische Biogasverwertung,
7. Bioabfallkompostierung,
8. Deponierung, Deponieentgasung und energetische Gasverwertung,
9. Sonderabfallbehandlung/-verwertung,
10. Innovative Verfahren.

Im Rahmen der Studie konzentrieren sich die Untersuchungen auf den Schwerpunkt Siedlungsabfallwirtschaft. Besonders überwachungsbedürftige Abfälle wurden unter Punkt 9 Sonderabfallbehandlung/-verwertung betrachtet. Im Fortgang der Bearbeitung stellte sich heraus, dass für diesen Sektor der Abfallwirtschaft die Klimarelevanz von untergeordneter Bedeutung ist, da die relevanten Parameter für diesen Bereich wie insbesondere Schwermetalle und persistente organische Schadstoffe nicht als klimarelevant gelten. Daher wurde dieser Sektor der Abfallwirtschaft im Folgenden nicht weiter vertieft. Die Aufgabenstellung umfasste nicht die Betrachtung von Verfahren zur stofflichen Verwertung von nicht besonders überwachungsbedürftigen Abfällen aus Industrie und Gewerbe oder der getrennt gesammelten Abfälle wie Altglas, Altmetalle, Altpapier und dergleichen. Hierzu liegen in der Regel zu wenig Daten vor, um zu belastbaren Aussagen zu gelangen.

Der vorliegende Endbericht basiert auf den Ergebnissen der **Teile 1** [8] **und 3** [9], die Ende 2001 dem Auftraggeber übergeben und Anfang 2002 verteidigt wurden. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Teile werden eingangs noch einmal kurz zusammengefasst. Basierend auf die Teile 1 und 3 werden die Ergebnisse für die Teile 2 (Anlagenvergleich) und 4 (Klimarelevanz) dargestellt. Diese beiden Teile finden sich in Kapitel 4 und folgenden.

Extrem starke Niederschläge zwischen dem 8. und 10. August 2002 verursachten ein extremes Hochwasser an der Elbe und ihren Nebenflüssen. Viele Städte und Gemeinden waren tagelang überflutet. Nach Rückgang des Hochwassers waren erhebliche Mengen an beschädigter Bausubstanz und Mobiliar sowie Schlamm/Sediment zu entsorgen. Aus Gründen der Hygiene und mangels Alternativen wurde eine umgehende und direkte Ablagerung dieser Abfälle auf Deponien vorgenommen. Die Menge der abgelagerten Abfälle bis 2004 einschließlich der Erhöhung für 2002 wurden vom LfUG mit Bezug auf die hochwasserbedingten Abfälle auf den Deponien in den betroffenen Gebieten geschätzt, da offizielle Angaben noch nicht vorlagen.

3 Ergebnisse aus Teil 1 (Verfahrensvergleich) und Teil 3 (Holzabfallkonzept)

3.1 Ergebnisse aus Teil 1 (Verfahrensvergleich)

3.1.1 Restabfallbehandlung

In Teil 1 der Studie wurde untersucht, in welchem Maße abfallwirtschaftliche Verfahren zur Freisetzung oder Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen können. Dazu wurden die verschiedenen Verfahren, die die wichtigsten im Freistaat Sachsen anfallenden Abfallströme behandeln, nach einem einheitlichen Schema untersucht und verglichen. Für die Abfallarten Restabfall und Holzabfälle wurden vergleichende Berechnungen der Klimarelevanz verschiedener Verfahren und Verfahrenskombinationen untersucht. Aufgrund der Vorgabe des Auftraggebers (LfUG) wurde für folgende Verfahren ein Rechenprogramm zur Ermittlung der treibhausrelevanten Emissionen/Einsparungspotenziale entwickelt und an Modellanlagen erprobt, vgl. Tab. 2:

1. Restabfallverbrennung in der MVA (MVA1: gut; MVA2: sehr gut; MVA3: mäßig, nur Stromauskopplung),
2. MBA und Deponierung des Rotterückstandes sowie energetische Verwertung der ausgeschleusten heizwertreichen Fraktion in einem Kraftwerk (MBA_KRA1, MBA_KRA2), einem guten (MBA_ZEM1) und einem energieintensiven Zementwerk (MBA_ZEM2) oder im SVZ (MBA_SVZ),
3. Restabfallstabilisierung (MBS) und Vergasung im SVZ, wobei der Staub entweder auch im SVZ (MBS_SVZ) oder in MVA1 (MBS_SVZ_MVA) behandelt wird.

Als Methode für die Modellierung dieser „Verfahrens-Steckbriefe“ wurde dabei, soweit sinnvoll, auf IPCC-Vorgaben [10, 11, 12, 13] zurückgegriffen. Da sich diese letztlich auf eine Stoffflussanalyse der einzelnen Sektoren der Abfallwirtschaft beschränkten, wurden ergän-

zend ökobilanzielle Berechnungen mit der Berücksichtigung von Lastschriften für Verbräuche und Emissionen und Gutschriften für erbrachte Nutzen der Verfahren durchgeführt. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse der Methodenentwicklung für die Berechnung der klimarelevanten Emissionen verschiedener Verfahren der Restabfallbehandlung.

Tab. 2: Übersicht über die untersuchten Varianten im System 1: Restabfallbehandlung

Variante	MBA	MBS	MVA	Zement-werk	Kraft-werk	SVZ	Deponie
MVA1			100 %				
MVA2			100 %				
MVA3			100 %				
MBA_ZEM1	100 %		8,5 % (MVA1)	32,2 %			29,0 %
MBA_ZEM2	100 %		8,5 % (MVA3)	32,2 %			29,0 %
MBA_KRA1	100 %		8,5 % (MVA1)		32,2 %		29,0 %
MBA_KRA2	100 %		8,5 % (MVA1)		32,2 %		29,0 %
MBA_SVZ	100 %		8,5 % (MVA1)			22,4 %	29,0 %
MBS_SVZ_MVA		100 %	5,0 % (MVA1)			45,0 %	
MBS_SVZ		100 %				50,0 %	

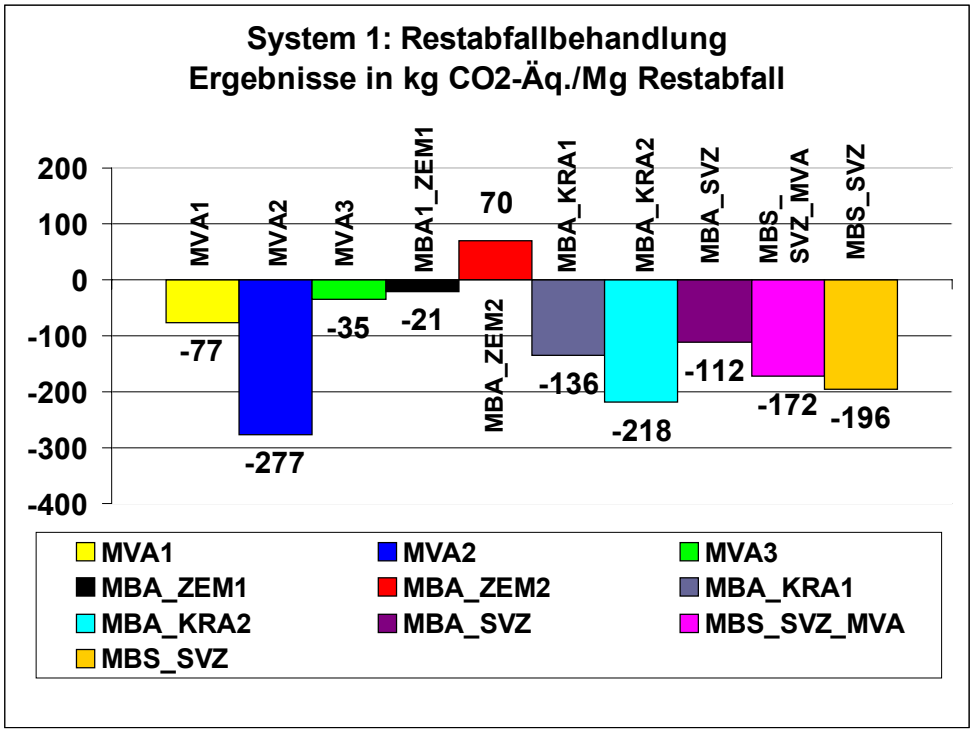

Abb. 1: Ergebnisse des Systems 1 in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall (FS)
negative Werte = Umweltentlastung; zur Zuordnung der Abkürzungen vgl. Seite 5 sowie Tab. 2

Nach den Ergebnissen der Methodenentwicklung, die durch konkrete Anlagendaten zu unterlegen ist, dürfte sich die Klima**ent**lastung durch Restabfallbehandlung in unterschiedlichen Behandlungsanlagen und -anlagenkombinationen je nach Standard der Anlage sowie der getroffenen Annahmen für die substituierten Energieträger im Bereich von -20 bis knapp -300 kg $CO_{2\ fossil}$/Mg Restabfall bewegen [8].

Die Entwicklung der Methode in Teil 1 der Studie hat gezeigt, dass ergebnisrelevante Stellgrößen bestehen in den Annahmen für

- den technischen Standard der Anlagen (Lastschriften),
- die Energieeffizienz (Last- und Gutschriften) und
- den substituierten Nutzen (Gutschriften).

Andere Autoren gelangen zu vergleichbaren Ergebnissen. So ergab eine diesbezügliche Untersuchung des Öko-Instituts für die Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD) [14]:

> „Für den von MVA bereitgestellten Strom werden im Rahmen von Stoffstrombilanzen in der Regel Schadstoffemissionen durch die Erzeugung von Strom über den Grundlastmix als Gutschrift angerechnet. Wird aus diesem Mix der Anteil der Kernenergie herausgerechnet, weil sich die aus der Atomstromproduktion ergebenden Nachteile in der Stoffstrombilanz ebenfalls nicht darstellen lassen, ergeben sich deutliche Vorteile für die Abfallverbrennung gegenüber dem verbleibenden Grundlastmix, da sich dieser dann in erster Linie aus Kraftwerken zusammensetzt, die mit fossiler Energie betrieben werden.“

Die klimabezogenen Auswirkungen der mit den Verfahren verbundenen Transporte dürfen im Einzelfall nicht unterschätzt werden, sind aber nur standortspezifisch zu modellieren.

Weiteren Einfluss auf das Gesamtergebnis hat der Restabfall selbst, wie sein C-Gehalt und damit sein Heizwert. Der H_u des sächsischen Restabfalls wurde im Rahmen der Methodenentwicklung mit 8.500 MJ/Mg angesetzt. Weiteren Einfluss hat das Verhältnis von C_{fossil} zu $C_{regenerativ}$. Aufgrund der Modellierung eines „sächsischen Restabfalls“ in Teil 1 [8] wurde ein C-Gehalt von 280 kg/Mg FS sowie ein Verhältnis von 25 (C_{fossil}) zu 75 ($C_{regenerativ}$) ermittelt. Dies weicht deutlich von den IPCC-Vorgaben ab (40 : 60 bei 400 kg C/Mg). Eine Berechnung des Öko-Instituts mit einem derartigen mittleren Restabfall ergab [14]:

> „Ungefähr 40 % des im Abfall enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs. Hierzu tragen vorwiegend die Kunststoffe bei. Der übrige Anteil ermittelt sich aus der im Abfall enthaltenen Biomasse. Das daraus bei der Verbrennung freigesetzte CO_2 wird von den tatsächlich freigesetzten Emissionen in der Bilanz als Gutschrift abgezogen. Im Gesamtergebnis liegt die Summe der Gutschriften für biogenes CO_2, abgegebene Energie und Wertstoffe in derselben Größenordnung wie die prozessbedingten Lastschriften der Müllverbrennung. Insgesamt ergibt sich hierdurch im Umweltproblemfeld „Treibhauseffekt“ für die Abfallverbrennung keine Zusatzbelastung gegenüber dem herkömmlichen Kraftwerksmix.

Der hohe Anteil an CO_2-Emissionen aus nachwachsendem Kohlenstoff beeinflusst das Ergebnis der Stoffstrombilanzierung maßgeblich. ... Liegt der Biomasseanteil im derzeit in Deutschland verbrannten Abfall höher als angenommen, ergeben sich für die Müllverbrennung klare Vorteile gegenüber dem Kraftwerksmix. Liegt er darunter oder verringert er sich beispielsweise durch die flächendeckende Einführung der getrennten Bioabfallerfassung, überwiegen die Lastschriften."

3.1.2 Holzabfallverbrennung/-vergasung

Im Rahmen der Methodenentwicklung in Teil 1 wurde die Verbrennung von unterschiedlich modellierten Holzabfällen in einer Holzabfallverbrennungsanlage (HoVA) mit der Entsorgung in einer mittlerren MVA (MVA1) verglichen. Tab. 3 zeigt die untersuchten Varianten.

Tab. 3: Übersicht über die untersuchten Varianten im System 2: Holzabfallbehandlung

Variante	HoVA		MVA		Anteil regeneratives C im Holzabfall
	Holz	Spanplatten	Holz	Spanplatten	
HoVA_100	100 %	-			100 %
HoVA_50	50 %	50 %			97,2 %
MVA1_100			100 %	-	100 %
MVA1_50			50 %	50 %	97,2 %

In Tab. 4 sind die modellhaft errechneten Ergebnisse zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die hier modellierte MVA vergleichsweise schlechter abschneidet als die modellierte Holzverbrennungsanlage. Die Abweichungen der Ergebnisse hängen stark vom Energiekonzept ab (siehe System 1 Restabfallbehandlung). Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Varianten dürfen insgesamt nicht überbewertet werden, da die Stellgröße „Energetischer Wirkungsgrad" ergebnisentscheidend ist. Dieser kann letztlich nur anlagenspezifisch ermittelt werden.

Tab. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten Varianten im System 2 in kg CO_2-Äq./Mg Holzabfall

Variante	HoVA_100	HoVA_50	MVA1_100	MVA1_50
kg CO_2-Äq./Mg Holzabfall	-818	-817	-699	-648

3.1.3 Weitere Verfahren der Restabfallbehandlung

Für die anderen Verfahren der Abfallwirtschaft wurde kein vergleichendes Berechnungsmodell entwickelt, sondern sie wurden einzeln bewertet. Dies hatte unterschiedliche Gründe:

- Für einzelne Verfahren beeinflussen verfahrensunabhängige standortspezifische Faktoren (z.B. Transportentfernungen bei Klärschlammverwertung) die Effekte der eigentlichen Behandlung je nach gewählten Größen mehr im Ergebnis als das Verfahren selbst.
- Für einzelne Verfahren hat die Wahl der (fiktiv) substituierten Umweltbelastungen die mit Abstand größte Ergebnisrelevanz (z.B. Klärschlammverwertung: Substitution von Strom aus Windkraft).
- Für einzelne Verfahren schneidet in bereits vorliegenden Ökobilanz-Untersuchungen und aus Plausibilitätsüberlegungen heraus ein bestimmtes Verfahren bzgl. der Freisetzung klimarelevanter Gase so deutlich viel besser (Deponiegasnutzung) oder schlechter (Deponierung) ab als die anderen Vergleichsverfahren, dass nur unrealistisch veränderte Stellgrößen in der Modellierung eine Änderung am Ergebnis bewirken (Bioabfallkompostierung: Substitution von Torf).
- Für einzelne Verfahren ist der Nutzen nicht in der Kategorie der Klimarelevanz zu erfassen. Dies gilt z.B. für die Behandlung von Sonderabfällen, da hier das Ziel nicht vorrangig im Klimaschutz, sondern in der schadlosen Beseitigung von Abfällen mit toxischen und/oder ökotoxischen Stoffen liegt. Hierfür sind in der Regel sehr hohe Energieverbräuche charakteristisch. Dem gegenüber kann der erzeugte Nutzen nicht in der Wirkungskategorie Klimarelevanz modelliert werden.
- Einzelne Verfahren scheiden mangels Verfügbarkeit (die Hochtemperaturverfahren KWU-Schwel-Brenn- und das Noell-Konversionsverfahren) oder mangels ausreichender Betriebserfahrungen aus dem störungsfreien Dauerbetrieb (Holzvergasung, Pyrolyse, die Hochtemperaturverfahren Thermoselect und RCP) aus.

3.2 Ergebnisse aus Teil 3 (Holzabfallkonzept)

Holz und Holzabfälle stellen einen nachwachsenden Rohstoff dar. Da das bei der energetischen Verwertung freigesetzte CO_2 als klimaneutral gilt, bestehen im Ausbau der energetischen Holznutzung große Potenziale zur Einsparung klimarelevanter Emissionen. Daher wird deren energetische Nutzung staatlich privilegiert (EEG [15] / BiomasseV [16]).

Das Ziel der Studie zum Holzabfallkonzept bestand darin, für das Jahr 2000 die Mengen an Gebrauchthölzern in Sachsen aufkommens- und entsorgungsseitig zu ermitteln (Ist-Stand) sowie die Mengen für 2005 und 2010 abzuschätzen, wobei auch hier das Aufkommen und die Entsorgung zu betrachten war. Außerdem wurden die Holzpotenziale aus anderen Bereichen (Waldholz, Waldrestholz, Industrierestholz) aus Literaturdaten mit erfasst.

Zur Ermittlung der Ist-Stand-Daten wurden Befragungen bei Anlagenbetreibern, Entsorgern, Vereinen/Verbänden und öffentlichen Einrichtungen durchgeführt. Im Mittelpunkt der Befragungen standen Betreiber mengenrelevanter Altholzaufbereitungsanlagen, die als zentrale Stellen Kenntnisse über die Aufkommensmengen besitzen und die Entsorgungswege bestimmen. Für die Abschätzung der Mengenentwicklung wurden die Methodik nach dem Abfallwirtschaftsplan Sachsen zugrundegelegt.

Für das Jahr 2000 wurde ein Gebrauchtholzpotenzial von 342.500 Mg/a (77,1 kg/(E·a)) ermittelt. Hauptanteile bilden die Bau- und Abbruchhölzer mit 60 %. In der Gesamtmenge sind Möbel/Einrichtungen zu 22 %, Verpackungen zu 6 %, Hölzer Außenbereich zu 6% und sonstige Hölzer zu 6 % enthalten. Entsorgungsseitig teilt sich das Gesamtpotenzial wie folgt auf: 59 % energetische Verwertung, 18 % Deponierung, 16 % Kompostierung, 4 % Spanplattenherstellung und 3 % Vergasung (rohstoffliche Verwertung). Im Jahre 2000 wurden in Sachsen insgesamt 82 % der Gebrauchthölzer verwertet (281.600 Mg/a) und 18 % beseitigt (60.900 Mg/a).

Die Gebrauchtholzmenge in Sachsen wird im Jahr 2005 auf 304.000 Mg/a und im Jahr 2010 auf 287.200 Mg/a zurückgehen. Diese Entwicklung wird insbesondere durch den Mengenrückgang der Bau- und Abbruchhölzer hervorgerufen. Im Jahr 2005 werden ~91 % der Gebrauchthölzer und im Jahr 2010 ~96 % verwertet werden, wobei ~90 % dieser verwerteten Mengen energetisch genutzt werden. Ursache für die Dominanz der energetischen Verwertung ist die Förderung erneuerbarer Energieträger nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz [15] und der Biomasse-Verordnung [16]. Ca. 10 % der Gebrauchtholzmenge wird stofflich und rohstofflich verwertet werden. Der Einsatz als Strukturmaterial für die Klärschlammkompostierung wird keine wesentliche Rolle mehr spielen.

Unter Beachtung anderer Hölzer ergibt sich für den Freistaat Sachsen ein Gesamtholzpotenzial von ~2,66 Mio. Mg/a. Dieses Potenzial enthält ~1,20 Mio. Mg/a Waldholz, das vorzugsweise als Nutzholz für stoffliche Verwendungen geerntet wurde. Die Menge der Holzabfälle beträgt ~1,46 Mio. Mg/a, einschließlich 0,61 Mio. Mg/a Waldrestholz und 0,51 Mio. Mg/a Industrierestholz. Die Menge der Holzabfälle steht prinzipiell einer energetischen Verwertung zur Verfügung. Allerdings ist insbesondere bei den Waldresthölzern zu beachten, dass die „Gewinnung“ dieser Hölzer mit großem Aufwand verbunden ist und deshalb nur ein Teil dieses Potenzials aktiviert werden kann.

4 Darstellung der Anlagen zur Behandlung von Siedlungsabfällen im Freistaat Sachsen

Auf der Basis des Verfahrensvergleichs in Teil 1 [8] sollen in Teil 2 der Studie konkrete Anlagen und Anlagenplanungen der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden die Anlagensteckbriefe an die sächsischen örE[1]/Entsorger/Träger mit der Abfrage standortspezifischer Daten (inkl. Verkehr, Energienutzungsmöglichkeiten etc.) versandt. Anhand der Datenrückläufe sollen die Informationen zu „Standort-Steckbriefen" verdichtet werden. Auf der Basis der finalen Standort-Steckbriefe soll die Berechnung der klimarelevanten Emissionen und erzielbaren Einsparungen entsprechend der in Teil 1 entwickelten Methode durchgeführt werden.

4.1 Standort-Steckbriefe Restabfallentsorgungsanlagen

Die in Teil 1 entwickelten „Anlagen-Steckbriefe" dienen für die Sachsen-spezifische Betrachtung als Basis für die sog. „Standort-Steckbriefe". Für die Erhebung dieser Steckbriefe wurden die örE, die Betreiber und/oder die Planer der entsprechenden Anlagen angeschrieben. Ihnen wurde dabei zugesagt, dass die Daten nur anonymisiert verwendet werden sollten. Dieses ist nicht in allen Fällen möglich. So gibt es z.B. nur eine Anlage zur Vergasung von Methanol – das Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH (SVZ). Auch ist in Sachsen derzeit nur eine einzige MVA in Bau – die thermische Abfallbehandlungsanlage Lauta (T.A. Lauta). In beiden Fällen wurden die Daten von den Betreibern / Planern erfragt und um öffentlich verfügbare Literatur ergänzt.

Der Status quo (2002) der bestehenden und geplanten Anlagen zur Restabfallbehandlung ist in Tab. 5 wiedergegeben.

Die Planungen der örE und privater Dritter für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen überschreiten das für das Jahr 2005 prognostizierte Aufkommen um ~200.000 Mg/a. Probleme dürften sich vor allem bei den örE, die zwecks Auslastung ihrer eigenen Anlagen auf die Akquisition von Abfällen angewiesen sind (insbesondere Delitzsch und Vogtland/EVV), ergeben [17]. So ist derzeit nicht gesichert, dass alle in Tab. 5 aufgeführten geplanten Anlagen auch wirklich realisiert werden.

[1] örE = öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, z.B. die Kommunen

Tab. 5: Bestehende und geplante Anlagen zur Restabfallbehandlung in Sachsen
MBA = Mechanisch-biologische Splittinganlage (mit Erzeugung einer ablagerungsfähigen Endrottefraktion); **MBS** = Mechanisch-biologische Stabilisierungsanlage (ohne Endrottefraktion) mit Deponiebedarf für Inertfraktion ([17], ergänzt)

örE	**Verbrennungsanlage (MVA)**	**MBS / MA / MBA**	**Mitverbrennung / Verwertung**	**Deponie**	**Bemerkungen**
in Betrieb					
Stadt Dresden	-	MBS Dresden (in Betrieb seit 15.05.01) (85.000 Mg/a)	SVZ	Dresden	Übermengen können ZAOE überlassen werden
Stadt Hoyerswerda	-	-	direkte Anlieferung (10.000 Mg/a)	-	SVZ: Aufbereitung, Sortierung, Pelletierung, Vergasung; Vertrag ab 01.06.2005
im Bau					
RAVON	Lauta (im Bau) (115.000 Mg/a für RAVON) (insgesamt 225.000 Mg/a nach Betreiberangaben [18])	-	-		Vertrag mit STEAG/ VEAG; Grundsteinlegung war am 04.03.2002; Aufnahme Dauerbetrieb geplant für 4/2004
geplant					
ZAS	Zorbau (Sachsen-Anh.) (70.000 Mg/a)				12/01:Zuschlag an Sita Deutschland GmbH; Baubeginn: 9.4.2003
LK Delitzsch	-	MBA, **C**röbern (300.000 Mg/a), siehe ZAW	MVA Delitzsch (Planung) (70.000-80.000 Mg/a)	**C**röbern	11/01: Beschluß Kreistag für Vergabe durch Kreiswerke Delitzsch
ZAOE		MBS **G**röbern (geplant) (130.000 Mg/a)	Stabilat: VEAG/ KW Jänschwalde Teilmengen: MVA Lauta [19]	**G**röbern	3/02: Zuschlag an Herhof für MBS; Verbrennungsversuche mit Stabilat laufen im KW Jänschwalde (2002)
AWVC (Chemnitz)	-	MA Chemnitz Weißer Weg (Planung) (100.000 Mg/a)	SVZ	Weißer Weg	Trocknung, Sortierung, Pelletierung, Vergasung der Pellets im SVZ; am 18.12.2000 entschieden; Auftragnehmer: RTS
ZAZ	-	MA (25.000 Mg/a)	SVZ (?)	Lohe	3/02: Entscheidung; Auftragnehmer: Entsorgungsgesellschaft des Landkreises Zwickau (EGZ)
ZAW (Leipzig)	-	MBA, **C**röbern (300.000 Mg/a [20])	MVA Delitzsch [21]	**C**röbern	Planung; MBA: Sita Deutschland GmbH

örE	Verbrennungsanlage (MVA)	MBS / MA / MBA	Mitverbrennung / Verwertung	Deponie	Bemerkungen
EVV	-	MBA Schneidenbach (65.000 Mg/a)	Hochkalorik ?	Schneidenbach	8/01: Entscheidung für Eigengesellschaft
AVN	?	?	?	?	technologie- und standortoffene Ausschreibung (35.000 Mg/a)

Tab. 5 zeigt, dass nur wenige der zu betrachtenden Anlagen bereits in Betrieb und damit belastbare Daten für die Betrachtung der Klimarelevanz verfügbar sind:

- **Stabilatanlage Dresden**, mit Pelletierung; liefert die Pellets zur Vergasung ans SVZ
- **Sekundärrohstoffverwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ)**: dieses nimmt derzeit die Pellets aus der MBS Dresden an; weiterhin bestehen Verträge mit der Stadt Hoyerswerda über die Abnahme des unbehandelten Restabfalls und mit dem AWVC Chemnitz über die Abnahme von Pellets (jeweils ab 2005); weitere örE (ZAZ) planen vertragliche Vereinbarungen mit dem SVZ.
- **Braunkohlekraftwerk Jänschwalde** der VEAG (Brandenburg): dieses ist in Betrieb; derzeit laufende Vorversuche mit Stabilat sollen zeigen, dass Aufgabe und Verbrennung von Sekundärbrennstoffen im Kraftwerk funktionieren, ohne dass nachweisliche Auswirkungen bei den Reststoffen festzustellen sind, und dass die Vorgaben der 17. BImSchV im vollen Umfange eingehalten werden.

Weitere **geplante** mechanische und mechanisch-biologische Anlagen:

- **Stabilatanlage ZAOE**, analog zur Stabilatanlage Dresden, aber ohne Pelletierung; Standort Deponie **G**röbern bei Meissen
- **MA Chemnitz**, mit Pelletierung
- **MA des ZAZ**, Standort Deponie Lohe
- **MBA Cröbern (ZAW) und MBA Schneidenbach (EVV)**: Splittinganlagen mit Erzeugung einer Deponiefraktion und einer hochkalorischen Fraktion zur energetischen Verwertung.

Als abnehmende Anlagen für die energetische Verwertung der in allen geplanten Anlagen (auch MBA) abgetrennten hochkalorischen Fraktion spielen derzeit das SVZ und die MVA Lauta eine dominierende Rolle.

Daneben sind weitere Anlagen zur thermischen Behandlung und energetischen Verwertung in Bau befindlich oder geplant. Wegen der räumlichen Nähe insbesondere zu den noch nicht festgelegten Verbänden EVV (Abnehmer Hochkalorik ?) und AVN (Nordsachsen; alles offen) sind auch zwei geplante Anlagen im benachbarten Sachsen-Anhalt (Leuna und Zorbau) von Interesse.

Der Status der thermischen Anlagen Anfang 2003 ist folgender:

- **MVA Lauta (RAVON)**: Die MVA Lauta befindet sich derzeit im Bau, Grundsteinlegung war am 04.03.2002. Bislang liegen nur Auslegungsdaten vor. Der Betreiber rechnet mit Aufnahme des Dauerbetriebs für April 2004.
- **MVA Delitzsch (geplant)**: Der Landkreis Delitzsch und der ZAW planen, ihre Restabfälle zur MBA **C**röbern (ZAW) zu verbringen und die dort abgetrennte heizwertreichen Fraktion in der MVA Delitzsch zu verbrennen. Belastbare Daten zur Anlage liegen noch nicht vor, die Ausschreibung soll derzeit ruhen [22].
- **MVA Lippendorf (ehemals geplant)** (Gebiet ZAW): Anfang Oktober 2002 wurde mitgeteilt, dass die Planungen für die MVA ausgesetzt worden seien, weil die erforderlichen Abfallmengen nicht unter Vertrag gebracht werden konnten [23]. Das Genehmigungsverfahren für die geplante Anlage ist im April 2003 auf Antrag der E.ON-Tochter Recon vom Regierungspräsidium Leipzig offiziell ausgesetzt worden [24].
- **MVA Zorbau** (Sachsen-Anhalt) **(im Bau)**: Baubeginn der SITA Deutschland GmbH für die zweilinige Rostfeuerungsanlage mit einer Kapazität von 300.000 Mg/a war am 9.4.2003 [25]. Belastbare Daten zur Anlage liegen noch nicht vor: Der Bauherr:

  > "Die besondere energetische Effizienz der Anlagentechnik zeigt sich im Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung. Strom, Heizdampf und Prozessdampf können dadurch kostengünstig bereitgestellt werden. "
- **TREA Leuna** (Sachsen-Anhalt) **(geplant)**: Die MVV RHE AG, Mannheim, und die Jakob Becker GmbH & Co. KG, Mehlingen, errichten eine Thermische Restabfall- und Energieverwertungs-Anlage (TREA) am Chemiestandort Leuna. Die erste Teilgenehmigung zur Errichtung und der Vorbescheid zum Betrieb der Anlage wurden im Juni 2002 erteilt und sind bestandskräftig. Im Herst 2002 wurde mit den Erschließungsarbeiten begonnen. Ab dem 1. Quartal 2003 sollen Fertigung und Bau der Anlage erfolgen. Die vorgesehene Kapazität der Rostfeuerungsanlage beträgt 195.000 Mg/a. Neben der Bereitstellung von Strom soll Prozessdampf genutzt werden. Vereinbarungen zu dessen Abnahme sind in Vorbereitung. Das Einzugsgebiet der Anlage ist vorrangig das südliche Sachsen-Anhalt sowie angrenzende Gebiete von Thüringen und Sachsen. Der Anlagenstandort verfügt über einen Bahnanschluss.

Trotz der obigen Einschränkungen – Fehlen belastbarer Anlagendaten – zeigt diese Aufstellung, dass die Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen in 2005 überwiegend auf eine thermische Behandlung/energetische Verwertung von Restabfall orientiert. Lediglich zwei örE sehen ein Behandlungskonzept vor, in dem ein wesentlicher Stoffstrom ohne thermische Vorbehandlung zur Ablagerung vorgesehen ist (MBA). Als thermische Anlagen sind das SVZ, verschiedene MVAs und in einem Fall ein Kraftwerk vorgesehen. Der Einsatz einer aufbereiteten heizwertreichen Fraktion im Zementwerk ist derzeit von keinem sächsischen örE geplant.

Als gravierendstes Problem für die Modellierung der Anlagensteckbriefe ist zu sehen, dass nur für wenige der in Bau befindlichen und mehr noch der geplanten Anlagen belastbare Daten vorliegen. So kann im Folgenden überwiegend nur mit Auslegungsdaten und Bandbreiten und Annahmen gerechnet werden.

Zudem wurde mit den öre/Planern/Betreibern Vertraulichkeit über die Daten vereinbart (Ausnahmen s.u.).
Daher sind diese sensiblen Daten im Anhang,
der nicht veröffentlicht wird, wiedergegeben.

4.1.1 Standort-Steckbriefe Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlagen (MBS)

Im Freistaat Sachsen ist derzeit nur eine MBS in Betrieb, eine weitere MBS (ohne Pelletierung) ist in Planung. Die Angaben in Anhang 1 stammen aus verschiedenen Quellen (Planer und Betreiber) und wurden durch eigene Informationen ergänzt.

Für die weitere Berechnung werden die Daten der in Betrieb befindlichen Anlage herangezogen und entsprechend der Anlagenplanung (zweite MBS ohne Pelletierung) modifiziert (Anhang 1).

4.1.2 Standort-Steckbriefe Mechanische Aufbereitungsanlagen (MA)

Im Freistaat Sachsen sind derzeit keine rein mechanischen Aufbereitungsanlagen in Betrieb. Für eine der geplanten Anlagen ist eine Pelletierung vorgesehen, für die zweite liegen keine Angaben vor. Für diese wird angenommen, dass – falls eine Pelletierung erforderlich wird – diese vom Verwerter (in diesem Fall wird das SVZ angenommen) durchgeführt wird. Die Modellierung der MA in Anhang 2 wurde in Anlehnung an die Daten der MBS-Anlagen durchgeführt.

4.1.3 Standort-Steckbriefe Mechanisch-Biologische Splittinganlagen (MBA)

Derzeit sind in Sachsen zwei MBA-Anlagen, die aus Restabfall neben einer hochkalorischen Fraktion auch eine deponierfähige Fraktion erzeugen sollen (Splittinganlagen), in Planung. Für beide Anlagen liegen noch keine konkreten Daten z.B. zur geplanten Anlagentechnik, zur Massenbilanz oder zum Energiebedarf vor. Dies betrifft auch die Emissionsdaten der biologischen Behandlung. Aufgrund der 30. BImSchV wird auch hier von einer thermischen Abluftbehandlung ausgegangen. Allerdings wurden hier deutlich höhere Abluftmengen als

bei einer Stabilisierungsanlage angesetzt. Diese hohen Abluftmengen resultieren aus der Intensiv- und Nachrotte. Sie sind bereits als durch ein Abluftmanagement reduziert anzusehen, können aber bei entsprechender Anlagengestaltung und Betriebsführung weiter optimiert werden. Auf die Modellierung einer Abluftreinigung, die nur die hochbelasteten Luftströme über die RTO (ggf. noch mit Nachtabsenkung) und die niedriger belasteten Ströme (aus der Nachrotte) lediglich über einen Biofilter mit vorgeschaltetem Wäscher fährt, wurde verzichtet, da diese Konstellation keine ausreichende Sicherheit für die Einhaltung der Grenzwerte der 30. BImSchV (insbesondere TOC-Fracht von 55 g/Mg; N_2O-Grenzwert wegen Lachgasbildung im Biofilter) bietet.

Mangels verfügbarer belastbarer Daten muss für die folgende Betrachtung dieser Anlagen mit Modellannahmen gerechnet werden. Diese beinhalten

- Splitting-MBA inkl.
    - mechanische Aufbereitung mit Fe- und NE-Abscheidung, Erzeugung einer hochkalorischen Fraktion zur thermischen Behandlung in einer MVA; <u>optional</u>: Erzeugung einer hochkalorischen Fraktion zur energetischen Verwertung und einer mittelkalorischen Fraktion zur thermischen Behandlung,
    - biologische Behandlung der niederkalorischen Fraktion: Haupt- und Nachrotte, gekapselt,
    - Abluftbehandlung aus der Haupt- und Nachrotte mittels RTO; es wird davon ausgegangen, dass andere Abluftreingungsverfahren (z.B. Biofilter/Biowäscher) allein nicht ausreichen, um die Anforderungen der 30. BImSchV zu erfüllen; daher wird auch die Luft aus der Nachrotte in die RTO gefahren; zur Minimierung der Abluftströme wird ein Abluftmanagement mit Mehrfachnutzung gering beladener Luftströme gefahren; das Abluftvolumen pro Mg Input ist aber gegenüber einer MBS deutlich erhöht, ebenso die Beladung mit CO_2;
- optional, hier nicht berechnet: energetischen Verwertung der hochkalorischen Fraktion in einem Kraftwerk;
- thermische Behandlung der hochkalorischen und (optional) mittelkalorischen Fraktion in einer MVA;
- Ablagerung der Deponiefraktion auf einer Reststoff-Deponie.
- Für die Transportentfernungen werden unterschiedliche Annahmen modelliert, vgl. Kapitel 5.1.2.3 und 5.1.2.5.

Die resultierenden Restemissionen aus der Ablagerung des Rottegutes errechnen sich wie folgt (Teil 1 [8]):

- 18 % TOC im Rottegut (Grenzwert AbfAblV) entsprechen 180 kg C_{fossil}/Mg Rottegut
- davon werden 3 % zu Methan (C · 16/12) = 7,2 kg Methan/Mg Rottegut
- Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht = **10 %** (Teil 1 [8]: 30 %, erscheint aber eher zu optimistisch):
- d.h. Restemission an Methan: **6,5 kg Methan/Mg Rottegut** (≅ 149 kg CO_2-Äq./Mg)
- 0,72 kg Methan werden oxidiert zu 0,54 kg C entsprechend **2 kg CO_2/Mg Rottegut**.

In der Summe werden damit **151 kg CO_2-Äq./Mg Rottegut** freigesetzt. Diese werden in der folgenden Berechnung der Einfachheit halber auf das Jahr der Ablagerung bezogen, wobei in diesem Jahr auch tatsächlich der größte Anteil an Emissionen entweichen dürfte.

Die verwendeten Daten sind in Anhang 3 wiedergegeben.

4.1.4 Standort-Steckbrief MVA

Derzeit ist eine einzige MVA in Sachsen im Bau. Belastbare Daten aus dem Anlagenbetrieb liegen noch nicht vor, es muss daher mit den Angaben des Betreibers und/oder den Auslegungsdaten gearbeitet werden.

Variante:	Rostfeuerung
Emissionsschutz:	Die MVA hält die Grenzwerte der 17. BImSchV ein (überwiegend halbe Grenzwerte), vgl. Tab. 6. Die abwasserfreie Abgasreinigung umfasst Sprühabsorption (Kalkmilch), Aktivkoks (Herdofenkoks oder Braunkohle), Rückführung des beladenen Kokses (gemahlen) ins Rauchgas als Adsorptionsmittel vor Gewebefilter, SCR: Ammoniakwasser (25 %)
Energienutzung:	Die MVA koppelt lediglich Strom aus. Dieser ersetzt den sächsischen Strommix (100 %). Der elektrische Wirkungsgrad (brutto) beträgt 24 %, der energetische Gesamtwirkungsgrad (netto) 20 %. „Eine Wärmeauskopplung ist planerisch vorgesehen und jederzeit nachrüstbar." [26]
Reststoffe:	Die MV-Schlacken sowie die Rückstände aus Rauchgasreinigung und Kessel sollen verwertet werden. Zur Abtrennung von Fe- und NE-Metallen liegen keine Angaben vor, sie werden daher mit Null angesetzt. Der Filterstaub wird deponiert.

Tab. 6: Klimarelevante Grenzwerte der 17. BImSchV und Antragswerte der T.A. Lauta (N, tr., 11 Vol.-% O_2)

Parameter	Grenzwert 17. BImSchV (Tagesmittelwert)	Antragswert
TOC	10 mg/Nm³	5 mg/Nm³
NOx	200 mg/Nm³	70 mg/Nm³
CO	50 mg/Nm³	40 mg/Nm³
Ammoniak (als NH_3)	-	10 mg/Nm³

Aufgrund der Antragswerte sowie den Angaben des Betreibers werden für eine sächsische MVA die in Tab. 7 wiedergegebenen Daten für die weitere Berechnung modifiziert (u.a. für H_u = 8.500 MJ/Mg). Ammoniak wird nicht mehr berücksichtigt, da es nach den Ergebnissen

aus Teil 1 [8] erst ab einem GWP-Faktor oberhalb von 10.000 ergebnisrelevant werden würde. Eine derartig hohe Klimawirksamkeit zeichnet sich derzeit jedoch nicht ab.

Tab. 7: Standort-Steckbrief: Sächsische MVA; wenn nicht anders angegeben, bezogen auf Mg MVA-Input (= Restabfall), H_u 8.500 MJ/Mg

Spezifische Kenngrößen			
Spezifisches Abgasvolumen (massenbezogen)	5.000	Nm³/Mg	
Spezifisches Abgasvolumen (energiebezogen)	0,588	Nm³/MJ	
Input			
Restabfall (funktionelle Einheit)	1	Mg FS	
Heizwert (H_u)	8.500	MJ/Mg	
C-Gehalt des Restabfalls	28	%	
Anteil C regenerativ am C-Gehalt des Restabfalls	75 [a)]	%	
Strom (Eigenbedarf)	133	kWh/Mg	
Heizöl (Stützfeuerung)	0,46	l/Mg	
Aktivkohle / Herdofenkoks /Braunkohle	3,4	kg/Mg	
CaO für RGR	10,6	kg/Mg	
$Ca(OH)_2$ für RGR	2,6	kg/Mg	
Ammoniakwasser (25 %) für SCR	2,3	kg/Mg	
Output			
Energie	*Nettoabgabe*		*an Abnehmer*
Strom	503	kWh/Mg	8.760 h/a
elektrischer Wirkungsgrad (brutto)	24	%	
energetischer Gesamtwirkungsgrad (netto)	21	%	
Substituierter Strom: sächsischer Strommix	100	%	
Abfall zur Verwertung			
Schlacke	0,250	Mg/Mg	
Rückstände aus RGR + Kessel	0,0034	Mg/Mg	
Filterstaub	0,0024	Mg/Mg	
Fe	0,000	Mg/Mg	
NE	0,000	Mg/Mg	

Emissionskonzentrationen	**in mg/Nm³**	**Emissionen in mg/Mg Abfall**
CO_2-gesamt	200.200 [b)]	1.001.000.000
CO_2-klimarelevant	50.050 [b)]	250.250.000
Kohlenmonoxid (CO)	40,0	208.000
Lachgas (N_2O)		0,008 [c)]
Stickoxide NOx (als NO_2)	70,0	364.000
Rest-NMVOC (hier: TOC)	5,0	26.000

a) modelliert in Teil 1 [8]
b) Berechnung: 280 kg C/Mg, 5.000 m³/Mg, 97,5 % Ausbrand = 200.200 mg CO_2/m³, davon 25 % fossil; Stützfeuerung aus Heizöl (fossil) wird separat berechnet
c) nach IPCC-Richtlinie, Standardwert für Rostfeuerungsanlagen

Die Transportentfernungen werden in den Kapiteln 5.1.2.3 und 5.1.2.5 behandelt.

Wesentlich für die Bewertung des zu erzielenden Klimaeffektes ist die Frage der Energieeffizienz. Hierzu liegen noch keine belastbaren Informationen, sondern nur Auslegungsdaten sowie weitere Überlegungen des Betreibers vor. So hat Prof. Neukirchen (VEAG) folgendes Rechenexempel (Tab. 8) veröffentlicht – unter Hinweis darauf, dass dies nur ein Beispiel sei und die für die Anlage verwendbaren Daten frühestens in einem Jahr (also Ende 2003) vorliegen würden [27].

Tab. 8: Rechenbeispiel für die zukünftig denkbare Energieerzeugung[2] und den elektrischen Eigenbedarf der T.A. Lauta [[27], ergänzt]

Energieerzeugung und elektrischer Eigenbedarf der T.A. Lauta (2 Linien, 225.000 Mg/a, 9,5 MJ/kg) – Rechnung – (keine realen Werte)				
Die mit dem Brennstoff Abfall **eingebrachte Energie** (FWL):	**79,16 MW_{th}** (2,6 $MW_{th}h$/Mg Abfall)	100 %		
Die **erzeugte elektrische Energie** an der Generatorklemme:	**~20,11 MW_{el}** (0,67 $MW_{el}h$/Mg Abfall)	**25 %**	**100 %**	
Der **elektrische Eigenbedarf** der Gesamtanlage:	**~3,42 MW_{el}** (0,11 $MW_{el}h$/Mg Abfall)	**4 %**	**17 %**	100 %
Der **elektrische Eigenbedarf** der gesamten **Abgasreinigungsanlage**:	**~1,65 MW_{el}** (0,05 $MW_{el}h$/Mg Abfall)	2 %	8 %	48 %
Energetischer Wirkungsgrad (netto):		**21 %**	83 %	

Nach dieser Beispielsrechnung würde sich der energetische Netto-Wirkungsgrad der T.A. Lauta – bezogen auf den Energieinhalt des eingebrachten Brennstoffs – auf insgesamt rund 21 % belaufen. Nach [28] lag der Wirkungsgrad bei der Stromauskopplung bei deutschen MVAs im Mittel bei 14 ± 4 %, wobei sich der Bereich insgesamt über 11 bis 21 % erstreckte (Stand 1999). Damit dürfte die T.A. Lauta unter den ausschließlich Strom auskoppelnden MVAs zu den Spitzenanlagen zählen.

Eine Nutzung der anfallenden Wärmeenergie ist zwar geplant, aber nicht realisiert. Dies ist mit dem Standort der Anlage geschuldet (Abb. 2). Dieser, eine ~15.000 m² große Fläche, befindet sich im Süden des Geländes der Lautawerke, in denen von 1917 bis 1990 Aluminium und chemische Produkte hergestellt wurden. Das Gelände der Lautawerke ist von einem breiten Grüngürtel umgeben und wird im Südwesten und Norden durch Siedlungen sowie im Norden und Osten durch die Bundesstraße B 96 begrenzt [26].

[2] Energie wird nicht erzeugt, sondern nur gewandelt von einer Form (z.B. Sonnenenergie, Erdöl) in eine andere, z.B. elektrischer Strom, Licht oder Wärme. In der Umgangssprache hat sich aber der Begriff „Stromerzeugung“ etabliert und wird daher auch im Folgenden verwendet.

Derzeit werden Abnehmer gesucht, die am Standort die Wärme abnehmen können. Aufgrund der Lage ist eine Abgabe der Wärmeenergie in Form von Nah- oder Fernwärme nicht möglich (Abb. 2, Quelle: [29], verändert). Daher werden gewerbliche Abnehmer, z.B. Unternehmen aus dem Gartenbau, insbesondere für den Unterglasgartenbau, favorisiert. Der RAVON dazu [30]:

> „Zur umweltgerechten Unternehmensstrategie gehört nach Ansicht der Betreiber auch eine kombinierte Wärme- und Energieproduktion (Kraft-Wärme-Kopplung). Die Preisentwicklung auf den internationalen Energiemärkten lässt dem Unterglasgartenbau, für den Wärme ein wesentlicher Produktionsfaktor ist, keine andere Wahl, als sich um die Steigerung der Energieeffizienz zu bemühen. Patentrezepte scheint es nicht zu geben, doch übereinstimmend rechnen die Gartenbauunternehmen langfristig mit weiterer Energieverteuerung.
>
> Um diesem Trend entgegenzuwirken, ist die Nutzung von miterzeugter Wärme eine wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Alternative, um Primärenergie zu sparen.
>
> Es lohnt sich, in Kenntnis der Kosten von Öl oder Gas, mit den Energieunternehmen über günstige Konditionen zu verhandeln.
>
> In Lauta kann die Nutzung der Abwärme bereits beim Bau der thermischen Abfallbehandlungsanlage mit vorgesehen werden. Die dazu notwendigen Investitionen werden getätigt, wenn vereinbart ist, welche Abwärmemenge zur Beheizung von Gewächshäusern genutzt werden soll.
>
> Der in zwei Verbrennungslinien erzeugte Dampf dient in erster Linie zur Stromerzeugung. Der Turbinenabdampf und die gewonnene Abwärme aus dem Kühlsystem des Verbrennungsrostes stehen zur Nutzung für Industrie und Gewerbe zur Verfügung.
>
> Interessierte deutsche und europäische Gartenbauunternehmen sollten den Betreibern konkrete Angaben über den Aufstellungsort, die Heizungsart, Vorlauftemperaturen und Wärmeabnahmemengen machen.“

Ohne eine zusätzliche Abnahme und Nutzung der anfallenden Wärmeenergie ist kein höherer energetischer Nutzungsgrad mit entsprechender Klimaentlastung zu erzielen. Denkbar wäre auch die Nutzung der anfallenden Wärmeenergie nach dem Kühlschrank-Prinzip[3], umd Kälte bereitzustellen. Kältemaschinen werden in Kühlanlagen und zur Verflüssigung von Luft und Gas genutzt (z.B. Sauerstoff, Wasserstoff, Acetylen). Dieser Standort wäre möglicherweise interessant für Unternehmen aus dem Sektor des Handels und der Lagerung von Lebensmitteln und anderen kühl zu lagernden Gütern.

---

[3] Bei der Kompressionsmaschine saugt der Kolbenkompressor oder Turboverdichter ein Gas (Ammoniak, Freon, Kohlendioxid) als Kältemittel an und verdichtet es, wobei es sich erhitzt. Anschließend drückt er es zur Verflüssigung in den wassergekühlten Kondensator. Das Kältemittel strömt dann zum Verdampfer, wo es sich entspannen kann; die hierzu benötigte Wärme wird der Umgebung entzogen. Dann folgt ein neuer Kreislauf.

Abb. 2: Industriegebiet Lauta ([29], ergänzt)

4.1.5 Standort-Steckbrief Kraftwerk

In einem der Restabfallentsorgungskonzepte ist die Verwertung eines Teils der hochkalorischen Fraktion (Stabilat) in einem Kraftwerk vorgesehen. Derzeit laufen Verbrennungsversuche in einem Kraftwerk, um technische Fragen zu klären.

Tab. 9: Für die Modellierung des energetisch verwertenden Kraftwerks verwendete Daten

Spezifische Kenngrößen	**Kohlekraftwerk (modelliert)**	
energiespez. Abgasvolumen	0,39 Nm³/MJ	
Input		
Regelbrennstoff	100 % Braunkohle	
Heizwert Regelbrennstoff (H_u)	8.650 MJ/Mg FS ≈ 20.100 MJ/Mg (nach Tr.)	
Heizwert Ersatzbrennstoff (H_u)	14.000 MJ/Mg	
Anteil $C_{regenerativ}$ im EBS	55 %	
Rauchgasentschwefelung	nass: 0,06 kg/Mg ($CaCO_3$, trocken)	
Strombedarf Mahlung	179 kWh/Mg	
Output:		
Strom (brutto)	1.322 kWh	
elektrischer Wirkungsgrad (bei Einsatz von Regelbrennstoff)	34 % (netto)	
Verhältnis Grundlast/Spitzenlast bei Stromauskopplung	100 % Grundlast	
Dampf (brutto)	4.900 MJ/Mg	
Abgabe an Abnehmer	8.760 h/a	
thermischer Wirkungsgrad	35 %	
energetischer Wirkungsgrad	69 %	
Filterstäube zur Verwertung	0,036 Mg/Mg	
Emissionskonzentrationen (7% O_2)	***im Regelbetrieb (mg/m³)***	***Abgasteilstrom EBS***
CO_2	248.605 ①	265.454 ①
CO_2-klimarelevant	248.605 ①	111.491 ①
Methan (CH_4)	5,3 ②	wie Regelbetrieb ③
CO	200 ②	wie Regelbetrieb ③
Lachgas (N_2O)	0,8 ②	wie Regelbetrieb ③
NOx (als NO_2)	218 ②	wie Regelbetrieb ③
NMVOC	5,3 ②	wie Regelbetrieb ③

① errechnet über C-Gehalt und spezifisches Abgasvolumen

② brennstoffspezifische Emissionsfaktoren [8]: Methan und NMVOC: 2,1 mg/MJ, CO: 79 mg/MJ; N_2O: 0,3 mg/MJ: NOx: 86 mg/MJ

③ Emissionsänderung gegenüber Regelbetrieb dürfte im Bereich der Schwankungsbreite der Messwerte liegen

Für die folgende Betrachtung wird ein Kraftwerk in Anlehnung an Kraftwerk 2 aus Teil 1 der Studie [8] modelliert (Tab. 9). Es handelt sich nicht um Betriebsdaten des vorgesehenen Kraftwerkes, sondern abgeleitete und abgeschätzte Werte.

Das modellierte Kraftwerk setzt als Regelbrennstoff Lausitzer Braunkohle (H_u 8.650 MJ/Mg) ein, welche Ort gewonnen wird. Die Kohletrocknung erfolgt per Mühlenfeuerung mit Rauchgasrücksaugung bis zu einem H_u von 20.100 MJ/Mg. Die Abgasreinigung umfasst eine Staubabscheidung sowie nasse REA mit $CaCO_3$-Zugabe in wässriger Lösung. Es wird Strom sowie Fernwärme ausgekoppelt. Die Nettowirkungsgrade betragen für Strom 34 % und für die Fernwärmeauskopplung 35 %. Die Kraftwerksstäube dienen als Klinkerersatz (Zumahlstoff) in der Zementerzeugung.

4.1.6 Standort-Steckbriefe Methanol-/Stromerzeugung (SVZ)

Das SVZ ist eine Anlage zur Vergasung fester und flüssiger Abfälle zur Erzeugung hauptsächlich von Methanol und daneben von elektrischer Energie. Als Vergasungsmittel wird Sauerstoff eingesetzt. Für die Verwertung der festen Abfälle wird das Verfahren der Festbettdruckvergasung genutzt. Daneben wurde im Jahr 2002 ein BGL[4]-Schlackebadvergaser für die Verwertung von aufbereiteten festen Abfällen errichtet und getestet.

Die Aufbereitung der Restabfälle und der daraus erzeugten hochkalorischen Fraktion (z.B. Stabilat) findet entweder beim Abfalllieferanten (z.B. Pelletierung in einer MBS-Anlage) oder beim SVZ selbst statt (ebenfalls Pelletierung).

Die aus der MBS-Fraktion stammenden Abfall-Pellets werden zusammen mit anderen Abfällen (vorwiegend Kunststoff-Kompaktate, Klärschlammbriketts, Holzhackschnitzel) sowie Kohle (Steinkohle, Braunkohlebriketts) in den Vergasern (Festbettdruckvergaser und zukünftig auch Schlackebadvergaser) unter Druck und Zuführung von Sauerstoff und Wasserdampf teiloxidiert und vergast.

Der für die Vergasung benötigte Sauerstoff wird in einer extern betriebenen Anlage neben dem SVZ-Gelände erzeugt, wobei aber das SVZ den Strom für die dort durchgeführte Luftzerlegung liefert. Das bei der Vergasung erzeugte Gas wird gereinigt und in eine Methanolsyntheseanlage geführt. Dort wird eine Teilmenge des Gases in Methanol umgewandelt. Die überschüssige Gasmenge wird in einem GuD[5]-Block verstromt.

Das SVZ hat für diese Studie die in Anhang 4 und Anhang 5 wiedergegebenen Daten zur Verfügung gestellt. Da das SVZ sowohl unbehandelten Restabfall als auch hochkalorische Fraktionen und pelletiertes Stabilat annimmt, wurden die Daten für Pelletierung (Anhang 4) und Vergasung (Anhang 5) getrennt erhoben.

---

4 BGL = British Gas und Lurgi

4.1.6.1 Erläuterung zur Berechnung: Strombedarf

Im Falle der Anlieferung von Pellets, die in einer MA/MBA/MBS erzeugt worden sind, sind die Aufwendungen bereits in den Daten für diese enthalten. Bei Anlieferung von nicht aufbereiteten Restabfall werden die in Anhang 4 wiedergegebenen Daten für die Pelletierung im SVZ angesetzt. Der angegebene Energieverbrauch bezieht sich auf 1 Mg Restabfall; für die weitere Berechnung werden diese Daten entsprechend dem Outputverhältnis (0,5 Mg Pellet pro Mg Restabfall oder 0,6 Mg/Mg hochkalorische Fraktion) umgerechnet, z.B. Energiebedarf = (78,2 kWh/0,5 Mg Pellet =) 156,4 oder (78,2 kWh/0,6 Mg Pellet =) 130,3 kWh/Mg Pellet. Bei Anlieferung von nicht aufbereiteten Abfällen ist dieser Wert von den ausgekoppelten Energiemengen in Anhang 5 abzuziehen, da in dieser nur die eingebrachten Pellets berücksichtigt sind.

4.1.6.2 Plausibilität der Daten zur Pelletierung im SVZ

Die vom SVZ zur Verfügung gestellten Daten zur Pelletierung von Restabfall und hochkalorischer Fraktion wurden beim SVZ mehrfach hinterfragt [31, 32]. Die Fragen konnten nicht zufriedenstellend geklärt werden. Die vom SVZ gegebenen Daten und Erklärungen die Restabfallpellets betreffend werden von uns nach wie vor in Zweifel gezogen, vgl. Anhang 6. Insbesondere die Verdopplung des Heizwertes von Restabfall durch Pelletieren ist für uns nicht nachvollziehbar. So gibt das Fraunhofer-Institut in seinem Datenband zur Ökobilanz der Kunststoffverwertung im SVZ an, dass 190 kg Rohmüll 144 kg BRAM entsprechen [33, S. 53]. Daher wird für die Modellierung der Variante Restmüllanlieferung, Pelletierung und Vergasung im SVZ nicht auf die vom SVZ angegebenen Daten zurückgegriffen.

4.1.6.3 Erläuterung zur Berechnung: Sauerstoffbedarf für die Vergasung

Angegeben wird ein Sauerstoffbedarf von 260 m³ O_2/Mg Input. Eine Umrechnung des Input auf 1 Mg Pellet ergibt je nach Menü – Pellet/Steinkohle = 85/15 oder 80/20 – einen Sauerstoffbedarf von 306 m³ (= 438 kg) oder 325 m³ (= 465 kg) O_2/Mg Pellet. Den Sauerstoff bezieht das SVZ von der benachbarten Luftzerlegungsanlage, die dafür den SVZ-Strom abnimmt. Für die Erzeugung von 1 kg Sauerstoff werden 0,486 kWh Strom benötigt ([33], S. 18). Für den Sauerstoff muss folglich elektrische Energie in Höhe von (438·0,486 kWh =) 213 kWh/Mg oder (465·0,486 kWh =) 226 kWh/Mg Pellet aufgebracht werden. Damit reduziert sich die pro Mg Pellet ausgekoppelte Menge an Energie entsprechend.

In der Luftzerlegungsanlage wird ebenfalls Stickstoff gewonnen, welcher vom SVZ aber ebenfalls selbst genutzt wird. Beide Gase gehen somit in den Betriebsmittelbedarf ein. Daher darf der Strombedarf für die Sauerstoffbereitstellung auch nicht entsprechend der Massen-

[5] Gas- und Dampfturbinenkraftwerk

bilanz der Luftzerlegungsanlage (4,322 kg Luft + 0,486 kWh → 3,322 kg Stickstoff + 1,00 kg Sauerstoff) auf Sauerstoff umgerechnet werden, sondern muss in voller Höhe in die Rechnung eingestellt werden. Das SVZ hierzu:

> „Hinsichtlich des Einsatzes von Sauerstoff ist es schon richtig, dass wir auch Stickstoff aus der Luftzerlegungsanlage beziehen, aber nicht die gesamte Produktion, die zwangsläufig bei der Trennung anfällt. Wir sind aber einverstanden, uns die gesamte Luftzerlegung anzurechnen, denn, wenn es keinen Markt für Stickstoff und Argon gäbe, würden wir sicher auch die gleiche Menge an Sauerstoff benötigen.“ [84].

4.1.6.4 C-Bilanz und Wirkungsgrad des SVZ

Die Daten aus Anhang 5 werden im Folgenden für die Berechnung der Anlagenbilanz herangezogen.

Rohmüllpellets nach [84]:
Der Input von 1 Mg Pellet (mit 50 % C) + 0,176 Mg Steinkohle (mit 74,6 % C) entsprechen 632 kg C. Von diesen stammen 425 kg C vom Pellet (85 %) und 187 kg von der Steinkohle (15 %). Daraus werden 429 kg Methanol erzeugt mit einem C-Gehalt von 161 kg.

- 429 kg Methanol im Output entsprechen 161 kg C.
- 161 kg C im Output sind 25,4 % des Inputs von 632 kg C.
- Diese 161 kg (25,4 %) setzen sich zusammen aus 127,2 kg (20,1 % des Input) aus dem Pellet und 33,6 kg (5,3 %) aus der Steinkohle.
- **D.h. von dem Kohlenstoffgehalt des Restabfalls gelangen nur 25,4 % ins Methanol.**

Pellets aus hochkalorischer Fraktion nach [86]:
Der Input von 1 Mg Pellet (mit 42,5 % C) + 0,250 Mg Steinkohle (mit 74,6 % C) entsprechen 612 kg C. Von diesen stammen 425 kg C vom Pellet (80 %) und 187 kg von der Steinkohle (20 %). Daraus werden 400 kg Methanol erzeugt mit einem C-Gehalt von 150 kg.

- 400 kg Methanol im Output entsprechen 150 kg C.
- 150 kg C im Output sind 24,5 % des Inputs von 612 kg C.
- Diese 150 kg C (24,5 %) setzen sich zusammen aus 104 kg C (17 % des Input) aus dem Pellet und 64 kg C (7,5 %) aus der Steinkohle.
- **D.h. von dem Kohlenstoffgehalt des Pellets gelangen nur 24,5 % ins Methanol.**

Unter Berücksichtigung der weiteren Betriebsmittel (z.B. Erdgas aus der Aufbereitung/Pelletierung, Heizöl aus der Besicherung), d.h. verändert sich also der Input an (fossilen) C-Trägern bei gleichbleibendem Output an Methanol, wird der Anteil des Restabfalls am C-Gehalt des Methanols noch geringer ausfallen.

Für den energetischen Wirkungsgrad ist die Auskopplung an Energie heranzuziehen. So beträgt z.B. die Stromauskopplung für Pellets mit 18.000 MJ/Mg (= 5.000 kWh/Mg Pellet)

rund 376 kWh/Mg Pellet. Die Stromauskopplung entspricht einem Wirkungsgrad von (376/5.000 =) 7,5 %.

Darin sind allerdings die weiter erforderlichen energetischen Aufwendungen nicht enthalten. Diese sind insbesondere

- die Pelletierung, die mit 78,2 kWh/Mg Restabfall entsprechend 156,4 kWh/Mg Pellet zu Buche schlägt,
- die Erzeugung des benötigten Sauerstoffs: Der Sauerstoffbedarf von 306 m³ (= 437 kg) O_2/Mg Pellet wird von der benachbarten Luftzerlegungsanlage gedeckt, die dafür den SVZ-Strom abnimmt. Für die Erzeugung von 1 kg O_2 werden laut IVV-Gutachten ([33], S. 18) 0,486 kWh Strom benötigt. Für den benötigten Sauerstoff muss also elektrische Energie in Höhe von (437 x 0,468 kWh =) 212,6 kWh/Mg Pellet aufgebracht werden.

Die Strombilanz für 1 Mg Pellet – aus Restabfall erzeugt im SVZ und dort vergast – beläuft sich somit auf (376 – 156,4 – 212,6 =) 7 kWh/Mg Pellet. Der energetische Wirkungsgrad ist folglich nicht nennenswert.

Der stoffliche Wirkungsgrad ist – bezogen auf den Kohlenstoff – ebenfalls nicht bedeutend, da er im Bereich von 20 bis 30 % liegt.

Im Rahmen zukünftiger ökobilanzieller Betrachtungen zum SVZ sollte die Energieerzeugung aus den Restgasen (Purgegas) vertiefter untersucht werden. Das Inputmenü wird dem Prozess diskontinuierlich zugegeben, was in der Folge auch zu einem diskontinuierlichen Gasanfall aus der Vergasung führt. Dies kann möglicherweise bewirken, dass die Emissionen und auch die Wirkungsgrade der Stromwandlung und Methanolerzeugung erheblichen Schwankungen unterliegen.

4.1.6.5 Gutschrift für erzeugtes Methanol

Entscheidend für die Ergebnisse des SVZ ist die Frage der Gutschriften für das erzeugte Methanol. In Teil 1 der Studie [8] wurde festgelegt, dass im Falle des SVZ die Emissionen aus der Methanolerzeugung dem Prozess wieder gutgeschrieben werden, da keine Daten für eine anderweitige Modellierung verfügbar sind. Dabei wurde bisher nicht berücksichtigt, dass ein Teil des Kohlenstoffes aus dem Abfall regenerativen Ursprungs ist. Im Folgenden werden die vermiedenen Emissionen an CO_2 (Gutschrift) nun zu 100 % als fossil angesetzt. Dadurch ergeben sich deutlich höhere Gutschriften als in Teil 1 der Studie modelliert [8].

4.1.6.6 Relevanz des Verschleiss‘ der Anlagenteile aus der Pelletierung

In Ökobilanzen auf dem Gebiet der Abfallwirtschaft werden die Emissionen aus dem Bauteil der Anlage(n) überlicherweise nicht berücksichtigt, da diese maximal 15 % des Ergebnisses

ausmachen [34]. Von Pelletierungsanlagen für Restabfall/hochkalorische Fraktion ist bekannt, dass der Verschleiß der Matrizenpressen erheblich ist und die Koller teilweise nach wenigen Wochen ausgewechselt werden müssen. Zu fragen ist, wie oft im SVZ (oder auch in der MBS Dresden) die Koller der Pressen ersetzt werden müssen oder wie viele Mg Pellets ein Koller im Mittel „schafft", bis er ausgewechselt werden muss. Die Unterschiede in der Materialwahl beruhen letztlich auf betriebwirtschaftlichen Überlegungen: günstige Verschleißteile vs. geringer Personalaufwand für den Wechsel der Verschleißteile.

Handelsübliche Pelletieraggregate weisen einen Durchsatz von 2,5 bis 3 Mg/h auf [35]. Die Standzeiten für diese Aggregate liegen im SVZ bei 1.000 Stunden pro Matrize und 500 Stunden pro 1,5 Koller, bei einem Durchsatz von 60 Mg/d je Presse [36]. Die Koller sind aus durchgehärtetem Spezial-Stahl (Chrom-Stahl). Die verbrauchten Matrizen und Koller werden recycliert. Abrieb und Materialverlust während des Betriebs liegen bei den Koller bei ~5 % und bei den Matrizen bei ~30 bis 40 % (hier: 35 %). Es wird folgende vereinfachende Abschätzung vorgenommen:

- 2.500 Mg Pellets benötigen 1 Matrize (= 150 kg Stahl) + 6 Koller (= 60 kg Stahl), das sind zusammen 210 kg Stahl.
- 1 Mg Pellet benötigt 0,084 kg Stahl.
- Der Stahl-Verbrauch während des Betriebs beträgt (35 % von 150 =) 52,5 kg Stahl bei der Matrize und (5 % von 60 =) 3 kg Stahl bei den Koller, in der Summe also 52,5 kg Stahl. Diese müssen beim Recycling durch Neustahl ersetzt werden. Dies bedeutet einen Stahlmehrbedarf von (52,5/210 =) 25 %.
- 1 Mg Pellet benötigt daher insgesamt 0,105 kg Stahl.
- Die Treibhausemissionen für die Stahlerzeugung liegen nach GEMIS [37] zwischen 0,6 kg CO_2-Äq./kg Stahl (Stahl-Elektro-mix) und 1,8 kg CO_2-Äq./kg Stahl (Stahl-Oxygen), für den Stahl-mix-D wird **1,6 kg CO_2-Äq./kg Stahl** angesetzt.
- 1 Mg Pellet setzt mit seinem „Verbrauch" von 0,105 kg Stahl für die Pelletierung daher zusätzlich **0,148 kg CO_2-Äq./Mg Pellet** frei.
- Aus 1 Mg Restabfall entstehen 0,5 Mg Pellet. Daher beträgt die zusätzliche Emission klimarelevanter Gase aus dem Materialverschleiß bei der Pelletierung **0,074 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall**.

Der Einfluss des Verschleißes der Matrizen und Koller für die Pelletierung von Restabfall / hochkalorischer Fraktion auf die klimarelevante Emission des gesamten Verfahrens dürfte nach erster Näherung – auch unter Einbeziehung der Transportaufwendungen – deutlich unter 1 kg CO_2-Äq. pro Mg Restabfall/hochkalorische Fraktion liegen und damit nicht ergebnisrelevant sein. Eine vergleichbare Zusatzbelastung ergibt sich auch für die Pelletierung in der MBS Dresden.

4.1.7 Standort-Steckbriefe Deponien

Aufgrund der Vorarbeiten des LfUG zur Berechnung der klimarelevanten Emissionen aus Deponien konnte auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Deponien im Freistaat Sachsen verzichtet werden. Der Ist-Stand zur Deponiegaserfassung ist im Deponiebericht des LfUG [38] zusammengestellt. Darin sind allerdings nur die Deponien der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger enthalten. Betriebsdeponien konnten mangels verfügbarer Daten nicht berücksichtigt werden.

Für eine Abschätzung der klimarelevanten Emissionen/ Emissionseinsparungen aufgrund vorhandener/geplanter Maßnahmen der Deponiegasnutzung waren die in Betrieb befindlichen (Status quo) und geplanten Maßnahmen zur Deponiegasverwertung (Status 2005) zu erheben und zu aktualisieren. Zu diesem Zweck wurden von den Auftragnehmern über die Zweckverbände und die örE die neuesten Kenntnisse zum derzeitigen Stand und zu geplanten Entwicklungen auf den Deponien hinsichtlich der Deponiegaserfassung und -nutzung erfragt.

Tab. 10 zeigt die Ergebnisse der Befragung über die Deponien in Sachsen. Aktuell überwiegt die Zahl derjenigen Deponien, die Deponiegas zwar thermisch behandeln, nicht aber energetisch nutzen.

Die Transportentfernungen werden in den Kapiteln 5.1.2.3 und 5.1.2.5 behandelt.

Tab. 10: Deponiegaserfassung und energetische Nutzung in den Gebietskörperschaften des Freistaates Sachsen (Stand 3.7.2002)
Quelle: [38], aktualisiert

AZV	LK/SK	AS-Nr.	Deponie	Gaserf.		Fackel			Gasnutzung				Bemerkung
				ohne	mit	ja	seit	m³/h	ja	seit	MW el.	MW th.	
RB Dresden													
ZAOE	Dresden	00421856185	Radeburger Straße		x	x	Jun 96	600	x	Dez 97	1,252		Fackel nur noch bei Havarie oder bei Bauarbeiten an Verwertungsanlage im Einsatz, <10% des gefassten Gases werden über Hochtemperaturfackel entsorgt.
ZAOE	Dresden	51289146380	Langebrücker Straße		x	x	Jan 99	250	x	Aug 00	0,35		
ZAOE	Meißen	-	Gröbern		x	geplant			x	15.10.02	0,311kWh		BHKW, Einspeisung ins Stromnetz der ESAG [39]
ZAOE	Riesa-Großenhain	51289143267	Groptitz		im Bau	im Bau	2002						
ZAOE	Riesa-Großenhain		Baßlitz		x	x	Okt 99	65					zeitweise
LRA	Riesa-Großenhain	-	Gröditz	x									
ZAOE	Sächsische Schweiz	51289144163	Kleincotta		x	x	Dez 96	250	x	Sep 99	0,25		
ZAOE	Sächsische Schweiz		Sebnitz-Waldhaus		x	x	Okt 99	65					zeitweise
ZAOE	Sächsische Schweiz	-	Rennersdorf	x									
ZAOE	Weißeritzkreis	51289141230	Saugrund ST2		im Bau	im Bau	Okt 00	250					
ZAOE	Weißeritzkreis	-	Cunnersdorf		x	geplant							
ZAOE	Weißeritzkreis	-	Oberfrauendorf		x								Ableitung über Entgasungsfenster

AZV	LK/SK	AS-Nr.	Deponie	Gaserf.		Fackel			Gasnutzung				Bemerkung
				ohne	mit	ja	seit	m³/h	ja	seit	MW el.	MW th.	
RAVON	Bautzen	47443700001	Nadelwitz		x	x	06/97	400	x	07/99	1,00		
RAVON	Kamenz	-	Bergen		x	ge-plant			nein				
RAVON	Kamenz	47443700003	Hufe in Pulsnitz		x	x	06/98	400	nein				
RAVON	Niederschl. OLK	-	Grüne Fichte in Weißwasser		x	ge-plant			nein				
RAVON	Niederschl. OLK	47443700004	Kunnersdorf		x	x	01/94	500	x	01/94	2,00		
RAVON	Niederschl. OLK	-	Grenzweg, Niesky	x									passiv mit Biofilter
RAVON	Löbau-Zittau	-	Niedercunners dorf		x	ge-plant	2001	300	ge-plant				
RAVON	Löbau-Zittau	47443700002	Radgendorf		x	x	1995	300	nein				
RB Chemnitz													
AWVC	Mittl. Erzg. Kr.	-	Dörfelstr. Olbernhau	x		nein			nein				nur Gasfenster
AWVC	Mittl. Erzg. Kr.		Grießbach		x	x	6/99	~100	ge-plant	ab 10/02			
AWVC	Chemnitz Stadt	00050510000	Weißer Weg		x	x	12/99		x	07/01	0,75		
AWVC	Mittweida	00000860000	Hainichen-Falkenau		x	x	07/99	70	nein				
AWVC	Mittweida	-	Markersdorf	x									
AWVC	Mittweida	22700050000	Penig "Am Pfaffenbusch"		x	ge-plant	02/01	25-30	nein				
AWVC	Mittweida		Wittgensdorf		x	x	?	?	nein				
AWVC	Freiberg		St. Michaelis, OT Himmelsfürst		x	x	09/99	80	nein				
AWVC	Freiberg	-	Flöha "Vordere Ulbrichts-schlucht"		x	nein			nein				

AZV	LK/SK	AS-Nr.	Deponie	Gaserf.		Fackel			Gasnutzung				Bemerkung
				ohne	mit	ja	seit	m³/h	ja	seit	MW el.	MW th.	
AWVC	Freiberg	-	Freiberg "Hüttenstr." Muldenhütten	x									keine Verbands-deponie
ZAS	Annaberg-Buchholz	22700030000	Himmlisch Heer		x	x	07/98	250	nein				mobile Fackel
ZAS	Chemnitzer Land	00050010000	Reinholdshain		x	x	01/98	250	x	01/00	0,25		
ZAS	Chemnitzer Land	66577460002	Lipprandis		x	x	06/97	260	nein				
ZAS	Stollberg	66577460001	Niederdorf		x	x	05/98	250	x	01/99	0,25		
ZAS	Aue-Schwar-zenberg	66577460000	Lumpicht		x	x	03/98	250	x	09/98	0,30		
ZAS	Aue-Schwar-zenberg	66577460000	Oelpfanner Weg	x									nach Gasabsaugver-such, keine Gaser-fassung
ZAS	Aue-Schwar-zenberg	-	Steinsee Johanngeor-genst.	x									
ZAZ	Zwickauer Land	06655469000	Lohe in Reinsdorf		x	x	05/98	250	nein				
ZAZ	Zwickauer Land	06655469000	Halde 10 Zwickau		x	x	10/97	500	x	10/97	2x288 kWh	2x450 kWh	
EVV	Vogtlandkreis	32300000163	Rodewisch		x	x	03/99	75	nein				
EVV	Vogtlandkreis	-	Treuen (Vogtlandkreis)	x									
EVV	Vogtlandkreis	-	Oelsnitz-Lehm-bachtal	x									
EVV	Vogtlandkreis	-	Zwotental, Gunzen	x									
EVV	Vogtlandkreis	32300000163	Zobes		x	x	10/98	500	x	1999			
EVV	Vogtlandkreis	-	Schillingsloh in Adorf	x									
EVV	Vogtlandkreis	-	Bad Brambach	x									
EVV	Vogtlandkreis	32300000163	Schneiden-bach		x	x	07/97	500	nein				

AZV	LK/SK	AS-Nr.	Deponie	Gaserf.		Fackel			Gasnutzung				Bemerkung
				ohne	mit	ja	seit	m³/h	ja	seit	MW el.	MW th.	
RB Leipzig													
AVN	Döbeln	58153020001	Hohenlauft in Niederstriegis		x	ge-plant	04/02	~150	wird geprüft				Fackel in Betrieb seit 04/02
AVN	Torgau-Oschatz	-	Lüttnitz in Mügeln		ge-plant	ge-plant			wird geprüft				
AVN	Torgau-Oschatz	-	Süptitzer Weg in Torgau		ge-plant	ge-plant			nein				
ZAW	Leipziger Land	-	Geithain		ge-plant								
ZAW	Leipziger Land	-	Groitzsch-Wischstauden in Audigast		ge-plant	ge-plant			wird geprüft				
ZAW	Leipziger Land	56170730001	Cröbern		x	x	11/95	500	x	04/95	5,10		
ZAW	Leipziger Land	56170730002	Seehausen		x	x	08/96	2.000	x	08/96	5,60		
ZAW	Leipziger Land	54517910000	Liebertwolkwitz		x	x	12/97	1.000	x	12/97	2,60		
ZAW	Muldental-kreis		Grimma-Rum-berg		x	x	?		wird geprüft				
Dz	Delitzsch	00026850000	Laußig, OT Pristäblich		x	x	11/00	150					
Dz	Delitzsch	-	Spröda		ge-plant	ge-plant			wird geprüft				
Dz	Delitzsch	55221600001	Lissa		x	x	10/00	500	x	10/00	1,20		

4.2 Standort-Steckbriefe Verwertungsanlagen für Holzabfälle

Im Freistaat Sachsen wird im Rahmen des Förderprogramms „Immissions- und Klimaschutz einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energien“ auch die Nutzung erneuerbarer Energie, hier insbesondere Holz gefördert. So wurden im Jahr 2000 insgesamt 635 diesbezügliche Maßnahmen mit einem Volumen von rund 3.616 Mio. DM (rund 1,85 Mio. €) gefördert, was rund 42 % des gesamten Fördervolumens entsprach. Rund 270 dieser Projekte waren im Bereich kleiner Feuerungsanlagen (< 80 kW) angesiedelt. Insgesamt sind in Sachsen 3.565 geförderte Holzfeuerungsanlagen in Betrieb (Stand zum 31.12.2000), mit einer installierten thermischen Leistung von 162 MW und einer installierten elektrischen Leistung von 3,2 MW. Demgegenüber stellt sich die Anzahl der Holzvergasungsanlagen im Freistaat Sachsen derzeit eher gering dar.

Anhang 7 gibt die Daten für eine Holzverbrennungsanlage und für eine Holzvergasungsanlage in Sachsen wieder.

4.3 Standort-Steckbriefe Verwertungsanlagen für Bioabfälle

4.3.1 Bioabfallkompostierung

Im Freistaat Sachsen waren mit Stand 12/2000 80 Kompostanlagen in Betrieb, davon waren lediglich 16 geschlossene Anlagen [40]. Für die weitere Betrachtung wurden beispielhaft zwei dieser Kompostierungsanlagen ausgewählt. Die im Anhang 9 wiedergegebenen Anlagen-Steckbriefe basieren auf Betreiberangaben.

4.3.2 Bioabfallvergärung

Im Freistaat Sachsen waren mit Stand 12/2000 fünf Vergärungsanlagen für Bioabfälle (alle: Nassvergärung im mesophilen Bereich) in Betrieb: je zwei in Bautzen und Plauen sowie eine in Chemnitz. Hinzu kommen zwei Co-Vergärungsanlagen: In der Anlage Radeberg wird Klärschlamm vergoren, in der Anlage Oberlungwitz Gülle und landwirtschaftliche Reststoffe. In beiden Anlagen dienen Bioabfälle als Cofermentat [40].

Für die weitere Betrachtung wurden beispielhaft zwei dieser Vergärungsanlagen ausgewählt. Die im Anhang 10 wiedergegebenen Anlagen-Steckbriefe basieren auf Betreiberangaben.

5 Klimarelevanz ausgewählter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen im Freistaat Sachsen

Im Folgenden werden unterschiedliche Maßnahmen der Abfallwirtschaft im Hinblick auf ihre Klimarelevanz für den Freistaat Sachsen dargestellt. Daher ist eingangs eine Definition der Begriffe nach KrW-/AbfG [41] hilfreich.

Abfallentsorgung ist die **Verwertung** und **Beseitigung** von Abfällen (§ 3 Abs. 7 KrW-/AbfG). Beseitigung umfasst das Bereitstellen, Überlassen, Einsammeln, die **Beförderung**, die **Behandlung**, die Lagerung und die **Ablagerung** von Abfällen zur Beseitigung (§ 10 Abs. 2). Damit ist die Behandlung eine der Varianten der Abfallbeseitigung.

Die folgenden Betrachtungen fokussieren sehr stark auf folgende Maßnahmen der Abfallbeseitigung:

- Beförderung der Abfälle (ab Sammlung)
- Behandlung der Abfälle
- Ablagerung der Abfälle und Behandlungsrückstände (Deponierung).

Hierfür wird im Folgenden einheitlich der Begriff „**Beseitigung**" verwendet, auch wenn nicht alle unter diesen Begriff fallenden Maßnahmen in die Betrachtung eingeschlossen sind.

Mit Inkrafttreten der AbfAblV [42] ist die Abtrennung von Heizwertträgern vor der Ablagerung zwingend vorgeschrieben. Infolgedessen fallen heizwertreiche Fraktionen des Restabfalls an, die thermisch behandelt (= Beseitigung) oder energetisch (und ggf. auch rohstofflich) verwertet (= Verwertung) werden können. Diese Optionen für den Zeitraum ab 2005 werden im Folgenden mit „**Entsorgung**" zusammengefasst, da hierunter sowohl die Beseitigung (einschließlich Behandlung und Ablagerung) als auch die Verwertung gefasst sind.

5.1 Klimarelevante Emissionen der Restabfallentsorgung

5.1.1 Restabfallentsorgung – Bestandsaufnahme für das Jahr 2000

Im Jahr 2000 betrugen die im Freistaat Sachsen anfallenden Abfallmengen zur Entsorgung durch die örE insgesamt 2,756 Mio. Mg. Hierunter fielen Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten, Abfälle von öffentlichen Flächen sowie anteilig aus anderen Herkunftsbereichen – Sortierreste, Baumischabfälle, Gewerbeabfälle, Produktionsspezifische Abfälle, sofern diese den örE angedient werden, ohne Bauabfälle und Abfälle aus der Abwasserbehandlung/ Wasserzubereitung. Tab. 11 gibt einen Überblick über das Siedlungsabfallaufkommen im Jahr 2000 (Status quo) [43].

Tab. 11: Siedlungsabfallaufkommen im Freistaat Sachsen im Jahr 2000 [43]

Abfallverband oder verbandsfreier örE	**Restabfälle aus Haushalten**	Sperrige Abfälle aus Haushalten	Abfälle von öffentlichen Flächen	Σ Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten sowie Abfälle von öff. Flächen	Σ der den ÖRE angedienten Abfälle aus Gewerbe und Industrie①	Σ der Abfälle aus Sortier- und Behandlungsanlagen	Σ Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten sowie Abfälle von öff. Flächen sowie anteilig aus anderen Herkunftsbereichen
EVV	**42.952**	12.500	2.661	58.113	66.819	14.428	139.360
ZAZ	**27.325**	4.924	2.461	34.710	16.169	8.607	59.486
ZAS	**72.653**	8.580	1.531	82.764	107.996	10.846	201.606
AWVC	**97.852**	22.129	7.870	127.851	59.751	8.358	195.960
ZAW	**148.290**	39.228	10.083	197.601	430.108	150.383	778.092
AVN	**25.629**	8.505	2.019	36.153	84.684	1.802	122.639
ZAOE	**183.979**	38.573	16.454	239.006	500.908	30.810	770.724
RAVON	**81.232**	17.446	1.283	99.961	38.967	15.982	154.910
Hoyersw.	**8.151**	1.933	776	10.860	111	3.031	14.002
Delitzsch	**21.994**	6.289	1.701	29.984	247.089	42.158	319.231
Freistaat Sachsen	**710.057**	**160.107**	**46.839**	**917.003**	**1.552.602②**	**286.405**	**2.756.010**
davon verwertet③	13.970	53.304	25.225④	92.499	1.179.073	1.024	1.274.036
direkt abgelagert	**696.087** [98 %]	**106.803** [67 %]	**21.614④** [46 %]	**824.504** [90 %]	**373.529** [24 %]	**285.381** [99,6 %]	**1.483.414** [54 %]

① Restabfälle: über Wechselbehälter oder durch Selbstanlieferer separat erfasster Restabfall, sperriger Abfall, Holzabfall, produktionsspezifischer Abfall, Aschen, Schlacken etc.
② Anteil Bauschutt + Bodenaushub ~90 %
③ inkl. Deponiebedarfsstoffe
④ Fehlerhafte Angabe in Bilanz, wurden hier korrigiert

5.1.1.1 Deponierung

Ausweislich der Abfallbilanz des LfUG für das Jahr 2000 [43] wurden auf sächsischen Siedlungsabfalldeponien insgesamt 2.460.888 Mg Abfälle angenommen. Abzüglich der auf Deponien verwertete Mengen verbleiben 1.808.472 Mg. Davon waren **1.483.414 Mg** den sächsischen örE angediente Siedlungsabfälle, in denen ebenfalls nicht die Bauabfälle zum Deponiebau enthalten sind. Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten wurden, wie Tab. 11 zeigt, zu rund 90 % direkt deponiert. Rund 10 % der Abfälle – vorrangig sperrige Abfälle aus Haushalten – wurden nach einer mechanischen Sortierung verwertet.

5.1.1.1.1 Emissionen von Ablagerungen auf Deponien und Altablagerungen

Für die ablagerungsbedingten Emissionen an Methan und CO_2 einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 (klimarelevant) liegen Abschätzungen des LfUG für den Zeitraum ab 1990 vor [44], die in Tab. 12 zusammengefasst sind. Diese belaufen sich für das Jahr 2000 in der Summe auf rund 6,2 Mio. Mg CO_2-Äq..

Hierbei wird unterschieden in Altablagerungen und Deponien:

- Altablagerungen sind Deponien, die bis einschließlich 1993 betrieben und dann stillgelegt und rekultiviert wurden. Ab 1994 wurde hier kein Restabfall mehr abgelagert.
- Deponien sind Anlagen zur Ablagerung von Abfällen, die nach 1993 (weiter) betrieben werden oder worden sind.

Die in den jeweiligen Jahren emittierten Deponiegasmengen wurden in drei Schritten ermittelt:

Schritt 1: **Altablagerungen**
Aus den Angaben der Abteilung 3 des Referates 33 über Altablagerungen aus dem „SALKA“ wurde das jeweils in den Jahren 1990 bis 2001 entstandene Deponiegas nach Betriebskategorien und Gesamt entsprechend der VDI 3790, Blatt 2 vom Dezember 2000 berechnet.

Schritt 2: **Deponien**
Aus den Angaben der Mitarbeiter der Abteilung 3, Referat 32 über die Ablagerungen auf den Deponien von 1994 bis 2000 wurde das jeweils in den Jahren 1995 bis 2001 entstandene Deponiegas analog der Altablagerungen entsprechend der VDI 3790, Blatt 2, vom Dezember 2000 berechnet.

Schritt 3: **Gesamt**
Das in den einzelnen Jahren von den Altablagerungen und Deponien entstandene Deponiegas wurde aufsummiert.
Von diesem entstandenen Deponiegas wurde das in dem jeweiligen Jahr verwertete und abgefackelte Deponiegas abgezogen und so die Gesamtemission an Deponiegas sowie die Anteile von Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) ermittelt und die CO_2-Äquivalente berechnet.

Tab. 12: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2000, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 [44] (1.000 CO_2-Äq./a)

Jahr	Kohlendioxid (CO_2) in 1.000 Mg	Methan (CH_4) in 1.000 Mg	Methan (CH_4) in 1.000 Mg CO_2-Äq.	**Summe in 1.000 Mg CO_2-Äq./a**
1990	500	258	5.926	**6.426**
1991	519	267	6.152	**6.671**
1992	494	255	5.857	**6.351**
1993	473	242	5.571	**6.044**
1994	453	231	5.317	**5.770**
1995	507	257	5.920	**6.427**
1996	544	260	5.989	**6.533**
1997	608	240	5.520	**6.128**
1998	663	226	5.188	**5.851**
1999	682	215	4.937	**5.619**
2000	**613**	**244**	**5.621**	**6.234**

Hinzu kommen weitere klimarelevante Gase wie NMVOC und FCKW. Letztere sind trotz geringer Konzentrationen im Deponiegas aufgrund ihres hohen Treibhauspotenzials (GWP von mehreren 1.000) nicht unbeachtlich, wie Tab. 13 zeigt.

Tab. 13: Klimarelevante Verbindungen im Deponiegas (in mg/m³, bezogen auf luftfreies Deponiegas)

Parameter	**GWP-Faktor**	**Konz.-Bereich im Deponiegas mg/m³ [45]**	**emittierte Fracht kg CO_2-Äq./m³**
CCl_4	1.300	0 - 0,6	0 - 0,0008
R 11 (CCl_3F)	**4.600**	**1 - 84**	**0,005 - 0,39**
R 12 (CCl_2F_2)	**10.600**	**4 - 119**	**0,042 - 1,26**
1,1,1-Trichlorethan (CH_3CCl_3)	140	0,5 - 4	0,00007 - 0,0006

Es liegen keine Daten zu diesen klimarelevanten Emissionen, insbesondere an FCKW, aus sächsischen Deponien vor. Unter der Annahme, dass diese Verbindungen in den aus der Literatur bekannten Größenordnungen auch im Deponiegas sächsischer Deponien enthalten ist, kann anhand der verfügbaren Daten abgeschätzt werden, in welchem Umfang größenordnungsmäßig diese Deponien weiter zur Emission klimarelevanter Gase beitragen.

Aufgrund der hohen Äquivalenzfaktoren und ihrer vergleichsweise hohen Konzentration im Deponiegas wird die weitere Betrachtung auf die beiden FCKW R 11 und R 12 beschränkt.

Weiter wird davon ausgegangen, dass die Altablagerungen keine relevanten Mengen an FCKW mehr freisetzen. Vielmehr wird angenommen, dass diese sehr leicht flüchtigen Verbindungen in den ersten Jahren des Betriebs emittiert wurden und sechs oder mehr Jahre nach der Stillegung und Rekultivierung im Deponiegas nicht mehr nachweisbar sind. Daher wird nur für noch betriebene Deponien eine FCKW-Emission angesetzt. Variante A berechnet die Emissionen anhand der jeweiligen Minimal- und Variante B anhand der jeweiligen Maximalwerte.

Tab. 14 gibt die Resultate für diese Berechnung wieder. Weiter wird angegeben, welchen Anteil die FCKW für jede Variante an der Gesamtemission an klimarelevanten Gasen (Summe CH_4, CO_2, R 11, R 12) hätten.

Tab. 14: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2000, ergänzt um die Emissionen von FCKW [44] (Mg CO_2-Äq.)

Jahr	Summe in Mg CO_2-Äq./a	**Eintrag nach Variante A Minimalkonzentrationen im Deponiegas**		**Eintrag nach Variante B Maximalkonzentrationen im Deponiegas**	
		Mg CO_2-Äq.	Prozent	Mg CO_2-Äq.	Prozent
1995	6.427.000	5.619	0,1%	197.267	3,0%
1996	6.533.000	9.059	0,1%	318.027	4,6%
1997	6.128.000	11.382	0,2%	399.567	6,1%
1998	5.851.000	13.695	0,2%	480.781	7,6%
1999	5.619.000	15.172	0,3%	532.643	8,7%
2000	6.234.000	17.069	0,3%	599.231	8,8%

Tab. 14 zeigt, dass für das Betrachtungsjahr 2000 die Gesamtemission an klimarelevanten Gasen sich aufgrund der Belastung des Deponiegases mit den FCKW R 11 und R 12 im worst case um weniger als 10 % erhöhen kann. Weitere klimarelevante Gase (z.B. NMVOC) dürften aufgrund der vergleichsweise niedrigeren GWP-Faktoren diese Größenordnung nicht erreichen.

Nicht berücksichtigt dabei ist die Frage, in wieweit sich das Herstellungs- und Anwendungsverbot für die vollhalogenierten FCKW R11 und R12 1991 [46] bereits im Abfall widerspiegelt. So wurden in Sachsen noch bis 1997 R11 und bis 1998 auch R12 in abnehmender Menge verwendet. Die als Ersatz zur Anwendung gelangenden Stoffe weisen zwar ein deutlich geringeres Ozonabbaupotenzial, dafür aber ein erhöhtes Treibhauspotenzial auf [47].

Ende der 90er Jahre dürfte der FCKW-Eintrag aus Restmengen in Spraydosen in den Restabfall über Altbestände und Importe nur noch minimal gewesen sein. Für FCKW in Kältegeräten und Schaumstoffen, also in Produkten mit einer Lebensdauer von zehn und mehr Jahren, ist aber noch kein Rückgang zu erwarten. So dürften die Anfänge der getrennten

Erfassung und Entsorgung z.B. FCKW-haltiger Kältegeräte im Freistaat Sachsen erst auf Mitte der 90er datieren[6], mit rückläufiger Tendenz (1997: ~102.000 Stück, 2001: ~59.000 Stück [48]).

Ein Teil des gefassten Gases aus Deponien und Altablagerungen wird abgefackelt oder energetisch genutzt. Ob die dabei erreichten Temperaturen ausreichen, um die im Gas enthaltenen FCKW wirksam zu zerstören (d.h. zu mineralisieren), ist nicht sicher. Konservativ wird daher angenommen, dass diese Art der Deponiegasbehandlung keinen Einfluss auf die abgeschätzten FCKW-Emissionen (und die daraus errechneten CO_2-Äquivalente) hat.

5.1.1.1.2 Thermische Behandlung/energetische Verwertung von Deponiegas

Nach Schätzung von AEA [5] können in Deutschland durch vermehrte Nutzung von Deponiegas rund 2.000 Mg Methan entsprechend 42.000 Mg CO_2-Äq. eingespart werden. 1.000 Mg Methan entfallen dabei auf Fackeln, 800 Mg Methan auf Deponiegasverstromung und je 100 Mg Methan auf Wärmeerzeugung und Gasverwertung (Ersatz von Naturgas).

Hinsichtlich der thermischen Behandlung von Deponiegas können nach Butz [49] die Emissionen aus der Deponiegaserfassung und Verbrennung ohne Energienutzung, z.B. von einer **Fackel**, als klimaneutral eingestuft werden, da hier – eine vollständige Verbrennung vorausgesetzt – Kohlendioxid aus biogen-organischen Quellen freigesetzt wird.

> „Allenfalls externe Kohlendioxidemissionen – die gegenüber der Treibhauswirkung des gefassten Methans ... jedoch vernachlässigbar gering sind – resultierend aus dem Energiebedarf der aktiven Deponieentgasung, könnten hier als klimarelevant in Rechnung gestellt werden.“

Nach Butz [49] können die Emissionen aus der Deponiegasfassung und Verbrennung mit Energienutzung, z.B. Deponiegasverstromung mittels eines Gasmotors, ebenfalls als klimaneutral eingestuft werden, da wie bei der Verbrennung ohne Energienutzung Kohlendioxid aus biogen-organischen Quellen freigesetzt wird.

> „Da bei der energetischen Nutzung des Deponiegases fossile Energieträger substituiert werden, wird ein Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen aus anderen Bereichen, z.B. Energieerzeugung geleistet. Da das GWP von Methan, abhängig vom Betrachtungszeitraum, ein Vielfaches des Kohlendioxids beträgt, ist die Gutschrift für die Substitution fossiler Brennstoffe bei Energienutzung jedoch gegenüber der Verminderung der Methanemissionen als der kleinere Beitrag zum Klimaschutz zu werten.“

---

6 Keine Nennung im Landesabfallwirtschaftsbericht 1994 sowie im Abfallwirtschaftskonzept 1996 (Kurzfassung), aber Bilanzierung ab 1997 im Landesabfallwirtschaftsbericht 1998, Tabelle 16

Für den Freistaat Sachsen stellt sich die Emissionsminderung durch thermische Deponiegasbehandlung (einschließlich energetischer Nutzung) nach Berechnungen der LfUG wie in Tab. 15 aggregiert dar. Der Beginn der Maßnahmen wird auf 1993 datiert.

Tab. 15: Im Freistaat Sachsen auf Deponien durch Gasfackeln und Gasmotoren bis zum Jahr 2000 eingesparte Emissionen an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2) (Mg CO_2-Äq./a)

Jahr	Durch das Abfackeln eingesparte Menge aus CH_4 (Mg CO_2-Äq./a)	Bilanz Fackeln abzgl. dabei gebildetes CO_2 (Mg/a)	Durch das Verwerten eingesparte Menge aus CH_4 (Mg CO_2-Äq./a)	Bilanz Verwertung abzgl. dabei gebildetes CO_2 (Mg CO_2-Äq./a9	**Bilanz thermische Behandlung insgesamt (Mg CO_2-Äq./a)**	Gebildetes Methan insgesamt (Mg CO_2-Äq./a)	Reduzierung der CO_2-Äq. in %
1990	0	0	0	0	0	5.925.938	0,0%
1991	0	0	0	0	0	6.152.009	0,0%
1992	0	0	0	0	0	5.856.879	0,0%
1993	-5.578	-4.912	-10.040	-8.841	-13.752	5.586.484	0,2%
1994	-8.367	-7.367	-15.061	-13.261	-20.629	5.340.442	0,4%
1995	-8.367	-7.367	-28.197	-24.828	-32.196	5.956.707	0,5%
1996	-89.249	-78.585	-99.324	-87.457	-166.043	6.177.729	2,7%
1997	-336.281	-296.103	-361.869	-318.633	-614.736	6.217.942	9,9%
1998	-646.809	-569.529	-460.209	-405.224	-974.753	6.294.948	15,5%
1999	-793.002	-698.256	-509.867	-448.949	-1.147.205	6.240.213	18,4%
2000	**-233.157**	**-205.300**	**-448.824**	**-395.199**	**-600.499**	**6.302.804**	**9,5%**

Ein Vergleich dieser Daten mit Tab. 12 zeigt, dass im Jahr 2000 knapp 10 % der klimarelevanten Emissionen aus Deponien und Altablagerungen durch eine thermische Behandlung der Deponiegase vermieden werden konnte. Durch eine weitere Steigerung der thermischen Gasbehandlung könnten die klimarelevanten Emissionen der Deponierung weiter gesenkt werden.

Auf der anderen Seite setzen Deponiegasfackeln und Gasmotoren auch klimawirksame Gase wie CO und NOx frei. Nach einer Untersuchung aus dem Jahr 1994 an sechs bayrischen Deponien [50] bewegten sich die Emissionen an CO und NOx im Bereich von sieben bis elf Gramm CO_2-Äq./m³ Deponiegas, und zwar für Normaltemperaturfackeln mit Flammenhut, Hochtemperaturfackeln mit Muffel und Deponiegasmotoren gleichermaßen. Diese Emissionen sind im Vergleich zur erzielten Emissionsminderung durch die Zerstörung von Methan im Deponiegas zu vernachlässigen und werden daher nicht weiter betrachtet.

Tab. 16: Klimarelevante Emissionen von Deponiegasbehandlungs- und -verwertungsanlagen (eigene Berechnungen auf der Basis von Daten in [50])

	Mittelwert von 3 Messungen, mg/Nm³		Emission in g pro h		Emission in g pro m³ Deponiegas		**Emission in g CO_2-Äq./m³ Deponiegas**	
	CO	NOx	CO	NOx	CO	NOx	**CO**	**NOx**
Dep. A, Fackel	2	73	8,36	307	0,03	0,99	0,08	7,91
Dep. B, Fackel	7	60	19,8	169	0,07	0,56	0,20	4,51
Dep. E, Fackel	3	75	6,79	153	0,03	0,57	0,08	4,55
Dep. C, HTF	161	48	235	70,0	2,35	0,70	7,04	5,60
Dep. D, HTF	839	65	4.299	331	15,9	1,23	47,8	9,8
Dep. F, HTF	23	70	27,2	84,0	0,39	1,20	1,17	9,60
Dep. A, GM	521	353	748	506	1,70	1,15	5,10	9,20
Dep. B, GM	548	263	657	315	3,65	1,75	10,9	14,0
Dep. D, GM	634	62	336	32,9	3,54	0,35	10,6	2,77
Dep. F, GM	527	295	785	440	4,36	2,44	13,1	19,5
Mittelwert Fackeln					0,04	0,71	0,12	5,65
Mittelwert Hochtemperaturfackeln (HTF)					6,22	1,04	18,66	8,34
Mittelwert über alle Fackeln					4,67	4,67	9,39	9,39
Mittelwert Gasmotoren (GM)					3,31	1,42	9,93	11,38

Bei der energetischen Nutzung des Deponiegases werden des weiteren fossile Energieträger substituiert, was einen zusätzlichen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen z.B. aus dem Bereich der Energieerzeugung darstellt. Rein rechnerisch könnte anhand der im Jahr 2000 in Betrieb befindlichen Gasmotoren (vgl. Tab. 17) und deren Leistung die erzeugte Strommenge abgeschätzt werden, die zur Verdrängung anderer fossiler Energieträger bei der Stromerzeugung geführt hat.

Tab. 17: Gasnutzung auf sächsischen Deponien – Ergebnisse einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Stand 08/02) und Abschätzung der aus Deponiegas ins Netz eingespeisten Strommenge [MWh]; MW_{el} = Nennleistung Motor(en) in MW

AZV	Landkreis/Stadt	Deponie	Gas-nutzung seit	Nenn-leistung MW_{el}	in 2000 erzeugter Strom① (MWh)
RB Dresden					
ZAOE	Sächsische Schweiz	Kleincotta	09/ 99	0,25	1.326
ZAOE	Dresden	Langebrücker Straße	08/00	0,35	1.857
ZAOE	Dresden	Radeburger Straße	12/ 97	1,252	6.642
RAVON	Bautzen	Nadelwitz	07/99	1,00	5.305
RAVON	Niederschl. OLK	Kunnersdorf	01/94	2,00	10.611
RB Chemnitz					
EVV	Vogtlandkreis	Zobes	1999	~0,4②	2.122
ZAS	Chemnitzer Land	Reinholdshain	01/00	0,25	1.326
ZAS	Stollberg	Niederdorf	01/99	0,25	1.326
ZAS	Aue-Schwarzenberg	Lumpicht	09/98	0,30	1.592
ZAZ	Zwickauer Land	Halde 10 Zwickau	10/97	2x288 kWh③	3.056
RB Leipzig					
ZAW	Leipzig, Stadt	Altablag. Leinestr.	04/93	0,90	4.775
Dz	Delitzsch	Lissa	10/00	1,20	6.366
ZAW	Leipziger Land	Liebertwolkwitz	12/97	2,60	13.794
ZAW	Leipziger Land	Cröbern	04/95	5,10	27.057
ZAW	Leipziger Land	Seehausen	08/96	5,60	29.710
Summe					**116.865**

① Annahmen: Verfügbarkeit der Motoren = 75 %; Wirkungsgrad Generator = 95 %; wenn in Betrieb nach 1.1.2000, dann anteilige Berechnung für Jahr 2000; Leitungs-/Umspannverluste 15%; modelliert nach Deponiegasmotoren von Deutz [51]

② Berechnung: 350 + x m³ (53% Methan) (~100 m³ zur Biogasanlage + ~250 m Eigenstromerzeugung) ergibt ~0,4 MWel

③ zzgl. 2 x 450 kWh MW_{th}.

Die Stromerzeugung im Freistaat Sachsen betrug im Jahr 2000 rund 27.790 GWh [52]. 985 GWh entsprechend 3,5 % entfielen auf sonstige Energieträger. Die oben abgeschätzte aus Deponiegas erzeugte und abgegebene Strommenge von rund 117 GWh machen daher nur einen relativ geringen Anteil an der erzeugten Strommenge in Sachsen aus. Auf der anderen Seite ist die Bereitstellung dieser Energiemenge mit einer Klimaentlastung verbunden. Unter Verwendung des in Teil 1 [8] abgeleiteten sächsischen Strommixes kann die durch die Verdrängung der konventionellen Energieträger bewirkte Umweltentlastung abgeschätzt werden.

Gleiches gilt für die Bereitstellung der Fernwärme auf der Deponie Halde 10 Zwickau. Unter der Annahme von Umwandlungs- und Leitungsverlusten von ebenfalls 15 % sowie einer Abnahmemöglichkeit der Fernwärme für die Monate Oktober bis einschließlich April ergibt sich eine Fernwärmeleistung von (576 kWh·85 %·(31+30+31+31+28+31+30)·24 =) **2.491 MWh** entsprechend **8.968 GJ**. Bei einer optimistisch kalkulierten Verfügbarkeit von 75 % reduziert sich dieser Effekt auf **6.726 GJ**.

Tab. 18: Umweltentlastung durch Deponiegasverstromung und durch Fernwärme aus Deponiegas auf sächsischen Deponien im Jahr 2000

	Emissionen inkl. Vorketten	**Umweltentlastung** in Mg CO_2-Äq.
Sächsischer Strommix 2000 [8]	879 kg CO_2-Äq. /MWh_{el}	
Umweltentlastung durch Deponiegasverstromung nach Tab. 17 (116.865 MWh_{el})		-102.724
Fernwärme Sachsen-Mix① [26 % Öl- + 74 % GUS-Erdgasfeuerung] [8]	77,9 kg CO_2-Äq. /GJ_{th}	
Umweltentlastung durch Fernwärme aus Deponiegas (6.726 GJ)		-524
Summe		-103.248

① endenergiebezogen

Ein Vergleich der durch die thermische Behandlung eingesparten klimarelevanten Emissionen aus sächsischen Deponien (rund 600.000 Mg CO_2-Äq.) mit den eingesparten klimarelevanten Emissionen der verdrängten Energieträger für die Stromerzeugung (rund 103.000 Mg CO_2-Äq.) und die Fernwärmebereitstellung (gut 500 Mg CO_2-Äq.) zeigt, dass Butz mit seiner Einschätzung Recht hatte:

> „ ...die Gutschrift für die Substitution fossiler Brennstoffe bei Energienutzung (ist) jedoch gegenüber der Verminderung der Methanemissionen als der kleinere Beitrag zum Klimaschutz zu werten.“

5.1.1.1.3 Klimarelevante Emissionen des Einbaus von Deponiematerial

Neben den ablagerungsbedingten Emissionen und den vermiedenen Emissionen aufgrund von Deponiegasbehandlung/-verwertung sind des Weiteren die beim Einbau des Deponiegutes entstehenden Emissionen zu berücksichtigen. Hier ist insbesondere der Einbau mit mobilen Diesel-betriebenen Aggregaten relevant.

Die direkten Emissionen pro Kilogramm Diesel betragen 3,6 kg CO_2-Äq. und die Gesamtemissionen 4,36 kg CO_2-Äq./kg Diesel [8]. Für den Einbau des Abfalls kann ein Aufwand von 0,5 bis 0,6 kg Diesel angenommen werden; für MBA-Output wird ein deutlich höherer Aufwand angesetzt, da dieses Material auch aufwendiger zu verarbeiten ist. Aus dem Einbauvorgang aller im Jahr 2000 abgelagerten Mengen resultieren klimarelevante Gesamtemissionen von 3.232 bis 3.879 Mg CO_2-Äq. (Tab. 11).

5.1.1.1.4 Zusammenfassung Restabfallentsorgung 2000

Die Ergebnisse der Berechnung der klimarelevanten Emissionen der Restabfallentsorgung für das Jahr 2000 sind in Tab. 19 zusammengefasst. Danach dominieren die Restemissionen aus den Deponien die Bilanz bei Weitem. Die durch Gasfackeln und Gasmotoren eingesparten Emissionen an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2) sowie die Gutschriften für aus Deponiegas bereitgestellte elektrische und thermische Energie inkl. Vorketten der Energieträger können im Jahr 2000 die Restemissionen aus Deponien und Altablagerungen nur zu maximal 10 % kompensieren.

Tab. 19: Zusammenfassung: Klimarelevante Emissionen aus der Restabfallbehandlung im Jahr 2000 (Quelle: eigene Berechnungen)

Position	**Mg CO_2-Äq./a**	**Bezug**
Restemissionen von den Ablagerungen im Freistaat Sachsen, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2	6.234.000	Tab. 12
Zzgl. Emissionen von FCKW (R11 und R12)	~17.000 bis ~600.000	Tab. 14
Durch Gasfackeln und Gasmotoren eingesparte Emissionen an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2)	~ -600.000	Tab. 15
Gutschrift für aus Deponiegas bereitgestellte elektrische und thermische Energie, inkl. Vorketten der Energieträger	~ -103.000	Tab. 18
Emissionen aus Einbau des Deponiematerials	~3.200 bis 3.900	Kapitel 5.1.1.1.4
Status quo 2000: klimarelevante Emissionen aus der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen	**5.551.200 bis 6.134.900**	

5.1.2 Restabfallentsorgung – Prognose für das Jahr 2005 und Folgejahre

5.1.2.1 Prognose des Aufkommens an Restabfällen und anderen mit Restabfällen beseitigten Abfällen

Tab. 20 gibt die für das Jahr 2005 prognostizierten Mengen an Restabfällen und anderen überlassungs- oder andienungspflichtigen Abfällen, die von den Abfallverbänden oder verbandsfreien örE zu entsorgen sein werden, wieder [53].

Aus der Prognose in Tab. 20 errechnet das LfUG, das spätestens ab dem 01.06.2005, wenn das Deponierungsverbot für unbehandelte Restabfälle greift, mindestens Behandlungskapazitäten von 690.000 Mg/a bereitgestellt werden müssen, um Entsorgungssicherheit für die Abfälle aus Haushalten und von öffentlichen Flächen („sichere Abfälle“) gewährleisten zu können. Unter Berücksichtigung bestimmter Anteile aus anderen Herkunftsbereichen („unsichere Abfälle“) steigt diese Zahl auf knapp 1,1 Mio. Mg für das Jahr 2005 an.

Tab. 20 zeigt, dass die Restabfälle im Mittel 70 % des Aufkommens der „sicheren Abfälle“ ausmachen, der Rest verteilt sich zu beinahe gleichen Teilen auf Sperrmüll und Abfälle von öffentlichen Flächen. Stoffliche Zusammensetzung und wesentliche Parameter der Restabfälle wurden in Teil 1 der Studie [8] umfassend charakterisiert. Für die anderen „sicheren Abfälle“ (Sperrmüll, Abfälle von öffentlichen Flächen, Definitionen s.u.) liegen keine detaillierteren Informationen aus Sachsen vor.

Sperrige Abfälle aus Haushalten [43]

> „sind feste Abfälle, die wegen ihrer Sperrigkeit nicht in die im Entsorgungsgebiet vorgegebenen Behälter passen und getrennt von den Restabfällen gesammelt und transportiert werden“.

Abfälle von öffentlichen Flächen [43]

> „bestehen aus Garten- und Parkabfällen (überwiegend pflanzliche Abfälle aus der Pflege öffentlicher Flächen und Anlagen wie z. B. Parkanlagen, Gärten, Grünflächen, Friedhöfen, Straßenbegleitgrün), Straßenkehricht (feste Abfälle aus der öffentlichen Straßenreinigung (Kehrmaschinen- und Handreinigung) wie z. B. Straßen- und Reifenabrieb, Laub sowie Streumittel des Winterdienstes), Papierkorbabfällen und Marktabfällen (feste Abfälle aus Betrieb und Reinigung öffentlicher Märkte (außer Groß- und Einkaufsmärkte) wie z. B. nicht verwertbare Verpackungsmaterialien vermischt mit Obst- und Gemüseabfällen.).“

Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen (anteilig) sind [54]

> „folgende Abfallarten, wenn diese den örE angedient werden: Sortierreste, Baumischabfälle, Gewerbeabfälle, Produktionsspezifische Abfälle.“

Tab. 20: Mengenprognose: Aufkommen an Abfällen zur Beseitigung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 [53]

	„Sichere Abfälle“							„Unsichere Abfälle“
Abfallverband oder verbandsfreier örE	**Restabfälle aus Haushalten**		Sperrige Abfälle aus Haushalten		Abfälle von öffentlichen Flächen		Summe Restabfälle und sperrige Abfälle aus Haushalten sowie Abfälle von öff. Flächen (= 100 %)	Summe Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen (anteilig)
ZAS	42.550	67%	11.670	18%	9.180	14%	63.400	33.800
AWVC	78.250	78%	8.640	9%	14.060	14%	100.950	56.430
EVV	27.420	68%	7.440	18%	5.550	14%	40.410	18.780
ZAZ	25.880	74%	3.890	11%	5.180	15%	34.950	36.990
ZAOE	120.030	70%	27.060	16%	23.250	14%	170.340	72.680
RAVON	68.700	74%	11.360	12%	12.380	13%	92.440	47.460
AVN	13.520	65%	4.040	19%	3.380	16%	20.940	20.180
ZAW	98.480	66%	34.110	23%	17.200	11%	149.790	75.170
Hoyerswerda	4.160	63%	1.190	18%	1.270	19%	6.620	3.380
Delitzsch	9.450	63%	2.950	20%	2.630	17%	15.030	16.670
Freistaat Sachsen	**488.440**	**70%**	**112.350**	**16%**	**94.080**	**14%**	**694.870**	**381.540**

Für die weitere Berechnung wäre eine Charakterisierung dieser Abfallarten erforderlich. Aufgrund der stark wechselnden Zusammensetzung z.B. von Sperrmüll ist dies nicht möglich. So umfassen die von verschiedenen örE [55] veröffentlichten Produktlisten der Materialien, die in den Sperrmüll gehören, mitunter über 100 Einträge (von A wie Autokindersitze bis Z wie Zimmerantennen). Der Organikanteil der Sperrmüllkomponenten variiert dabei zwischen < 1 %, z.B. Metallprodukte (Fahrräder), und knapp 100 % wie Grünabfall. Nach verschiedenen Untersuchungen dominieren beim Sperrmüll mengenmäßig Holz und Verbunde wie Polstermöbel, Teppiche und Matratzen, sowie Kunststoffe (Verpackungen und Nichtverpackungen) und sonstiges [56]. Der Heizwert liegt deutlich über dem von Restabfall (14.000 - 15.000 MJ/Mg FS), der Anteil des regenerativen C am Gesamtkohlenstoff und der daraus resultierende Heizwert variiert stark je nach Zusammensetzung. Da Holz zumeist mit 30 - 40 % dominiert [57], ist ein Großteil des Kohlenstoffs im Sperrmüll **nicht-fossil**.

Ähnlich uneindeutig stellt sich die Situation hinsichtlich der Abfälle von öffentlichen Flächen dar. Garten- und Parkabfälle tragen je nach Jahreszeit wesentlich zum Organikgehalt und zum Gehalt an nachwachsenden Kohlenstoff bei, ebenso Laub, Papierkorb- und Marktabfälle. Straßenkehricht und Streumittel sind dagegen eher heizwertarm und tragen nur wenig regenerativen Kohlenstoff bei. Aufgrund des hohen Feuchtegehaltes dieser Abfallarten dürfte der Heizwert (H_u FS) eher niedrig sein.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass es derzeit nicht möglich ist, die rund 30 % der „sicheren Abfälle“, die nicht Restabfall sind, mit hinreichender Genauigkeit zu modellieren. Daher

wird vereinfachend für das gesamte Aufkommen an „sicheren Abfällen“ die Charakterisierung des sächsischen Restabfalls übernommen.

5.1.2.2 Zuordnung des Abfallaufkommens zu Anlagen

Dem in Tab. 20 wiedergegebenen Aufkommen sind die Planungen der örE für die Sicherstellung der Entsorgung im Jahr 2005 gegenüberzustellen. Tab. 21 zeigt eine Abschätzung des SMUL aus dem Jahr 2002 [58] für das Jahr 2005.

Tab. 21: Aufkommen an Abfällen zur Behandlung durch die örE ab 2005 und verfügbare/ geplante Abfallbehandlungskapazitäten im Freistaat Sachsen [58], aktualisiert (Stand 11/2002)

	Aufkommen in Sachsen① (Prognosejahr 2005)		Geplante, im Bau befindliche oder bereits **vorhandene** Kapazitäten in Sachsen (Stand 03/2002)		Vom örE beim privaten Anlagenbetreiber gebundene Kapazitäten (Mg/a)
ÖrE	"Sichere Abfälle" (Tab. 20) (Mg/a)	„Unsichere Abfälle" (Tab. 20) (Mg/a)	örE und kommunale Eigengesellschaften (Mg/a)	Private Anlagenbetreiber (Mg/a)	
ZAS②	63.400	33.800			
AWVC	100.950	56.430		RTS: 100.000	100.000
EVV	40.410	18.780	65.000		
ZAZ	34.950	36.990	45.000		
ZAOE	170.340	72.680		Herhof: 130.000	85-115.000③
Dresden	siehe ZAOE		**85.000**	Herhof: 115.000	85-115.000
RAVON	92.440	47.460		STEAG/VEAG: 225.000	110.000
AVN④	20.940	20.180			
ZAW	149.790	75.170	300.000⑤		
Hoyerswerda	6.620	3.380		SVZ: **110.000**	10.000
Delitzsch	15.030	16.670	70.000-80.000		
Summen	694.870②	381.540	~570.000	~680.000	~420.000
Summen	**--------- 1.012.740 ---------**		**---------- 1.250.000 ----------**		

① Über Abfälle außerhalb des Freistaates Sachsen liegen keine Informationen vor.
② Gemäß Beschluß des ZAS werden seine Abfälle (70.000 Mg/a) in einer privaten Anlage außerhalb des Freistaates behandelt. Daher werden ZAS-Mengen auch in der Summe nicht berücksichtigt.
③ Der ZAOE hat sich verpflichtet, 15 Jahre lang zwischen 85.000 und 115.000 Tonnen zu liefern. Eine Mindestmenge ist nicht vereinbart worden [59].
④ Ausschreibung vorgesehen, aber noch nicht begonnen (vorgesehene Abnahmemenge 30.000 bis 35.000 Mg)
⑤ Die Fa. SITA hat sich vertraglich verpflichtet, 150.000 Mg auszulasten oder bei Fehlmengen ersatzweise Zahlung zu leisten.

Diese Aufstellung zeigt, dass ausreichend Anlagenkapazitäten für die Behandlung der „sicheren“ und auch der „unsicheren“ Abfälle im Jahr 2005 im Freistaat Sachsen geplant sind. Da sich sogar Überkapazitäten abzeichnen und auch im angrenzenden Bundesland weitere thermische Kapazitäten in Planung sind (Zorbau, TREA Leuna), ist die Entsorgungssicherheit nicht nur für die Behandlung der genannten Abfälle vorhanden, sondern es scheinen auf den ersten Blick auch ausreichend Kapazitäten für die Abnahme der erzeugten heizwertreichen Fraktionen gegeben. Hier ist allerdings auf die Risiken hinzuweisen, die z.B. für die Realisierung von thermischen Anlage besteht, siehe die ruhende Ausschreibung der MVA Delitzsch oder die Aufgabe des Projektes Lippendorf, vgl. Seite 14. Beim SVZ ist ungewiss, ob die energetisch wenig effektive Mitverarbeitung von Restabfall oder daraus erzeugten Pellets zukünftig noch zur Firmenstrategie des neuen Eigentümers Oresto gehören wird [60]:

> „Bei einer Anhörung des Umweltausschusses im Berliner Abgeordnetenhaus im November (2002, A.d.V.) erklärte eine Oresto-Vertreter, das SVZ sei in der Vergangenheit weit überschätzt worden. Für die Sicherung der Grundlast in der Abfallentsorgung sei die Anlage nicht geeignet; das Verfahren der Abfallvergasung im Vergleich zu herkömmlichen Müllverbrennungsanlagen nicht konkurrenzfähig. Das SVZ werde nur als „Premium-Anlage mit einer Premium-Leistung und mit Premium-Entsorgungspreisen“ eine wirtschaftliche Zukunft haben.“

5.1.2.3 Berücksichtigung der Transporte

Für die sich für 2005 abzeichnenden Entsorgungslösungen fallen teilweise erheblich höhere Transportaufwendungen als im Bezugsjahr 2000 an. Im Rahmen der Methodenentwicklung in Teil 1 [8] wurden bei der Restabfallbehandlung die Transporte mit Standardwerten berücksichtigt. Dabei erwies sich der Einfluss des Transportes auf das Gesamtergebnis der Klimarelevanz als gering. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit neueren Untersuchungen z.B. des Öko-Instituts über den „Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung“ [14]. Danach betragen die Transportemissionen im Mittel z.B. nur ~0,3 % der klimarelevanten Emissionen der Müllverbrennung (Summe über alle deutschen MVAs, ohne Last- und Gutschriften, sondern reine Prozessemissionen), was als „nahezu unbedeutend“ eingestuft wird. Lokal kann sich dies anders darstellen.

Die Sensitivitätsbetrachtung in Teil 1 ergab:

- MVA-Varianten: Insbesondere bei der „schlechten“ MVA (MVA3, nur Stromauskopplung) kann der Transport ergebnisrelevant werden, während bei der „guten“ MVA (Strom- + Fernwärmeauskopplung) selbst Ferntransporte über 100 km und mehr das Ergebnis nur wenig beeinflussen.
- MBS/MBA-Varianten: Der Beitrag der Transporte kann in Einzelfällen 10 % des Ergebnisses überschreiten.

Für die Abschätzung der klimarelevanten Emissionen durch die Transporte ergibt sich das Problem, dass nicht detailliert aufgesplittet werden kann, in welchem Umfang die unter-

schiedlichen Umladestationen im Bezugsjahr 2000 angefahren wurden. Auch ist nicht festzustellen, welche Mengen die örE direkt zu den verschiedene Deponien in ihrem Entsorgungsgebiet verbracht haben. Aufgrund der jeweiligen Größe der Verbandsgebiete lässt sich aber abschätzen, dass die Transportenfernungen in aller Regel im Mittel unter 50 km gelegen haben dürften. Diese Transporte sind in die Abschätzung der klimarelevanten Emissionen in 2000 nicht eingeflossen, sondern es wurden lediglich die ablagerungsbedingten Emissionen berücksichtigt.

Folglich kann für die Betrachtung der transportbedingten Emissionen im Jahr 2005 nur der **Mehraufwand** an Transportleistungen gegenüber dem Jahr 2000 herangezogen werden.

Um die **Veränderung** in 2005 gegenüber dem Jahr 2000 zu berechnen, sollen daher vereinfachend nur die Transportleistungen berücksichtigt werden, die einen Entfernung oberhalb von 50 km (einfache Strecke) aufweisen. Für Entfernungen unter oder gleich 50 km wird angenommen, dass sie in diesem Umfang auch im Jahr 2000 stattgefunden haben und dass zudem ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis nicht relevant ist.

Nach den vorliegenden Erkenntnissen sind für einige der geplanten Entsorgungslösungen mittlere Transportentfernungen für den Abfall oder Teilfraktionen oberhalb von 50 km zu erwarten, wie Tab. 22 zeigt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass für die Transporte die schnellste und nicht die kürzeste Fahrstrecke ausgewählt wird. Für die Berechnung der Transportentfernungen wurde das Programm Marco Polo Travel Center 3.01 verwendet.

Tab. 22: Mittlere Transportentfernungen (einfache Fahrt) für die für 2005 die geplanten Entsorgungslösungen (wenn Mittelwerte, dann ungewichtet ohne Berücksichtigung der Mengen)

örE	**Ausgangsanlage(n) (Input = 1 Mg)**	**Abnehmende Anlage(n)**	**Transportierte Masse**	**Entfernung ca.**
ZAS	Umladestationen im Verbandsgebiet	Zorbau (Sachsen-Anhalt)	1,0 Mg	50 - 100 km
AWVC (Chemnitz)	MA Chemnitz	Inertien/Schwergut DK I-Abfall DK II-Abfall Pellets: SVZ DK I-Abfall SVZ	0,17 Mg ~0,5 Mg 0,188 Mg/Mg P.	90 km 90 km 150 km Ø 110km 162 km 5 km
EVV	MBA, Standort Deponie Schneidenbach	Hochkalorik in • SVZ oder • MVA Lauta • MVA Leuna Deponiegut • Deponie Zobes oder Schneidenbach	 ? (0,3 - 0,4 Mg) ? (0,3 - 0,4 Mg) ? (0,3 - 0,4 Mg) ? (0,295 Mg) ? (0,295 Mg)	 221 km 194 km 151 km 22 km 0 km

örE	Ausgangsanlage(n) (Input = 1 Mg)	Abnehmende Anlage(n)	Transportierte Masse	Entfer-nung ca.
ZAZ	MA, Standort Deponie Lohe	SVZ DK I-Abfall SVZ DK II-Abfall SVZ	? (0,4 - 0,6 Mg) (0,188 Mg/Mg P.) (0,01 Mg/Mg P.)	202 km 5 km 56 km
ZAOE	MBS **G**röbern (bei Meissen)	Anteil Stabilat: MVA Lauta Anteil Stabilat: Kraftwerk Jänschwalde	(?) (?)	96 km 184 km
Stadt Dresden	MBS Dresden	SVZ (Schwarze Pumpe)	0,48 Mg	96 km
RAVON	Umladestation Bergen Umladestation Großröhrsdorf Bischofswerda Umladestation Weißwasser Bautzen Löbau Niesky Görlitz Zittau **im Mittel (ungewichtet)**	MVA Lauta	1,0 Mg	12 km 43 km 45 km 49 km 50 km 71 km 85 km 92 km 98 km **≤ 50 km**
AVN	***offen*** Dep./Umladestat. Hohenlauft Dep./Umladestat. Hohenlauft Dep./Umladestat. Rechau-Zöschau [61] Dep./Umladestat. Rechau-Zöschau [61] Dep./Umladestat. Torgau Dep./Umladestat. Torgau **im Mittel (ungewichtet)**	 MVA Lauta MVA Leuna MVA Lauta MVA Leuna MVA Lauta MVA Leuna	1,0	**?** 115 km 118 km 129 km 119 km 88 km 100 km **112 km**
ZAW (Leipzig)	MBA **C**röbern	MVA Delitzsch	? (0,3 - 0,4 Mg)	34 km
Stadt Hoyerswerda	-	SVZ (Schwarze Pumpe)	1,0 Mg	< 20 km
LK Delitzsch	- MVA Delitzsch	MBA **C**röbern	1,0 Mg ? (0,3 - 0,4 Mg)	34 km 34 km

5.1.2.4 Modellierung der Restabfallentsorgung 2005 und Folgejahre für die Berechnung der Klimarelevanz

Für die durchzuführenden Abschätzungen sind die im Jahr 2005 anfallenden Abfallarten jeweils einer modellierten Anlage oder Anlagenkonstellation zuzuordnen. Darüber hinaus ist auch der Zeithorizont zu beachten. Die meisten der berechneten Verfahren werden nicht vor dem Stichtag der AbfAblV (1.6.2005) in (Dauer-)Betrieb gehen. Zwar ist die MBS Dresden bereits seit Mai 2002 in Betrieb und dürfte ab dem Jahr 2003 die ausgelegte Kapazität von 85.000 Mg/a auch erreichen. Weiter könnte ab dem Jahr 2004 die MVA Lauta bereits einen Teil der anfallenden Abfälle (Annahme: max. 50.000 Mg/a) thermisch behandeln, bevor sie im Jahr 2005 in Dauerbetrieb geht.

Für die anderen Lösungen, sowohl MBS/MA/MBA als auch thermische Anlagen, kann der Beginn der Behandlung mit dem 1.6.2005 angenommen werden. D.h. die bis zum 31.5.2005 anfallenden Abfälle werden bis zu diesem Stichtag noch als auf Deponien verbracht berechnet. Dadurch wird – sofern nicht anders ausgewiesen (s.o.) – ein Verhältnis von Deponierung zu anderern Behandlungsmaßnahmen von vereinfacht 1 : 1 für das Jahr 2005 gerechnet (eigentlich 5 : 7, aber es wird mit fließenden Übergängen gerechnet). Hinzu kommt das aus den Splitting-MBAs zur Ablagerung gelangende Rottegut, das mengen- und emissionsmäßig eher gering ins Gewicht fällt. Daher wird im Weiteren auch der Effekt für ein volles Jahr (in diesem Fall das darauffolgende) mit ausgewiesen.

Tab. 23 zeigt die für die folgenden Abschätzungen angenommenen Daten. Bei den Transporten werden nur die **Mehr**transporte gegenüber dem Bezugsjahr 2000 abgeschätzt. Dabei wird für jeden örE nur der Aufwand, der 50 km (einfache Fahrt) überschreitet, angerechnet. „0 km“ bedeutet daher, dass das gesamte Transportaufkommen nicht höher eingeschätzt wird als das im Jahr 2000. Massenströme zur Ablagerung kleiner 5 % wurden nicht berücksichtigt.

Tab. 23: Restabfallentsorgung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005: Mengenaufkommen und Zuordnung zu Behandlungsanlagen sowie modellierter Mengensplit in % vom Input sowie Transport**mehr**aufwand gegenüber 2000

örE	"Sichere Abfälle" (Tab. 20) (Mg/a)	Erstbehand-lungsanlage	energetische Verwertung/ thermische Behandlung	Ablagerung nach AbfAblV/TASi	Transport**mehr**-aufwand (Σ alle Be-handlungsstufen), hin + rück
ZAS	63.400	MVA (100 %)	-	Filterstaub 2,4 %	2·25 km/Mg
AWVC	100.950	MA (100 %)	SVZ (50 %)	0,188 Mg/Mg Pellet = 18,8 %	50 %·112·2 km/Mg + 50 %·18,8 %· 5·2 km/Mg
EVV	40.410	MBA (100 %)	MVA① (36 %)	Schneiden-bach (15 %) Zobes (15 %	36 %·144·2 km/Mg oder 36 %·101·2 km/Mg
ZAZ	34.950	MA (100 %)	SVZ (53 %)	0,188 Mg/Mg Pellet = 18,8 %	53 %·152·2 km/Mg + 18,8 %·5·2 km ·53 %·0,6
ZAOE (ohne Dresden)	85.340②	MBS (100 %)	MVA 26,5 % KRA 26,5 %	Inertien 10,9 % am Standort	26,5 %·46·2 km/Mg + 26,5 %·144·2 km/Mg
➢ Dresden	85.000	MBS (100 %)	SVZ (0,48)	Inertien 10,9 % am Standort	48 %·46·2 km/Mg
RAVON	92.440	MVA (100 %)	-	Filterstaub 2,4 %	0 km/Mg
AVN	20.940	MVA① (100 %)	-	Filterstaub 2,4 %	2·62 km/Mg
ZAW	149.790	MBA (100 %)	MVA (36 %)	**C**röbern (30 %)	0 km/Mg
Hoyers-werda	6.620	-	SVZ (100 %)	0,188 Mg/Mg Pellet = 18,8 %	18,8 %·5·2 km ·53 %·0,6
Delitzsch	15.030	MBA (100 %)	MVA (36 %)	**C**röbern (30 %)	0 km/Mg

① Festlegung durch Autoren dieser Studie in Abstimmung mit dem Auftraggeber

② ZAOE: 170.340 Mg abzgl. 85.000 Mg in Dresden

5.1.2.5 Berechnung der Klimarelevanz der modellierten Restabfallentsorgung 2005 und Folgejahre

Für die weitere Berechnung werden die Daten der Tab. 23 für die Entsorgungslösungen aggregiert, für die nur Daten für eine Anlage oder einen Anlagentyp zur Verfügung stehen.

5.1.2.5.1 Restabfallverbrennung (MVA)

Aus Tab. 23 geht hervor, dass zwei örE mit einem Aufkommen von insgesamt 155.840 Mg im Jahr 2005 ihren Restabfall („sichere Abfälle“) in MVAs verbringen wollen, davon 63.400 Mg in eine Anlage außerhalb Sachsens. Da für diese keine belastbaren Daten vorliegen, wurde auf die Modellierung einer weiteren MVA für die Abschätzung verzichtet. Ein dritter örE mit 20.940 Mg wurde von den Gutachtern in Absprache mit dem Auftraggeber ebenfalls einer MVA-Lösung zugeordnet. Somit beträgt das voraussichtliche Aufkommen an „sicheren Abfällen, die ab dem Jahr 2005 in die Müllverbrennung verbracht werden, 176.780 Mg. Verglichen mit den Transporten im Jahr 2000 bringt dies einen Transportmehraufwand von 5.766.560 tkm entsprechend 32,6 km/Mg Abfall mit sich (Datenbasis: Tab. 22 und Tab. 23).

Mangels verfügbarer Daten zu den in Bau und in Planung befindlichen MVAs wurde eine MVA mit den Daten der Tab. 7 modelliert.

Die Berechnung des Klimaeffektes der Behandlung von einer Tonne „sicheren Abfalls“ (vgl. Kapitel 5.1.2.1) ergab folgendes Resultat:

Treibhauspotenzial (GWP) insgesamt	-166,5 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Anlage	-169,5 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte	3,0 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

Die Struktur der Ergebnisse zeigt Tab. 24. Auf Wunsch des Auftraggebers wird im Folgenden auch ausgewiesen, wie die Ergebnisse ohne die Parameter CO, NOx und NMVOC ausfallen. Die Zahlen sind gerundet, daher können bei der Summenbildung Differenzen auftreten.

Aus den angegebenen massenspezifischen Emissionswerten errechnet sich für die Restabfallentsorgung der drei örE in der Müllverbrennung eine Klimaentlastung von -29.436 Mg CO_2-Äquivalente für das gesamte Jahr 2005 (gegenüber dem Jahr 2000). Sollte diese Entsorgungslösung erst in der zweiten Jahreshälfte 2005 „greifen“, wären die errechneten Effekte nur im zweiten Halbjahr anzusetzen. In der Summe beträgt die **Klimaentlastung** durch die Müllverbrennung bei den drei örE

-14.718 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2005 (nur 2. Halbjahr).

Tab. 24: Struktur der Ergebnisse zur Berechnung der Klimarelevanz der Restabfallverbrennung (MVA), in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter	Parameter ohne CO, NOx, NMVOC	
Lastschriften:			
• Emissionen	254	250	98%
• Heizölverbrauch	1,5	1,4	99%
• RGR	18	17	94%
Summe Lastschriften	**273**	**268**	98%
Gutschriften:			
• Stromauskopplung	-443	-440	99%
Summe Gutschriften	**-443**	**-440**	99%
Summe Anlage	**-170**	**-171**	101%
Transport Abfall	3,0	2,9	96%
Summe über alles	**-167**	**-168**	101%

In den Folgejahren fallen jeweils die vollen Beträge von -29.436 Mg CO_2-Äquivalente oder entsprechend angepasst an das Abfallaufkommen pro Jahr an. Sollte die MVA außerhalb Sachsens, an die einer der örE liefern will, ein besseres Energienutzungskonzept aufweisen als die modellierte Anlage (z.B. eine zusätzliche Wärmenutzung), würde der klimaentlastende Effekt weit höher ausfallen. Gleiches gilt für die sächsische MVA, falls sie einen Abnehmer für die anfallende Wärmeenergie findet.

5.1.2.5.2 Mechanische Aufbereitung (MA) und Verwertung

Im Jahr 2005 wollen zwei örE ihr gesamtes Restabfallaufkommen („sichere Abfälle“, 135.900 Mg) mechanisch aufbereiten und die abgetrennte hochkalorische Fraktion (53 %) oder die daraus erzeugten Pellets (50 % des Inputs, geschätzt) anschließend zur Verwertung ins SVZ verbringen. Verglichen mit den Transporten im Jahr 2000 zieht dies einen Transportmehraufwand von 17.109.864 tkm entsprechend 126 km/Mg nach sich (Datenbasis: Tab. 22 und Tab. 23).

Mangels verfügbarer Daten zu den in Bau und in Planung befindlichen Mechanischen Aufbereitungsanlagen wurden zwei MAs in Anlehnung an MBS-Anlagen modelliert. In dem einen Fall wurde in der MA pelletiert, in dem anderen nicht (unterschiedliche Energieverbräuche und Outputs, s.o.). Weiter wurde die Verbringung der hochkalorischen Fraktion (15.000 MJ/Mg)/Pellets ins SVZ in Anhang 4 und Anhang 5 modelliert. Die verwendeten Daten zur MA sind in Anhang 2 wiedergegeben.

Die Berechnung des Klimaeffektes der Behandlung von einer Tonne „sicheren Abfalls“ (vgl. Kapitel 5.1.2.1) ergab folgendes Resultat:

GWP, nur örE 1 (MA-Pellets ans SVZ)	-130,9	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur örE 2 (MA + SVZ, dort Pelletierung)	-53,2	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte Anlage 1	13,2	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte Anlage 2	8,7	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

Tab. 25 zeigt die Struktur der Ergebnisse mit und ohne CO, NOx und NMVOC. Die Ergebnisse für örE 2 für die Anlagenkombination MA + SVZ mit Pelletierung dort fallen schlechter aus als für örE 1. Zwar ist der Energieaufwand für die Pelletierung im SVZ niedriger als in der modellierten MA. Dort wurde er mit 75 kWh/Mg Restabfall, wie für eine vergleichbare MBS mitgeteilt, an die sich die Modellierung der MA für örE 2 anlehnt, angesetzt. Im SVZ beträgt er 78,2 kWh pro Mg Input. Da der Input in diesem Fall aber nur 530 kg hochkalorische Fraktion/Mg Restabfall ausmacht, fällt der Aufwand bezogen auf den Restabfall, der in die MA gelangt, mit 41,4 kWh/Mg Restabfall vergleichsweise gering ins Gewicht. Dieser geringere Massenstrom für örE 2, der in die Verwertung gelangt – 318 kg Pellet aus 1 Mg Restabfall –, macht sich aber auch mit geringeren Gutschriften für Methanol und Strom bemerkbar. Auf die Datenunsicherheiten der Modellierung des SVZ ist bereits hingewiesen worden.

Für örE1 stellt sich die Situation vor allem deswegen besser dar, weil die Massenbilanz seiner MA zu einem höheren Input ins SVZ führt als bei örE2. Während vom örE 1 50 % des Restabfalls als Pellet vergast werden, sind dies beim örE 2 nur 318 kg/Mg Restabfall. Dies liegt an den vom SVZ mitgeteilten Daten für die Ausbeute der Pelletierung einer hochkalorischen Fraktion von 0,6 Mg Pellet aus 1 Mg Input. Die Unstimmigkeiten der Bilanzdaten für die Pelletierung konnten aber mit dem SVZ nicht geklärt werden (4.1.6.2).

Aus den angeführten Resultaten errechnet sich *summa summarum* eine Klimaentlastung von für die beiden örE von -9.948 Mg CO_2-Äquivalente für das gesamte Jahr 2005 (gegenüber dem Jahr 2000). Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass diese Entsorgungslösung erst in der zweiten Jahreshälfte 2005 „greift“, die errechneten Effekte also nur im zweiten Halbjahr anzusetzen sind. In der Summe beträgt die **Klimaentlastung** durch die gewählte Verfahrenskombination bei den zwei örE

-4.974 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2005 (nur 2. Halbjahr).

In den Folgejahren fallen dann jeweils die vollen Beträge von -9.948 Mg CO_2-Äquivalente oder entsprechend angepasst an das Abfallaufkommen pro Jahr an.

Tab. 25: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanischen Aufbereitung (MA) und Verwertung, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter		ohne CO, NOx und NMVOC			
	örE 1	**örE 2**	**örE 1**		**örE 2**	
Pelletierung	in MA	im SVZ	in MA		im SVZ	
Mechanische Aufbereitungsanlage (MA), kg/Mg Restabfall						
Lastschriften:						
Emissionen	68	68	65	97%	65	97%
Stromverbrauch	119	53	118	99%	52	99%
Gasverbrauch	13	13	13	99%	13	99%
Summe Lastschriften MA	199	133	196	98%	131	98%
Gutschriften:						
Fe-Metallabtrennung	-36	-36	-33	93%	-33	93%
NE-Metallabtrennung	-4	-4	-4	97%	-4	97%
Summe Gutschriften MA	-40	-40	-37	93%	-37	93%
Ergebnis MA, kg/Mg Restabfall	160	94	159	100%	94	100%
SVZ, kg/Mg Pellet						
Lastschriften:						
Emissionen	1.013	1.013	1.013	100%	1.013	100%
Steinkohle	116	116	115	99%	115	99%
Stromverbrauch	199	313	197	99%	311	99%
Erdgas Abgasrein. Pelletierung	0	17	0		17	100%
RGR	7	8	7	94%	8	94%
Summe Lastschriften SVZ	1.335	1.468	1.331	100%	1.464	100%
Gutschriften:						
Stromauskopplung	-220	-220	-218	99%	-218	99%
Methanolerzeugung	-1.696	-1.696	-1.695	100%	-1.695	100%
Fe-Metallabtrennung	0	-7	0		-6	93%
NE-Metallabtrennung	0	-7	0		-7	97%
Summe Gutschriften SVZ	-1.915	-1.929	-1.913	100%	-1.926	100%
Ergebnis SVZ, kg/Mg Pellet	-581	-461	-582	100%	-463	100%
Input Pellet in kg/Mg Restabfall	500	318	500	100%	318	100%
Ergebnis SVZ, kg/Mg Restabfall	-290	-147	-291	100%	-147	100%
Summe Anlagen	-130,9	-53,2	-131,8	101%	-53,5	101%
Transporte:						
Transporte Output zur Beseit.	13,2	8,7	12,6	96%	8,4	96%
Summe Transporte	13,2	8,7	12,6	96%	8,4	96%
Summe Anlagen + Transporte	-117,6	-44,4	-119,2	101%	-45,2	102%

5.1.2.5.3 Mechanisch-biologische Stabilisierung (MBS) und Verwertung

Im Jahr 2005 wollen zwei örE ihren Restabfall („sichere Abfälle“) mit einem Gesamtaufkommen an ebenfalls 135.900 Mg in zwei MBS-Anlagen verbringen. In dem einen Fall wird die abgetrennte hochkalorische Fraktion pelletiert (48 % des Inputs) und zur Verwertung ins SVZ verbracht (seit Mai 2002). In dem anderen Fall ist keine Pelletierung vorgesehen, sondern eine Aufteilung des anfallenden hochkalorischen Materials auf eine MVA und auf ein Kraftwerk (Mengen- oder Materialsplit noch unklar). Ein weiterer *Material*split würde eine zusätzliche Aufbereitung erfordern (z.B. weitere Siebung, Windsichtung) und würde damit den Energiebedarf der Anlage erhöhen. Im Folgenden wird von einem *Mengen*split ausgegangen. Bei einem Mengensplit von 50 : 50 für die letztgenannte Stabilisierungsanlage fiele verglichen mit den Transporten im Jahr 2000 ein Transportmehraufwand von 12.347.338 tkm entsprechend 72 km/Mg Restabfall an (Basis: Tab. 22 und Tab. 23). Eine der beiden MBS-Anlagen ist bereits in Betrieb (örE 1), die zweite Anlage wird vom gleichen Hersteller, aber mit anderer Konfektionierung für die Abnehmer des Stabilats (keine Pelletierung) gebaut werden (örE 2). Die verwendeten Daten (MBS1 und MBS2) sind im Anhang 1 wiedergegeben. Die Berechnung des Klimaeffektes der Behandlung von einer Tonne „sicheren Abfalls“ (vgl. Kapitel 5.1.2.1) ergab folgendes Resultat:

GWP, nur örE 1 (MBS + SVZ)	-138,1	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur örE 2 (MBS + MVA/Kraftwerk)	-114,6	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte, örE 1	4,8	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte, örE 2	5,0	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

Tab. 26 und Tab. 27 zeigen die Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanisch-biologischen Stabilisierung (MBS) und Verwertung sowie den – rechnerisch nicht bedeutenden – Einfluss der Parameter CO, NOx und NMVOC auf das Ergebnis. Auf die Datenunsicherheiten hinsichtlich der Modellierung des SVZ ist bereits hingewiesen worden.

Tab. 26: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanisch-biologischen Stabilisierung (MBS) und Verwertung, örE 1, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter	ohne CO, NOx, NMVOC	
Mechanisch-biologische Stabilisierungsanlage (MBS), kg/Mg Restabfall			
Lastschriften:			
Emissionen	68	65	97%
Stromverbrauch	106	105	99%
Gasverbrauch	13	13	99%
Summe Lastschriften MBS	186	183	98%
Gutschriften:			
Fe-Metallabtrennung	-38	-36	93%
NE-Metallabtrennung	-7	-7	97%
Summe Gutschriften MBS	-45	-42	93%
Ergebnis MBS, kg/Mg Restabfall	141	141	100%
SVZ, kg/Mg Pellet			
Lastschriften:			
Emissionen	1.013	1.013	100%
Steinkohle	116	115	99%
Stromverbrauch	199	197	99%
RGR	7	7	94%
Summe Lastschriften SVZ	1.335	1.331	100%
Gutschriften:			
Stromauskopplung	-220	-218	99%
Methanol	-1.696	-1.695	100%
Summe Gutschriften SVZ	-1.915	-1.913	100%
Ergebnis SVZ, kg/Mg Pellet	-581	-582	101%
Input Pellet in kg/Mg Restabfall	480	480	
Ergebnis SVZ, kg/Mg Restabfall	-279	-279	101%
Summe Anlagen	-138	-139	103%
Transporte			
Transporte Output zur Beseitigung	4,8	4,6	96%
Summe Transporte	4,8	4,6	96%
Summe Anlagen + Transporte	-133	-134	101%

Tab. 27: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz der Mechanisch-biologischen Stabilisierung (MBS) und Verwertung, örE 2, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter	ohne CO, NOx, NMVOC	
Mechanisch-biologische Stabilisierungsanlage (MBS), kg/Mg Restabfall			
Lastschriften:			
Emissionen	68	65	97%
Stromverbrauch	62	61	99%
Gasverbrauch	13	13	99%
Summe Lastschriften MBS	142	139	98%
Gutschriften:			
Fe-Metallabtrennung	-38	-36	93%
NE-Metallabtrennung	-7,1	-6,9	97%
Summe Gutschriften MBS	-45	-42	93%
Ergebnis MBS), kg/Mg Restabfall	97	97	100%
Kraftwerk			
Lastschriften:			
Emissionen	907	887	98%
Stromverbrauch	158	156	99%
RGR	0,1	0,1	97%
Summe Lastschriften Kraftwerk	1.064	1.044	98%
Gutschriften:			
Stromauskopplung	-1.163	-1.154	99%
Fernwärmeauskopplung	-382	-378	99%
Klinkerersatz	-127	-126	99%
Summe Gutschriften Kraftwerk	-1.671	-1.658	99%
Ergebnis Kraftwerk, kg/Mg Hochkalorik	-607	-614	101%
Input Hochkalorik in kg/Mg Restabfall	265	265	100%
Ergebnis Kraftwerk, kg/Mg Restabfall	-161	-163	101%
Müllverbrennungsanlage			
Lastschriften:			
Emissionen	612	608	99%
Heizölverbrauch	0,8	0,8	99%
RGR	18	17	94%
Summe Lastschriften MVA	630	626	99%
Gutschriften:			
Stromauskopplung	-821	-815	99%
Summe Gutschriften MVA	-821	-815	99%
Ergebnis MVA, kg/Mg Hochkalorik	-190	-189	99%
Input Hochkalorik in kg/Mg Restabfall	0,265	0,265	100%
Ergebnis MVA, kg/Mg Restabfall	-50	-50	99%
Ergebnis Anlagen	-115	-116	101%

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter	ohne CO, NOx, NMVOC	
Transporte Output zur Beseitigung	5,0	4,8	96%
Summe Transporte	5,0	4,8	96%
Summe Anlagen + Transporte	-110	-111	102%

Aus diesen Daten errechnet sich eine Klimaentlastung von -20.684 Mg CO_2-Äquivalente für das gesamte Jahr 2005 (gegenüber dem Jahr 2000). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Entsorgungslösung für örE 2 erst in der zweiten Jahreshälfte 2005 „greift", die errechneten Effekte hier also nur im zweiten Halbjahr anzusetzen sind. In der Summe beträgt die **Klimaentlastung** durch die gewählte Verfahrenskombination bei den zwei örE

-16.006 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2005 (nur 2. Halbjahr).

In den Folgejahren fallen dann jeweils die vollen Beträge von -20.684 Mg CO_2-Äquivalente oder entsprechend angepasst an das Abfallaufkommen pro Jahr an.

Sollte die MVA neben Strom auch noch Wärme oder Prozessdampf auskoppeln, würde sich die Einsparung an klimarelevanten Emissionen deutlich erhöhen (siehe Kapitel 5.1.2.5.4).

5.1.2.5.4 Mechanisch-biologisches Splitting (MBA) und Verwertung/Deponierung

Im Jahr 2005 wollen insgesamt drei örE mit einem Gesamtaufkommen an 204.960 Mg ihren Restabfall („sichere Abfälle") in MBAs verbringen. Zwei der drei örE wollen eine MBA auf dem Gebiet des einen örE bauen und die dort erzeugte hochkalorische Fraktion (36 % des Inputs) anschließend zur thermischen Behandlung in die MVA des anderen örE verbringen. Der dritte örE (örE 3) hat noch keine Festlegungen bzgl. des Verbleibs der hochkalorischen Fraktion aus seiner MBA getroffen. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird hier ebenfalls die Verbringung in eine MVA angesetzt. Verglichen mit den Transporten im Jahr 2000 resultiert hieraus ein Transportmehraufwand von 2.938.615 tkm entsprechend 14 km/Mg Restabfall (Datenbasis: Tab. 22 und Tab. 23). In diesem besonderen Fall werden die Transportaufwendungen aber den einzelnen örE zugeordnet. Für die beiden erstgenannten örE ist der Transportmehraufwand gegenüber 2000 nicht relevant. Für den örE 3 wird eine MVA mit Prozessdampfauskopplung modelliert. Der Transportmehraufwand nur für diesen beträgt örE 73 km/Mg Restabfall.

Da keine konkreten Anlagenplanungen vorliegen, musste hier auf Annahmen und Abschätzungen zurückgegriffen werden. Die Splitting-Anlagen wurden anhand der Modellanlage in Anhang 3, die MVA mit den Daten der Tab. 7 modelliert. Bei der MVA wurden das Abgasvolumen und die Stromauskopplung dem höheren Heizwert angepasst (= erhöht), ebenso die Stützfeuerung (= erniedrigt). Die Emissionskonzentrationen für CO_2 gesamt und CO_2-klimarelevant wurden ebenfalls neu berechnet (Tab. 28), die übrigen Emisisonsdaten blieben unverändert.

Tab. 28: Modifizierung der MVA-Daten aus Tab. 7 für die Verbrennung der hochkalorischen Fraktion aus der MBA

Emissionskonzentrationen	in mg/Nm³	Emissionen in mg/Mg Abfall
CO_2-gesamt	185.629 ①	1.369.225.000
CO_2-klimarelevant	46.407 ①	342.306.250

① Berechnung: 383 kg C/Mg, 7.376 m³/Mg, 97,5 % Ausbrand = 185.629 mg CO_2/m³, davon 45 % fossil; Stützfeuerung aus Heizöl (fossil) wird separat berechnet

Für den örE 3 wurde angenommen, dass die Behandlung in einer näher gelegenen MVA außerhalb Sachsens stattfindet, (Transportentfernung einfache Strecke: 101 km anstelle von 144 km zur sächsischen MVA). Diese externe MVA plant die Auskopplung von Prozessdampf. Für die Berechnung wurde eine zusätzliche Prozessdampfauskopplung (netto) von 650 kWh/Mg Input bei ganzjähriger Abnahme durch ein Kraftwerk (Wirkungsgrad 35 %) angesetzt. Die Gutschriften für die Bereitstellung von Prozessdampf in Form vermiedener Emissionen wurden einer aktuellen Studie des Öko-Instituts [14] entnommen (Tab. 29).

Tab. 29: Gutschriften für Prozessdampferzeugung (Mix) in einer MVA, in mg/MJ

	Gutschriften für vermiedene Emissionen durch die Prozessdampferzeugung (Mix), nach [14]	
Emissionen	in mg/MJ	in mg/kWh
CO_2-klimarelevant	89.077	24.744
CH_4 (Methan)	257	71
N_2O (Lachgas)	16	4
NOx (als NO_2) Stickoxide	129	36

Die Berechnung des Klimaeffektes der Behandlung von einer Tonne „sicheren Abfalls“ (vgl. Kapitel 5.1.2.1) ergab folgendes Resultat:

GWP, nur Anlagen, örE 1 + 2	138,5 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Anlagen, örE 3	-198,2 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte, örE 1 + 2	0,0 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte, örE 3	9,3 kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

Tab. 30 zeigt die Struktur der Ergebnisse mit und ohne die Parameter CO, NOx und NMVOC. Es wird deutlich, dass im Falle der örE 1 und 2 die bei der Verbrennung in einer MVA erreichbaren Gutschriften aus der Stromerzeugung die Lastschriften der MBA nicht kompensieren können. Dies ist eine Folge des Energiekonzeptes der Anlage, die nur Strom auskoppelt und keinen Dampf oder Wärme. Sollte sich doch noch ein Abnehmer für die erzeugte Wärmeeneergie – wie angedacht – finden, würden die dafür zu erteilenden Gutschriften zu einer Klimaentlastung durch das Entsorgungskonzept der örE 1 und 2 führen.

Tab. 30: Struktur der Ergebnisse zur Klimarelevanz des Mechanisch-biologischen Splittings (MBA) und der Verwertung/Deponierung, in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

kg CO_2-Äq./Mg Restabfall für	alle Parameter		ohne CO, NOx, NMVOC			
	örE1+2	örE3	örE1+2		örE3	
Mechanisch-biologische Splittinganlage (MBA), kg/Mg Restabfall						
Lastschriften:						
Emissionen	71	71	67	94%	67	94%
Stromverbrauch	70	70	70	99%	70	99%
Gasverbrauch	13	13	13	99%	13	99%
Diesel Aggregate	3	3	2	91%	2	91%
Deponierung Rottegut	45	45	45	100%	45	100%
Summe Lastschriften MBA	203	203	198	98%	198	98%
Gutschriften:						
Fe-Metallabtrennung	-43	-43	-40	93%	-40	93%
NE-Metallabtrennung	-16	-16	-16	97%	-16	97%
Summe Gutschriften MBA	-59	-59	-56	94%	-56	94%
Ergebnis MBA, kg/Mg Restabfall	144	144	142	99%	142	99%
Müllverbrennungsanlage						
Lastschriften:						
Emissionen	620	346	616	99%	342	99%
Heizölverbrauch	1	1	1	99%	1	99%
RGR	18	18	17	6%	17	94%
Summe Lastschriften MVA	639	365	634	3%	360	99%
Gutschriften:						
Stromauskopplung	-653	-678	-649	99%	-673	99%
Prozessdampfauskopplung	0	-637	0		-630	99%
Summe Gutschriften MVA	-653	-1.315	-649	99%	-1.303	99%
Ergebnis MVA, kg/Mg Hochkalorik	-15	-950	-15	101%	-943	99%
Input Hochkalorik in kg/Mg Restabfall	360	360	360	100%	360	100%
Ergebnis MVA, kg/Mg Restabfall	-5	-342	-5	101%	-340	99%
Ergebnis Anlagen	138	-198	137	99%	-197	100%
Transporte						
Abfalltransport	0	0	0		0	
Transporte Output zur Beseitigung	0	9,3	0		8,9	96%
Summe Transporte	0	9,3	0		8,9	96%
Summe Anlagen + Transporte	138,5	-189	137	99%	-188	100%

Aus diesen Daten errechnet sich eine Klimabelastung von 15.246 Mg CO_2-Äquivalente (-7.581 Mg für örE 3 + 22.827 für örE 1+örE 2) für das gesamte Jahr 2005 (gegenüber dem Jahr 2000). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Entsorgungslösung erst in der zweiten Jahreshälfte 2005 „greift“, die errechneten Effekte hier also nur im zweiten Halbjahr anzuset-

zen sind. In der Summe beträgt die **Klimabelastung** durch die gewählte Verfahrenskombination bei den drei örE

7.623 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2005 (nur 2. Halbjahr).

In den Folgejahren fallen dann jeweils die vollen Beträge von 15.246 Mg CO_2-Äquivalente oder entsprechend angepasst an das Abfallaufkommen pro Jahr an. Für den Fall, dass auch örE 3 in eine MVA ohne Prozessdampfauskopplung liefert, würde dies ebenfalls zu einer Klimabelastung der geplanten Entsorgungslösung führen. Für den Fall, dass für die Anlage der örE 1 und 2 doch noch ein Abnehmer für die erzeugte Wärmeeneergie gefunden werden kann, würden die dafür zu erteilenden Gutschriften zu einer Klimaentlastung durch das Entsorgungskonzept der führen. Die Wahl des Energiekonzeptes der thermischen Anlage entscheidet darüber, ob durch die Verfahrenskombination MBA und Vewertung/Deponierung eine Klimabe- oder -entlastung durch die Abfallbehandlung erreicht wird.

5.1.2.5.5 Unaufbereiteter Restabfall zum SVZ

Eine Gebietskörperschaft hat eine vertragliche Vereinbarung der Übernahme der unaufbereiteten Restabfälle (6.620 Mg/a „sichere Abfälle“) zur Verwertung im SVZ. Der Transportmehraufwand dürfte wegen der räumlichen Nähe zu dieser Anlage eher unter dem Aufwand des Jahres 2000 liegen, wird hier aber mangels exakter Daten mit Null angesetzt. Der unbehandelte Restabfall soll im SVZ aufbereitet und pelletiert werden. Die vom SVZ zur Verfügung gestellten Daten zur Pelletierung von Restabfall und Vergasung dieser Pellets sind nicht plausibel, vgl. Kapitel 4.1.6.2. Daher wurde hier konservativ auf die Berechnung anhand der Daten für die Erzeugung und Vergasung von Pellets aus einer mechanisch aufbereiteten Fraktion – vgl. Kapitel 5.1.2.5.2, dort örE 2) zurückgegriffen, um die Berechnung des Klimaeffektes der Behandlung von einer Tonne „sicheren Abfalls“ (vgl. Kapitel 5.1.2.1) zu modellieren. Auch hier bestehen aber noch Datenunsicherheiten.

Treibhauspotenzial (GWP) insgesamt	-53,2	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Anlage (SVZ)	-53,2	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall
GWP, nur Transporte (nicht berechnet)	-	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

Aus diesen Daten errechnet sich eine Klimaentlastung von -352 Mg CO_2-Äq. für das gesamte Jahr 2005 (gegenüber dem Jahr 2000). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Entsorgungslösung erst in der zweiten Jahreshälfte 2005 „greift“, die errechneten Effekte hier also nur im zweiten Halbjahr anzusetzen sind. In der Summe beträgt die Klimaentlastung durch die gewählte Verfahrenskombination bei dem örE

-176 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2005 (nur 2. Halbjahr).

In den Folgejahren fallen dann jeweils die vollen Beträge von -352 Mg CO_2-Äquivalente oder entsprechend angepasst an das Abfallaufkommen pro Jahr an.

5.1.2.5.6 Deponierung/Deponiegasnutzung

5.1.2.5.6.1 Restemissionen

Für die ablagerungsbedingten Emissionen liegen Abschätzungen des LfUG vor (Gesamtemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2019). Die Daten für 2000 wurden auf Basis der Emissionserklärungen, die für 2001 und 2002 auf Basis des Anlagenbestandes überarbeitet. Die Menge der abgelagerten Abfälle bis 2004 wurde vom LfUG geschätzt – zeitlicher Verlauf der Ablagerungen je Deponie, Erhöhung für 2002 mit Bezug auf die hochwasserbedingten Abfälle auf den Deponien in den betroffenen Gebieten –, da offizielle Angaben noch nicht vorliegen [62].

Tab. 31 zeigt die errechneten Restemissionen. Die deutliche Verringerung zwischen dem Jahr 2001 und 2002 ist nach Angaben des LfUG [63] auf den Rückgang der abgelagerten Mengen (-40 %) zurückzuführen.

Tab. 31: Restemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2000 – 2005, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 [44], in 1.000 CO_2-Äq./a

Jahr	Kohlendioxid (CO_2) in 1.000 Mg	Methan (CH_4) in 1.000 Mg	Methan (CH_4) in 1.000 Mg CO_2-Äq.	**Summe in 1.000 Mg CO_2-Äq./a**
2000	613	244	5.621	6.234
2001	616	245	5.625	6.241
2002	579	242	5.559	6.138
2003	572	238	5.467	6.039
2004	559	231	5.304	5.862
2005	546	224	5.155	5.701

Nicht berücksichtigt sind hierin geplante Deponiegasnutzungen ab 2003 (s.u.).

5.1.2.5.6.2 Deponiegasnutzung

Für die Berechnung der Klimarelevanz sind die Planungen der örE hinsichtlich der thermischen Behandlung (Tab. 32) und energetischen Verwertung von Deponiegas (Tab. 33) zu berücksichtigen.

Tab. 32: Planungen zur Ausrüstung sächsischer Deponien mit Gasfackeln ab 2001

AZV	LK/SK	Deponie	Fackel ab	m³/h	Bemerkungen
RB Dresden					
RAVON	Löbau-Zittau	Niedercunnersdorf	2001	300	Gasnutzung hängt von Schließung ab
ZAOE	Weißeritzkreis	Saugrund ST2	2001	250	
RAVON	Kamenz	Bergen	12/02	k.A.	
RAVON	Niederschl. OLK	Grüne Fichte in Weißwasser	12/02	k.A.	
ZAOE	Riesa-Großenhain	Groptitz	im Bau 02	k.A.	
ZAOE	Weißeritzkreis	Cunnersdorf	geplant 04	250	
ZAOE	Meißen	Gröbern	kein Datum	k.A.	
RB Chemnitz					
AWVC	Freiberg	Freiberg, Hüttenstr.	2002	40-280	
AWVC	Mittweida	Penig "Am Pfaffenbusch"	02/01	25-30 in 2000 (0)	wahrscheinlich Gasaufkommen in 2005 gegen 0
ZAS	Annaberg-Buchholz	Himmlisch Heer	12/01	150	
ZAS	Aue-Schwarzenberg	Oelpfanner Weg	2003	150	nach Absaugversuchen 2002/2003
RB Leipzig					
AVN	Döbeln	Hohenlauft in Niederstriegis	04/02	~150	Fackel in Betrieb seit 04/02
AVN	Torgau-Oschatz	Süptitzer Weg in Torgau	geplant II/03	max. 120	
AVN	Torgau-Oschatz	Lüttnitz in Mügeln	kein Datum	k.A.	Gasplanung soll ab 06/02 erfolgen
ZAW	Leipziger Land	Groitzsch-Wischstauden, Audigast	kein Datum	k.A.	
Dz	Delitzsch	Spröda	kein Datum	k.A.	
ZAW	Leipziger Land	Geithain	kein Datum	k.A.	z.Zt. (2002) Absaugversuch

Tab. 33: Planungen zur Gasnutzung auf sächsischen Deponien ab 2001 – Ergebnisse einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Stand 07/02) und Abschätzung der aus Deponiegas zusätzlich ins Netz eingespeisten Strommenge [MWh]
MW_{el} = Nennleistung Motor(en) in MW; * Annahmen und Berechnungsgrundlage siehe Tab. 17

AZV	LK/SK	Deponie	Gasnutzung ab	MW_{el}	erzeugter Strom① [MWh] 2005
RB Dresden					
ZAOE	Dresden	Radeburger Straße	1997 / 2003	1,252 1,09	5.783
ZAOE	Meißen	Gröbern	2002	0,311	1.650
ZAOE	Riesa-Großenhain	Groptitz	2003	0,25	1.326
RB Chemnitz					
AWVC	Chemnitz Stadt	Weißer Weg	07/01 / 03/03	0,75 / 1,25	6.632 oder Gaslieferung für RABA, vgl. 5.1.6.3
AWVC	Mittl. Erzg. Kr.	Grießbach	10/02	k.A. [0,25-1]	1.326 - 5.305
EVV	Vogtlandkreis	Schneidenbach	2002	k.A. [0,25-1]	1.326 - 5.305
Summe				**18.000**	**– 26.000**

① angenommene Werte für 1.1.2005

Für die weitere Abschätzung wird angenommen, dass

- die Effekte der Gasfackeln und Gasmotoren bis einschließlich 2002 in den Berechnungen des LfUG bereits berücksichtigt sind,
- ab Februar 2003 auf der Deponie Süptitzer Weg eine Gasfackel mit rund 100 m³/h in Betrieb geht,
- ab 2004 auf der Deponie Saugrund ST2 eine Gasfackel mit rund 250 m³/h in Betrieb geht,
- ab 2005 die übrigen geplanten Fackeln mit insgesamt 1.000 m³/h Deponiegas thermisch behandeln.

Unter den oben getroffenen Annahmen können die rechnerisch zu erwartenden Restemissionen an klimarelevanten Gasen abgeschätzt werden. Tab. 34 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen.

Hierin sind die abgeschätzten Abfallmengen, die bis Mitte 2005 noch auf Deponien gelangen, ebenso enthalten wie die Emissionen an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2, aber

ohne FCKW) (vgl. Tab. 35), die durch die auf den Deponien nach in 2000 in Betrieb genommenen Gasfackeln und Gasmotoren (Tab. 33) voraussichtlich eingespart werden.

Tab. 34: Restemissionen von Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2000 bis 2005, einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2 (eigene Berechnungen für den Zeitraum ab 2003 auf der Basis der Daten des LfUG [44], einschließlich MBA-Rottegut aus zwei MBAs in der 2. Hälfte von 2005) [1.000 Mg CO_2-Äq./a]

Jahr	Kohlendioxid (CO_2)	Methan (CH_4)	Methan (CH_4)	**Summe inkl. geplanter Maßnahmen**	Summe ohne zusätzlich geplante Maßnahmen (Tab. 31)	Effekt der zusätzlich geplanten Maßnahmen
	1.000 Mg	-----	1.000 Mg		CO_2-Äq./a	-----
2000	613	244	5.621	6.234	6.234	-
2001	616	245	5.625	6.241	6.241	-
2002	579	242	5.559	6.138	6.138	-
2003	572	238	5.467	6.021	6.039	0,3%
2004	559	231	5.304	5.827	5.862	0,6%
2005	546	224	5.155	5.591	5.701	1,9%

Tab. 35: Im Freistaat Sachsen auf Deponien durch Gasfackeln und Gasmotoren voraussichtlich eingesparte Emissionen (= negative Werte) an klimarelevanten Gasen (Methan und CO_2, aber ohne FCKW) [Mg CO_2-Äq./a]

Jahr	Durch das Abfackeln eingesparte Menge aus CH_4 (Mg CO_2-Äq./a)	Bilanz Fackeln abzgl. dabei gebildetes CO_2 (Mg/a)	Durch das Verwerten eingesparte Menge aus CH_4 (Mg CO_2-Äq./a)	Bilanz Verwertung abzgl. dabei gebildetes CO_2 (Mg CO_2-Äq./a)	**Bilanz thermische Behandlung insgesamt (Mg CO_2-Äq./a)**	Emission ohne thermische Behandlung (Mg CO_2-Äq./a)①	Reduzierung CO_2-Äq. durch therm. Behdlg. in %
2000	-233.157	-205.300	-448.824	-395.199	**-600.495**	6.834.437	8,8%
2001	-245.905	-216.525	-450.068	-396.294	**-612.815**	6.853.903	8,9%
2002	-246.502	-217.050	-292.077	-257.180	**-474.227**	6.612.355	7,2%
2003	-273.420	-240.752	-292.145	-257.240	**-497.989**	6.519.470	7,6%
2004	-293.707	-258.616	-292.254	-257.336	**-515.948**	6.342.708	8,1%
2005	-377.378	-332.289	-292.254	-257.336	**-589.621**	6.179.835	9,5%

① Summe Spalte 6 und Spalte 7 = Wert in Spalte 5 in Tab. 34

Die für den Zeitraum nach 2000 bis 2005 zusätzlich geplanten Maßnahmen zur Verstromung von Deponiegas dürften zur Erzeugung von rund 13 bis 25 GWh Strom im Jahr 2005 beitragen. Dies stellt eine Steigerung von rund 10 - 20 % gegenüber der für das Jahr 2000 berechneten Stromerzeugung aus Deponiegas von rund 117 GWh (Tab. 17) dar. Allerdings ist weiter zu berücksichtigen, dass möglicherweise die Verstromung von Deponiegas aus Altablagerungen zurückgeht, da das gebildete Deponiegas für eine energetische Nutzung nicht mehr ausreicht. So geht z.B. das LfUG ab dem Jahr 2002 von einer Einstellung der Deponiegasverstromung von Altablagerungen aus. Stattdessen wird das austretende Deponiegas nur noch abgefackelt. Da die Altablagerungen aber nur einen Anteil von 3,5 % am verwerteten Deponiegasaufkommen aufweisen, dürfte dieser Einfluss eher gering ausfallen. Damit bleibt der Beitrag der Deponiegasverstromung an der insgesamt in Sachsen erzeugten Strommenge weiterhin relativ gering.

Auf der anderen Seite ist die Bereitstellung dieser Energiemenge mit einer Klimaentlastung verbunden. Unter Verwendung der in Teil 1 [8] abgeleiteten Daten für einen sächsischen Strommix kann die durch die Verdrängung der konventionellen Energieträger bewirkte Umweltentlastung abgeschätzt werden. Durch die bereits fest geplanten Maßnahmen zur Deponiegasverstromung steigt die Klimaentlastung gegenüber dem Jahr 2000 um 16 bis 22 %.

Tab. 36: Gutschrift für aus zusätzlicher Deponiegasnutzung bereitgestellte elektrische Energie, mit Vorketten, für das Jahr 2005

	Emissionen inkl. Vorketten	**Umweltentlastung** in Mg CO_2-Äq.
Sächsischer Strommix 2000 [8] Umweltentlastung 2005 durch Deponiegasverstromung nach Tab. 17 + Tab. 33 (116.865 + 18.000 bis 26.000 MWh_{el})	879 kg CO_2-Äq. /MWh_{el}	-134.865 bis -142.865
Fernwärme Sachsen-Mix① [26 % Öl- + 74 % GUS-Erdgasfeuerung] [8] Umweltentlastung durch Fernwärme aus Deponiegas (6.726 GJ)	77,9 kg CO_2-Äq. /GJ_{th}	-524
Summe		**-135.389 bis -143.389**

① endenergiebezogen

Neben der Bereitstellung von Fernwärme auf der Deponie Halde 10 Zwickau, deren Fernwärmeleistung für 2000 mit umgerechnet 2.491 MWh entsprechend 8.968 GJ oder bei 75 %iger Verfügbarkeit mit 6.726 GJ angesetzt wurde, sind u.W. in Sachsen keine weiteren derartigen Projekte geplant. Unter der Voraussetzung, dass diese Nutzung auch noch im Jahr 2005 steht, verbleibt die bereits in Tab. 18 errechnete Umweltentlastung von -524 Mg CO_2-Äquivalente.

5.1.2.5.6.3 Effekt der Methanoxidationsschicht

Als Maßnahme mit größerem Effekt als die Deponiegasnutzung wurde von AEA [6] die vermehrte Oberflächenabdichtung von Deponien und Oxidation der flüchtigen Bestandteile – die Methanoxidationsschicht – angegeben. So sollen bundesweit mittels vermehrter Oberflächenabdichtung von Deponien und Oxidation der flüchtigen Bestandteile insgesamt 67.000 Mg Methan eingespart werden können (siehe Kapitel 1 auf Seite 3).

Aus der Sicht der Autoren dieser Studie darf die Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht nicht überbewertet werden. Neuere Untersuchungen zur Optimierung der Methangasoxidation ergaben zwar eine Methanreduktion bis rund 40 % [64]. Dies setzt aber weitere technische Maßnahmen voraus. Bei einer nicht vollständig ausgebildeten oder nicht funktionierenden Methanoxidationsschicht (Risse in der Abdeckung, tiefe Temperaturen im Winter) kann die Emission an klimarelevantem Methan durchaus deutlich höher ausfallen. Die Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht soll nach CHANTON (zit. in [65]) lediglich 10 % für das unkontrolliert entweichende Methan betragen. Eine entsprechend niedrige Wirksamkeit von 10 % wurde auch von den Autoren der AEA-Studie [6] angesetzt.

Im Folgenden wird angenommen, dass alle sächsischen Deponien mit einer Methanoxidationsschicht ausgestattet werden würden. Diesbezügliche Planungen liegen nicht vor, es soll hier lediglich um die Abschätzung des maximalen Effektes gehen. Nicht berücksichtigt wird der energetische Aufwand für die Aufbringung der Methanoxidationsschicht. Dies lässt sich damit begründen, dass ansonsten andere Materialien mit gleichem Aufwand zur Zwischen- oder Endabdeckung aufgebracht worden wären.

Tab. 37 zeigt das Ergebnis dieser Abschätzung. Bei einem (unsicheren) Einsparpotenzial von 5 bis 10 % des unkontrolliert entweichenden Methans durch eine Methanoxidationsschicht würden sich die erzielbaren Einsparungen bestenfalls (bei 10 %) in etwa der gleichen Größenordnung bewegen wie die bereits erreichten Einsparungen durch die thermische Behandlung/energetische Nutzung von Deponiegas. Erst bei einer unrealistisch hohen Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht von 20 % für **alle** Deponien würde der Effekt dieser Maßnahme die Einsparungen durch die thermische Behandlung (nur derzeit geplante Maßnahmen) übersteigen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass derartige Planungen für sächsische Deponien nicht bekannt sind, es sich hier also um eine rein theoretische Abschätzung handelt.

Tab. 37: Restemissionen von Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 2003 bis 2005, einschließlich des Effektes einer 5, 10 oder 20 %igen Methanoxidationsschicht auf allen Ablagerungen und einschließlich des bei der thermischen Behandlung von Deponiegas gebildeten CO_2, in 1.000 Mg CO_2-Äq./a

Jahr	Deponiegasemission in 1.000 Mg CO_2-Äq./a				
	ohne thermische Behandlung (Tab. 35)	mit thermischer Behandlung, aber ohne Methanoxidationschicht (Tab. 35)	mit thermischer Behandlung und zusätzlich mit Methanoxidationschicht, Wirksamkeit		
			5 %	10 %	20 %
2003	6.519	6.021	5.799	5.558	5.077
2004	6.343	5.827	5.629	5.395	4.928
2005	6.180	5.591	5.474	5.247	4.793

5.1.2.5.6.4 Zusammenfassung klimarelevante Emissionen von Deponien im Jahr 2005

Die Deponierung von Abfällen ist der größte Emittent klimarelevanter Gase in der Abfallwirtschaft. Die Deponierung unbehandelten Restabfalls wird erst zum 1.6.2005 durch den Verordnungsgeber formell beendet. Es ist anzunehmen, dass im Freistaat Sachsen diese Frist von den meisten örE auch wirklich ausgeschöpft werden wird. Zwischenzeitlich werden verschiedene Maßnahmen ergriffen oder angeschoben, um das Emissionspotenzial der Deponien zu senken. Tab. 38 gibt einen Überblick über die errechneten klimarelvanten Emissionen aus Deponien.

Tab. 38: Klimarelevante Emissionen von sächsischen Deponien im Jahr 2005 (Stand 31.12.2005)

Bereich / Maßnahme		Klimaeffekt 2005 (1.000 Mg CO_2/a)
5.1.2.5.6.1	Restemissionen	5.701 (Tab. 34/Tab. 35)
5.1.2.5.6.2	Deponiegasnutzung (sichere Maßnahmen)	-135,4 bis -143,4 (Tab. 36)
5.1.2.5.6.3	Effekt der Methanoxidationsschicht (theoretisch mögliche Maßnahmen)	-117 bis -344 (Tab. 37), bei 5 bis 10 % Wirksamkeit
Gesamt		**5.214 bis 5.449**

5.1.2.5.7 Aufgrund abfallwirtschaftlicher Maßnahmen vermiedene klimarelevante Emissionen

Durch die im Freistaat Sachsen bis 2005 ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen werden die klimarelevanten Emissionen eingespart, die ansonsten bei Fortführung der Ablagerung unbehandelter Abfälle aufgetreten wären. Diese vermiedenen Umweltbelastungen sind den ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen in den Abschnitten 5.1.2.5.1 bis 5.1.2.5.5 „gutzuschreiben". Dieses erfolgt summarisch für das gesamte Abfallaufkommen im Freistaat Sachsen.

Den weitaus größten Beitrag an Deponiegasemissionen hat Methan. Im Folgenden soll abgeschätzt werden, in welcher Höhe sich die eingesparten Methanemissionen bewegen.

Das IPCC gibt – wie in Teil 1 der Studie [8] dargestellt – folgende Standardmethode für die Berechnung der deponiebürtigen Methanemissionen für Ebene 1 („Tier 1") an [66]:

CH_4-Emissionen (Mg/a) = $[(MSW_T \cdot MSW_F \cdot L_0) - R] \cdot (1 - OX)$
wobei gilt

MSW_T	=	gesamtes jährliches Abfallaufkommen [Mg/a]
MSW_F	=	Anteil am Jahresaufkommen, der deponiert wird [%]
L_0	=	Methanbildungspotenzial [Mg CH_4/Mg Abfall] (s.u.)
R	=	erfasstes und verbranntes/energetisch genutztes Methan [kg/a]
OX	=	Oxidationsfaktor (Wirksamkeit Methanoxidationsschicht); Standard: 0,1

Das Methanbildungspotenzial wird nach folgender Formel berechnet:
L_0 = Methanbildungspotenzial [MCF ⋮ DOC · DOC_F · F · 16 / 12 (Gg CH_4/Gg Abfall)]
wobei gilt

MCF	=	Methankorrekturfaktor; Standard je nach Ablagerungsart: 0,4 (ungeordnete, flache Ablagerung) bis 1,0 (geordnete Deponie)
DOC	=	abbaubarer organischer Kohlenstoff [Fraktion (Mg C/Mg Abfall)], wird berechnet (s.u.)
DOC_F	=	Freisetzungsrate für DOC, Standard: 0,5 bis 0,6 (inkl.) bzw. 0,77 (ohne Lignin)
F	=	Anteil Methan im Deponiegas (Volumenanteil), Standard: 0,5

DOC = (0,4 · A) + (0,17 · B) + (0,15 · C) + (0,3 · D)
wobei gilt

A	=	Anteil Papier- und Textilfraktion des Restabfalls
B	=	Anteil Fraktion aus Garten- und Parkabfällen u.a. organischen Abfällen (Non-food)
C	=	Anteil Speiserestefraktion des Restabfalls
D	=	Anteil Holz- und Strohfraktion des Restabfalls

Die einzelnen Parameter, die in die Berechnung eingehen, sind teilweise mit Unsicherheitsmargen von > 50 % versehen [66], z.B. der Methankorrekturfaktor.

Der DOC für sächsischen Restabfall wird nach den Daten von Tabelle 9 in Teil 1 [8] berechnet, vgl. Tab. 39.

Tab. 39: Abschätzung des Anteils der DOC-Träger in sächsischem Restabfall, nach Daten von Teil 1 dieser Studie [8]

	Gruppe	Anteil (circa)	Fraktion
A	Papier- und Textilfraktion des Restabfalls	10 %	PPK + Textilien
B	Fraktion aus Garten- und Parkabfällen u.a. organischen Abfällen (Non-food)	10 %	Fraktion < 10 mm, davon 50 %
C	Speiserestefraktion des Restabfalls	34 %	Organik
D	Holz- und Strohfraktion des Restabfalls	1 %	Holz

Unter Verwendung der Daten von Tab. 39 beträgt der DOC in sächsischem Restabfall

(0,4 · 10 %) + (0,17 · 10 %) + (0,15 · 34 %) + (0,3 · 1 %) = 11,1 %

entsprechend **0,111 Mg DOC/Mg Restabfall**.

Zum Vergleich: AEA errechnet einen DOC-Anteil von 14 % entsprechend 0,14 Mg DOC/Mg Restabfall.

Für die Berechnung des Methanbildungspotenzials wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2005 alle sächsischen Deponien als „geordnet“ anzusehen sind. Der Methankorrekturfaktor MCF wird daher mit 1,0 angesetzt. Die Freisetzungsrate für DOC wird standardmäßig mit 0,6 und der Methananteil ebenfalls standardmäßig mit 0,5 verwendet.

Das Methanbildungspotenzial L_0 für die Ablagerung sächsischen Restabfalls auf geordneten Deponien im Jahre 2005 beträgt damit:

L_0 = 1 · 0,111 · 0,6 ·16 / 12 Mg CH_4/Mg Abfall = 0,0888 Mg CH_4/Mg Abfall

entsprechend **89 kg Methan/Mg Restabfall**.

Würde der gesamte sächsische Restabfall plus sperrige Abfälle aus Haushalten sowie Abfälle von öffentlichen Flächen – 694.870 Mg „sichere Abfälle“ (Tab. 20 auf Seite 46) – im Jahr 2005 und folgenden unbehandelt auf Deponien abgelagert werden, würde dies nach IPCC-Formel zu folgender Methanemission im Freistaat führen (überschlägige Berechnung):

CH_4-Emission (Mg/a) = (694.870 Mg · 100 % · 89 kg CH_4/Mg – 19.514.000 kg CH_4) · (1 – 0,1) = 38.096 Mg CH_4/a entsprechend **~876.000 Mg CO_2-Äq./a**.

Das erfasste und verbrannte/energetisch genutzte Methan betrug im Jahr 2000 nach LfUG 19.514 Mg [44]. Es wird angenommen, dass sich bei fortgesetzter Deponierung ohne weitere

Maßnahmen zur Deponiegasnutzung/-behandlung diese Menge größenordnungsmäßig nicht ändern wird. Daher wird dieser Wert für die Berechnung für 2005 und Folgejahre angesetzt.

Weiter wird eine – für Sachsen unrealistische – 10 %ige Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht unterstellt. Ohne diese Methanoxidationsschicht würde sich die aus der Ablagerung des unbehandelten Abfalls resultierende Emission auf 42.329 Mg Methan/a entsprechend **~974.000 Mg CO_2-Äq./a** belaufen. Diese Emission wird ab dem Greifen der abfallwirtschaftlichen Maßnahmen eingespart. Hinzu kommen weitere klimarelevante Verbindungen im Deponiegas, die in diese Abschätzung nicht eingeflossen sind.

Für das Jahr 2005 wird vereinfachend angenommen, dass erst in der zweiten Jahreshälfte die Deponierung unbehandelten Abfalls beendet wird. Daher sind die errechneten vermiedenen Methanemissionen nur mit der Hälfte (438.000 bis 487.000 Mg CO_2-Äq.) für dieses Jahr anzusetzen.

Anmerkung:
Die Berechnung der Methan-Freisetzung erfolgt nach IPCC-Vorgaben für ein Jahr. Deponiebürtige Methanemissionen fallen in der Praxis über einen längeren Zeitraum verteilt an. Eine kontinuierliche Fortsetzung der Deponierung unbehandelter Abfälle und gleichbleibende Abbauvorgänge in den Deponien vorausgesetzt, kumulieren die Methanemissionen in jedem Jahr in der berechneten Höhe. Daher ist es zulässig, die berechneten vermiedenen Emissionen mit den übrigen Emissionen und Einsparungen zu vergleichen.

5.1.3 Zusammenfassung der klimarelevanten Emissionen der Restabfallentsorgung im Jahr 2005 und Folgejahre (Hochrechnung)

Die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Ergebnisse stellen Hochrechnungen und Abschätzungen auf der Basis der Planungen der örE für die zukünftige Restabfallbehandlung dar. In den wenigsten Fällen liegen belastbare Daten zu den Anlagen vor, d.h. sind die Anlagen bereits in Betrieb. Für die Mehrzahl der örE musste mit Annahmen und Auslegungsdaten gearbeitet werden. Dabei wurde auf vorhandene oder vergleichbare Anlagen, die derzeit in Bau oder in Planung sind, zurückgegriffen. Nur für einzelne Anlagen standen konkrete Daten in Betrieb befindlicher Anlagen seitens der Betreiber zur Verfügung. Insgesamt kann die folgende Aufstellung daher nur als grobe Abschätzung dienen, die bei Vorliegen konkreter Daten entsprechend angepasst oder modifiziert werden muss. Auf die Datenunsicherheiten hinsichtlich der Modellierung des SVZ ist bereits hingewiesen worden.

Tab. 40 fasst die Ergebnisse der abgeschätzten klimarelevanten Emissionen für das Jahr 2005 und folgende zusammen. Für die Jahre nach 2005 wurde keine Berechnung der Deponiegasemissionen durchgeführt, hier sind die Daten für 2005 angesetzt worden.

Tab. 40: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 und Folgejahre – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung

Entsorgungslösung		Klimaeffekt 2005 (1.000 Mg CO_2/a)	Klimaeffekt Folgejahre (1.000 Mg CO_2/a)
5.1.2.5.1	MVA	-14,7	-29,4
5.1.2.5.2	MA + Verwertung	-5,0	-10,0
5.1.2.5.3	MBS + Verwertung	-16,0	-20,7
5.1.2.5.4	MBA + Verwertung	7,6 ①	15,3 ①
5.1.2.5.5	Verwertung ohne Vorbehandlung	-0,2	-0,4
5.1.2.5.6	Deponien, davon	5.214 bis 5.449	5.214 bis 5.449 ②
5.1.2.5.6.1	Restemissionen	5.701	5.701 ②
5.1.2.5.6.2	Deponiegasnutzung	-135,4 bis -143,4	-135,4 bis -143,4 ②
5.1.2.5.6.3	Methanoxidationsschicht (theoretisch)	-117 bis -344	-117 bis -344 ②
5.1.2.5.7	Vermiedene Methanemissionen ⑤	-438 ③ bis -487 ④	-876 ② bis -974 ②
Gesamtbetrag (gerundet)		**4.698 bis 4.982**	**4.194 bis 4.527**
Gesamtbetrag (gerundet) ohne Methanoxidationsschicht		**5.042 bis 5.099**	**4.538 bis 4.644**

① in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept der MVA von örE 3, hier berechnet: MVA mit Prozessdampfnutzung
② Zahlen für 2005
③ auf Basis einer 10 %-igen Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht auf allen Deponien
④ keine Methanoxidationsschicht
⑤ siehe Anmerkung auf Seite 73

Tab. 41 zeigt, dass die größten Einsparungen an klimarelevanten Emissionen durch die Vermeidung der ablagerungsbedingten Methanemissionen erzielt werden. Diese liegen in eine oder mehrere Größenordnungen über den Einsparungen, die durch andere Maßnahmen erreicht werden können. Auch wenn hier nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden konnte – z.B. ist der Effekt ggf. rückläufiger Abfallmengen nicht berücksichtigt –, behält diese Aussage ihre Gültigkeit.

An zweiter Stelle der klimarelevanten Einsparungen steht die Deponiegasbehandlung, ebenfalls aufgrund der Vermeidung hoher Methanemissionen. Die Methanoxidationsschicht würde – eine flächendeckende Aufbringung und Mindestwirksamkeit von 5 bis 10 % vorausgesetzt – ebenfalls zu beachtlichen Einsparungen führen können. Die errechneten Potenziale sind allerdings nur theoretischer Natur, da im Freistaat Sachsen derartige Maßnahmen nicht geplant sind.

Die zusätzlichen Einsparungseffekte durch die neuen abfallwirtschaftlichen Behandlungskonzepte der örE fallen auf den ersten Blick gegenüber der „Altlast“ bereits deponierter unbehandelter und immer noch emittierender Ablagerungen vergleichsweise gering aus.

Im Folgenden werden die aus der Deponierung von **behandeltem** Restabfall resultierenden klimarelevanten Emissionen nach dem Jahr 2005 – kein örE deponiert mehr unbehandelten Restabfall, die Anlagen entsprechen den Anforderungen der AbfAblV und 30. BImSchV – den erzielten Einsparungen gegenübergestellt. Tab. 41 berechnet für den Teil der Deponieemissionen nur noch die Freisetzung aus in diesem Jahr abgelagerten Rottegut aus MBAs.

Tab. 41: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung

Entsorgungslösung		**Klimaeffekt nach 2005 (1.000 Mg CO_2/a)**
5.1.2.5.1	MVA	-29,4
5.1.2.5.2	MA + Verwertung	-10,0
5.1.2.5.3	MBS + Verwertung	-20,7
5.1.2.5.4	MBA + Verwertung (ohne Deponierung)①	6,1②
5.1.2.5.5	Verwertung ohne Vorbehandlung	-0,4
5.1.2.5.7	Vermiedene Methanemissionen ⑤	-876 ③ bis -974 ④
Summe Vorbehandlungsverfahren ohne Deponieanteil		**-930 bis -1.028**
5.1.2.5.4	Deponierung von MBA-Rottegut	9,2②
Bilanz Vorbehandlungsverfahren		**-921 bis -1.019**

① in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept der MVA bei örE 3
② siehe Tab. 30 auf S. 62, Zeile Deponierung Rottegut: 45 kg CO_2/Mg, mal 204.960 Mg/a
③ auf Basis einer 10 %-igen Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht auf allen Deponien
④ keine Methanoxidationsschicht
⑤ siehe Anmerkung auf Seite 73

Daraus folgt, dass in den Jahren nach 2005 durch die bereits ergriffenen und derzeit in Realisierung oder Planung befindlichen Maßnahmen zur Einhaltung der AbfAblV der Beitrag der Abfallwirtschaft („sichere Abfälle“) zu einer merklichen Klima**ent**lastung führen wird. Der Einsparung von rund 930.000 bis 1.028.000 Mg CO_2-Äq. allein aus Methan in den Jahren nach 2005 steht eine Freisetzung von nur noch 9.200 Mg CO_2-Äquivalenten gegenüber.

5.1.4 Diskussion der Ergebnisse

Es zeigt sich, dass die Emissionen aus der jahrelang praktizierten und noch bis Mitte 2005 weitestgehend fortgesetzten Deponierung von unbehandeltem Restabfall das Ergebnis maßgeblich bestimmen. Maßnahmen zur Senkung der Emission auf Deponien wie eine energetische Nutzung von Deponiegas, mit Abstrichen auch die Methanoxidationsschicht

führen ebenfalls zu merklichen Effekten. Gleiches gilt auch für die mittlerweile im Bau und im Planungsstadium befindlichen Entsorgungslösungen, die auf Deponierung weitgehend verzichten. Die größte Einsparung ergibt sich aus dem Verzicht auf die Deponierung unbehandelter Abfälle, was zu einem sehr deutlichen Rückgang der Methanemissionen führen wird. Auch ohne diese „Gutschrift" für vermiedene Methanemissionen weisen die meisten der geplanten oder derzeit schon in Betrieb befindlichen Entsorgungsanlagen Einsparungen an klimarelevanten Emissionen auf.

Zu den Ergebnissen der einzelnen Entsorgungslösungen und technischen Varianten sind einige Ausführungen erforderlich, die auch die Optimierungspotenziale erkennen lassen.

Die Mehrzahl der für die einzelnen Entsorgungslösungen errechneten Daten liegen im Bereich der Werte, die auch andere vergleichende Ökobilanzen für verschiedene Verfahren der Restabfallentsorgung ergeben haben (siehe dazu die entsprechenden Verweise in Teil 1 [8]).

Für die berechneten Lösungen allein auf Basis oder unter Einbeziehung einer MVA (insbesondere MBA+MVA) zeigt sich der breite Spielraum, den das Energienutzungskonzept der Anlagen (**Energieeffizienz**) bietet. MVAs, die nur Strom auskoppeln, weisen Entlastungspotenziale „im Mittelfeld" auf. Wird jedoch zusätzlich die anfallende Wärme genutzt (in Form von Fernwärme oder Prozessdampf), sind erheblich höhere Klimaentlastungseffekte erreichbar. Bei energieintensiver Vorbehandlung (MBA vor MVA) kann die Bilanz bei einer energie**in**effizienten MVA (nur Stromauskopplung) sogar klimabelastend (positiver Zahlenwert) ausfallen.

Für die Stabilisierungsanlagen (MBS) und Mechanischen Aufbereitungs-/Trocknungsanlagen (MA) zeigt sich deutlich, dass die Ergebnisse in den Fällen vergleichsweise schlecht ausfallen, in denen der Output zur weiteren Verwertung noch pelletiert wird. Der Energiebedarf für die Pelletierung ist mit 50 bis 70 kWh/Mg Restabfall entsprechend 100 bis 140 kWh/Mg Pellet in der MA/MBS und beim SVZ sogar 130 bis 156 kWh/Mg Pellet (78,2 kWh/Mg Input bei 0,5 bis 0,6 Mg Pellet) ausgesprochen hoch. Diese Energie kann in der nachfolgenden Verwertung praktisch nicht oder nur schwer wieder „reingeholt" werden.

Maßgeblich für die Ergebnisse des SVZ sind die erteilten Gutschriften für das erzeugte Methanol. Die gewählte Berechnung der Vergütung stellt den best case für das Verfahren dar. Der Einfluss der Methanolgutschrift auf das Ergebnis wird in der Sensitivitätsbetrachtung vertieft.

In reinen MVA-Konzepten ebenso wie in Kombinationskonzepten unter Einschluß von MVA oder Kraftwerk sind die größten Optimierungspotenziale vorrangig an zwei Stellen zu sehen: im Energieverbrauch der nicht-thermischen und mehr noch in der Energieeffizienz der thermischen Anlagen. Dies zeigt z.B. die Variante mit der MVA mit ganzjähriger Prozessdampfbereitstellung oder dem Kraftwerk mit ganzjähriger Fernwärmeauskopplung.

5.1.5 Sensitivitätsbetrachtung

5.1.5.1 Berücksichtigung der „unsicheren“ Mengen

Bislang wurden nur die sog. „sicheren“ Mengen einer Betrachtung unterzogen. Mit dem Greifen der Gewerbeabfallverordnung und des Deponierungsverbotes ab 1.6.2005 sind möglicherweise bislang bediente Verwertungs-/Entsorgungsschienen für industrielle und gewerbliche Abfälle nicht mehr verfügbar oder zu teuer. In diesem Fall können die Abfallerzeuger ihre Abfälle wieder den örE andienen. Die bestehenden und geplanten Anlagenkapazitäten reichen nach gegenwärtigen Stand (Tab. 21) aber aus, auch diese Abfälle mit zu behandeln. So zeichnen sich derzeit sogar leichte Überkapazitäten in Sachsen ab. Zudem sind auch im angrenzenden Bundesland weitere thermische Kapazitäten in Planung sind (Zorbau, TREA Leuna).

Aufgrund ihrer Herkunft und Zusammensetzung ist davon auszugehen, dass diese „unsicheren“ Abfälle nicht in eine „klassische“ MBA oder MBS eingebracht werden sollen oder können. Vielmehr ist von einer mechanischen Aufbereitung zwecks Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion zur energetischen Verwertung (plus niederkalorische Fraktion zur MVA) oder aber einer Direktanlieferung an MVAs herkömmlicher Technik (Rostfeuerung, keine Wirbelschicht) auszugehen. In beiden Fällen definiert sich die Klimarelevanz durch den zu betreibenden Aufwand (Transporte, Aufbereitung, ggf. Weitertransport, ggf. Konfektionierung/Verpackung) und die zu erzielenden Energieausbeuten. Emissionsseitig ist der Anteil aus nicht fossilem Kohlenstoff zu beachten. Dieser dürfte breit streuen, von an die 100 % z.B. bei Fehlchargen aus der Nahrungsmittelindustrie bis hin zu 0 % bei nicht recyclierbaren Verbundabfällen. Es ist aber nicht möglich, für diese Abfälle auch nur einen mittleren Heizwert anzugeben

Daher ist es auch nicht möglich, die klimarelevanten Effekte zu quantifizieren. Unter der Annahme, dass die Abfälle selbstgängig brennen (H_u > 6.500 MJ/Mg), ist nach den Untersuchungen des Teils 1 dieser Studie [8] eine Einsparung klimarelevanter Emissionen bei der energetischen Verwertung/thermischen Behandlung zu erwarten, da die ausgekoppelte Energie in Form von Strom und Wärme das Ergebnis der Klimaentlastung maßgeblich bestimmt. Auch hier sei auf den hohen Energieaufwand hingewiesen, den die ggf. durchzuführende Pelletierung erfordert. Für hochkalorische Abfallarten aus dem Bereich der industriellen und gewerblichen Abfälle (vgl. DSD-Kunststoffe) dürfte die Bilanzierung im SVZ positiver ausfallen.

5.1.5.2 Veränderte Abfallzusammensetzung (C fossil)

Es soll davon ausgegangen werden, dass die für die Berechnung der Restabfallbehandlungsvarianten verwendeten Daten zu optimistisch waren. So würde z.B. ein niedrigerer Heizwert zu einem entsprechend höheren Einsatz an Stützbrennstoffen führen (vgl. Sensitivitätsbetrachtung Teil 1 [8]) und damit zu einer anteilig höheren Emission von klimarelevanten Gasen beitragen (obgleich in der Summe immer noch eine Entlastung eintreten kann).

Maßgeblich für die Berechnung der klimarelevanten Emissionen ist der Anteil an **regenerativem C**. Im Folgenden soll untersucht werden, wie sich die Ergebnisse für die Restabfallbehandlung verändern, wenn der Anteil an regenerativem C deutlich niedriger als die verwendeten 75 % angesetzt wird: in diesem Fall nur rund 60 %, was dem IPCC-Standard-Wert entspricht – oder proportional reduziert in den erzeugten hochkalorischen Fraktionen/Ersatzbrennstoffen.

Tab. 42: Sensitivitätsbetrachtung: Veränderung der Ergebnisse der Klimarelevanz der Restabfallentsorgung bei höherem Anteil an fossilem C im Restabfall: 40 % statt 25 %

Entsorgungslösung			kg CO_2/Mg Restabfall		1.000 Mg CO_2/Jahr	
			Standard	Sensitivit.	Standard	Sensitivit.
5.1.2.5.1	MVA	nur Strom	-166,5	-16,4	-29,4	-2,9
5.1.2.5.2	MA + Verwertung	örE 1	-117,6	-117,6	-11,9	-11,9
		örE 2	-44,4	-44,4	-1,6	-1,6
5.1.2.5.3	MBS + Verwertung	örE 1	-133,3	-133,3	-11,3	-11,3
		örE 2	-109,6	-0,4	-9,4	0,0
5.1.2.5.4	MBA + Verwertung	örE 1 + 2, MVA nur Strom	138,5	192,7	20,7	28,9
		örE 3 /MVA+Dampf	-188,9	-36,1	-2,8	-0,5
5.1.2.5.5	Verwertung ohne Vorbehandlung		-53,2	-53,2	-0,4	-0,4
Gesamtbetrag (gerundet)					-45,6	0,6

Tab. 42 zeigt, dass das Ergebnis – Klimaentlastung – kippt und die Entsorgungslösungen trotz immer noch verbliebender regionaler Entlastungen sich in der Summe in den positiven Zahlenbereich bewegen und damit eine Klima**be**lastung beschreiben. Dies ist ursächlich auf die Entsorgungslösung 5.1.2.5.4, hier örE 1 + 2 zurückzuführen, die bei gleichem energetischen Aufwand in der MBA in der nur verstromenden MVA nicht mehr genügend CO_2-Gutschriften erzeugt, um die MBA-Lastschrift zu kompensieren. Die angesetzten 60 % regenerativen Kohlenstoffs sind allerdings für sächsischen Restabfall als deutlich zu niedrig anzusetzen.

Die Entsorgungslösungen mit einer Verwertung im SVZ zeigen keine Reaktion auf die Variation des Anteils am fossilen C. Dies liegt daran, dass die für die Methanolerzeugung gutgeschriebenen Emissionen als 100 % fossil angesetzt werden, siehe auch Kapitel 5.1.5.3.

5.1.5.3 Gutschrift für die Erzeugung von Methanol

Der Energiebedarf aus der Bereitstellung von Sauerstoff und aus der im SVZ durchzuführenden Pelletierung führt dazu, dass die erzielten „Erlöse“ aus der Stromgewinnung im SVZ teilweise kompensiert oder überkompensiert werden. Dieses Problem kommt insbesondere für relativ niederkalorische Inputmaterialien (zum Vergleich: Steinkohle: H_u = 28.600, DSD-Kunststoffabfälle: H_u = 38.200 MJ/Mg) zum Tragen. Auf der anderen Seite führt die gewählte Form der Gutschrift für das erzeugte Methanol – Gutschrift der vermiedenen Emissionen für 100 % fossiles CO_2 – zu einer Begünstigung des SVZ gegenüber anderen thermischen Anlagen.

Die Sensitivitätsbetrachtung zeigt den Effekt dieser Festlegung auf das Gesamtergebnis am Beispiel der Entsorgungslösung Mechanische Aufbereitung (MA), Pelletierung und Verwertung der hochkalorischen Fraktion im SVZ (örE 2). Hier wurde der Anteil der Gutschrift für die verdrängten CO_2-Emissionen variiert. Tab. 43 zeigt die Ergebnisse.

Tab. 43: Sensitivitätsbetrachtung: Einfluss der Methanolgutschrift auf die Klimarelevanz der Entsorgungslösung Mechanische Aufbereitung (MA), Pelletierung und Verwertung der hochkalorischen Fraktion im SVZ (örE 2); in kg CO_2-Äq./Mg Restabfall

	kg CO_2-Äq./Mg Restabfall		
Gutschift Methanol für fossiles C für	100 %	95 %	90 %
Ergebnis MA, kg/Mg Restabfall	94	94	94
SVZ, kg/Mg Pellet			
Summe Lastschriften SVZ	1.468	1.468	1.468
Gutschriften:			
Methanolerzeugung	-1.696	-1.611	-1.526
Summe Gutschriften SVZ	-1.929	-1.844	-1.760
Ergebnis SVZ, kg/Mg Pellet	-461	-377	-292
Ergebnis SVZ, kg/Mg Restabfall	-147	-120	-93
Summe Anlagen	-53,2	-26	1
Summe Anlagen + Transporte	-44,4	-17	9

Es wird deutlich, dass die Festlegung der Gutschrift für das erzeugte Methanol über die Frage „Klimaentlastung durch das SVZ – ja oder nein?“ entscheidet. Hier ist noch weiterer Ent-

wicklungsbedarf für die Bilanzierung der Klimawirksamkeit dieses und anderer Verfahren zur Methanolerzeugung gegeben.

5.1.6 Optimierungspotenziale der Restabfallentsorgung

Im Folgenden sollen die Optimierungspotenziale der Restabfallentsorgung im Hinblick auf die Einsparungen an klimarelevanten Emissionen dargestellt werden.

5.1.6.1 Optimierungspotenziale der thermischen Behandlung / energetischen Verwertung von Restabfall

Als Ergebnis der vorangegangenen Berechnungen wurde festgestellt, dass – abgesehen von den „Altlasten“ bereits abgelagerter Abfälle und der Vermeidung der Methanemission durch die Vorbehandlung von Abfällen – die Energieeffizienz der thermischen Komponenten der Restabfallbehandlung den größten Einfluss auf die Einsparungen klimarelevanter Emissionen hat. Daraus lassen sich folgende Schlüsse für die Optimierung ziehen:

- **MVA/Kraftwerk**: Steigerung der Energieeffizienz durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Prozessdampferzeugung mit ganzjähriger Abnahme; auch die Bereitstellung von Kälte nach dem Kühlschrank-Prinzip erscheint je nach Standortgegebenheit prüfenswert.

Gestützt wird diese Forderung durch eine aktuelle Veröffentlichung von Johnke vom Umweltbundesamt, der zu folgendem Schluß gelangt [67]:

> „Könnte das aus der Siedlungsabfallverbrennung zusätzlich vorhandene Energiepotenzial nutzbar gemacht werden, würden damit die klimarelevanten CO_2-Emissionen aus fossil erzeugter Energie weiter reduziert werden können. Wie im Statusbericht (...) dargestellt, kann – unter Berücksichtigung eines anlagentechnisch machbaren Optimierungsaufwands – durch Verbesserung der Energienutzung eine CO_2-Emissionseinsparung von bis zu 3.416 Gg[7] CO_2 /a erreicht werden. Bezogen auf die CO_2-Gesamtemissionen aus der Energieerzeugung würde dies zu einer Einsparung von 0,5% beitragen. Allerdings müsste dann ein zusätzliches (bisher ungenutztes) Energiepotenzial von 13,2 x 10^6 MWh/a als Strom, Fernwärme und/oder Prozessdampf nutzbar gemacht werden.
> Hinweis: Würden weitere 13 Mio. Mg/a Siedlungsabfall, die bisher noch auf Hausmüll-Deponien abgelagert werden, in Siedlungsabfall-Verbrennungsanlagen verbrannt und energetisch genutzt werden, könnte der Beitrag aus der Siedlungsabfall-Verbrennung zur CO_2-Emissionsminderung auf 1% verdoppelt werden. Neue Anlagenstandorte sollten deshalb energieabgabeorientiert ausgewählt werden und einen energetischen Gesamtnutzungsgrad aufweisen, der eine Klimaneutralität, besser einen klimaneutralen Energiebonus, ermöglicht!

[7] Gg = Gigagramm = 1.000 Mg

Bezogen auf das im nationalen Klimaschutzprogramm bis 2005 avisierte, zusätzlich noch zu aktivierende Emissions-Minderungspotenzial von 50.000 – 70.000 Gg CO_2, könnte über die CO_2-Emissionsminderung aus der verbesserten Energienutzung ein Anteil von ca. 5% erbracht werden.“

5.1.6.2 Optimierungspotenziale der nicht-thermischen Behandlung / stofflichen Verwertung von Restabfall

Aus den durchgeführten Berechnungen und Überlegungen ergeben sich für den Bereich der nicht-thermischen Restabfallbehandlung folgende Optimierungsmöglichkeiten:

- **MBS**: Problem „Energiefresser” Pelletierung: diese erhöht den Heizwert nur unwesentlich, bedeuet aber einen enormen Energieaufwand, der nicht mehr „reingeholt” werden kann. Daher erscheint eine Prüfung sinnvoll, ob andere Abnehmer für die nicht pelletierte hochkalorische Fraktion erschließbar sind.

- **MBA (und MBS)**: Nutzung von bislang energetisch nicht genutztem Deponiegas oder sonst nicht nutzbarem Schwachgas zur Feuerung der Abgasreinigung (RTO).

- **Transporte**: Minimierung von Transportaufwendungen durch insbesondere Bevorzugung ortsnaher Lösungen.

Zum **SVZ** kann an dieser Stelle nur festgehalten werden, dass es noch viele offene Fragen gibt. Aus den verfügbaren Daten leitet sich die Überlegung ab, ob das SVZ sich zukünftig nicht besser auf energetisch „lohnende” Abfallarten aus Industrie und Gewerbe mit hohen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten beschränken sollte, um die erforderliche Energie der Vorbehandlung durch eine hohe Ausbeute an Methanol und Strom zu kompensieren. Die Überlegungen des SVZ gehen anscheinend in die gleiche Richtung, wie die oben zitierte Aussage „Premium-Anlage mit einer Premium-Leistung und mit Premium-Entsorgungspreisen“ [60] vermuten lässt.

Die offenen Fragen der Ökobilanzierung der Methanolerzeugung sollten in einer eigenen Studie geklärt werden.

Weitere **grundsätzliche Überlegungen** betreffen den Sammel- und Transportaufwand (vor der Anlage; hier nicht untersucht). So ist z.B. über eine Minimierung von Sammel- und Trennaufwand bei Verpackungen analog dem „Wiener Modell“ nachzudenken. Dieses wurde schon von verschiedenen Seiten je nach Randbedingungen für ökologisch sinnvoll erachtet [68, 69]. Beispielsweise kommt das Fraunhofer-IVV in einer Untersuchung aus dem Jahr 2001 zu folgendem Schluss [70]:

> "Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wäre es aus ökologischer Sicht gleichwertig und aus ökonomischer Sicht vorteilhaft, schrittweise auf eine Verbrennung der Mischkunststofffraktion der Verpackungsabfälle in den MVA umzustellen und ggf. die eingesparten Mittel für eine weitere Verbesserung der Einbindung der Anlagen in die Energienetze zu verwenden."

Diese Maßnahme wäre im Freistaat Sachsen ökonomisch und ökologisch nur sinnvoll umsetzbar, wenn die MVA(s jeweils) über ein optimiertes Energienutzungskonzept verfügte(n) oder dieses geschaffen werden kann.

5.1.6.3 Optimierungspotenzial der Deponiegasnutzung

Die MA eines örE soll auf einer Deponie errichtet werden, auf der bereits Deponiegas gefasst und thermisch verwertet wird (vgl. Tab. 33 auf Seite 66). Es wäre auch möglich und ist auch angedacht, dieses Deponiegas zur Befeuerung der Abgasreinigung (RTO) der MA zu verwenden. Hiermit könnte auf den Einsatz von Erdgas weitgehend verzichtet werden. Ein vergleichbares Konzept wird bereits mit Erfolg auf der MBS Aßlar praktiziert [71].

Wenn das Deponiegas zur Befeuerung der RTO verwendet wird, entfällt die Möglichkeit der Verstromung. Der bislang erzeugte Strom ist diesem Verfahren als Lastschrift anzurechnen, da Strom in gleicher Höhe nun mit fossilen Brennstoffen erzeugt werden muss.

Auf der anderen Seite ersetzt Deponiegas Erdgas, eine fossile Kohlenstoffquelle. Nach Betreiberangaben, die in Anhang 3 zusammengestellt sind, beträgt der Gasverbrauch für die Stützfeuerung der RTO-Anlage 4,6 m³/Mg Restabfall. Im Fall der Zufeuerung von Deponiegas – in diesem Fall ein thermisch nicht nutzbares Schwachgas mit einem Methangehalt von rund 20 bis 25 % – mit der LARA in Aßlar konnte der Flüssiggasverbrauch (Propan) deutlich gesenkt werden [71], vgl. Tab. 44.

Tab. 44: Brennstoffverbrauch der RTO für die MBA Aßlar [71]

Parameter	Auslegung	Einheit
Erdgasverbrauch (rechnerisch)	2,4 – 3,2	m³/Mg
Flüssiggasverbrauch (ohne Deponiegasbetrieb)	0,9– 1,2	m³/Mg
Flüssiggasverbrauch (bei Betrieb mit Deponiegas)	0,1	m³/Mg
Deponiegasverbrauch	17 - 22	m³/Mg

Für die weitere Abschätzung wird davon ausgegangen, dass sich der Strombedarf der Anlage nicht durch den Einsatz von Deponiegas verändert, und dass das anfallende Deponiegas ausreicht, um den Verbrauch an Erdgas um 1 m³ zu senken, und es zudem vollständig verwertet wird. Allerdings muss wegen des unterschiedlichen Heizwertes von GUS-Erdgas –

36,8 MJ/Nm³ – und Deponiegas – ~25,0 MJ/Nm³ – mindestens das 1,5-fache an Deponiegas eingesetzt werden, um das Erdgas zu ersetzen. In beiden Fällen ist aber davon auszugehen, dass das aus der Verbrennung freigesetzte CO_2 in der Summe gleich ist. Das CO_2 aus der Erdgasverbrennung ist vollständig fossil, das CO_2 aus der Deponiegasverbrennung ist anteilig regenerativ aus schwer abbaubarer und nicht humifizierter Organik wie Papier, Holz usw.. Dies kann aber nicht quantifiziert werden, daher wird von einer klimarelevanten Emission in gleicher Höhe ausgegangen.

Der Effekt der Deponiegasnutzung für die RTO wird wie folgt vereinfacht abgeschätzt:

- 1 m³ Deponiegas erzeugt im Mittel 2 kW_{el} Strom (25 MJ/m³ entsprechend 6,9 kWh/m³, bei 30 % Wirkungsgrad Verstromung sind das ~2 kW_{el}).
- Die Gutschrift für die Erzeugung von 1 kW_{el} Sächsischen Strommixes 2000 [7] beläuft sich auf 0,879 kg CO_2-Äq. / MW_{el}.
- Aus diesen Daten errechnet sich für Deponiegas eine Gutschrift von 1,76 kg CO_2-Äq./m³.
- 1,5 m³ Deponiegas ersetzen 1 m³ Erdgas, oder 1 m³ Deponiegas ersetzt 0,67 m³ GUS-Erdgas.
- Die Emissionen von Erdgas aus der Verbrennung – 2 kg CO_2-Äq./m³ – sind zu 100 %, die von Deponiegas geschätzt zu 90 % fossil.
- Daher ist dem Einsatz von Deponiegas 10 % der Verbrennungsemissionen des ersetzten Erdgases gutzuschreiben, in Summe 0,2 kg CO_2-Äq./m³ Erdgas oder 0,132 kg CO_2-Äq./m³ Deponiegas.
- GUS-Erdgas hat eine Vorkette von 0,85 kg CO_2-Äq./m³ (vgl. Tab. 20 in Teil 1 [8]).
- 1 m³ Deponiegas erhält die Gutschrift für die Vorkette von GUS-Erdgas von (0,85·0,67 =) 0,57 kg CO_2-Äq./m³.

Daraus lässt sich die Klimarelevanz des Einsatzes von Deponiegas in der RTO bilanzieren. Tab. 45 zeigt die Ergebnisse dieser Bilanzierung.

Tab. 45: Bilanzierung der Klimarelevanz des Einsatzes von Deponiegas in der RTO einer MBS anstelle der Deponiegasverstromung

Last-/Gutschrift	**Betrag**	
Lastschrift für entgangene Verstromung	1,76	kg CO_2-Äq./m³
Gutschriften:		
Verbrennungsemissionen GUS-Erdgas	-0,132	kg CO_2-Äq./m³
Vorkette von GUS-Erdgas	-0,57	kg CO_2-Äq./m³
Summe	1,058	kg CO_2-Äq./m³

Dieses Ergebnis ist nur eine grobe Abschätzung, zeigt aber, wo die entscheidenden Weichenstellungen vorgenommen werden können:

- Wird Deponiegas für die RTO verwendet, welches zuvor ungenutzt abgeleitet wurde, überwiegen nicht nur die in Tab. 45 aufgeführten Gutschriften, sondern es kommen noch

weitere Gutschriften für die Umwandlung von Methan zu CO_2 sowie die Zerstörung von FCKW und anderen klimarelevanten Schadstoffen im Deponiegas hinzu.

- Wird Deponiegas genutzt, welches zuvor abgefackelt wurde – was hinsichtlich der Emissionen praktisch als klimaneutral eingestuft werden kann [vgl. Kapitel 5.1.1.1.2] – verbleiben die Gutschriften der Tab. 45 für die Bilanz.

- Wird aber Deponiegas für die RTO verwendet, welches zuvor energetisch verwertet wurde, ist genau zu bilanzieren. So zeigt die Modellrechnung in Tab. 45, dass bei einem mittleren Wirkungsgrad der verstromenden Anlage die größere Klimaentlastung erreicht wird, wenn das Deponiegas **nicht** in der RTO eingesetzt, sondern effizient verstromt wird.

Anders kann sich die Situation darstellen, wenn – wie im Fall Aßlar – Deponieschwachgas, welches bis dahin emittiert wurde, in der RTO eingesetzt wird. Eine energetische Verwertung von Schwachgas ist ansonsten in der Regel nicht möglich. Hier kämen dann noch die Gutschriften für die energieintensive Behandlung dieses Gases hinzu, so dass diese Maßnahme im Ergebnis zu einer deutlichen Klimaentlastung führt.

Weitere Optimierungspotenziale umfassen:
- Ausbau der Deponiegasnutzung, wo möglich mit Kraft-Wärme-Kopplung;
- Bildung von Anlagenverbunden mit Nutzung des Deponiegases für andere Anlagen (RTO der MBA/MBS, wenn keine Kraft-Wärme-Kopplung möglich, Klärschlammtrocknung usw.), insbesondere für Depponieschwachgas.

5.2 Klimarelevante Emissionen der Verwertung von Gebrauchtholz

Grundlagen für die Betrachtungen zur Entsorgung von Gebrauchtholz wurden im Teil 3 [9] des Forschungsvorhabens zusammengestellt (Mengen, relevante Entsorgungswege). In diesem Teil des Gutachtens werden die Entsorgungswege Deponierung und Verbrennung und deren Beitrag zum Klimaschutz untersucht.

Für die Deponierung werden die im Jahr 2000 abgelagerten Gebrauchtholzmengen zugrundegelegt. Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben (AbfAblV) sind auch Holzabfälle zukünftig von der Deponierung ausgeschlossen. Daher wird für 2005 keine Deponierung mehr angenommen.

Für die Gebrauchtholzverwertung werden zwei Anlagen betrachtet. Es handelt sich dabei um eine „klassische“ Verbrennungsanlage und um eine Anlage mit Vergasung der Hölzer und anschließender energetischer Nutzung der Gase.

5.2.1 Bestandsaufnahme für das Jahr 2000

5.2.1.1 Aufkommen und Verbleib

In Rahmen von Teil 3 [9] der Studie wurde für das Jahr 2000 ein Gebrauchtholzpotenzial von **342.500 Mg/a** (77,1 kg/(E·a)) ermittelt. Hauptanteile bildeten die Bau- und Abbruchhölzer mit 60 %. In der Gesamtmenge waren Möbel/Einrichtungen zu 22 %, Verpackungen, Hölzer Außenbereich sowie sonstige Hölzer zu jeweils 6 % enthalten. 82 % der Gebrauchthölzer (281.600 Mg/a) wurden verwertet und 18 % beseitigt (60.900 Mg/a). Die Verwertung teilte sich auf in 59 % energetische Verwertung, 16 % Kompostierung, 4 % Spanplattenherstellung und 3 % Vergasung (rohstoffliche Verwertung), wie Tab. 46 zeigt.

Tab. 46: Gebrauchtholzpotenzial 2000 für den Freistaat Sachsen und dessen Aufteilung nach Sortimenten und nach Entsorgungswegen

	Masse (Mg/a)	Anteil (%)
Aufbereitete Gebrauchthölzer	284.000	83
Direkt deponierte Gebrauchthölzer	58.500	17
Potenzial	342.500	100
Aufteilung auf Sortimente		
Verpackung	19.300	6
Bau- und Abbruchholz	205.700	60
Möbel, Inneneinrichtungen	74.900	22
Hölzer Außenbereich	19.900	6
Sonstige	22.700	6
Summe	342.500	100
Aufteilung auf Entsorgungswege①		
Kompostierung	55.300	16
Spanplattenherstellung	12.900	4
Vergasung (rohstoffliche Verwertung)	11.200	3
Energetische Verwertung	**202.200**②	**59**
Deponierung	60.900	18
Summe	**342.500**	**100**

① ohne Beachtung der anderweitig entsorgten Hölzer
② überwiegend Export

Die Klimaauswirkungen der Altholzverwertung und -beseitigung hängen vom jeweiligen Verfahren ab.

- Deponierung

Bei der Deponierung von Holzabfällen wird CO_2 gebildet. Die Freisetzung von $C_{regenerativ}$ in Form von CO_2 gilt konventionsgemäß als klimaneutral. Da Holzabfälle nicht vergärbar sind, ist die Freisetzung z.B. von Methan nicht zu erwarten. Bei der Berechnung der Deponiegasmengen in Kapitel 5.1.1.1.1 durch das LfUG wurde dieses bereits berücksichtigt. Holzabfälle tragen vielmehr bei der Deponierung anteilig auch zur Humifizierung bei. Dieser „Nutzen“ lässt sich nicht qantifizieren.

- Kompostierung:

Bei der Kompostierung dient das Altholz ebenso wie Stroh oder Baum- und Strauchschnitt als Strukturmaterial. Die Zugabe von Strukturmaterial zur biologischen Behandlung abbaubarer Organik hat hauptsächlich den Zweck, die Bodenmatrix zu verbessern, insbesondere das verfügbare Luftporenvolumen und die Porenstabilität zu erhöhen. Nur bei einem ausreichenden Luftporenvolumen werden die Mikroorganismen genügend mit Sauerstoff versorgt, ist ihre hohe Aktivität und damit eine optimale Rotte gewährleistet. Weiter dient Strukturmaterial dazu, den Wassergehalt des Rottegemisches auf einen optimalen Wert einzustellen. Strukturmaterial wird im Verlauf der Rotte und später im Boden nur teilweise mineralisiert, überwiegend trägt es zur Humusbildung bei. Da für den Einsatz in der Kompostierung nur nichtgebundene oder nicht-beschichtete Hölzer (keine Holzwerkstoffe) zum Einsatz kommen, kann dieser Entsorgungsweg als klimaneutral gelten. Die energetischen Aufwendungen zur Einbringung des Altholzes in die Kompostierung sind verfahrensspezifisch und treten in gleichem Umfang wie beim Einsatz anderer Strukturmaterialien auf.

- Spanplattenherstellung

Die Spanplattenherstellung stellt eine werkstoffliche Verwertung von Altholz dar. Die Klimarelevanz des Spanplatteneinsatzes im Vergleich mit dem Einsatz anderer Werkstoffe (z.B. Holz oder andere Baustoffe) setzt eine vollständige Lebenszyklusanalyse voraus (Ökobilanz), die an dieser Stelle nicht geleistet werden kann.

- Vergasung (rohstoffliche Verwertung)

Bei der Holzvergasung wird aus Holzabfällen je nach Art des zugegebenen Vergasungsmittels (Dampf, CO_2, Sauerstoff und/oder Luft) ein Schwachgas oder ein Synthesegas erzeugt. Synthesegas enthält vornehmlich H_2, CO und CO_2, daneben noch etwas Wasserdampf und N_2, und kann z.B. zur Erzeugung von Methanol verwendet werden. Das entstehende Gas kann aber auch energetisch zur Erzeugung von Strom und/oder Wärme genutzt werden. Der Verdrängung fossiler Energieträger steht aber der hohe Aufwand an Energie für den Betrieb entgegen (Temperaturbereich bis 1.000°C, ggf. keine Abwärmenutzung; Bereitstellung von reinem Sauerstoff (vgl. Strombedarf beim SVZ für die erforderliche Vorbereitung des Holzbrennstoffs). Daher sind hinsichtlich der Klimarelevanz die aufgewendete und die erzeugte Energie sowie die CO_2-Emissionen aus fossilem Kohlenstoff (z.B. Brennstoff, Betriebsmittel) sowie die Emissionen anderer klimarelevanter Gase (NOx usw.) zu bilanzieren.

- Energetische Verwertung

Die energetische Verwertung wird in Altholzverbrennungsanlagen durchgeführt. Deren Kapazität liegt in der Regel im Bereich von 1 bis 100 MW; ab etwa 1 bis 5 MW ist auch eine Stromauskopplung „tragbar“ [72].

Je nach Art und Größe der Anlage lassen sich zwischen 15 und 30 % der erzeugten Gesamtenergie in Strom umsetzen. Dieser Strom substituiert Strom, der ganz oder überwiegend auf fossiler Basis bereitgestellt wurde. Im Falle einer Kraft-Wärme-Kopplung steigt der energetische Wirkungsgrad und damit die Klimaentlastung weiter an. Auf der anderen Seite treten auch hier Emissionen auf. Bei der Verbrennung von regenerativen Brennstoffe wie Holz liegt die CO_2-Emission zwar – heizwertbezogen (kg CO_2/MJ) – über der fossiler Brennstoffe, die Freisetzung von $C_{regenerativ}$ als CO_2 gilt konventionsgemäß als klimaneutral. Dies gilt aber nicht für den Anteil an organischen Bindemitteln in Holzwerkstoffen. Weiterhin werden auch bei der Holzverbrennung noch fossile Energieträger (Initial- und Stützfeuerung) eingesetzt, die zu einer klimarelevante CO_2-Emission führen. Auch bei der Verbrennung von Holz und Holzabfall verbleiben klimarelevante Nicht-CO_2-Emissionen, z.B. CO und TOC/NMVOC sowie NOx. Da die Temperaturen für die Bildung von thermischem NOx in der Regel in Holzverbrennungsanlagen nicht erreicht werden, stammt das NOx ausschließlich aus dem Stickstoffgehalt des Holzes.

5.2.1.2 Klimarelevanz 2000

Die hautpsächlichen Entsorgungswege für Altholz in Sachsen im Jahr 2000 waren energetische Verwertung (59 %), Deponierung (18 %) und Kompostierung (16%). Für die beiden letztgenannten gilt die Freisetzung von CO_2 aus Holz als klimaneutral, andere Aufwendungen sind nicht quantifizierbar (Kompostierung) oder wurden bereits bei der Restabfallentsorgung mit erfasst (z.B. Einbau auf Deponien, siehe Kapitel 5.1.1.1.3).

Verbleibt als einzige quantifizierbare klimarelevante Größe die energetische Verwertung. Die energetische Verwertung von Holzabfällen wurde im Jahr 2000 von der Sächsischen Landesregierung finanziell gefördert. Insgesamt waren mit Stand zum 31.12.2000 in Sachsen 3.565 <u>geförderte</u> Holzfeuerungsanlagen – rund 270 im Bereich kleiner Feuerungsanlagen (< 80 kW) – mit einer installierten thermischen Leistung von 162 MW_{th} und einer installierten elektrischen Leistung von 3,2 MW_{el} in Betrieb.

Die aus den Fördermaßnahmen für Holzfeuerungsanlagen resultierende klimarelevante Emissionsminderung in 2000 wird mit rund 9.590 Mg CO_2/a angegeben. Demhingegen stieg die NOx-Emission um 0,3 Mg/a ([73], dort Tab. 4).

Die energetische Verwertung von Holzabfällen wurde in Sachsen seither intensiviert, insbesondere auf dem Sektor der Stromauskopplung und Kraft-Wärme-Kopplung. Anhang 8 zeigt Daten zu Heiz- und Heizkraftwerken auf der Basis von verschiedenen Holzabfallarten im

Freistaat Sachsen (Stand 12/2002) [74]. Die dort aufgeführten 113 Anlagen sind auf insgesamt 28,56 MW, davon 14,89 MW_{el} ausgelegt. Fünf dieser Anlagen weisen eine Kraft-Wärme-Kopplung auf, mit einer Auslegung von insgesamt 28,43 MW (24,64 MW_{th} plus 3,79 MW_{el}). Zwei weitere koppeln nur Strom aus (9,3 oder 1,8 MW_{el}), die übrigen Anlagen verfügen jeweils über eine thermische Leistung von 8,2 bis 0,03 MW_{th}.

Es liegen keine Angaben darüber vor, wie hoch der Anteil der Gebrauchthölzer ist (vgl. Tab. 46: 202.200 Mg in die energetische Verwertung), die im Jahr 2000 in die geförderten Holzfeuerungsanlagen oder zur energetischen Verwertung in andere Bundesländer verbracht wurden. Weiter sind auch keine Informationen darüber verfügbar, in welchem Umfang diese Anlagen die installierte Leistung auch wirklich erbracht haben. So war eine der größeren Anlagen mit einer Auslegung von insgesamt 10,5 MW zum Zeitpunkt der Berichtslegung seit längerem außer Betrieb.

5.2.2 Prognose für das Jahr 2005

5.2.2.1 Aufkommen (Potenziale) und Verbleib

Tab. 47 gibt die Ergebnisse der Untersuchungen in Teil 3 wieder. Danach wird die Gebrauchtholzmenge in Sachsen auf **304.000 Mg/a** im Jahr **2005** und auf 287.200 Mg/a im Jahr 2010 zurückgehen, hervorgerufen insbesondere durch den Mengenrückgang der Bau- und Abbruchhölzer.

Tab. 47: Potenzialmengen für das Jahr 2000 und prognostizierte Gebrauchtholzpotenziale für die Jahre 2005 und 2010 im Freistaat Sachsen [9]

Gebrauchtholzsortiment	**Potenzial 2000**	**Potenzial 2005①**		**Potenzial 2010①**	
	in Mg/a	**F_{2005}②**	**in Mg/a**	**F_{2010}②**	**in Mg/a**
Verpackung	19.300	1,039	20.100	1,090	21.000
Bau- und Abbruchholz	205.700	0,908	186.800	0,864	177.700
Möbel, Inneneinrichtungen	74.900	0,728	54.500	0,613	45.900
Hölzer Außenbereich	19.900	1,000	19.900	1,000	19.900
Sonstige	22.700	1	22.700	1	22.700
Summe Gebrauchthölzer	**342.500**		**304.000**		**287.200**

① Mengen auf 100 Mg/a gerundet
② F_{2005} und F_{2010} - Faktoren für die Mengenentwicklung der Gebrauchthölzer aus Tabelle 4.6 (Zuordnung der Faktoren zu den Sortimenten s. Tabellen 4.5 und 4.6 in [9])

Im Jahr 2005 werden voraussichtlich ~91 % und im Jahr 2010 ~96 % der Gebrauchthölzer verwertet, wobei **~90 %** dieser verwerteten Mengen **energetisch** genutzt werden. Ursache für die Dominanz der energetischen Verwertung ist die Förderung erneuerbarer Energieträger nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz [15] und der Biomasseverordnung [16]. Die restlichen ~10 % der Gebrauchtholzmenge werden stofflich und rohstofflich verwertet werden. Der Einsatz als Strukturmaterial für die Klärschlammkompostierung wird keine wesentliche Rolle mehr spielen.

5.2.2.2 Klimarelevanz 2005

Die Abschätzung der klimarelevanten Emissionen und Emissionseinsparungen durch die Förderung und Verstärkung der energetischen Nutzung von Holzabfällen setzt den Schwerpunkt auf die Verbrennung von Holz. Die reine Holzvergasung ist absehbar noch mit sehr großen technischen Probleme behaftet (vgl. Teil 1 [8]), so dass eine Ausweitung dieser Behandlungstechnologie eher nicht wahrscheinlich ist. Die Vergasung von Holzabfällen zusammen mit anderen Abfällen wurde bislang noch im SVZ durchgeführt. In wieweit diese Praxis angesichts derzeitiger Planungen neuer Biomassekraftwerke im Jahr 2005 noch Bestand haben wird, ist nicht absehbar.

5.2.2.2.1 Vergasung von Holzabfällen

Im Jahr 2000 wurden 11.200 Mg Gebrauchtholz durch Vergasung (überwiegend im SVZ zusammen mit anderen Abfällen) verwertet. Die ausschließliche Vergasung von Althölzern ist die Ausnahme. In Anhang 7 ist bespielhaft eine Anlage zur Holzvergasung in Sachsen dargestellt. Diese Anlage steht derzeit still, belastbare Emissionsdaten konnten nicht zur Verfügung gestellt werden. Daher können die Klimaeeffekte nur abgeschätzt werden.

- Einsatzmaterial

Über 90 % des Holzes sind behandelt, d.h. beschichtet, chemisch gebunden und/oder belastet. Die Anlage bezieht ihr Material von einem Recyclingbetrieb, dessen Ausgangsprodukte der 4. BImSchV entsprechen müssen (nichtkontaminiertes Industrierestholz). Es liegen keine Angaben zum Gehalt an C_{fossil} oder Stickstoff vor.

- Vergasungsmittel

Als Vergasungsmittel wird Luft eingesetzt. Energieaufwendungen für die Erzeugung von Dampf oder Sauerstoff fallen nicht an.

- Energiebilanz

Die Anlage ist für die Erzeugung von 2 MW Strom und max. 4,5 MW Fernwärme ausgelegt [75]. Der Strombedarf für die Anlage wird mit 120 kWh/Mg Holz angegeben. Dies entspricht

bei einer Auslegung von 20.000 Mg/a Holz einem Eigenbedarf von 0,27 MW (14 % des ausgekoppelten Stroms).

Holz-/Holzwerkstoffe haben eine H_u von 13.000 - 15.000 MJ/Mg, hier wird mit 14.000 MJ gerechnet. Der Anlageninput beträgt danach 8,9 MW. Zusätzlich wird Heizöl eingesetzt, wobei keine Mengen angegeben sind (diskontinuierlicher Einsatz).

- Emissionen

Es liegen keine Angaben zu den Emissionen vor. Aufgrund des Einsatzmaterials ist aber mit einem nicht unerheblichen Anteil an Emissionen von fossilem C (Holzwerkstoffe, Heizöl) sowie an anderen klimarelevanten Gasen (CO, NOx, NMVOC) zu rechnen.

- Transportentfernungen

Die Transportentfernungen sind eher gering (< 30 km) und dürften das Ergebnis der Klimarelevanz nicht maßgeblich beeinflussen.

Klimarelevanz

Aufgrund der gegenüber dem Eigenbedarf deutlich höheren Auskopplung an Energie in Form von Strom und Wärme ist mit einer Klimaentlastung durch Verdrängung konventioneller Energieträger zu rechnen. Diese dürften auch die klimarelevanten Emissionen aus dem Anlageninput (CO_2, CO, NOx, NMVOC aus Holzwerkstoffen, Heizöl) sowie den Transporten bei Weitem überwiegen. Mangels verfügbarer Daten ist eine genauere Abschätzung nicht möglich.

Aufgrund der geringen Zahl an Holzvergasungsanlagen in Sachsen dürfte sich der Beitrag dieser Anlagen zur Klimaentlastung eher unbedeutend darstellen.

5.2.2.2.2 Holzabfallverbrennung

Im Jahr 2000 wurden von den anfallenden 342.000 Mg Altholz rund 202.200 Mg energetisch verwertet, was einem Anteil von 59 % entsprach. Für das Jahr 2005 wird ein Rückgang auf 304.000 Mg Gebrauchtholz prognostiziert.

Der **Brennstoffbedarf** einer Anlage mit einer elektrischen Leistung von 20 MW liegt nach Sax [76] bei ~100.000 Tonnen atro pro Jahr. In Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Holzes entspricht dies einem Bedarf von etwa 130.000 Mg Altholz.

Eine typische Anlage zur Holzverbrennung mit einem Durchsatz von 70.000 Mg/a (Holz, nicht beschichtete und beschichtete Holzwerkstoffe, PVC-frei) ist in Anhang 7 auf Seite 124 wiedergegeben. Diese Anlage erzeugt allerdings nur Strom, ohne Wärmenutzung.

Für die weitere Abschätzung wurden zusätzlich folgende Randbedingungen angenommen:

- ein Abgasvolumen von 5.600 m³/Mg Holz
- Heizwert H_u von Altholz: im Mittel 14.000 MJ/Mg
- Anteil $C_{regenerativ}$ am C-Gehalt des Holzabfall = 90 % (wegen der Beschichtungen und Bindemittel)
- Emissionsfaktor: 100 g CO_2/MJ (für Holzhackschnitzel nach BRef LCP [77], hier Table 5.2)
- Gutschrift für Strom, hier Sachsen-Mix [8].

Aus diesen Daten errechnet sich eine Klimaentlastung von 416 kg CO_2-Äq./Mg Input Holzabfall, wobei die Transporte zu einem Abzug von 11 kg CO_2-Äq./Mg Holzabfall führen. In der Summe führt der Anlagendurchsatz von 70.000 Mg/a (bei Vollauslastung) nach dieser Modellrechnung zu einer Klimaentlastung von 28.350 Mg CO_2-Äq./a.

Im Falle der Auskopplung von Fernwärme könnte sich dieser Effekt noch deutlich vergrößern. Zum Vergleich: Durch ein mit Altholz (47.000 Mg/a) befeuertes Biomasse-Heizkraftwerk mit optimierter Wärmenutzung in einem anderen Bundesland soll eine Einsparung von jährlich 32.000 Mg CO_2 erreicht werden [78]. Mittels eines anderen geförderten Biomasse-Heizkraftwerks, das jährlich 27.000 Mg Industrierestholz und 3.000 Mg Strauchschnitt energetisch verwertet (Kraft-Wärme-Kopplung), sollen jährlich ~88 Mio. kWh an fossilen Energieträgern substituiert und pro Jahr Emissionen in Höhe von ~40.000 Mg CO_2, ~85 Mg NOx und ~33 Mg CO vermieden werden [79], was rund 41.000 Mg CO_2-Äq. entspricht. Allerdings bedingt die Auskopplung von Fernwärme eine entsprechende möglichst ganzjährige Abnahme durch Nutzer.

Das im Jahr 2005 anfallende erschließbare Potenzial an Gebrauchtholz beläuft sich auf rund 304.000 Mg (Tab. 47). Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2005 ~91 % verwertet werden (276.640 Mg), wobei 90 % auf die energetische Verwertung (248.976 Mg) entfallen werden. Die restlichen rund 10 % gelangen weiter in die Spanplattenproduktion oder Vergasung [9]. Abzüglich der bereits im Jahr 2000 energetisch verwerteten Menge Altholz von 202.200 Mg (vgl. Tab. 46) verbleiben theoretisch 46.776 Mg an Gebrauchtholz, die gegenüber dem Jahr 2000 zusätzlich energetisch verwertet werden, zeitnahe Errichtung und Betrieb entsprechender Anlagen vorausgesetzt.

Bei einer energetischen Nutzung nur durch Verstromung wäre – ohne Berücksichtigung der notwendigen Transporte – eine Klimaentlastung von (46.776 Mg·~0,400 Mg CO_2-Äq./Mg Input Holzabfall =) 18.710 Mg CO_2-Äq. im Jahr 2005 zu erwarten. Bei Realisierung von Kraft-Wärme-Kopplung würde sich die Klimaentlastung noch deutlich steigern lassen.

5.2.3 Optimierungsmöglichkeiten der Gebrauchtholzverwertung

In einer Studie der C.A.R.M.E.N. wurden 12 Biomasseheizwerke mit Pilot- und Demonstrationsfunktion in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen einer Evaluierung unterzogen [80]. Dabei wurden vor allem technische, ökonomische und organisatorische Gesichtspunkte untersucht. Für Planung und Betrieb derartiger Anlagen wurden insbesonderen folgende Optimierungsmöglichkeiten festgestellt; nicht alle sind unmittelbar klimarelevant, sind der Vollständigkeit halber aber mit aufgeführt:

- Qualitätssicherung beim Bezug von Biomassebrennstoffen;
- erforderlichenfalls Brennstoffvorbehandlung durchführen;
- möglichst homogener Brennstoff und möglichst geringer (aber nicht zu geringer) Wassergehalt;
- Optimierung der Lagerung und des heizwerkinternen Brennstoffumschlags;
- Beseitigung möglicher Quellen für Störungen und Schäden an Brennstofftransporteinrichtungen, Biomassefeuerungsanlagen und Wärmetauschern;
- Optimierung der Wärmebereitstellung (Feuerungsanlage, Wärmetauscher, Rauchgasreinigung, Wärmeverteilung inklusive Gestaltung/Einbindung der Hausanlagen);
- nachträgliche Maßnahmen zur Reduzierung des Verbrauchs fossiler Spitzenlastbrennstoffe und des Hilfsenergieverbrauchs (z.B. auch durch interne Maßnahmen bei den Kunden; bei Schulen usw. Hausmeister einbinden!);
- Verbesserung der Wärmemengenerfassung;
- Optimierung der Kundenbetreuung und Beratung bei der Ausführung der Kundenanlage (hierzu auch: Kundenanlage prüfen, Rücklauftemperaturen vertraglich vereinbaren, Maßnahmen zur Erzielung möglichst niedriger Rücklauftemperaturen);
- Erhöhung des Nutzungsgrades;
- Verbesserungsmaßnahmen im Bereich der Gestaltung von Brennstofflagerung, Heizraum, Ascheaustragung;
- nachträgliche Reduzierung des Personalaufwandes;
- Wärmbedarfsstruktur verbessern (Netzverdichtung vor Netzerweiterung).

5.3 Klimarelevante Emissionen der Verwertung biogener Abfälle

5.3.1 Die Bestandsaufnahme für das Jahr 2000

Im Jahr 2000 fielen in Sachsen insgesamt 221.545 Mg an getrennt erfassten Bioabfällen aus Haushalten, Gewerbe/Industrie und von öffentlichen Flächen an [43]. Sie teilten sich auf die örE wie in Tab. 48 wiedergegeben auf.

Tab. 48: Aufkommen an getrennt erfassten Bioabfällen aus Haushalten, Gewerbe/Industrie und von öffentlichen Flächen im Freistaat Sachsen im Jahr 2000 [43]

örE / Regierungsbezirk	**Getrennt erfasste Bioabfälle aus Haushalten, Gewerbe/ Industrie und von öffentlichen Flächen (Mg/a)**	**Behandlungskapazität in Kompostierungs-/Vergärungsanlagen (Mg/a)**	**Auslastung der Anlagen**
AWVC	40.125		
EVV	8.054		
ZAS	11.113		
ZAZ	7.739		
RB Chemnitz	**67.031**	421.370	219.112 (52 %)
Hoyerswerda	2.365		
RAVON	46.935		
ZAOE	54.473		
RB Dresden	**103.773**	412.970	202.355 (49 %)
AVN	11.619		
Delitzsch	4.531		
ZAW	34.591		
RB Leipzig	**50.741**	292.850	204.995 (70 %)
Freistaat Sachsen	**221.545**	**1.127.190**	**626.463 (56 %)**

Die getrennt erfassten Bioabfälle wurden in rund 80 überwiegend dezentral betriebenen Kompostierungsanlagen (≥ 1.000 Mg/a; Stand12/2000) sowie fünf Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von insgesamt 1,1 Mio. Mg/a verwertet [40]. Sechzehn der Kompostierungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von rund 256.000 Mg/a arbeiten mit geschlossenen Systemen wie Rotteboxen, Container etc. oder sind zumindest eingehaust. Die übrigen Kompostierungsanlagen werden mit offener Mietenkompostierung betrieben. Die Auslastung der vorhandenen Kapazitäten betrug 1999 rechnerisch 56 %.

Ausgewählte Anlagen sind übersichtsartig in Anhang 9 – Bioabfallkompostierung – und in Anhang 10 – Bioabfallvergärung – dargestellt. Weitere Informationen zu einzelnen Anlagen enthält Tab. 49 [81]. Der Anlageninput der überwachten Kompostierungs-/Vergärungsanlagen besteht danach aus getrennt gesammelten Bioabfällen (in 1999: 32 %), Klärschlamm (30 %), Grüngut (22 %) und Holz (8 %). Bei einem realen Anlagendurchsatz von 558.000 Mg/a entfallen auf getrennt gesammelte Bioabfälle rund 178.560 Mg im Jahr 2000. Folglich sind von den getrennt erfassten 221.545 Mg Bioabfällen im Jahr 2000 immerhin schon 81 % einer Kompostierung oder Vergärung zugeführt worden.

Tab. 49: In Betrieb befindliche Biogasanlagen im Freistaat Sachsen [[81], verändert]

Anlage	Inbetrieb-nahme	Kapazität	Volumen des Faulraumes	Bioabfall als Substrat oder Cosubstrat
Radeberg	1999	56.000 Mg/a	2 x 2300 m³	Bioabfälle (20 %), Klärschlamm (70 %)
Neukirchen	1998		3000 m³	Rindergülle, zahlreiche Kosubstrate
Zobes bei Plauen	1982/ 97	25.000 Mg/a	1500 m³	Bioabfall (52 %), Hühnermist (28 %); 1997 umgebaut
Oberlungwitz	1994		2 x 1200 m³	Rindergülle, zahlreiche Kosubstrate
Hirschfelde	1997	5.000 Mg/a	mehrstufig	für zahlreiche Bioabfälle zugelassen; mit Hygienisierung

Die Klimarelevanz von Biobehandlungsanlagen kann erheblich sein. So werden bei der Bioabfallkompostierung neben CO_2 auch hochwirksame Klimagase wie Methan und N_2O emittiert. Die CO_2-Emissionen, die aus der Umwandlung des Kohlenstoffes resultieren, gelten als nicht klimarelevant, da sie aus der Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen stammen. Hinzu kommen weiterhin die Energieverbräuche (Umsetzen, Abluftreinigung) und die Energiebereitstellung im Falle von Strom-/Wärmeerzeugung.

In Teil 1 der Untersuchung [8] wurde bereits festgestellt:

> „Auf eine vergleichende Betrachtung der Verfahren der Bioabfallbehandlung wird in diesem Teil der Studie verzichtet:
>
> - Die Bioabfallvergärung (...) weist gegenüber der Kompostierung eindeutige klimarelevante Vorteile auf. ...
> - So schneidet in bereits vorliegenden Ökobilanz-Untersuchungen die offene Kompostierung bzgl. der Freisetzung klimarelevanter Gase so deutlich viel schlechter ab als die anderen Vergleichsverfahren, dass nur unrealistisch veränderte Stellgrößen – hier: die Substitution von Torf – in der Modellierung eine Änderung am Ergebnis bewirken.“

In einer vergleichenden Ökobilanz des IFEU, die für die folgenden Abschätzungen herangezogen wird, kommen die Autoren zu folgendem Schluß [82]:

> „Alle Entsorgungsansätze für Bioabfall aus Haushalten, die als zentrale Behandlung eine Vergärung beinhalten, sind mit deutlichen Entlastungen (netto) hinsichtlich des Treibhauseffektes verbunden. Die mit einer Nutzung dieser Bioabfälle verbundenen Einsparungseffekte liegen deutlich höher als die mit der Entsorgung verbundenen direkten negativen Auswirkungen. Unter den Entsorgungsalternativen schneidet die Mitbehandlung in Gülleferementern am günstigsten ab, am relativ wenigsten günstig ist der Einsatz in Kompostierungsanlagen. Das vergleichsweise günstige Ergebnis für die Mitbehandlung in Gülleferementern verändert sich bei größeren Transportentfernungen. Die mit dem Transport verbundenen Umweltwirkungen erreichen einen Anteil von etwa 50 %.“

Die in der zitierten Studie untersuchten Vergärungsvarianten für Bioabfälle aus Haushalten weisen Bilanzergebnisse für Treibhausgasemissionen im Bereich von –60 bis +69 kg CO^2-Äq./Mg Bioabfall auf, wie Tab. 50 zeigt.

Tab. 50: Klimaeffekte der die Behandlung von Bioabfällen aus Haushalten, Bilanzergebnisse einer IFEU-Studie [82], in kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall (negative Zahl = Umweltentlastung)

Verfahren	**Lastschriften (kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall, ca.)**	**Gutschriften (kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall, ca.)**	**Bilanz (kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall, ca.)**
Co-Vergärung mit Bioabfall①	+ 62	- 132	**- 60**
Co-Vergärung mit Klärschlamm	+ 70	- 158	**- 88**
Co-Vergärung mit Gülle	+ 122	- 120	**+ 2**
Kompostierung	+ 125	- 75	**+ 50**
Kompostierung in der Halle	+ 144	- 75	**+ 69**

① d.h. Bioabfall ist das Hauptsubstrat, andere Abfälle sind Cosubstrat

Daraus ergibt sich, dass je nach Substrat/Co-Substrat die Vergärung ökobilanziell zu erheblichen Klimaentlastungen oder aber zu geringen Klimabelastungen (Co-Vergärung mit Gülle) führt. Demhingegen ist die Bioabfallkompostierung in jedem Fall mit erheblichen Klimabelastungen (positiver Wert) verbunden.

Für die Abschätzung der klimarelevanten Emissionen/Einsparungen wird von folgenden Daten ausgegangen:

- Aufkommen an Bioabfällen in 2000: 221.545 Mg;
- Auslastung der Anlagen: 50 %
- Kapazität der Vergärungsanlagen: geschätzt: 125.000 Mg/a (11,4 %)
- Kapazität der geschlossenen und eingehausten Kompostierungsanlagen: 256.000 Mg/a (23,2 %)
- Verbringung der restlichen Abfälle in offene Kompostierungsanlagen mit einer Kapazität von rund 720.000 Mg/a (65,4 %).

Danach errechnet sich die Klimabelastung der Bioabfallbehandlung aus der Kompostierung für das Jahr 2000 wie folgt:

- geschlossene oder eingehauste Kompostierungsanlagen: 3.546 Mg CO_2-Äq.
- offene Kompostierungsanlagen: 7.245 Mg CO_2-Äq..

Nach grober Abschätzung hat die Bioabfallkompostierung in Sachsen im Jahr 2000 in der Summe zu einer Klimabelastung von rund 10.800 Mg CO_2-Äq. geführt.

Für die Vergärungsanlagen ist eine Klimaentlastung anzunehmen. Werden als Einsparpotenzial klimarelevanter Emissionen konservativ -50 kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall angesetzt, was sich

im unteren Bereich für Bioabfall- oder Klärschlamm-/Bioabfallvergärungsanlagen bewegt, ergibt sich aus der Vergärung von rund 62.500 Mg Bioabfall/a – diese Zahl ergibt sich aus geschätzter Anlagenkapazität und angenommener 50 %iger Auslastung – eine Klimaentlastung von rund -3.125 Mg CO_2-Äq. für das Jahr 2000.

Nach grober Abschätzung beläuft sich der Klimabeitrag der Bioabfallbehandlung in Sachsen in der Summe auf (10.800 – 3.125 =) 7.675 Mg CO_2-Äquivalente im Jahr 2000.

5.3.2 Prognose für das Jahr 2005

Für das Jahr 2005 liegen keine detaillierten Mengenprognosen zum Bioabfallaufkommen der einzelnen örE vor. In Absprache mit dem Auftraggeber wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich Aufkommen und Entsorgungswege gegenüber dem Jahr 2000 nicht wesentlich ändern wird. Daher ist auf diesem Sektor keine Veränderung der klimarelevanten Emissionen im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 verglichen mit dem Status in 2000 zu erwarten.

5.3.3 Optimierungspotenziale der Bioabfallverwertung

Eine Veränderung der klimarelevanten Emissionen aus dem Sekor der Bioabfallbehandlung und -verwertung ist nur in dem Umfang zu erwarten, wie neue Bioabfallvergärungsanlagen gebaut und/oder die Kompostierung von Bioabfall durch eine Mono- oder Covergärung verdrängt werden. Entsprechende Planungen der örE sind derzeit nicht bekannt oder absehbar.

Aus klimapolitischen Gründen und aufgrund von Standortakzeptanzproblemen ist davon auszugehen, dass zukünftig

- neue Bioabfallbehandlungs-/verwertungsanlagen nur noch als geschlossene Anlagen errichtet werden,
- bevorzugt Bioabfallvergärungsanlagen anstelle von Kompostierungsanlagen errichtet werden,
- Anlagenstillegungen eher offene als gehauste Kompostierungsanlagen betreffen werden.

Die klimarelevanten Unterschiede zwischen offenen und gehausten Bioabfallkompostierungsanlagen sind (da beide stark klimabelastend), verglichen mit den Einsparpotenzialen, die Vergärungsanlagen bieten, nicht erheblich und hängen im Einzelfall von der Anlagenkonfiguration (Energiebedarf, Abluftreinigung, Kompostverwertung) ab.

Für die Vergärung (Mono- oder mit Cosubstraten) und Covergärung mit Klärschlamm sind deutliche klimarelevante Einsparungen zu erzielen, ebenfalls im Einzelfall in Abhängigkeit von der Anlagenkonfiguration und der Nutzungsinfrastruktur (nur Strom oder auch Wärmenutzung).

Um die Optimierungspotenziale abzuschätzen, soll folgende optimistische, aber realisierbare Fallkonstellation berechnet werden:

- Das derzeit nicht einer Kompostierung/Vergärung zugeführte Bioabfallaufkommen von (rechnerisch) knapp 43.000 Mg wird im Jahr 2005 zum größten Teil einer Vergärung zugeführt (Annahme: 33.000 Mg/a).
- Die Vergärung findet zusammen mit Klärschlamm oder anderen Cosubstraten statt, nicht mit Gülle.
- Als Einsparpotenzial klimarelevanter Emissionen werden konservativ -50 kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall angesetzt, was sich im unteren Bereich für Bioabfall- und Klärschlamm-/Bioabfallvergärungsanlagen bewegt.

Daraus resultiert ein rechnerisches klimarelevantes Einsparpotenzial für die Bioabfallbehandlung von rund -1.650 Mg CO_2-Äq. für das Jahr 2005.

Für die Zukunft bedeutet dies: Wenn Planungen für eine Ausweitung der Bioabfallverwertung durchgeführt werden, dann sollte der Vergärung der Vorzug gegeben werden. So sollte im Zuge weiterer Optimierungen (z.B. Klärschlammbehandlung, Vergärungsanlagen für gewerbliche Abfälle wie Speisemittelreste aus Fabrikation oder Großeinrichtungen ...) auch eine Umstellung der Bioabfallkompostierung (energieintensiv) auf Vergärung oder Covergärung überprüft werden.

Weitere Optimierungspotenziale in Zukunft:

Im Falle einer geplanten Restabfallvergärung (z.Z. in Sachsen nicht geplant) könnte auch über eine Aufgabe der getrennten Bioabfallerfassung in dicht besiedelten Gebieten nachgedacht werden. Durch eine Covergärung mit Restabfall würde der energetische Nutzwert von Bioabfall ebenfalls ausgeschöpft werden können. Gegenüber der Bioabfallbehandlung (Kompostierung) verbleibt die Inertmasse des Bioabfalls sowie ein nicht abbaubarer Anteil an Organik (~40 %). Letztere könnte aber anschließend auch noch energetisch genutzt werden (MVA). Eine zusätzliche ökologische Gutschrift würde hier in den reduzierten Emissionen bei Sammlung und Transport anfallen.

Von Seiten der Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg wird sogar empfohlen, langfristig Bioabfälle gemeinsam mit Restabfall zu erfassen und (thermisch/energetisch) zu verwerten, und die getrennte Erfassung (und Kompostierung) auf Grünabfälle zu beschränken [83].

Parallel ist die Anerkennung der nicht separat erfassten Biomasse als Energieträger in der Energieerzeugung mit der entsprechend höheren Vergütung für „grünen Strom" auf Bundesebene voranzutreiben.

6 Zusammenfassung

6.1 Restabfallentsorgung

Die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Ergebnisse stellen Hochrechnungen auf der Basis der Planungen der örE und privater Betreiber dar. In den wenigsten Fällen liegen belastbare Daten zu den Anlagen vor, d.h. sind die Anlagen bereits in Betrieb. Für die Mehrzahl der Anlagen musste mit Annahmen und Auslegungsdaten gearbeitet werden. Dabei wurde auf vorhandene oder vergleichbare Anlagen, die derzeit in Bau oder in Planung sind, zurückgegriffen. Nur für einzelne Anlagen standen konkrete Daten in Betrieb befindlicher Anlagen seitens der Betreiber zur Verfügung. Insgesamt kann die folgende Aufstellung daher nur als grobe Abschätzung dienen, die bei Vorliegen konkreter Daten entsprechend angepasst oder modifiziert werden muss.

Es zeigt sich, dass die Emissionen aus der jahrelang praktizierten und noch bis Mitte 2005 weitestgehend fortgesetzten Deponierung von unbehandeltem Restabfall das Ergebnis maßgeblich bestimmt. Maßnahmen zur Senkung der Emission auf Deponien (energetische Nutzung von Deponiegas, Methanoxidationsschicht) führen zu merklichen Effekten. Gleiches gilt auch für die mittlerweile im Bau und im Planungsstadium befindlichen Entsorgungslösungen, die auf Deponierung weitgehend verzichten. Ihre klimarelevante Effekte bestehen fast ausschließlich aus Einsparungen an Emissionen.

Tab. 51 fasst die Ergebnisse der abgeschätzten klimarelevanten Emissionen für das Jahr 2005 und 2006 zusammen. Für den Zeitraum 2006 wurde keine Berechnung der Deponiegasemissionen durchgeführt, hier sind die Daten für 2005 angesetzt worden.

Die größten Einsparungen an klimarelevanten Emissionen werden durch die Vermeidung der ablagerungsbedingten Methanemissionen erzielt. Diese liegen eine oder mehrere Größenordnungen über den Einsparungen, die durch andere Maßnahmen erreicht werden können. Auch wenn hier nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden konnte – z.B. ist der Effekt ggf. rückläufiger Abfallmengen nicht berücksichtigt –, behält diese Aussage ihre Gültigkeit.

An zweiter Stelle der klimarelevanten Einsparungen steht die Deponiegasbehandlung, ebenfalls aufgrund der Vermeidung hoher Methanemissionen. Die Methanoxidationsschicht würde – eine flächendeckende Aufbringung und Mindestwirksamkeit von 5 bis 10 % vorausgesetzt – ebenfalls zu beachtlichen Einsparungen führen können. Die errechneten Potenziale sind allerdings nur theoretischer Natur, da im Freistaat Sachsen derartige Maßnahmen nicht geplant sind.

Tab. 51: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen im Jahr 2005 und Folgejahre – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung

Entsorgungs-lösung		Klimaeffekt 2005 (1.000 Mg CO_2/a)	Klimaeffekt Folgejahre (1.000 Mg CO_2/a)
5.1.2.5.1	MVA	-14,7	-29,4
5.1.2.5.2	MA + Verwertung	-5,0	-10,0
5.1.2.5.3	MBS + Verwertung	-16,0	-20,7
5.1.2.5.4	MBA + Verwertung	7,6 ①	15,3 ①
5.1.2.5.5	Verwertung ohne Vorbehandlung	-0,2	-0,4
5.1.2.5.6	Deponien, davon	5.214 bis 5.449	5.214 bis 5.449 ②
5.1.2.5.6.1	Restemissionen	5.701	5.701 ②
5.1.2.5.6.2	Deponiegasnutzung	-135,4 bis -143,4	-135,4 bis -143,4 ②
5.1.2.5.6.3	Methanoxidations-schicht (theoretisch)	-117 bis -344	-117 bis -344 ②
5.1.2.5.7	Vermiedene Methanemissionen ⑤	-438 ③ bis -487 ④	-876 ② bis -974 ②
Gesamtbetrag (gerundet)		**4.698 bis 4.982**	**4.194 bis 4.527**
Gesamtbetrag (gerundet) ohne Methanoxidationsschicht		**5.042 bis 5.099**	**4.538 bis 4.644**

① in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept der MVA von örE 3, hier berechnet: MVA mit Prozessdampfnutzung
② Zahlen für 2005
③ auf Basis einer 10 %-igen Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht auf allen Deponien
④ keine Methanoxidationsschicht
⑤ siehe Anmerkung auf Seite 73

Die zusätzlichen Einsparungseffekte durch die neuen abfallwirtschaftlichen Behandlungskonzepte der örE fallen auf den ersten Blick gegenüber der „Altlast“ bereits deponierter unbehandelter und immer noch emittierender Ablagerungen vergleichsweise gering aus.

Im Folgenden werden die aus der Deponierung von **behandeltem** Restabfall resultierenden klimarelevanten Emissionen nach dem Jahr 2005 – kein örE deponiert mehr unbehandelten Restabfall, die Anlagen entsprechen den Anforderungen der AbfAblV und 30. BImSchV – den erzielten Einsparungen gegenübergestellt. Tab. 52 berechnet für den Teil der Deponieemissionen nur noch die Freisetzung aus in diesem Jahr abgelagerten Rottegut aus MBAs.

Tab. 52: Klimarelevanz der Restabfallbehandlung im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der örE für die technischen Lösungen zur Restabfallbehandlung

Entsorgungslösung		Klimaeffekt nach 2005 (1.000 Mg CO_2/a)
5.1.2.5.1	MVA	-29,4
5.1.2.5.2	MA + Verwertung	-10,0
5.1.2.5.3	MBS + Verwertung	-20,7
5.1.2.5.4	MBA + Verwertung (ohne Deponierung)①	6,1②
5.1.2.5.5	Verwertung ohne Vorbehandlung	-0,4
5.1.2.5.7	Vermiedene Methanemissionen ⑤	-876 ③ bis -974 ④
Summe Vorbehandlungsverfahren ohne Deponieanteil		**-930 bis -1.028**
5.1.2.5.4	Deponierung von MBA-Rottegut	9,2②
Bilanz Vorbehandlungsverfahren		**-921 bis -1.019**

① in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept der MVA bei örE 3
② siehe Tab. 30 auf S. 62, Zeile Deponierung Rottegut: 45 kg CO_2/Mg, mal 204.960 Mg/a
③ auf Basis einer 10 %-igen Wirksamkeit der Methanoxidationsschicht auf allen Deponien
④ keine Methanoxidationsschicht
⑤ siehe Anmerkung auf Seite 73

Daraus folgt, dass in den Jahren nach 2005 durch die bereits ergriffenen und derzeit in Realisierung oder Planung befindlichen Maßnahmen zur Einhaltung der AbfAblV der Beitrag der Abfallwirtschaft („sichere Abfälle“) zu einer merklichen Klima**ent**lastung führen wird. Der Einsparung von rund 930.000 bis 1.028.000 Mg CO_2-Äq. allein aus Methan in den Jahren nach 2005 steht eine Freisetzung von nur noch 9.200 Mg CO_2-Äquivalenten gegenüber.

Die erzielten klimarelevanten Einsparungen werden erst dann sichtbar sein, wenn die Emissionen insbesondere an Methan aus der noch bis Mitte 2005 erfolgten Ablagerung von unbehandeltem Abfall sinken. Diese Altlasten von morgen werden noch einige Jahre ihre Organikfracht in die Luft emittieren und daher weiter zur Klimabelastung beitragen. Die Deponiegasbehandlung und -nutzung kann hier eine bedeutende Funktion zur Klimaentlastung übernehmen.

Die berechneten Lösungen zeigen den breiten Spielraum, den das Energienutzungskonzept der Anlagen (Energieeffizienz) bietet. Reine MVA-Konzepte ebenso wie Kombinationskonzepte unter Einschluß von MVA oder Kraftwerk zeigen die größten Optimierungspotenziale im Energieverbrauch der nicht-thermischen und mehr noch in der Energieeffizienz der thermischen Anlagen, wie z.B. ganzjährige Bereitstellung und Abnahme von Prozessdampf oder Fernwärme.

Für das SVZ ist die Datenlage nach wie vor verbesserungsbedürftig. Zudem bedarf die Datenlage zum SVZ und die Modellierung der Gutschriften für das erzeugte Methanol der Weiterentwicklung.

6.2 Holzabfallverwertung

Das im Jahr 2005 anfallende erschließbare Potenzial an Gebrauchtholz beläuft sich auf rund 304.000 Mg (Tab. 47 auf Seite 88). Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2005 ~91 % verwertet werden (276.640 Mg), wobei 90 % auf die energetische Verwertung (248.976 Mg) entfallen werden. Die restlichen rund 10 % gelangen weiter in die Spanplattenproduktion oder Vergasung [9]. Abzüglich der bereits im Jahr 2000 energetisch verwerteten Menge Altholz von 202.200 Mg (vgl. Tab. 46 auf Seite 85) verbleiben theoretisch 46.776 Mg an Gebrauchtholz, die gegenüber dem Jahr 2000 zusätzlich energetisch verwertet werden, zeitnahe Errichtung und Betrieb entsprechender Anlagen vorausgesetzt.

Bei einer energetischen Nutzung nur durch Verstromung wäre – ohne Berücksichtigung der notwendigen Transporte – eine Klimaentlastung von (46.776 Mg· ~0,400 Mg CO_2-Äq./Mg Input Holzabfall =) 18.710 Mg CO_2-Äq. im Jahr 2005 zu erwarten. Bei Realisierung von Kraft-Wärme-Kopplung würde sich die Klimaentlastung noch deutlich steigern lassen.

Für vorhandene und geplante Holzverbrennungsanlagen (Biomassekraftwerke) sind eine Reihe von Optimierungsmöglichkeiten gegeben, die über die Klimaentlastung maßgeblich entscheiden. Hierzu zählt insbesondere – neben den mehr technischen Optimierungen – die bedarfsangepasste Auslegung der Anlage, um einen optimalen Absatz der erzeugten Wärmeenergie zu gewährleisten.

6.3 Verwertung biogener Abfälle

In der Summe sind nach grober Abschätzung rund 10.800 Mg CO_2-Äq. durch die Kompostierung in Sachsen emittiert worden, die sich wie folgt aufteilen:

- geschlossene und eingehauste Kompostierungsanlagen: 3.546 Mg CO_2-Äq.
- offene Kompostierungsanlagen: 7.245 Mg CO_2-Äq..

Für die Vergärungsanlagen wird mit einer Klimaentlastung gerechnet, die allerdings derzeit nicht quantifiziert werden kann.

Für das Jahr 2005 wird keine Änderung erwartet.

Unter der Voraussetzung, dass das derzeit nicht einer Kompostierung/Vergärung zugeführte Bioabfallaufkommen von (rechnerisch) knapp 43.000 Mg im Jahr 2005 zum größten Teil (Annahme: 33.000 Mg/a) einer Vergärung mit Klärschlamm oder anderen Cosubstraten, nicht mit Gülle zugeführt wird, und dass das Einsparpotenzial klimarelevanter Emissionen bei -50 kg CO_2-Äq./Mg Bioabfall liegt, was sich im unteren Bereich für Bioabfall- und Klärschlamm-/Bioabfallvergärungsanlagen bewegt, wäre rechnerisch eine Einsparung von rund -1.650 Mg CO_2-Äq. für das Jahr 2005 im Bereich Bioabfallverwertung zu erzielen.

Für die Zukunft bedeutet dies: Wenn Planungen für eine Ausweitung der Bioabfallverwertung durchgeführt werden, dann sollte der Vergärung der Vorzug gegeben werden. So sollte im Zuge weiterer Optimierungen (z.B. Klärschlammbehandlung, Vergärungsanlagen für gewerbliche Abfälle wie Speisemittelreste aus Fabrikation oder Großeinrichtungen ...) auch eine Umstellung der Bioabfallkompostierung (energieintensiv) auf Vergärung oder Covergärung geprüft werden.

6.4 Ergebnisse im Überblick

In Tab. 53 sind die Ergebnisse für die betrachteten Sektoren der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen zusammengefasst.

Tab. 53: Übersicht: Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen – Status quo (2000) und Status 2005 sowie Folgejahre in 1.000 Mg CO_2-Äq./Jahr

	Emissionen in 1.000 Mg CO_2-Äq./Jahr		
Abfallart	**2000**	**2005**	**ab 2006**
Restabfall (Kap. 5.1) einschließlich Gutschriften für vermiedene Methanemissionen	5.551 bis 6.135	4.698 bis 4.982	4.194 bis 4.527
Restabfall ohne Deponieemissionen einschließlich Gutschriften für vermiedene Methanemissionen			-921 bis -1.019
Holzabfall (Kap. 5.2)	- 9,6	(- 9,6 + - 18,7*) = - 28,3 (* nur Verstromung; bei KWK deutlich mehr)	
Bioabfall (Kap. 5.3)	7,7	7,7 Optimierungspotenzial: -1,7	

Wie bereits festgestellt, dominieren die „Altlasten“ der Deponierung unbehandelter Abfälle auch im Jahr 2005 und den Folgejahren die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen.

Dennoch bedeuten die bereits eingeleiteten oder geplanten Maßnahmen zum Klimaschutz in der Abfallwirtschaft eine erhebliche Klimaentlastung, insbesondere wegen der Gutschriften für vermiedene Methanemissionen aus der Deponierung von Restabfall. Die klimaentlastenden Effekte können noch größer ausfallen, wenn die dargestellten Optimierungspotenziale ausgeschöpft werden. Dabei kommt der intelligenten und effizienten Nutzung der Energie eine Schlüsselrolle zu.

7 Literaturverzeichnis

1 Nationales Klimaschutzprogramm. Umwelt Nr. 11/2000, Sonderteil. http://www.bmu.de/download/dateien/klimaschutzprogramm2000.pdf

2 Nationales Klimaschutzprogramm. Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000. (Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“), Berlin, 18. Oktober 2000. http://www.bmu.de/download/dateien/ima_teil01.pdf

3 Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen, Stand 1.6.2001

4 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Dresden: Emissionssituation in Sachsen. Ausgabe 2001, http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/veroeffentlichungen/verzeichnis/Luft-Laerm-Strahlen/Endversion.pdf

5 Bates J., Haworth A. (AEA Technology Environment), Abingdon: Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Economic Evaluation of Emission Reductions of Methane in the Waste Sector in the EU. Bottom-up Analysis, updated, Final Report (Updated version), March 2001. http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/climate_change/waste.pdf

6 AEA, s.o., hier Table 5.3; die Angaben dort sind in kt = 1.000 Mg

7 Ausschreibung Nr. 29, 382 des Sächsischen Ausschreibungsblattes

8 BZL GmbH, Oyten: Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen. Vergleich der Verfahren und Verfahrenskonzepte (Verfahrensvergleich). Aktenzeichen: 13-8802.3523/103, 224 Seiten, 8. Mai 2002

9 BIWA Consult GbR, Freiberg: Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen. Gebrauchtholzbilanz 2000 und Prognose für Sachsen. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 02-1, Januar 2002, 34 Seiten, http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/SabfaWeb/sabfaweb-nt/print/FuE_gebrauchtholz.pdf

10 Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC): Climate Change 1995 – The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change, J.T., Houghthon et. al. (Eds.), Cambridge 1996

11 Text der am 29.09.2001 verabschiedeten Fassung: Climate Change 2001: Synthesis Report http://www.ipcc.ch/pub/SYR-text.pdf
Abbildungen dazu: http://www.ipcc.ch/pub/SYR-figs.pdf

12 Zusammenfassung für Entscheidungsträger: http://www.ipcc.ch/pub/wg2SPMfinal.pdf
Technische Zusammenfassung: http://www.ipcc.ch/pub/wg2TARtechsum.pdf

13 Zusammenfassung für Entscheidungsträger: http://www.ipcc.ch/pub/wg3spm.pdf
Technische Zusammenfassung: http://www.ipcc.ch/pub/wg3TARtechsum.pdf

14 Öko-Institut Freiburg/Darmstadt/Berlin: Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung. Untersuchung im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). Darmstadt, den 04. April 2002

15 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG), vom 29. März 2000. BGBl I, 2000, 305
16 Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV), vom 21. Juni 2001. BGBl. I Nr. 29 vom 27.6.2001 S. 1234
17 Kowalski H.-D. (SMUL): Aktuelle Entwicklungen der Abfallentsorgung im Freistaat Sachsen. Manuskript zur Tagung des SIDAF: Aktuelle Situation und Perspektiven in der Abfallwirtschaft, Freiberg, 15.04.-16.04.2002
18 STEAG encotec, Hr. Eich, Fax an BIWA Consult vom 4.6.2002, Az. S02/260
19 http://www.zaoe-dresden.de/naviframe/index_presse_presse.html
20 Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH (WEV GmbH): Schreiben an BIWA Consult GbR vom 4.9.2002
21 http://www.mvg-delitzsch.de/Presse/prse0206/prse0206.html#lz020622a
22 http://www.muellverbrennung-delitzsch-nein.de/
23 EUWID Re. Nr. 40, S. 6, 1.10.2002
24 Müllverbrennung in Lippendorf liegt auf Eis. LVZ vom 12./13.04.2003. zit nach: http://www.muellverbrennung-delitzsch-nein.de/zeitung/lvz/2003/2003_04_12.html
25 Mitteilung der SITA Deutschland GmbH auf ihrer Webseite: http://212.185.118.38/Sites/Aktuelles/StartSet.htm
26 T.A. Lauta: Kurzbeschreibung gemäß § 4 Abs. 3 der 9. BImSchV aus dem Antrag auf Errichtung und Betrieb
27 Neukirchen B. (VEAG): Vortrag beim SIDAF – Sächsisches Informations- und Demonstrationszentrum „Abfallbehandlungstechnologien“ Freiberg: Abfallkolloquium 2002, Freiberg/Sachsen, 21.-22.10.2002, und Folien zum Vortrag (Mail an BZL vom 25.10.2002)
28 ÖKO-INSTITUT e.V./DPU GmbH: Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertung von Verpackungskunststoffen. Studie im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU), Darmstadt/Essen, November 1999, hier Kapitel 4.2.2.5, und Anhang, S. 99
29 http://www.kamenz.de/landkreis/wirtschaft/internet_deu/lauta/lauta0.html
30 http://www.ravon.de/abwaermenutzung.html
31 BZL GmbH: Mail an Dr. W. Seifert/Dr. B. Buttker, vom 13.1.2003
32 BZL GmbH: Mail an Dr. W. Seifert/Dr. B. Buttker, vom 14.1.2003
33 Bez J., Kremer M.: Verwertung von Kunststoffabfällen aus Sammlungen des Dualen Systems im Verfahren des Sekundärrohstoff-Verwertungszentrums Schwarze Pumpe. März 2000. Fraunhofer IVV, Freising, 2000, Teil 3, Anhang,
34 Wallmann R., Dissertation GH Kassel, 1999, zit. in: Schwing E.: Bewertung der Emissionen der Kombination mechanisch-biologischer und thermischer Abfallbehandlungsverfahren in Südhessen. SchrR WAR 111, Darmstadt 1999, hier S. 150
35 Heering M., Zeschmar-Lahl B.: Der Branchenführer MBA-Technik – Systemanbieter und Lieferanten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Hrsg: Fachverband Thermoprozess- und Abfalltechnik im VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau. Rhombos-Verlag, Berlin, 2001

36 pers. Mitt. Manfred Kanthak, 28.11.2002; Kanthak & Adam GbR, Berlin; siehe auch http://www.kanthak-und-adam.de/index0.htm
37 GEMIS 4.0 \ Szenarien \ A/B: Stoffe: Techniken Stahl
38 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Fr. Dr. Hausmann, Mail vom 17.04.2002 an BZL GmbH
39 Deponie Gröbern liefert Strom. http://www.zaoe-dresden.de/naviframe/index_aktuelles.html
40 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG): Sachstand Kompostierungs- und Vergärungsanlagen im Freistaat Sachsen. Stand 12/2000, 28.03.2001
41 Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG), 27. September 1994. BGBl I 1994, 2705
42 Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen. Artikel 1 – Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAblV). 20.02.2001, BGBl. I S. 305
43 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Dresden: Abfallbilanz des Freistaates Sachsen 2000. Dresden, den 28.09.2001
44 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG): Gesamtemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2019, Datei „Gas19902019.xls“, 1.10.2002, und ergänzt vom 20.12.2002
45 Tabasaran O., Rettenberger G.: Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen. Müllhandbuch, Kz. 4547, Lfg. 1/87, 1987
46 Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung), vom 6.5.1991, BGBl. I S. 1090
47 Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen: Ozonschädigende und klimawirksame Stoffe im Freistaat Sachsen, 1999
48 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Abfallbilanz des Freistaates Sachsen 2001; http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/SabfaWeb/sabfaweb-nt/print/Abfallbilanz%202001.pdf
49 Butz W.: Klimarelevanz von Deponiegasemissionen. Deponiegas-Tagung, Trier, 1997, http://www.deponie-stief.de/fachlit/buecher/trier1997/butz_trier1997.pdf
50 Ingenieurgruppe RUK, Prof. Rettenberger, Dipl.-Ing. S. Urban-Kiss und Partner: Durchführung von Messungen zur Bestimmung von Schadstoffen im Deponiegas sowie im Abgas von deponiegasbetriebenen Fackeln und Verwertungsanlagen (Emissionsstudie), Schlußbericht, Teil 1 und 2, erstellt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, April 1995
51 http://www.deutz.de/motoren/typen/pdf/620gde50.pdf
52 Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.): Energiebericht Sachsen 2001, hier S. 37; http://www.sachsen.de/de/wu/smwa/download/energiebericht_2001.pdf
53 Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG): Überarbeitete Prognose für Abfälle zur Beseitigung, die auf den Gebieten der einzelnen Abfallverbände und verbandsfreien öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger anfallen werden. Grundlage: Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2010, Sonderheft Nr. 2/2000, erschienen im März 2000, Hrsg.: Statistischen Landesamt Kamenz
54 LfUG, Herr Opitz: Mail an BZL GmbH, 2.12.2002

55 http://www.muenster.de/stadt/awm/privsperrliste_ja.html
56 IBA GmbH, Hannover, BZL GmbH, Oyten, CUTEC GmbH, Clausthal-Zellerfeld: Möglichkeiten der Kombination von mechanisch-biologischer und thermischer Behandlung von Restabfällen. F + E- Vorhaben Nr. 1471 114 im Auftrag des BMBF/UBA, 1998
57 Würdinger E., Wagner J., Tränkler J., Rommel W.: Studie über die energetische Nutzung der Biomasseanteile in Abfällen. BIfA-Texte Nr. 5, April 1998, hier Anhang C-8
58 Kowalski H.-D. (SMUL): Aktuelle Entwicklungen der Abfallentsorgung im Freistaat Sachsen. Manuskript zur Tagung des SIDAF: Aktuelle Situation und Perspektiven in der Abfallwirtschaft, Freiber, 15.04.-16.04.2002
59 http://www.zaoe-dresden.de/naviframe/index_aktuelles.html
60 Oresto: Erste Erfolge für SVZ zeichnen sich ab. EUWID Re Nr. 1/2, S. 6, 8.1.2003
61 BIWA Consult GbR, Freiberg: Abfallverband Nordsachsen (AVN), Oschatz: Abfallwirtschaftskonzept, 2. Fortschreibung, 27.09.2002
62 LfUG, Fr. Dr. Hausmann, Mail an BZL GmbH vom 20.12.2002
63 LfUG, Fr. Dr. Hausmann, pers. Mitt., 22.11.2002
64 Scharff H., Oonk H., Vroon R., Hensen A., Göschl R.: Verbesserte Methanoxidation durch Zwangsbelüftung unter einer Deponieabdeckung. Müll und Abfall 10, 591 - 595, 2001
65 GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Wien, AWS/TU Wien, ITIP/TU Wien: Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND). Endbericht, Version 3, erstellt im Auftrag vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Magistrat der Stadt Wien/MA 22, Umweltbundesamt GmbH (Wien), November 2000
66 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories. Report accepted by the IPCC Plenary at its 16th session held in Montreal, 1-8 May, 2000. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/gp/5_Waste.pdf
67 Johnke B, Umweltbundesamt Berlin: Statusbericht zur Einsparung von CO_2-Emissionen durch verbesserte Energienutzung in Siedlungsabfall-Verbrennungsanlagen – Stand Juli 2002. http://www.itad.de/energie/neuen2000.pdf
68 Heyde M., Kremer M.: Thermische Verwertung heizwertreicher Abfälle in der Müllverbrennungsanlage Borsigstraße in Hamburg. Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnologie und Verpackung, Freising, 1999
69 BZL GmbH: Defizitanalyse Ökobilanzen DSD. Rohstoffliche Verwertung von getrennt erfassten LVP-Verpackungen oder Mitbenutzung der Restmülltonne? Erstellt im Auftrag der Landbell AG. Oyten, den 16. Mai 2001
70 Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising, Dipl.-Ing. Till Nürrenbach, Dr. rer. nat. Michael Menner, und Technische Universität München, Lehrstuhl für Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Garching, Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich, Dr. rer. silv. Gabriele Weber-Blaschke, Dipl.-Ing. Florian Ramsl: Kurzfassung zum Projektbericht „Energetische Verwertung heizwertreicher Abfälle in bayerischen Müllverbrennungsanlagen: Beurteilung der Energie-, Abfall- und Emissionsbilanz“. Dezember 2001

71 BZL GmbH: Thermisch-regenerative Abgasreinigung für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung. Studie im Auftrag der Herhof Umwelttechnik GmbH. Oyten, 1.2.2001

72 Marutzky R.: Stoffliche und energetische Verwertung von Altholz. In: Thomé-Kozmiensky K.-J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. TK-Verlag, Neuruppin, 985 - 995, 2001

73 Projektträger Umwelt und Energie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft: Jahresbericht 2000. Förderprogramm „Immissions- und Klimaschutz einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energien“ http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/ptue-solar/bilanz00.pdf, plus dazugehörige Abbildungen, http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/ptue-solar/EE_2000.pdf

74 http://www.biomasse-info.net/biz/abfrage.asp?action=quicksearch&item=Heizkraftwerke&bl=sachsen

75 Blum B., Franke B., Börner R.: Wirkungsgrad und Leistungsverhalten der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage als Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk. In: Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Hrsg.: TU Bergakademie Freiberg. 8. Internationele Fachtagung, 5./6.9.2002, Freiberg S. 107 - 111

76 Sax P.: Wirtschaftlichkeit von Biomasseprojekten unter den Rahmenbedingungen des EEG und der BiomasseV. SIDAF, Abfallkolloquium 2002, freiberg, 21./22.10.2002, http://www.saxonia-freiberg.de/cgi-bin/showfile.pl?13/Rahmenbedingungen BKW.doc

77 **BRef LCP**: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Draft Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, Version März 2001

78 http://www.bmu.de/sachthemen/pilotprojekte/017.php

79 http://www.bmu.de/sachthemen/pilotprojekte/005.php

80 C.A.R.M.E.N. e.V. (Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk): Biomasseheizwerke auf dem Prüfstand. Evaluierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis von Biomasse in Deutschland. – gekürzte Fassung des Endberichts. Download: http://www.carmen-ev.de/deutsch/publik/evaluier.pdf

81 http://www.energie-umwelt.de/Biogas/BG_euro1-dt.htm

82 Knappe F., Vogt R.: Vergleichende ökologische Bilanzierung der Mitbehandlung von biologischen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen. In: Thomé-Kozmiensky K.-J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. TK-Verlag, Neuruppin, 667 – 687, 2001

83 Kaimer, M.; Schade D.: Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung. Präsentation der Akademie für Technikfolgenabschätzung 2002, http://www.ta-akademie.de/deutsch/bestellungen/downloadAuswert.asp?SID=3294544640-091653-03122002-21722511295&ID=357&Titel=PubTitel_Zukunftsfähige_Hausmüllentsorgung._Stuttgart_November_2002&DowDatum=03.12.2002&DownloaPath=textelk/praesHausmuell.pdf sowie Kaimer, M.; Schade D.: Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung (Effiziente Kreislaufwirtschaft durch Entlastung der Bürger). Erich Schmidt-Verlag Berlin, 2002

84 Dr. W. Seifert, Mail an BZL GmbH vom 24.12.2002

85 Dr. W. Seifert, Mail an BZL GmbH vom 24.01.2003

86 SVZ, Stefan H. Teschke: Schreiben vom 28.10.02 an BIWA Consult GbR

87 Dr. K. Wengenroth, Fa. Herhof: tel. Mitteilung vom 13.1.2003