



Das Lebensministerium



## Klimarelevanz und Energieeffizienz

Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den  
Abfallverbänden des Freistaates Sachsen

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

## Impressum

**Titelbild:** Restabfallbehandlungsanlagen im Freistaat Sachsen  
TA Lauta, MBS Dresden, MPS Chemnitz, MBA Cröbern, MBS Oelsnitz  
(Foto: Zusammenschnitt der von Anlagenbetreibern zur Verfügung  
gestellten Bildern)

**Bearbeiter:** BIWA Consult GbR, Freiberg  
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oyten  
Prof. Manfred Born, TU Bergakademie Freiberg

**Endredaktion:** Abteilung 4  
Wasser, Wertstoffe  
Referat 44  
S. Zinkler, K. Heinke, M. Mitschke  
E-Mail: [Stefan.Zinkler@smul.sachsen.de](mailto:Stefan.Zinkler@smul.sachsen.de)  
Tel.: 0351 8928 4400 Fax: 0351 8928 4099

**Redaktionsschluss:** 31.03.2009

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>VORBEMERKUNGEN UND AUFGABENSTELLUNG.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>VORGEHENSWEISE UND DURCHFÜHRUNG .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>BERECHNUNG DER KLIMARELEVANZ DER BEHANDLUNG UND ENTSORGUNG VERSCHIEDENER ABFALL- BZW. ALTSTOFFSTRÖME.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Methodik zur Berechnung der Klimarelevanz.....</b>	<b>16</b>
3.1.1	Methodenabgleich .....	16
3.1.2	Aktualisierung der Datenbasis .....	16
3.1.2.1	IPCC-Methodik .....	16
3.1.2.2	Ökobilanzielle Betrachtung.....	16
<b>3.2</b>	<b>Datengrundlagen .....</b>	<b>17</b>
3.2.1	Sächsische Abfallmengenströme 2007 .....	17
3.2.2	Daten zu Eigenschaften überlassener Abfälle .....	18
3.2.3	Bei der Modellierung der Behandlung überlassener Abfälle verwendete Daten für Last-/Gutschriften .....	18
3.2.3.1	Elektrischer Strom .....	18
3.2.3.2	Wärmeenergie (Fernwärme) .....	19
3.2.3.3	Dampf .....	19
3.2.3.4	Weitere Betriebsmittel .....	19
3.2.3.5	Stoff(rück)gewinnung.....	20
3.2.3.6	Emissionen aus der Deponierung von MBA-Rottegut.....	21
3.2.3.7	Transportbedingte Emissionen.....	21
3.2.4	Bei der Modellierung der Behandlung/Verwertung separat erfasster Stoffströme verwendete Daten für Last-/Gutschriften .....	22
3.2.4.1	Kompostierbare Abfälle .....	22
3.2.4.2	Altstoffe.....	22
<b>3.3</b>	<b>Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle.....</b>	<b>22</b>
3.3.1	Anlagen zur Behandlung und Entsorgung von überlassenen Abfällen.....	22
3.3.1.1	Müllverbrennungsanlagen .....	23
3.3.1.2	Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlagen und Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlagen .....	24

3.3.1.3	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage und Mechanische Aufbereitungsanlage.....	26
3.3.1.4	Braunkohle- und EBS-Kraftwerke .....	27
3.3.1.5	Zementwerke .....	29
3.3.2	Berechnungen zur Klimarelevanz für die Entsorgung überlassener Abfälle.....	29
3.3.2.1	Verbringung in Müllverbrennungsanlagen.....	30
3.3.2.2	Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlage plus energetische Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion.....	31
3.3.2.3	Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlage mit anschließender Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion in verschiedenen thermischen Anlagen .....	32
3.3.2.4	Verbringung in eine Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlage mit anschließender Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion in verschiedenen thermischen Anlagen .....	33
3.3.2.5	Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage mit anschließender Zwischenlagerung und Verwertung der heizwertangereicherten Fraktionen in verschiedenen thermischen Anlagen .....	34
3.3.2.6	Verbringung in eine Mechanische Aufbereitungsanlage und Zwischenlagerung	35
3.3.3	Berechnung der klimarelevanten Emissionen und Emissionseinsparungen der sächsischen ÖRE/AV .....	35
3.3.3.1	Klimarelevanz der Entsorgungslösungen 2007.....	35
3.3.3.2	Klimarelevanz der Transporte zu den Erstbehandlungsanlagen 2007 .....	36
3.3.3.3	Gutschrift für vermiedene Emissionen aus Ablagerung ohne Vorbehandlung ..	36
3.3.4	Sensitivitätsbetrachtung .....	36
<b>3.4</b>	<b>Klimarelevanz der Verwertung von kompostierbaren Abfällen .....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Mengen kompostierbarer Abfälle (Bioabfälle) 2007 .....	37
3.4.2	Bioabfallbehandlungsanlagen in Sachsen .....	38
3.4.3	Behandelte Abfallmengen .....	38
3.4.4	Erzeugter Kompost.....	39
3.4.5	Erzeugte Gärprodukte .....	39
3.4.6	Immissionsschutz bei Kompostierungsanlagen .....	39
3.4.7	Immissionsschutz bei Vergärungsanlagen.....	40
3.4.8	Klimarelevante Emissionen sächsischer Anlagen zur Behandlung kompostierbarer Abfälle .....	40
<b>3.5</b>	<b>Altstoffe .....</b>	<b>41</b>

<b>4</b>	<b>ENERGIEEFFIZIENZBERECHNUNG FÜR DIE BEHANDLUNG UND ENTSORGUNG ÜBERLASSENER ABFÄLLE .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Methodik der Bewertung der Energieeffizienz.....</b>	<b>44</b>
4.1.1	Energieeffizienz von thermischen Abfallbehandlungsanlagen .....	44
4.1.2	Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen.....	44
4.1.3	Vergleich der Energieeffizienz .....	45
<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>45</b>
4.2.1	Energieeffizienz von Anlagen im Betrachtungsgebiet, in denen Abfälle thermisch behandelt und verwertet werden.....	45
4.2.1.1	Energiebilanzen der Verbrennung gemischter Siedlungsabfälle .....	45
4.2.1.2	Energiebilanzen der Verbrennung heizwertangereicherter Fraktionen aus Siedlungsabfällen (Ersatzbrennstoffe) .....	47
4.2.1.3	Energiebilanzen der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Braunkohlekraft- bzw. -heizkraftwerken.....	48
4.2.2	Auswertung der Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen im Betrachtungsgebiet .....	49
4.2.2.1	Abfallverwertungssystem mit mechanisch-physikalischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des Ersatzbrennstoffs .....	49
4.2.2.2	Abfallverwertungssystem mit mechanisch-biologischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung der Ersatzbrennstoffe.....	50
4.2.2.3	Abfallverwertungssystem mit mechanisch-biologischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des erzeugten Ersatzbrennstoffs .....	52
4.2.2.4	Abfallverwertungssystem mit mechanischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des Ersatzbrennstoffs .....	53
<b>5</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Vergleich unterschiedlicher Verfahren der Abfallbehandlung im Wandel der Zeit</b>	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>Optimierungspotenziale .....</b>	<b>58</b>
5.2.1	Entsorgung überlassener Abfälle .....	58
5.2.2	Bioabfallverwertung.....	59
<b>5.3</b>	<b>Realisierbarkeit und erforderliche Randbedingungen zur Hebung der Optimierungspotenziale.....</b>	<b>62</b>
5.3.1	Erhöhung der Energieeffizienz.....	62
5.3.2	Anforderungen aus dem Genehmigungsrecht .....	63
5.3.3	Umsetzung genehmigungsrechtlicher Möglichkeiten.....	63

<b>6</b>	<b>EMPFEHLUNGEN UND MAßNAHMEN .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1</b>	<b>Ableitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen.....</b>	<b>66</b>
6.1.1	Altdeponien/Altlasten.....	66
6.1.2	Altstoffverwertung.....	66
6.1.3	Thermische Behandlungs- und Verwertungsanlagen und nicht-thermische Behandlungsanlagen.....	67
6.1.4	Bioabfallbehandlung.....	67
6.1.5	Abfälle aus Gewerbe und Industrie.....	68
<b>6.2</b>	<b>Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms des Freistaates Sachsen .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>70</b>

## Tabellenverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>Tab. 3.1:</b> Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für die den ÖRE und AV überlassenen Abfällen nach Entsorgungswegen, Angaben in Mg/a	18
<b>Tab. 3.2:</b> Von den ÖRE/AV 2007 separat erfassten Mengen an PPK, Altglas, Fe-Metalle, LVP <sup>a)</sup> , Angaben in Mg/a [3.8]	19
<b>Tab. 3.3:</b> Verwendete Datensätze für Abfälle (alle bezogen auf Frischsubstanz)	19
<b>Tab. 3.4:</b> Modellierung eines sächsischen Strommix 2005, nach GEMIS 4.4.2 (inkl. Vorketten); Emissionen in g/kWh <sub>el</sub>	20
<b>Tab. 3.5:</b> Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Lastschriften für den Verbrauch von Erdgas-D 2005, Öl-leicht 2005 und Diesel-DE 2005	21
<b>Tab. 3.6:</b> Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Lastschriften für den Betriebsmittelverbrauch der Rauchgasreinigung, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in g/kg	21
<b>Tab. 3.7:</b> Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Gutschriften für zur Verwertung ausgeschleuste Stoffe, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in kg/Mg Stoff	22
<b>Tab. 3.8:</b> Klimarelevante Emissionen von Transporten mit Lkw und Bahn, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in g/(Mg * km)	22
<b>Tab. 3.9:</b> Klimarelevante Emissionen bzw. Emissionseinsparungen (negativer Wert) aus der Behandlung von kompostierbaren Abfällen, Angaben in kg/Mg [3.15]	23
<b>Tab. 3.10:</b> Nettoentlastung klimarelevanter Emissionen aus der Verwertung von Altstoffen, Angaben in kg/Mg	23
<b>Tab. 3.11:</b> Charakteristika der MVA's, normiert auf 1 Mg Input	25
<b>Tab. 3.12:</b> Charakteristika der zwei MBS-Anlagen und einer MPS-Anlage in Sachsen, normiert auf 1 Mg Input	26
<b>Tab. 3.13:</b> Charakteristika der MBA-Anlage in Sachsen, normiert auf 1 Mg Input	27
<b>Tab. 3.14:</b> Charakteristika der MA, normiert auf 1 Mg Input	28
<b>Tab. 3.15:</b> Charakteristika des modellierten mitverbrennenden Braunkohle-Kraftwerks und der EBS-Kraftwerke, normiert auf 1 Mg Input haFr	29
<b>Tab. 3.16:</b> Charakteristika des ZEM, normiert auf 1,0 Mg Klinker-Output	30

<b>Tab. 3.17:</b>	Ergebnisse der Berechnung der Klimarelevanz der Entsorgung der überlassenen Abfälle unter Inanspruchnahme der oben beschriebenen Entsorgungslösungen im Freistaat Sachsen (Abweichungen bei Summen durch Rundungsdifferenzen)	37
<b>Tab. 3.18:</b>	Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für kompostierbare Abfälle nach Entsorgungswege, Angaben in Mg/a	39
<b>Tab. 3.19:</b>	Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für kompostierbare Abfälle nach RP's, Angaben in Mg/a	39
<b>Tab. 3.20:</b>	Abschätzung der klimarelevanten Emissionen der Behandlung kompostierbarer Abfälle in Sachsen im Jahr 2007	41
<b>Tab. 3.21:</b>	Abschätzung Einsparungen an Treibhausgasemissionen bei getrennt erfassten Altstoffen	42
<b>Tab. 5.1:</b>	Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der ÖRE/AV für die technischen Lösungen zur Abfallbehandlung [5.3] und Vergleich mit der aktuellen Abschätzung auf der Basis realisierter Entsorgungslösungen inkl. Sensitivitätsbetrachtung	59

## Abbildungsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>Abb. 2.1:</b> Abfallverbandsstruktur im Freistaat Sachsen 2007 [2.1]	15
<b>Abb. 2.2:</b> Bilanzgrenzen „Behandlung überlassener Abfälle“ für die Berechnungen zur Klimarelevanz, (schematische Darstellung)	16
<b>Abb. 3.1:</b> Ergebnis der Berechnung der Verbrennung von den drei ÖRE/AV überlassenen Abfällen in MVAs, normiert auf 1 Mg Anlagen-Input	31
<b>Abb. 3.2:</b> Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBS1 in zwei Modellanlagen, normiert auf jeweils 1 Mg Anlagen-Input	32
<b>Abb. 3.3:</b> Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBS in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MBS2	33
<b>Abb. 3.4:</b> Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MPS in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MPS	34
<b>Abb. 3.5:</b> Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBA in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MBA	35
<b>Abb. 3.6:</b> Ergebnis der Berechnung der gesamten Entsorgung der überlassenen Abfälle unter Inanspruchnahme einer MA und einer MBA sowie ZwiLa, normiert auf 1 Mg überlassenen Abfall	36
<b>Abb. 4.1:</b> Energiebeträge zur Ermittlung des Anlagennettowirkungsgrades von thermischen Abfallbehandlungsverfahren	45
<b>Abb. 4.2:</b> Energiebeträge zur Ermittlung des Nettowirkungsgrades in Abfallbehandlungssystemen mit energetischen Verwertungsanlagen	46
<b>Abb. 4.3:</b> Energiebeträge einer MVA mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	47
<b>Abb. 4.4:</b> Energiebeträge einer MVA mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	47
<b>Abb. 4.5:</b> Energiebeträge einer EBS-Verbrennungsanlage mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg EBS	48
<b>Abb. 4.6:</b> Energiebeträge einer EBS-Verbrennungsanlage mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg EBS	48

<b>Abb. 4.7:</b>	Energiebeträge eines Braunkohlekraftwerks mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg EBS	49
<b>Abb. 4.8:</b>	Energiebeträge eines Braunkohlekraftwerks mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet mit Ergänzungen), bezogen auf 1.000 Mg EBS	50
<b>Abb. 4.9:</b>	Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MPS (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	50
<b>Abb. 4.10:</b>	Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MPS mit energetischer Verwertung des EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA	51
<b>Abb. 4.11:</b>	Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MBA (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	52
<b>Abb. 4.12:</b>	Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MBA mit energetischer Verwertung der EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA	52
<b>Abb. 4.13:</b>	Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MBS (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	53
<b>Abb. 4.14:</b>	Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MBS mit energetischer Verwertung des EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA	53
<b>Abb. 4.15:</b>	Einfluss des Abfallheizwertes auf die Energieausbeute (Linien) und das Nutzenergieverhältnis (Säulen). Werte für EBS- und Kohlekraftwerk, bezogen auf EBS-Menge, für MVA auf gesamte Abfallmenge	54
<b>Abb. 4.16:</b>	Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MA (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall	55
<b>Abb. 4.17:</b>	Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MA mit energetischer Verwertung der EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA (die oberen Balken gelten nur, wenn ein EBS-Heizwert von 11 MJ/kg überschritten werden kann)	55
<b>Abb. 5.1:</b>	Abschätzung des Gesamtemissionspotenzials von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2006, inkl. der abgepackelten bzw. verwerteten Gasmengen, in 1.000 Mg CO <sub>2</sub> -Äq./a (Werte bis 1999 aus [5.1], ab 2000 aus [5.2], Berechnung nach VDI 3790 Bl. 2; abgepackeltes/verwertetes Deponiegas nur grob geschätzt)	57
<b>Abb. 5.2:</b>	Nutzungskonzepte für Biogas in der Übersicht sowie jeweils notwendige Maßnahmen [5.10, verändert]	62

<b>Abb. 7.1:</b>	Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle im Freistaat Sachsen - aktuelle Abschätzung auf der Basis realisierter Entsorgungslösungen mit Zwischenlagerung (Hochrechnung 2007) und ohne Zwischenlagerung der heizwertangereicherten Fraktionen, sondern Verbringung in Müllverbrennungsanlagen (Sens. 2007 MVA) oder in andere thermische Anlagen (Sens. 2007 best case)	72
<b>Abb. 7.2:</b>	Energetische Wirkungsgrade bei der Behandlung und Verwertung von Abfällen	73

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AV</b>	Abfallverband
<b>AVN</b>	Abfallverband Nordsachsen
<b>AWVC</b>	Abfallwirtschaftsverband Chemnitz
<b>EVV</b>	Entsorgungsverband Vogtland
<b>RAVON</b>	Regionaler Abfallverband Oberlausitz-Niederschlesien
<b>ZAOE</b>	Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal
<b>ZAS</b>	Zweckverband Abfallwirtschaft Südwestsachsen
<b>ZAW</b>	Zweckverband Abfallwirtschaft Westsachsen
<b>ZAZ</b>	Zweckverband Abfallwirtschaft Zwickau
<b>BAT</b>	Best available technique (BVT = beste verfügbare Technik)
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BKW</b>	Braunkohle-Kraftwerk
<b>BMA</b>	Biologisch-mechanische Behandlungsanlage (= MBA)
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>BRef</b>	Best Available Technique (BAT) Reference Document
<b>EBS</b>	Ersatzbrennstoffe
<b>EBS-KW</b>	Ersatzbrennstoff-Kraftwerk
<b>EF</b>	Emissionsfaktor
<b>E-Schrott</b>	Elektro- und Elektronik-Schrott
<b>Fe</b>	Eisenmetalle (-metallschrott)
<b>FS</b>	Frischsubstanz
<b>GEMIS</b>	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme ( <a href="http://www.gemis.de">www.gemis.de</a> )
<b>GasNZV</b>	Gasnetzzugangsverordnung
<b>GWP</b>	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial – Treibhauswirkung einzelner Gase im Vergleich zu CO <sub>2</sub> )
<b>haFr</b>	Heizwertangereicherte Fraktion
<b>hkFr</b>	Hochkalorische Fraktion
<b>Hu</b>	Unterer Heizwert – er gibt die Reaktionswärme bei vollständiger Verbrennung an, sofern das bei der Verbrennung gebildete Wasser in gasförmigem Zustand anfällt
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>k.A.</b>	Keine Angabe
<b>KS</b>	Kunststoffe
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>LfULG</b>	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
<b>LVP</b>	Leichtverpackung(en)
<b>MA</b>	Mechanische Aufbereitungsanlage (Sortieranlage)
<b>MBA</b>	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
<b>MechBio</b>	umfasst MBA, MBS und MPS
<b>MechSort</b>	siehe MA
<b>MBS</b>	Mechanisch-biologische Stabilisierungsanlage
<b>mkFr</b>	Mittelkalorische Fraktion
<b>MPS</b>	Mechanisch-physikalische Stabilisierungsanlage
<b>MVA</b>	Müllverbrennungsanlage
<b>NE</b>	Nicht-Eisenmetalle (-metallschrott)
<b>nkFr</b>	Niederkalorische Fraktion
<b>NOL</b>	Niederschlesischer Oberlausitzkreis
<b>ÖRE</b>	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
<b>PE</b>	Polyethylen (HD-PE: high density-PE, LD-PE: low density-PE)
<b>PPK</b>	Papier, Pappe, Kartonagen

### **Fortsetzung** Abkürzungsverzeichnis

<b>REA</b>	Rauchgasentschwefelungsanlage
<b>RGR</b>	Rauchgasreinigung
<b>RTO</b>	Regenerativ Thermal Oxidizer (regenerative thermische Abgasreinigung)
<b>SK</b>	Steinkohle
<b>SVZ</b>	Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe
<b>TA Luft</b>	Technische Anleitung Luft
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>ZEM</b>	Zementwerk
<b>ZwiLa</b>	Zwischenlager

## 1 Vorbemerkungen und Aufgabenstellung

Aktuell stellt der Klimawandel eine der größten globalen Herausforderungen für Politik, Gesellschaft und Wirtschaft dar. Die welt-, europa- und deutschlandweiten Anstrengungen auf dem Gebiet des Klimaschutzes werden durch länderspezifische Aktivitäten untersetzt, so auch im Freistaat Sachsen. Bereits im Jahr 2001 wurde das "Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen" verabschiedet [1.1], gefolgt vom "Energieprogramm Sachsen 2004" [1.2], das Anfang des Jahres 2007 aktualisiert und fortgeschrieben wurde [1.3]. Im Klimaschutzbericht 2005 [1.4] wurden die Ergebnisse der Umsetzung des Sächsischen Klimaschutzprogramms ausführlich dargestellt. Der Bereich der Abfallwirtschaft bildet im Klimaschutzprogramm einen gesonderten Schwerpunkt.

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (heute: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG) wurde im Zeitraum September 2001 bis Juni 2003 ein Forschungsvorhaben zum Thema "Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen" (Klimarelevanz 1) bearbeitet [1.5]. Auftragnehmer war die Biertgemeinschaft, bestehend aus der BIWA Consult GbR Freiberg und der BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten. Als Unterauftragnehmer wurde Herr Prof. Manfred Born, TU Bergakademie Freiberg, eingebunden.

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

Mit dem hier vorgestellten Vorhaben "**Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen**" (Klimarelevanz 2) wurden die Betrachtungen fortgeführt. In diesem Zusammenhang wurden auch die mittlerweile in Betrieb befindlichen Entsorgungssysteme mit entsprechender Anlagentechnik hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und Klimarelevanz untersucht.

Mit der Bearbeitung des FuE-Vorhabens "Klimarelevanz 2" wurde die Biertgemeinschaft, bestehend aus BIWA Consult GbR Freiberg und BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten beauftragt. Prof. Manfred Born (freier Mitarbeiter im Sächsischen Informations- und Demonstrationszentrum "Abfallbehandlungstechnologien" Freiberg - SIDAF) wurde als Unterauftragnehmer eingebunden.

### Literaturverzeichnis Kapitel 1

- [1.1] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen, Dresden 2001 (Stand: 01. Juni 2001)
- [1.2] Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit: Energieprogramm Sachsen 2004 – Leitlinien und Handlungsschwerpunkte, Dresden, Juni 2004
- [1.3] Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit: Energieprogramm Sachsen 2007 – Leitlinien und Schwerpunkte der sächsischen Energiepolitik, Dresden 2007 (Entwurf 31. Januar 2007)
- [1.4] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimaschutzbericht 2005 – Bericht zur Umsetzung des Sächsischen Klimaschutzprogramms, Dresden 2005
- 1.5] BIWA Consult GbR Freiberg, BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten (Bearbeiter): Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen, FuE-Vorhaben im Auftrag vom LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden
  - a): Teil 1: Methodenentwicklung, Bericht vom 28.06.2002
  - b): Teil 3: Gebrauchtholzbilanz 2000 und Prognose, Bericht vom 14.12.2001
  - c): Teile 2 und 4: Ergebnisse und Auswertung, Endbericht vom 12.05.2003

## 2 Vorgehensweise und Durchführung

Auf der Basis methodischer und weiterer vorbereitender Arbeiten wurden die Inhalte für die nachfolgenden Bearbeitungsphasen

- Datenerhebung und -auswertung,
- Systemvergleich, Bewertung, Szenarienbetrachtung, Maßnahmen und Handlungsempfehlung

festgelegt. Das Vorhaben lief von September 2007 bis Dezember 2008. Die Daten für die Berechnungen beziehen sich in der Regel auf das Jahr 2007. Der geographische Bilanzraum ist der Freistaat Sachsen. Soweit sächsische Abfälle außerhalb Sachsens entsorgt wurden, ging dies in die Bilanzierung ein.

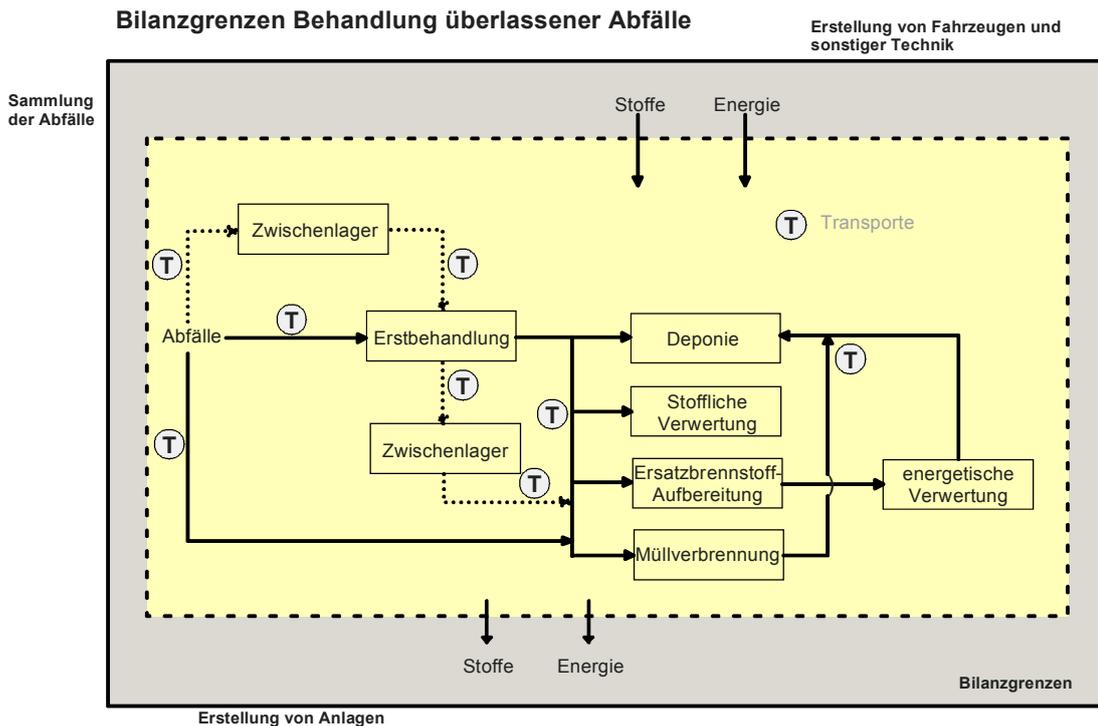
Der Studie "Klimarelevanz 2" liegen die territorialen abfallwirtschaftlichen Strukturen des Freistaates Sachsen aus dem Bilanzjahr 2007 zu Grunde (Abbildung 2.1). Die Kreisneugliederung, die zum 1. August 2008 in Kraft trat, findet im vorliegenden Bericht keine Beachtung. Die Betrachtungen und Ausführungen beziehen sich auf die Kreisgebietsstrukturen, die in Abbildung 2.1 dargestellt sind und die bis 31.07.2008 Bestand hatten.



**Abb. 2.1:** Abfallverbandsstruktur im Freistaat Sachsen 2007 [2.1]

Die in Abbildung 2.1 verwendeten Abkürzungen für die Abfallverbände werden auch im vorliegenden Bericht genutzt.

Im Fokus der Klimarelevanz- und der Energieeffizienzberechnungen standen die den ÖRE und den AV überlassenen Abfälle. Die Bilanzgrenzen für die Klimarelevanzberechnungen gehen aus Abbildung 2.2 hervor. Bei den Energieeffizienzberechnungen wurden Nachbehandlungen von Outputströmen aus thermischen Anlagen (z.B. Schlacken), Verwertungswege für ausgeschleuste Altstoffe und Transporte nicht mit modelliert.



**Abb. 2.2:** Bilanzgrenzen „Behandlung überlassener Abfälle“ für die Berechnungen zur Klimarelevanz (schematische Darstellung)<sup>1</sup>

Von zentraler Bedeutung waren die in Abbildung 2.2 schematisch dargestellten Systeme/Konzepte der AV und verbandsfreien Körperschaften. Folglich wurden diese nach den jeweils in ihren Zuständigkeitsbereichen installierten Systemen/Konzepten zur Abfallbehandlung befragt.

Bei Betreibern der betreffenden Anlagen zur Behandlung von überlassenen Abfällen wurden über Fragebogenabfragen, Telefon- und Mailaktionen und Vor-Ort-Gespräche anlagen-spezifische Betriebsdaten erhoben.

Neben den Anlagendaten fließen weitere Informationen in die Berechnungen zur Klimarelevanz und teilweise auch zur Energieeffizienz ein:

- Abfallmengen, Abfallmengenströme und -unterschiede
- Abfalleigenschaften,
- Energiedaten, Lastschriften für Verbräuche und Gutschriften für erzeugte Outputgüter.

Als Datenquellen standen hierfür im Wesentlichen die Siedlungsabfallbilanz 2007 [2.1], Ergebnisse einzelner sächsischer Abfallanalysen, statistische Angaben aus Datenbanken (GEMIS), Energiebilanzdaten und -berichte des Freistaates Sachsen zur Verfügung.

## Literaturverzeichnis Kapitel 2

- [2.1] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Siedlungsabfallbilanz des Freistaates Sachsen, Dresden, August 2008.

<sup>1</sup> Unter Erstbehandlungsanlagen werden hier Anlagen verstanden, an die die unbehandelten Abfälle angeliefert und wo sie (erstmalig) behandelt werden. Im Falle der thermischen Behandlung über Müllverbrennungsanlagen (MVAs), die im vorgenannten Sinne Erstbehandlungsanlagen darstellen, können diese zu gleich auch Anlagen zur „endgültigen“ Behandlung sein. Im Unterschied dazu sind mechanisch-biologischen oder anderen Anlagen weitere Anlagen nachgeschaltet – z.B. Anlagen zur energetischen Verwertung heizwertangereicherter Fraktionen.

### **3 Berechnung der Klimarelevanz der Behandlung und Entsorgung verschiedener Abfall- bzw. Altstoffströme**

#### **3.1 Methodik zur Berechnung der Klimarelevanz**

In der Vorgängerstudie [3.1] wurde zum einen die Methodik der überarbeiteten IPCC-Richtlinie aus dem Jahr 1996 zur Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare – Input/Output-Berechnung für fossiles C resp. CO<sub>2</sub> – verwendet, zum anderen wurde ein ökobilanzieller Ansatz angewendet. Die Studie erhob allerdings nicht den Anspruch einer umfassenden Ökobilanz.

##### **3.1.1 Methodenabgleich**

Um zu überprüfen, ob es neuere methodische Ansätze zur Bestimmung der Klimarelevanz abfallwirtschaftlicher Maßnahmen gibt, wurde ein kurzer Methodenabgleich mit den seit Erscheinen der Vorgängerstudie [3.1] von anderen namhaften Instituten vorgelegten Studien ([3.2] bis [3.6]) vorgenommen. Dieser Abgleich ergab, dass die Methode der Ökobilanzierung in der Abfallwirtschaft etabliert ist und dass sich in den analysierten Studien lediglich Abweichungen im Detail, bezogen auf das Vorgehen von "Klimarelevanz 1", ergeben. So wird etwa die Modellierung der Behandlung/Verwertung/Beseitigung entweder anhand konkreter Anlagen [3.4], [3.5] oder auch anhand typischer mittlerer Anlagen durchgeführt.

Auch wird die Modellierung eines Mix für Strom [3.4] oder Wärme [3.3] für einen Bilanzraum, der kleiner ist als das gesamte Land (Deutschland bzw. Österreich), von anderen Instituten praktiziert.

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

##### **3.1.2 Aktualisierung der Datenbasis**

###### **3.1.2.1 IPCC-Methodik**

Das IPCC hat seine Methodik für die Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare zuletzt im Jahr 2006 aktualisiert [3.7]. Es haben sich im Detail Konkretisierungen und Ergänzungen ergeben, die Basis aber – reine Input-Output-Bilanzierung – ist unverändert.

Gemäß IPCC-Richtlinie wurde für sächsischen Abfall und daraus erzeugte heizwertangereicherte Fraktionen (haFr) der Gehalt an Gesamt- und fossilem Kohlenstoff ermittelt. Diese wurden aktuell anhand von Sortieranalysen sächsischer ÖRE, Angaben von Betreibern von Aufbereitungs- und (Mit-)Verbrennungsanlagen sowie Literaturquellen und darauf aufbauend eigenen Abschätzungen und Berechnungen modelliert, vgl. Tabelle 3.3.

###### **3.1.2.2 Ökobilanzielle Betrachtung**

Beim ökobilanziellen Ansatz wurden gemäß dem Prinzip der Nutzengleichheit für die verbrauchten bzw. erzeugten Stoffe und Energien Systeme modelliert, die denselben Nutzen auf anderem Weg (andere Rohstoffe, andere Verfahren) erzeugen (Äquivalenzsystem). Die Erzeugung des äquivalenten Nutzens wird dann dem jeweiligen Verfahren gutgeschrieben (z.B. Verdrängung von Strom aus fossilen Energieträgern oder von Wärme aus Öl und Gas).

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden anhand von Datensätzen aus GEMIS folgende Sachsen spezifische Daten modelliert:

- ein sächsischer Strommix.
- ein Sachsen-Mix [26 % Öl- + 74 % Erdgasfeuerung] für Wärmeauskopplung.

Die Modellierung der weiteren Lastschriften für Verbräuche resp. Gutschriften für ausgeschleuste bzw. erzeugte Stoffe und Energieformen erfolgte anhand von GEMIS und Literaturdaten.

Die Transporte wurden ebenfalls in der Bilanz berücksichtigt. Hierbei wurden aus Vereinfachungsgründen nur Transporte mit schweren Nutzfahrzeugen der Klasse EURO3

modelliert. Die Modellierung der Transportentfernungen zwischen den Anlagen erfolgte dann anhand eines Internet-Routenplaners (www.abacho.de). Die verwendeten Datensätze sind im Kapitel 3.2 wiedergegeben.

## 3.2 Datengrundlagen

### 3.2.1 Sächsische Abfallmengenströme 2007

Für die Berechnungen der Klimarelevanz wurden die Abfallmengen aus der Siedlungsabfallbilanz 2007 [3.8] herangezogen. Die überlassenen Abfälle wurden den Entsorgungswegen Thermisch (MVA), MechSort (Mechanische Sortierung/Aufbereitung (MA)) resp. MechBio (MBA, MBS, MPS) zugeordnet. Die den ÖRE/AV überlassenen, separat erfassten Mengen kompostierbarer Abfälle wurden den Entsorgungswegen Vergärung oder Kompostierung zugeordnet, vgl. Tabelle 3.1.

**Tab. 3.1:** Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für die den ÖRE und AV überlassenen Abfälle nach Entsorgungswegen, Angaben in Mg/a

RP	AV	[MVA] Abfälle zur MVA, in Mg/a	[MechSort] Abfälle zur Sort./Aufb., in Mg/a	[MechBio] Abfälle zur MBA/MBS/ MPS, in Mg/a	Komp. Abfälle zur Vergärung, in Mg/a	Komp. Abfälle zur Kompo- stierung, in Mg/a
Chemnitz	ZAS	62.038	0	0	0	12.432
	AWVC	2.958	0	70.192	0	39.182
	EVV	0	0	43.603	2.143	4.898
	ZAZ	0	0	23.652	0	2.732
	Summe	64.996	0	137.447	2.143	59.244
Dresden	DD	1.665	0	79.138	0	35.633
	ZAOE	76.765	0	300	1.266	30.433
	RAVON	84.776	0	0	0	46.057
	Hoyersw.	172	0	6.907	0	1.279
	Summe	163.378	0	86.345	1.266	113.402
Leipzig	AVN	0	36.014	2.342	0	8.741
	ZAW	0	0	135.907	0	38.780
	Delitzsch	0	0	24.001	0	7.405
	Summe	0	36.014	162.250	0	54.926
<b>Freistaat Sachsen</b>		<b>228.374</b>	<b>36.014</b>	<b>386.042</b>	<b>3.409</b>	<b>227.572</b>

Tabelle 3.2 gibt die von den ÖRE/AV 2007 separat erfassten Mengen an Altstoffen wieder.

**Tab. 3.2:** Von den ÖRE/AV 2007 separat erfassten Mengen an PPK, Altglas, Fe-Metalle, LVP<sup>a)</sup>, Angaben in Mg/a [3.8]

RP	AV	PPK	Altglas	Fe-Metalle	LVP
Chemnitz	ZAS	25.856	10.195	1.660	17.439
	AWVC	35.489	15.949	929	21.062
	EVV	16.897	6.572	162	7.668
	ZAZ	15.334	6.831	0	11.211
	Summe	93.576	39.547	2.751	57.380
Dresden	DD	27.679	12.245	294	15.001
	ZAOE	28.947	13.360	111	16.996
	RAVON	34.172	16.603	413	20.204
	Hoyerswerda	2.730	1.083	1.500	2.193
	Summe	93.528	43.291	2.318	54.394
Leipzig	AVN	9.269	4.337	91	5.213
	ZAW	47.362	19.668	2.667	29.263
	Delitzsch	7.186	3.233	1.045	4.760
	Summe	63.817	27.238	3.803	39.236
<b>Freistaat Sachsen</b>		<b>250.921</b>	<b>110.076</b>	<b>8.872</b>	<b>151.010<sup>a)</sup></b>

<sup>a)</sup> LVP-Mengen enthalten separat erfasste Kunststoffmengen (Sachsen insgesamt: 2.641 Mg/a)

### 3.2.2 Daten zu Eigenschaften überlassener Abfälle

Tabelle 3.3 fasst die in der vorliegenden Studie verwendeten Datengrundlagen für die verschiedenen den ÖRE/AV überlassenen Abfallarten zusammen. Die Daten basieren auf Sortieranalysen sächsischer ÖRE, Angaben von Betreibern von Aufbereitungs- und (Mit-)Verbrennungsanlagen, Literaturquellen sowie darauf aufbauend eigenen Abschätzungen und Berechnungen.

**Tab. 3.3:** Verwendete Datensätze für Abfälle (alle bezogen auf Frischsubstanz)

Abfallart/-fraktion	Hu roh	C-Gehalt	Gehalt C <sub>biogen</sub>	Gehalt C <sub>fossil</sub>
Restabfall	8.500 MJ/Mg	245 kg C/Mg	177 kg C/Mg	68 kg C/Mg
Heizwertangereicherte Fraktionen	14.500 MJ/Mg	355 kg C/Mg	240 kg C/Mg	115 kg C/Mg
Ersatzbrennstoff	21.700 MJ/Mg	447 kg C/Mg	204 kg C/Mg	243 kg C/Mg
Gewerbeabfall, hausmüllähnlich	11.500 MJ/Mg	271 kg C/Mg	139 kg C/Mg	132 kg C/Mg
Sperrmüll	13.700 MJ/Mg	337 kg C/Mg	223 kg C/Mg	114 kg C/Mg
Abfälle von öff. Flächen <sup>a)</sup>	4.000 MJ/Mg	200 kg C/Mg	150 kg C/Mg	50 kg C/Mg

<sup>a)</sup> Hu wie Organik, Annahme: 40 % TS, davon 50 % C, davon wiederum 75 % biogen und 25 % fossil

### 3.2.3 Bei der Modellierung der Behandlung überlassener Abfälle verwendete Daten für Last-/Gutschriften

#### 3.2.3.1 Elektrischer Strom

Der Einsatz von Abfällen und daraus hergestellten heizwertreichen Fraktionen führt zur Bereitstellung von Energie in Form von Strom, Prozessdampf und/oder Wärme. Dabei sind dem Prozess (Mono-, Mitverbrennung) entsprechende Gutschriften zu erteilen. Hierfür sollte auf Wunsch des Auftraggebers, auch vor dem Hintergrund, dass Sachsen seit einigen Jahren

Strom exportiert, ein sächsischer Strommix modelliert werden. Da zum Zeitpunkt der Berichtslegung für Sachsen keine umfassenden Daten für die Jahre 2006 oder 2007 verfügbar waren, wurde mit dem Energiemix des Jahres 2005 gerechnet.

Allerdings wurde 2007 ein Großteil der Abfälle bzw. der daraus erzeugten haFr in Anlagen außerhalb Sachsens thermisch behandelt bzw. energetisch verwertet. Daher wird für die Gutschriften für die Bereitstellung von Strom und Wärme außerhalb Sachsens der bundesdeutsche Strom- bzw. Wärmemix angesetzt. Die Emissionen (inkl. Vorketten) des sächsischen Strommix betragen 915, die des deutschen Strommix 604 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>, vgl. Tabelle 3.4.

**Tab. 3.4:** Modellierung eines sächsischen Strommix 2005, nach GEMIS 4.4.2 (inkl. Vorketten); Emissionen in g/kWh<sub>el</sub>

Treibhausrelevante Stoffe in g/kWh <sub>el</sub>	Emissionen Braunkohle	Emissionen GuD-Gas-KW brutto (groß)	Emissionen Wasserkraft	Emissionen Windkraft	Emissionen Heizöl EL	Emissionen Steinkohle	Emissionen sonstige, wie Strommix D, Kraftwerksmix	Sachsen-Mix 2005
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	1.071	427	1,5	24	358	1.037	<b>604</b>	
Anteil "Sachsen-Mix 2005" [3.9]	79,6 %	9,3 %	4,4 %	3,2 %	0,1 %	0,1 %	3,3 %	100,0 %
<b>Summe</b>	853	40	0,1	0,7	0,4	1,0	20	<b>915</b>

### 3.2.3.2 Wärmeenergie (Fernwärme)

Die Gutschrift für die abgegebene Wärmeenergie hängt zum einen von der Absatzmöglichkeit der Wärme am Markt ab, konkret von der Frage, ob die erzeugte Wärme ganzjährig oder nur in Spitzenzeiten, z.B. in den Wintermonaten, absetzbar ist. Dies wird im Folgenden bei der Berechnung über den Anteil der Jahresbetriebsstunden, in denen eingespeist werden kann, berücksichtigt. Zum anderen hängt die Gutschrift für die abgegebene Wärmeenergie davon ab, welche Wärmeenergie sie verdrängt. Hier geht es vornehmlich um die Bereitstellung von Energien für die Gebäudeheizung. Sofern keine detaillierten Angaben über die Art der substituierten Raumwärme vorliegen, werden in der Studie 273,2 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>end</sub> für die Substitution des Kleinf Feuerungsanlagen-Mix Sachsen [31 % Öl- + 69 % Erdgasfeuerung] gutgeschrieben.

### 3.2.3.3 Dampf

Wird Prozessdampf an einen industriellen Abnehmer abgegeben, werden dort die ansonsten eingesetzten Brennstoffe zur Dampferzeugung substituiert. Das IFEU setzt hierfür generell einen Brennstoffmix von jeweils 50 % Erdgas und Heizöl an [3.10]. Dafür werden dem Prozess 290 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh als Emissionseinsparung gutgeschrieben. Sofern keine konkreten Daten im Einzelfall vorliegen, wird dieser Ansatz für die weiteren Berechnungen in dieser Studie übernommen.

### 3.2.3.4 Weitere Betriebsmittel

Für die Verbräuche an Erdgas, Heizöl und Diesel werden die Daten aus GEMIS 4.4.2 für das Jahr 2005 herangezogen, vgl. Tabelle 3.5.

Bei den thermischen Verfahren werden verschiedene Betriebsmittel zur Abgasreinigung eingesetzt. Hierfür wurden die in Tabelle 3.6 wiedergegebenen Lastschriften nach GEMIS 4.4.2 angesetzt. Die Eingabedaten sind ggf. entsprechend der Konzentration der Betriebsmittel umzurechnen.

**Tab. 3.5:** Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Lastschriften für den Verbrauch von Erdgas-D 2005, Öl-leicht 2005 und Diesel-DE 2005

Treibhausrelevante Stoffe	Erdgas-D 2005 [1 m <sup>3</sup> = 9,75 kWh bzw. 35,1 MJ]	Öl-leicht 2005 [1 l = 11,84 kWh bzw. 42,6 MJ]	Diesel-DE 2005 [Dichte = 0,840 kg/l, Hu = 42,6 MJ/kg = 11,85 kWh/kg]	
	[g/Vol]	(g/m <sup>3</sup> Gas)	(g/l Öl)	[g/kg]      [g/l]
CO <sub>2</sub> -Äq.	2.200	3.712	3.709	4.416

**Tab. 3.6:** Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Lastschriften für den Betriebsmittelverbrauch der Rauchgasreinigung, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in g/kg

Betriebsmittel	Ammoniak 100 %	Aktivkohle 100 %	CaCO <sub>3</sub> -Mehl 100 %	CaO fein 100 %	Ca(OH) <sub>2</sub> 100 %	Harnstoff 100 %	NaOH 50 %	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>a)</sup>
CO <sub>2</sub> -Äq. [g/kg]	2.096	446	44	1.094	819	928	472	- 408

<sup>a)</sup> negativer Wert durch Gutschriftenberechnung

### 3.2.3.5 Stoff(rück)gewinnung

Während der Erstbehandlung und/oder im weiteren Verfahrensverlauf werden stofflich nutzbare Stoffströme abgetrennt oder neue Stoffe erzeugt, für die jeweils entsprechende Gutschriften zu erteilen sind.

- **Metalle**

Durch den Einsatz von Sekundäreisen- und Nichteisenmetallen können die mit dem Einsatz von Primärmaterialien verbundenen klimarelevanten Emissionen eingespart werden. Für MVAs sind in der Regel nur die Gutschriften für die Rückgewinnung von Eisenmetallen (Auslese von Dosenschrott), für MBA/MBS/MPS/MA darüber hinaus auch von Nichteisenmetallen (Sekundäraluminium) relevant.

- **Methanol**

Im Falle der Vergasung von überlassenen Abfällen oder anderen Abfällen über das Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ) werden – wie in der Vorgängerstudie [3.1] – die Emissionen aus der Methanolerzeugung dem Prozess wieder gutgeschrieben, da keine Daten für eine anderweitige Modellierung verfügbar sind und die Anlage zudem nicht mehr in der damaligen Form betrieben wird. Die Modellierung erfolgt dabei anhand des damals verwendeten Stoffgemisches aus 14,9 % Steinkohle, 48,7 % Kunststoffabfall und 36,4 % sonstigem Abfall (39,6 % Rohmüllpellets; 23,4 % Holz; 23,4 % Trocken-Klärschlamm; 13,6 % Shredderleichtfraktion).

- **Schottermaterial**

Schlacken und Schmelzgranulate werden u.a. im Straßenbau verwertet. Sie verdrängen hier teilweise Primärrohstoffe. Da GEMIS 4.4.2 für Schotter keinen Eintrag aufweist, wird ersatzweise der von IFEU [3.10] für Schottermaterial verwendete Wert herangezogen.

- **REA-Gips**

Bei der Rauchgasentschwefelung fällt REA-Gips an. Dieser spielt heute in der Gipsindustrie eine bedeutende Rolle und substituiert dort Gips aus Primärrohstoffen.

- **Ammoniumsulfat aus der RTO**

Bei der Abgasreinigung mittels RTO fällt Ammoniumsulfat (Ammonsulfat, schwefelsaures Ammoniak,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) an, welches in der Landwirtschaft als Düngemittel eingesetzt werden kann. Mangels verfügbarer Daten in GEMIS/Probas wird auf einen Ansatz von IFEU zurückgegriffen [3.11], bei dem das gewonnene Ammoniumsulfat über die Primärherstellung von Ammoniumdünger modelliert wird. Für die vorliegende Studie wird die Modellierung auf den Stickstoffeintrag bezogen.

Tabelle 3.7 gibt die Daten wieder, wie sie für die Gutschriftenberechnung für die abgetrennten bzw. erzeugten Stoffe verwendet werden.

**Tab. 3.7:** Klimarelevante Emissionen zur Berechnung der Gutschriften für zur Verwertung ausgeschleuste Stoffe, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in kg/Mg Stoff

Treibhausrelevante Stoffe	Eisen	NE (Aluminium)	Methanol	REA-Gips	Schotter	Ammoniumsulfat
CO <sub>2</sub> -Äq. [kg/Mg]	1.927	12.868	355	45,9	3,9	5.660

- **Klinkererzeugung bzw. Klinkerersatz**

Der erzeugte Klinker wird dem Verfahren Zementerzeugung gutgeschrieben. Dies erfolgte in früheren Ökobilanzen ([3.12], [3.13]) immer für den Klinker "an sich", also unabhängig von der Frage, wie der Klinker erzeugt worden war. So hätte ein nach dem Nassverfahren erzeugter Klinker mit einem Energiebedarf von 5.000 MJ/Mg Klinker die gleiche Gutschrift erhalten wie ein Klinker, der nach einem modernen Verfahren mit einem spezifischen Energiebedarf von lediglich 3.200 MJ/Mg Klinker (BAT-Wert nach BRef-Dokument: 3.150 MJ/Mg Klinker, Trockenverfahren [3.14]) erzeugt worden wäre. Für erzeugten Klinker wird der spezifische Energieverbrauch oberhalb des BAT-Wertes von 3.200 MJ/Mg Klinker anteilig als Lastschrift berechnet.

Für die erzeugten Kraftwerksstäube, die als Zuschlag in der Spezialzementerzeugung Klinker ersetzen, wird die Verdrängung von "konventionell" erzeugtem Klinker (s.o.) unterstellt.

### 3.2.3.6 Emissionen aus der Deponierung von MBA-Rottegut

In der Vorgängerstudie [3.1] wurde anhand einer konkreten Modellierung die klimarelevante Emission der Deponierung von MBA-Rottegut mit 152 kg CO<sub>2</sub>-Äq./Mg Rottegut abgeschätzt (überwiegend Methan). Die Grundannahmen für diese Abschätzung sind gleich geblieben, daher wird dieser Wert auch in dieser Studie verwendet.

### 3.2.3.7 Transportbedingte Emissionen

Die Lastschriften für transportbedingte Emissionen werden anhand GEMIS 4.4.2 modelliert. Danach unterscheiden sich die Lkw-Typen EURO1 bis EURO5 hinsichtlich ihrer spezifischen Emissionen von CO<sub>2</sub>-Äq., CO<sub>2</sub> fossil und weiteren Treibhausgasen nicht oder nur so geringfügig, so dass aus Vereinfachungsgründen mit dem gleichen Wert für alle Fahrzeuge gerechnet werden kann. Dies gilt natürlich nicht für Luftschadstoffe wie NO<sub>x</sub> oder Feinstaub, die jedoch nicht klimarelevant sind. Je nach Standortgegebenheiten wären auch Transporte per Bahn einzubeziehen. Tabelle 3.8 gibt die verwendeten Lastschriften für Emissionen aus Transporten auf der Straße und auf der Schiene in Gramm pro Kilometer und Mg Fracht wieder.

**Tab. 3.8:** Klimarelevante Emissionen von Transporten mit Lkw und Bahn, nach GEMIS 4.4.2; Angaben in g/(Mg \* km)

Treibhausrelevante Stoffe	Emission Lkw	Emission Bahntransport
CO <sub>2</sub> -Äq. [g/(Mg * km)]	219,4	57,5

### 3.2.4 Bei der Modellierung der Behandlung/Verwertung separat erfasster Stoffströme verwendete Daten für Last-/Gutschriften

#### 3.2.4.1 Kompostierbare Abfälle

Die von den ÖRE/AV separat erfassten Mengen kompostierbarer Abfälle gelangen überwiegend (98,5 %) in die Kompostierung. Diverse Ökobilanz-Studien belegen die Vorteilhaftigkeit des Gesamtsystems Vergärung/Biogasnutzung gegenüber der Kompostierung von Bioabfällen. Mangels verfügbarer Daten zu den in Sachsen betriebenen Anlagen wurde daher mit Literaturangaben zur Klimarelevanz von Kompostierungs- und Vergärungsanlagen gerechnet [3.15].

**Tab. 3.9:** Klimarelevante Emissionen bzw. Emissionseinsparungen (negativer Wert) aus der Behandlung von kompostierbaren Abfällen, Angaben in kg/Mg [3.15]

	<b>Last-/Gutschrift, in kg CO<sub>2</sub>-Äq./Mg Abfall</b>
Kompostierungsanlagen mit Abgasfassung und -behandlung (Biofilter)	~ 69 <sup>a)</sup>
Offene Kompostierungsanlagen	~ 50
Vergärungsanlagen mit Biogasnutzung (BHKW)	~ - 50

a) Hallenkompostierung nach IFEU [3.16]; da Abgasreinigung über Biofilter, aber ohne sauren Wäscher, ist die Problematik der N<sub>2</sub>O-Bildung nicht gelöst, daher kein reduzierter Wert

#### 3.2.4.2 Altstoffe

Durch den Einsatz von Altstoffen können wertvolle primäre Ressourcen gespart werden. Tabelle 3.10 zeigt die klimarelevanten Nettoentlastungen, die erreicht werden können, wenn die von den sächsischen ÖRE/AV getrennt erfassten Altstoffe in den entsprechenden Anlagen zur Verwertung gelangt sind. Die dort erreichten Einsparungen werden allerdings diesen verwertenden Anlagen und nicht den ÖRE/AV zugerechnet.

**Tab. 3.10:** Nettoentlastung klimarelevanter Emissionen aus der Verwertung von Altstoffen, Angaben in kg/Mg

<b>Altstoffstrom</b>	<b>Netto-Entlastung bei Verwertung in [kg CO<sub>2</sub>-Äq./Mg]</b>
PPK	-183 bis -347 [3.17]
Altglas	- 106 bis -192 [3.18]
Fe-Metalle	-1.927 [GEMIS] bis -2.424 [3.2]
LVP	-254 [3.2]

### 3.3 Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle

#### 3.3.1 Anlagen zur Behandlung und Entsorgung von überlassenen Abfällen

Im Freistaat Sachsen waren im Jahr 2006 laut Statistischem Bundesamt [3.19] knapp 20 Anlagen für die Behandlung und Entsorgung von Abfällen in Betrieb (ohne biologische, chemisch-physikalische Behandlungsanlagen und Deponien). Dabei handelt es sich sowohl um Erstbehandlungsanlagen als auch um Anlagen zur nachfolgenden Behandlung und Entsorgung. Hiervon standen weniger als zehn für die Behandlung der den ÖRE/AV überlassenen Abfälle und den daraus erzeugten heizwertreichen Fraktionen zur Verfügung. Je nach Entsorgungskonzept des ÖRE/AV werden Abfallteilströme auch in Anlagen außerhalb des Freistaates Sachsen behandelt und/oder entsorgt. Gleiches gilt für Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, die so genannten Sekundärabfälle (wie Schlacken, RGR-Rückstände). In 2007 haben lediglich zwei AV die ihnen überlassenen Abfälle vollständig einer thermischen Behandlung in einer oder mehreren MVAs zugeführt, ein weiterer AV steuert Teilmengen in die thermische Behandlung.

Die anderen ÖRE/AV führen ihre Abfälle in nicht-thermische Anlagen, wo eine Stoffstromtrennung erfolgt. Dabei werden im wesentlichen eine oder mehrere haFr erzeugt, die dann in MVAs verbrannt oder in konventionellen oder Ersatzbrennstoff (EBS)-Kraftwerken mitverbrannt werden. Bis Mitte 2007 lieferten drei ÖRE/AV Teilmengen auch an das SVZ. Drei ÖRE/AV liefern Teile der erzeugten haFr an die Zementindustrie.

Für die weiteren Abschätzungen sollten die betreffenden Anlagen modelliert werden. Zu diesem Zweck wurden Erhebungsbögen an die sächsischen ÖRE/AV bzw. Betreiber mit der Abfrage anlagen- und standortspezifischer Daten (inkl. Verkehr, Energienutzungsmöglichkeiten etc.) versandt. Anhand der Datenrückläufe wurden die Informationen zu "Anlagen-Steckbriefen" verdichtet. Auf dieser Basis wurde die Berechnung der klimarelevanten Emissionen und erzielbaren Einsparungen durchgeführt. Da die Angaben den Autoren nur teilweise und dann unter Maßgabe einer vertraulichen Behandlung zur Verfügung gestellt wurden, werden in diesem Bericht die ÖRE/AV nicht namentlich benannt, sondern als ÖRE/AV1 usw. benannt. Die namentlichen Daten liegen nur dem Auftraggeber (LfULG) vor. Zudem werden die veröffentlichten Angaben auf jeweils 1 Mg Durchsatz normiert.

### **3.3.1.1 Müllverbrennungsanlagen**

Drei ÖRE/AV verbringen die ihnen überlassenen Abfälle oder zumindest größere Teilmengen in drei MVAs. Eine dieser Anlagen steht in Sachsen, die beiden anderen in Sachsen-Anhalt. Im Jahr 2007 gelangten insgesamt 223.579 Mg Abfälle in diese MVAs<sup>2</sup>.

Die für die Berechnung der Klimarelevanz verwendeten Daten der MVAs sind in Tabelle 3.11 wiedergegeben.

Alle drei Anlagen koppeln Strom aus, so dass nicht höhere energetische Wirkungsgrade als die genannten 19 bis 21 % erreicht werden.

---

<sup>2</sup> Neben diesen Mengen verbringen andere sächsische ÖRE/AV noch kleinere Mengen in die thermische Behandlung (insgesamt 4.795 Mg, 2007).

Tab. 3.11: Charakteristika der MVA's, normiert auf 1 Mg Input

Anlage	MVA1	MVA2	MVA3	Einheit
<b>Charakterisierung</b>				
Feuerung	Rost	Rost	Rost	
REA	quasitrocken	quasitrocken	quasitrocken	
Energieauskopplung	Strom	Strom	Strom	
<b>Input</b>				
Heizwert (H <sub>u</sub> )	9.625	11.000 (Auslegung)	9.350	MJ/Mg
Strom (Eigenbedarf)	86,7	k.A.	67,2	kWh <sub>el</sub> /Mg
Heizöl (Stützfeuerung)	1,2	k.A.	1,4	l/Mg
Aktivkohle/Aktivkoks	3,7	k.A.	0,6	kg/Mg
Ammoniak für SCR	2,5	k.A.	3,0	kg/Mg
CaO für RGR	24,8	k.A.	0	kg/Mg
Ca(OH) <sub>2</sub> für RGR	2,0	k.A.	40,3	kg/Mg
<b>Output</b>				
<b>Elektrischer Strom</b>				
Bruttoproduktion	594	k.A.	k.A.	kWh <sub>el</sub> /Mg
Nettoabgabe	508	641	527	kWh <sub>el</sub> /Mg
Elektrischer Wirkungsgrad (netto)	19 – 21			%
Substituierter Strommix	Sachsen	Bund	Bund	
<b>Output zur Verwertung</b>				
Schlacke	268	295	215	kg/Mg
Kesselasche	2	69	84	kg/Mg
Filterstaub	0	k.A.	s. Kesselasche	kg/Mg
REA-Gips/RGR-Rückstände	84,2	k.A.	0	kg/Mg
Fe	0,10	k.A.	0	kg/Mg
NE	0	k.A.	0	kg/Mg
Sonstiges	0,7	k.A.	0	kg/Mg
<b>Output zur Beseitigung</b>				
Schlacke	0	k.A.	32	kg/Mg
<b>Emissionen Transport (hin+rück)</b>				
Schlacke	426	k.A.	88	km
Kesselasche	506	k.A.	100	km
RGR-Rückstände	754	k.A.		km
Fe	5	k.A.		km

### 3.3.1.2 Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlagen und Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlagen

Fünf ÖRE/AV verbringen die ihnen überlassenen Abfälle oder zumindest größere Teilmengen in eine Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlagen (MPS) bzw. zwei Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlagen (MBS) in Sachsen. Im Jahr 2007 gelangten insgesamt 223.492 Mg Abfälle in diese Anlagen. Die drei Anlagen werden in der nachfolgenden Tabelle mit ihren Charakteristika dargestellt.

**Tab. 3.12:** Charakteristika der zwei MBS-Anlagen und einer MPS-Anlage in Sachsen, normiert auf 1 Mg Input

Anlage	MBS1	MBS2	MPS	Einheit
<b>Charakterisierung</b>				
Stabilisierung	biologisch	biologisch	thermisch	
Verfahren	Kurzrotte, Nachrotte	Kurzrotte	Heißluft	
Abgasreinigung:				
Biofilter	Nein	Nein	Ja	
RTO	Ja	Ja	Ja	
(Saurer) Wäscher	Nein	Nein	Luftbefeuchter	
Konfektionierung	-	(An)Pelletierung	Pelletierung	
<b>Input</b>				
Strom Eigenbedarf	40	128,5	108,3	kWh/Mg Anlagen-Input
Gas (Eigenbedarf)	5,1	3,1	32,4	m <sup>3</sup> /Mg Anlagen-Input
<b>Output</b>				
<b>Abfall zur thermischen Behandlung/Verwertung</b>				
Pellets aus haFr	0	k.A.	494	kg/Mg Anlagen-Input
Heizwertangereicherte Fraktion(en)	590	527	0	kg/Mg Anlagen-Input
Fe	2	27,4	25,2	kg/Mg Anlagen-Input
NE	0	5,2	1,0	kg/Mg Anlagen-Input
Inertien	150	102	29,2	kg/Mg Anlagen-Input
Schwertgut	0	0	88,0	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Abfall zur Beseitigung</b>				
nkFr	100	0	0	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Transporte Output Lkw</b>				
Pellets aus haFr	0	k.A.	300	km
Heizwertangereicherte Fraktion(en)	112	200	0	km
Fe	0	k.A.	100	km
NE	0	k.A.	100	km
Inertien	100	0	k.A.	km
Schwertgut	0	0	500	km
nkFr	100	0	0	km

### 3.3.1.3 Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage und Mechanische Aufbereitungsanlage

Zwei ÖRE/AV verbringen die ihnen überlassenen Abfälle in eine Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Sachsen (162.250 Mg). Weitere ÖRE/AV liefern geringe Mengen Gewerbeabfälle an diese Anlage (300 Mg). Ein ÖRE/AV verbringt die ihm überlassenen Abfälle zu mehreren Umladestationen. Von dort gelangt ein Teil der Abfälle in die MBA. Der weitaus größere Teil der Abfälle wird jedoch in einer MA in verschiedene Stoffströme unterteilt, die dann teils zwischengelagert, teils anderen Anlagen zur weiteren Behandlung oder Verwertung (MBA, MVA) zugeführt werden.

Tabelle 3.13 und 3.14 zeigen die wesentlichen Kenndaten der Anlagen; die Aufwendungen aus der vorgelagerten Umladung (Transport und Energiebedarf) der MA und der Zwischenlagerung sind mit integriert.

**Tab. 3.13:** Charakteristika der MBA-Anlage in Sachsen, normiert auf 1 Mg Input

Anlage	MBA	Einheit
<b>Charakterisierung</b>		
Stabilisierung	Endrotte	
Verfahren	Intensivrotte, Nachrotte	
Abgasreinigung:		
Biofilter	Ja	
RTO	Ja	
(Saurer) Wäscher	Ja	
Konfektionierung	Ballenpresse	
spez. Abgasvol.	3.094	m <sup>3</sup> /Mg Anlagen-Input
<b>Input</b>		
Summe Strom Eigenbedarf	52,3	kWh/Mg Anlagen-Input
Wärme	2,9	MJ/Mg Anlagen-Input
Gas (Eigenbedarf)	2,1	m <sup>3</sup> /Mg Anlagen-Input
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (60-78 %ig)	1,8	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Output</b>		
hkFr (Zwischenlager)	138	kg/Mg Anlagen-Input
mkFr	318	kg/Mg Anlagen-Input
Fe	28,2	kg/Mg Anlagen-Input
Schwergut	24,2	kg/Mg Anlagen-Input
E-Schrott	0,03	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Abfall zur Beseitigung</b>		
nkFr	337	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Transporte Output Lkw (geschätzt)</b>		
hkFr (Zwischenlager)	90	km
mkFr	90	km
Fe		
Schwergut	94	km
WEEE		
nkFr	94	km
<b>Emissionen</b>		
CO <sub>2</sub>	96.266	g/Mg
N <sub>2</sub> O	15,4	g/Mg
TOC	31,5	g/Mg

**Tab. 3.14:** Charakteristika der MA-Anlage, normiert auf 1 Mg Input

Anlage	MA	Einheit
<b>Input</b>		
Summe Strom Eigenbedarf	4,8	kWh/Mg Anlagen-Input
<i>Anlage</i>	3,4	<i>kWh/Mg Anlagen-Input</i>
<i>Umfadestationen</i>	1,4	<i>kWh/Mg Anlagen-Input</i>
Aktivkohle	0,049	kg/Mg Anlagen-Input
Kunststoffdraht (HD-PE) <sup>a)</sup>	0,5	kg/Mg Anlagen-Input
Folie (LD-PE) <sup>a)</sup>	2,2	kg/Mg Anlagen-Input
Diesel	0,22	l/ Mg Anlagen-Input
<b>Output</b>		
haFr	743	kg/Mg Anlagen-Input
# für MBA	19	kg/Mg Anlagen-Input
# für MVA3	723	kg/Mg Anlagen-Input
nkFr	236	kg/Mg Anlagen-Input
# zur Kompostierung	148	kg/Mg Anlagen-Input
# zur MBA	88	kg/Mg Anlagen-Input
Fe	21	kg/Mg Anlagen-Input
Kunststoffe/Gummi	0,2	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Transporte Output Lkw</b>		
haFr		
# für MBA	0	km
# für MVA3	100	km
nkFr		
# zur Kompostierung	100	km
# zur MBA	0	km
Fe	32	km
Kunststoffe/Gummi	32	km

a) Zahlen vom Zwischenlager übernommen

### 3.3.1.4 Braunkohle- und EBS-Kraftwerke

HaFr aus Siedlungsabfällen und daraus hergestellte EBS können auch in Stein- oder Braunkohle-Kraftwerken energetisch verwertet werden, sofern sie den jeweiligen Anforderungen der Anlage hinsichtlich Zusammensetzung und Schadstoffgehalt genügen. Um die Versorgungssicherheit der Kraftwerke nicht zu gefährden, ist der EBS-Zusatz allerdings auf wenige Prozentanteile an der Feuerungswärmeleistung begrenzt.

Für den Einsatz von abfallstämmigen EBS stehen in Sachsen lediglich mit Braunkohle befeuerte Kraftwerke zur Verfügung. Weitere mitverbrennende Braunkohlekraftwerke befinden sich in den anderen ostdeutschen Bundesländern.

Während konventionelle Kraftwerke in der Regel nur einen geringen Teil ihrer Feuerungswärmeleistung mit abfallstämmigen Brennstoffen decken, sind in den letzten Jahren bundesweit mehrere Projekte so genannter EBS-Kraftwerke realisiert worden. Diese Anlagen verwenden aus Siedlungs- und/oder Gewerbeabfällen sowie eigenen Produktionsrückständen aufbereitete EBS als Regelbrennstoff. Sie erzeugen dann je nach Abnehmer vorwiegend Prozessdampf bzw. Wärme und zusätzlich Strom.

In Sachsen ist derzeit kein EBS-Kraftwerk in Betrieb. Für die Modellierung der Effekte des Einsatzes haFr bzw. EBS in einem EBS-Kraftwerk wurde daher auf Anlagen außerhalb Sachsens zurückgegriffen. Eine dieser Anlagen erzeugt Prozessdampf für die eigene Produktion und koppelt zusätzlich noch Strom aus, die andere erzeugt nur Strom.

Die Charakteristika der anhand konkreter Anlagen modellierten mitverbrennenden Braunkohle- bzw. EBS-Kraftwerke sind in Tabelle 3.15 wiedergegeben, normiert auf 1 Mg Input an haFr. Aufgrund teilweise fehlender Angaben musste mit Annahmen gerechnet werden.

**Tab. 3.15:** Charakteristika des modellierten mitverbrennenden Braunkohle-Kraftwerks und der EBS-Kraftwerke, normiert auf 1 Mg Input haFr

Anlage	BKW1	EBS_KW1	EBS_KW2	Einheit
<b>Charakterisierung</b>				
Feuerung	Staubfeuerung	Rost	Rost	
REA	quasitrocken	quasitrocken	trocken	
Energieauskopplung	Strom (geführt), Nah-/ Fernwärme	Dampf + Strom, Wärme geführt	Strom, Prozessdampf möglich	
<b>Input</b>				
Braunkohle	43	0	0	Mg
Heizwert ( $H_u$ )	14.500	14.500	12.700	MJ/Mg Anlagen-Input
C-Gehalt mkFr	36,1	36,1	36,1	%
Strom (Eigenbedarf)	-	130,5	76,5	kWh/Mg Anlagen-Input
Heizöl (Stützfeuerung)	0,03	5,3	3.524	l/Mg Anlagen-Input
Aktivkohle/Aktivkoks		0	1,0	
Ammoniak für SCR		1,0	0	
CaCO <sub>3</sub>	22,9			kg/Mg Anlagen-Input
CaO für RGR		0	32,6	
Ca(OH) <sub>2</sub> für RGR		24,0	0,2	
Harnstoff		7,4	5,7	
<b>Output</b>				
<b>Elektrischer Strom</b>				
Bruttoproduktion	k.A.	532	1.012,7	
Nettoabgabe	685 <sup>a)</sup>	401,5	936,2	kWh <sub>el</sub> /Mg Anlagen-Input
Substituierter Strommix	Bund	Bund	Bund	
<b>Wärme</b>				
Nettoabgabe	1.063 <sup>b)</sup>	-	-	kWh <sub>th</sub> /Mg Anlagen-Input
Prozessdampf	-	1.380	möglich	kWh <sub>th</sub> /Mg Anlagen-Input
<b>Output zur Verwertung</b>				
Kesselasche	31,2	-	-	kg/Mg Anlagen-Input
Filterstaub	96,2	58,9	74,0	kg/Mg Anlagen-Input
REA-Gips/RGR-Rückstände	53,4	0	0	kg/Mg Anlagen-Input
Schlacke	-	231,6	205,7	kg/Mg Anlagen-Input
<b>Transport (hin+rück)</b>				
haFr	200	70	bis 1.300	km/Mg Anlagen-Input
Filterstaub	15	700	k.A.	km/Mg Anlagen-Input
Kesselasche	15	0	0	km/Mg Anlagen-Input
REA-Gips/RGR-Rückstände	15	0	0	km/Mg Anlagen-Input
Schlacke	0	700	k.A.	km/Mg Anlagen-Input

a) Wirkungsgrad elektrisch 17 % nach Kap. 4.2.1.3: 14.500 MJ \* 17 % = 685 kWh/Mg

b) Wirkungsgrad thermisch angenommen mit 26,4 %, Wert gemittelt zwischen Angaben nach Kap. 4.2.1.3 und Betreiberangaben zum Gesamtwirkungsgrad im Anlagen-Fragebogen

### 3.3.1.5 Zementwerke

Zahlreiche Zementwerke (ZEM) setzen abfallstämmige EBS ein, jedoch werden diese überwiegend nicht aus gemischten Siedlungsabfällen hergestellt, sondern beispielsweise aus Altöl, Altreifen, Kunststoffabfällen und Tiermehl. Für die Modellierung des Einsatzes heizwertreicher Fraktionen in einem ZEM konnten keine Daten von realen Anlagen verfügbar gemacht werden. Daher wurde ein BAT-Zementwerk und der Ersatz von Steinkohle mit einem Energieaustauschverhältnis von 1:1 modelliert. Tabelle 3.16 zeigt die wesentlichen Berechnungsdaten, normiert auf 1 Mg Klinker-Output.

**Tab. 3.16:** Charakteristika des ZEM, normiert auf 1 Mg Klinker-Output

Anlage	ZEM	Einheit
<b>Variante:</b>		
Emissionsschutz	BAT-Standard	
Energienutzung	BAT-Standard	
Reststoffe	Entfällt	
Sonstiges	Erzeug. v. 100 % Portlandzement	
<b>Spezifische Kenngrößen</b>		
spezifischer Energiebedarf	3.200	MJ/Mg Klinker
spezifischer Energiebedarf BAT	3.200	MJ/Mg Klinker
<b>Input</b>		
heizwertangereicherte Fraktion (funktionelle Einheit)	0,221	Mg FS/Mg Klinker
Heizwert (Hu) heizwertangereicherte Fraktion	14.500	MJ/Mg EBS
Anteil C regenerativ am C-Gehalt der haFr	67,6	%
CaO-Gehalt im Rohmehl	65,0	Gew.-%
CO <sub>2</sub> -Verlust über Bypass	2	%
Strombedarf	100	kWh/Mg Klinker
Bedarf an Steinkohle	112,1	kg/Mg Klinker
Heizwert Steinkohle	28.557	MJ/Mg SK
Ammoniak für SCR (50 % wg. thermischem NO <sub>x</sub> )	0,60	kg/Mg Klinker
<b>Transportentfernungen LKW</b>		
Transportentfernung haFr	220	km
<b>Emissionen</b>		
CaO-Emission nach IPCC	507	kg CO <sub>2</sub> /Mg Klinker
CaO-Emission + Bypass-Aufschlag	517	kg CO <sub>2</sub> /Mg Klinker
Emissionsfaktor SK	2,75	kg CO <sub>2</sub> /Mg SK
Emission SK	308	kg CO <sub>2</sub> /Mg Klinker
Emissionsfaktor haFr	1.302	kg CO <sub>2</sub> /Mg /Mg hkFr
	287	kg CO <sub>2</sub> gesamt/Mg Klinker
	422	kg CO <sub>2</sub> fossil/Mg haFr
	93	kg CO <sub>2</sub> fossil/Mg Klinker

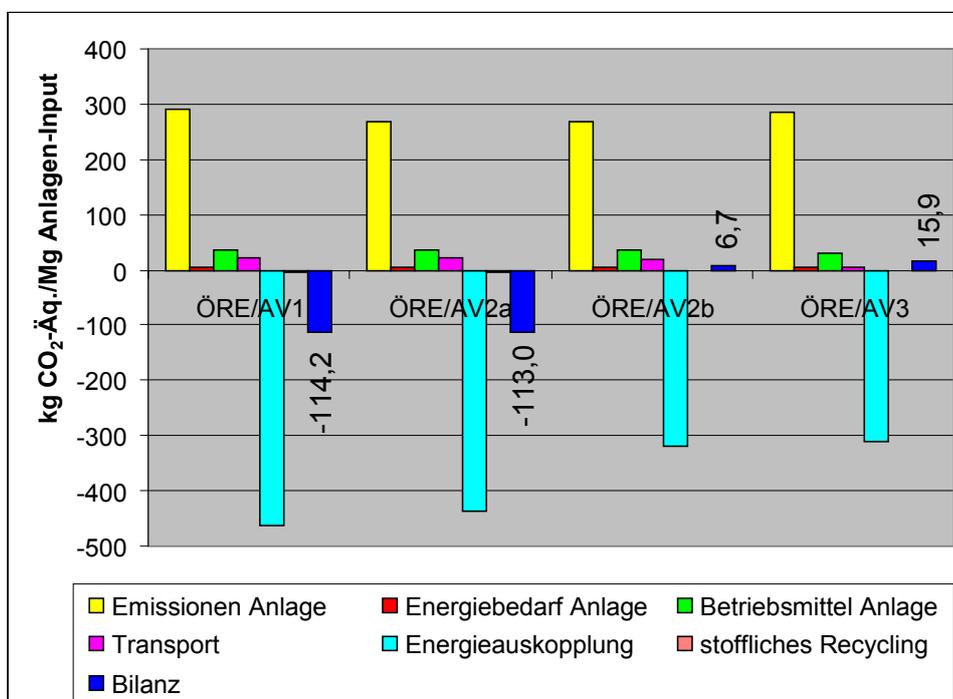
### 3.3.2 Berechnungen zur Klimarelevanz für die Entsorgung überlassener Abfälle

Anhand der in Kapitel 3.3.1 modellierten Anlagen wurden die klimarelevanten Emissionen und Emissionseinsparungen der verschiedenen realisierten Entsorgungswege sächsischer ÖRE/AV berechnet. Es werden in einem ersten Schritt die realisierten Anlagenkonstellationen berechnet, einschließlich der Transporte von der Erstbehandlungsanlage (ggf. hinter Umladestation) zu den nachfolgenden Anlagen (für alle relevanten Stoffströme). Die Transportaufwendungen für die Verbringung zur Erstbehandlungsanlage (ggf. via Umladestation) sowie ggf. Zwischenlager

(ZwiLA) wird separat für jeden ÖRE/AV modelliert, da diese Emissionen nicht von der gewählten Variante der nachfolgenden Verbringung der Outputströme abhängen.

### 3.3.2.1 Verbringung in Müllverbrennungsanlagen

Anhand der drei in Tabelle 3.11 dargestellten MVA wurden die klimarelevanten Effekte der Behandlung der den ÖRE/AV überlassenen Abfälle modelliert. Dabei wurde der Heizwert der Abfallgemische anhand der Zusammensetzung des Abfallaufkommens der ÖRE/AV berechnet. Die so berechneten Heizwerte des Abfallgemisches liegen zumeist im für den gesamten Jahresdurchsatz der Anlagen vom Betreiber angegebenen Bereich der Mischheizwerte. Da diese Anlagen jedoch auch Abfälle anderer Anlieferer (andere ÖRE/AV) annehmen, wurde anhand des modellierten Abfallgemisches aus den jeweils überlassenen Abfällen gerechnet. Die Aufwendungen für die Stützfeuerung wurden bei einem rechnerisch niedrigeren Heizwert entsprechend erhöht, die Auskopplung von Strom entsprechend dem geringeren Heizwert des Inputs angepasst. Fehlende Angaben zu Energiebedarf und Betriebsmitteln bei ÖRE/AV2 wurden anhand der Daten für ÖRE/AV1 modelliert. Abbildung 3.1 zeigt die Ergebnisse für drei ÖRE/AV, normiert auf 1 Mg Anlagen-Input.



**Abb. 3.1:** Ergebnis der Berechnung der Verbrennung von den drei ÖRE/AV überlassenen Abfällen in MVAs, normiert auf 1 Mg Anlagen-Input<sup>3</sup>

Im Ergebnis erzielen lediglich zwei ÖRE/AV mit ihrer Entsorgungslösung in Summe Einsparungen an klimarelevanten Emissionen, der dritte trägt dagegen unter ökobilanziellen Gesichtspunkten zur Klimabelastung bei. Dies hat vor allem zwei Ursachen:

- Alle untersuchten MVAs koppeln nur Strom, aber keine Wärme aus, und nur in einem Fall werden geringe Mengen Eisenschrott abgetrennt. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen für alle Anlagen um die 20 %. Für die Anlagen außerhalb Sachsens reichen die Gutschriften für die erzeugten Produkte nicht aus, die Lastschriften aus den direkten Emissionen sowie von weiteren Lastschriftträgern zu kompensieren.

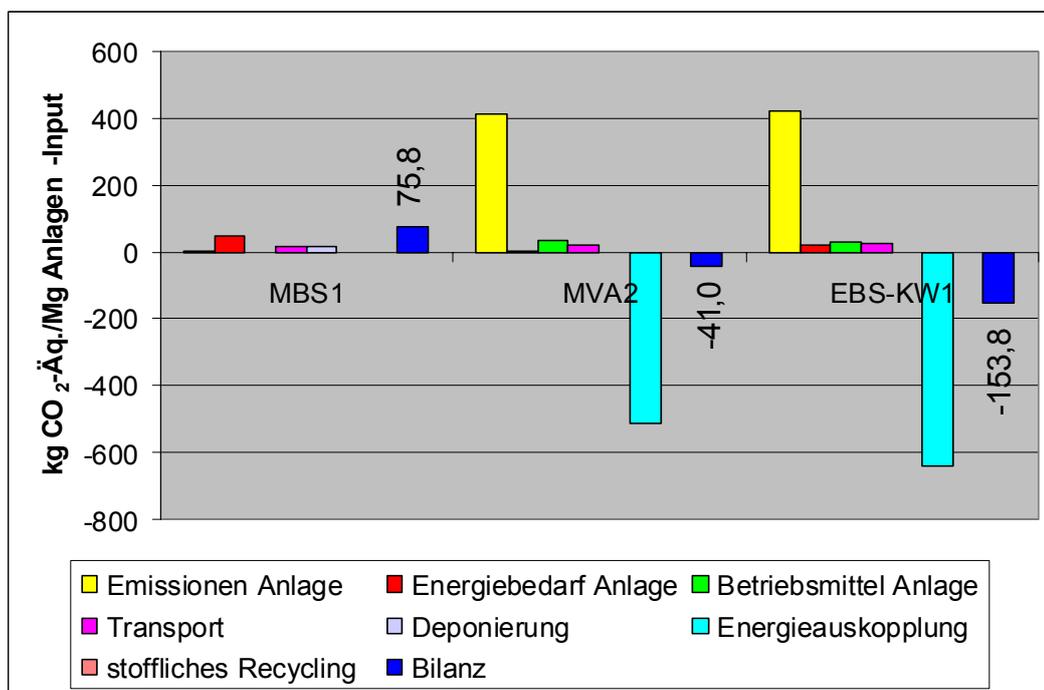
<sup>3</sup> Hinweis: Die Daten zu ÖRE/AV2a+b werden später gewichtet addiert, da identischer ÖRE.

- Eine wesentliche Klimaentlastung würde sich im Falle einer Kraft-Wärme-Kopplung ergeben, da dann entsprechend höhere Gutschriften erteilt würden.
- Für die sächsische MVA wurde für den erzeugten Strom der sächsische Strommix gutgeschrieben, für die anderen Anlagen der bundesdeutsche Strommix. Letzterer wird mit 604 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (sächsischer Strommix: 915 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh) erzeugt. Daher sind auch die erzielten Gutschriften für den in Anlagen außerhalb Sachsens (mit sächsischen EBS) erzeugten Strom um etwa ein Drittel geringer. Würde man für die sächsische Anlage ebenfalls den deutschen Strommix ansetzen, würde sich aus ökobilanzieller Sicht auch hier keine Klimaentlastung mehr ergeben (hierzu siehe auch die Sensitivitätsbetrachtungen).

Einer der ÖRE verbringt geringe Mengen Abfälle in eine mechanische Aufbereitungsanlage. Diese ist in Kapitel 3.3.1.3 dargestellt. Die Klimarelevanz wird entsprechend Kapitel 3.3.2.6 modelliert.

### 3.3.2.2 Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlage plus energetische Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion

Ein ÖRE/AV verbringt die in seiner MBS erzeugte haFr in verschiedene thermische Anlagen. An dieser Stelle wurden unterschiedliche Abnehmer modelliert: eine MVA (MVA2, vgl. Tabelle 3.11) und ein EBS-Kraftwerk (EBS-KW1, vgl. Tabelle 3.15). Die MBS-Anlage wurde mit den in Tabelle 3.12 wiedergegebenen Daten modelliert.



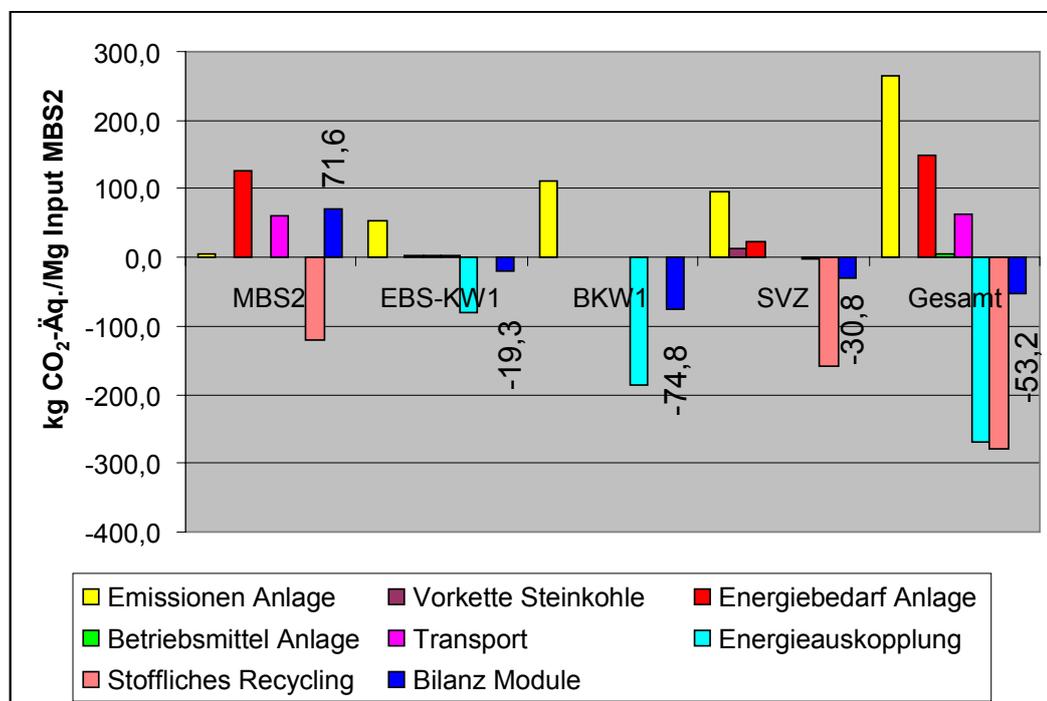
**Abb. 3.2:** Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBS1 in zwei Modellanlagen, normiert auf jeweils 1 Mg Anlagen-Input

Hier zeigt sich, dass die Aufwendungen (Lastschriften) in der MBS für die Abtrennung der haFr und weiterer Fraktionen zur Verwertung (insbesondere der Energiebedarf) die in der Anlage selbst erreichbaren Gutschriften für stoffliches Recycling bei weitem überwiegen. Andererseits ist durch die energetische Verwertung der haFr in externen Anlagen (jeweils Substitution Grundlast Strom Bund) ein Klimaentlastungseffekt zu erreichen, der diese Lastschriften überkompensieren kann. Gehen 100 % der haFr in die MVA2 (ohne KWK), reichen die Gutschriften nicht aus, gehen allerdings nur 20 % in die MVA2 und 80 % in das EBS-KW1, dann ist in der Summe eine Klimaentlastung zu erreichen (-1,6 kg CO<sub>2</sub>-Äq./Mg MBS-Input). Auch hier macht

sich wieder bemerkbar, dass der bundesdeutsche Strommix mittlerweile mit niedrigeren CO<sub>2</sub>-Äq./kWh produziert wird als der sächsische und daher die Gutschriften entsprechend geringer ausfallen. Würde mit der Substitution des sächsischen Strommix gerechnet, würde die Gutschrift für diese Entsorgungslösung in Summe mehr als -90 kg CO<sub>2</sub>-Äq./Mg MBS-Input betragen (hierzu siehe auch die Sensitivitätsbetrachtungen).

### 3.3.2.3 Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Stabilisierungsanlage mit anschließender Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion in verschiedenen thermischen Anlagen

Ein ÖRE/AV verbringt die in seiner MBS erzeugte haFr in verschiedene thermische Anlagen, teilweise lose, teilweise anpelletiert oder pelletiert. An dieser Stelle wurden unterschiedliche Abnehmer für die haFr modelliert (EBS-KW1, SVZ), die sich größtenteils außerhalb Sachsens befinden. Der ÖRE/AV verbringt daneben noch geringe Mengen Abfälle in eine MVA (MVA1). Abbildung 3.3 zeigt die Ergebnisse für die Verteilung der Massenströme aus der modellierten MBS2 auf die o.g. Anlagen.



**Abb. 3.3:** Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBS in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MBS2

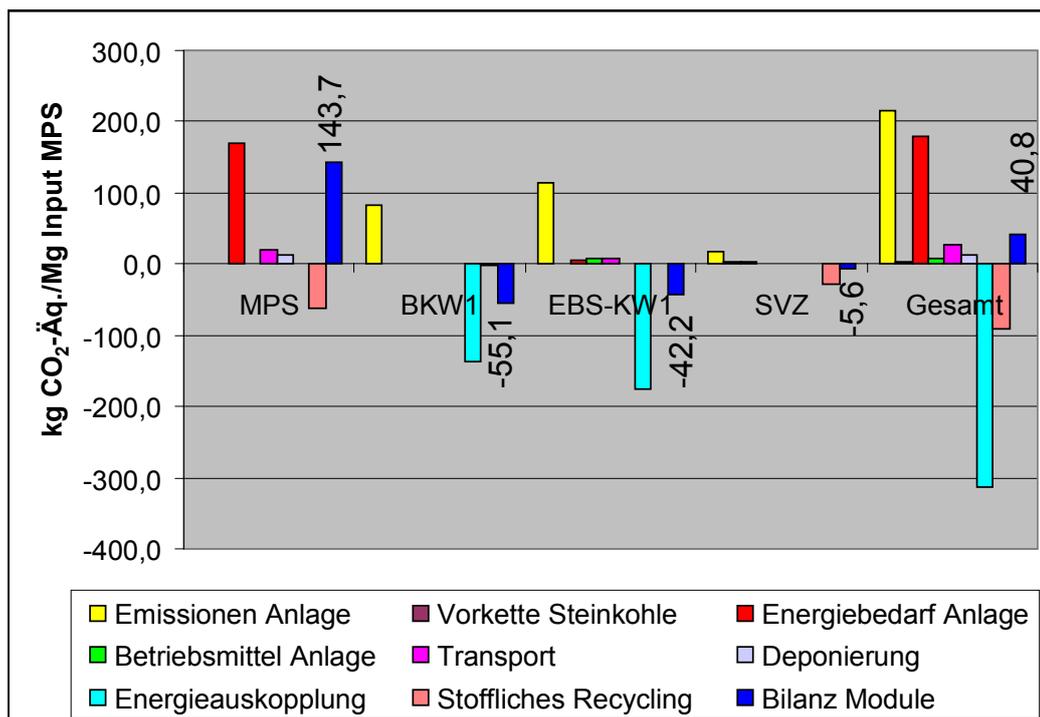
Insgesamt erweist sich die vom ÖRE/AV gewählte Entsorgungslösung als klimaentlastend, da in Summe mehr CO<sub>2</sub>-Äq. durch die ausgekoppelte Energie und Stoffe (Methanol) eingespart werden als durch den Energie- und Stoffbedarf der MBS verursacht werden. Dies liegt vor allem an den hohen Wirkungsgraden der verwertenden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Die Bilanz würde sich unter folgenden Bedingungen verschlechtern:

- Die abnehmenden Anlagen koppeln nur Strom, keine Wärme bzw. Prozessdampf aus.
- Der energetische Aufwand im SVZ war höher als modelliert – hierzu vgl. die Diskussion in der Vorgängerstudie [3.1].
- Die hohe Abtrennleistung für Eisen- und noch mehr für Nichteisen(NE)-metalle wird nicht beibehalten. Dann sinken die der MBS erteilten Gutschriften erheblich. Bei Einstellung der NE-Metall-Abtrennung würde das Gesamtergebnis für diese Entsorgungslösung klimabelastend ausfallen.

### 3.3.2.4 Verbringung in eine Mechanisch-Physikalische Stabilisierungsanlage mit anschließender Verwertung der heizwertangereicherten Fraktion in verschiedenen thermischen Anlagen

Zwei ÖRE/AV verbringen die ihnen überlassenen Abfälle in eine MPS. Die dort aus der haFr erzeugten Pellets werden in verschiedenen Anlagen in und außerhalb Sachsens (BKW1, EBS-KW1, SVZ) verwertet. Einer der ÖRE/AV verbringt daneben noch geringe Mengen Abfälle in eine MVA (MVA1). Ein anderer ÖRE verbringt noch sehr geringe Mengen Abfälle in eine MBS (MBS1).

Die folgende Abbildung 3.4 zeigt die Ergebnisse für die Variante MPS + thermische Anlagen für die Verteilung der Massenströme aus der modellierten MPS auf diese Anlagen.



**Abb. 3.4:** Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MPS in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MPS

Insgesamt erweist sich die von den ÖRE/AV gewählte Entsorgungslösung als klimabelastend, da in Summe weniger CO<sub>2</sub>-Äq. durch die ausgekoppelte Energie und Stoffe eingespart werden als durch den Energie- und Stoffbedarf der MPS verursacht wird. Trotz der hohen Wirkungsgrade der verwertenden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bzw. der hohen Gutschrift für die stoffliche Verwertung fällt die Bilanz negativ aus, weil der Aufwand in der MPS – hier insbesondere die Abfalltrocknung mittels Erdgas – zu einer starken Klimabelastung führt. Der Erdgasbedarf dieser Anlage liegt um Faktor 6 bis 10 höher als der, vergleichbarer Anlagen, die den Abfall biologisch trocknen, vgl. Tabelle 3.12.

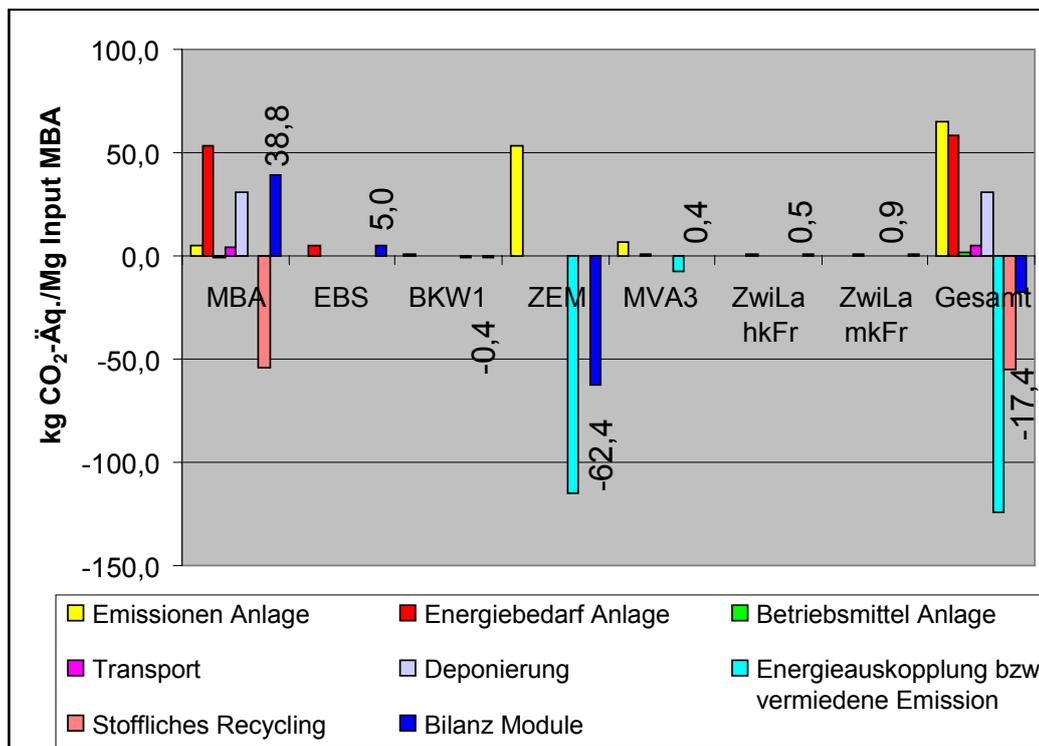
Die Bilanz würde sich unter folgenden Bedingungen weiter verschlechtern:

- Die abnehmenden Anlagen koppeln nur Strom, keine Wärme bzw. Prozessdampf aus.
- Der energetische Aufwand im SVZ war höher als modelliert – hierzu vgl. die Diskussion in der Vorgängerstudie [3.1].

### 3.3.2.5 Verbringung in eine Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage mit anschließender Zwischenlagerung und Verwertung der heizwertangereicherten Fraktionen in verschiedenen thermischen Anlagen

Zwei ÖRE/AV verbringen die ihnen überlassenen Abfälle in eine MBA. Dort werden im Wesentlichen drei Stoffströme erzeugt, die wie folgt bilanziert wurden:

- Eine niederkalorische Fraktion (nkFr): diese wird auf einer Deponie abgelagert.
- Eine mittelkalorische Fraktion (mkFr): diese wurde teilweise extern zu EBS aufbereitet, teilweise aber auch zu Ballen gepresst und zwischengelagert. In einem der ZwiLa wurde in etwa die gleichen Mengen, die eingelagert wurden, ausgelagert und zur EBS-Aufbereitung verbracht. Diese Mengen wurden ohne weitere Lastschriften gegeneinander aufgerechnet.
- Eine hochkalorische Fraktion (hkFr): diese wurde größtenteils zu Ballen gepresst und zwischengelagert.
- Ein dritter ÖRE/AV lieferte geringe Mengen Gewerbeabfälle zur Behandlung in die MBA. Aufgrund des höheren Heizwertes als Restabfall dürften diese Mengen insbesondere in die hkFr eingegangen sein, die zwischengelagert bzw. verbrannt wurde.
- Die mkFr aus der EBS-Aufbereitung wird in einem ZEM, (vgl. Tabelle 3.16) und in einem Braunkohlekraftwerk (BKW1, vgl. Tabelle 3.15) energetisch verwertet.
- Das Schwergut wird einer MVA zugeführt (MVA3, vgl. Tabelle 3.11). Nach [3.7] wird für Schwergut ein Hu von 8.500 MJ/Mg angesetzt, also der gleiche wie für überlassene Abfälle.



**Abb. 3.5:** Ergebnis der Berechnung der Verbrennung haFr aus MBA in verschiedenen thermischen Anlagen in und außerhalb Sachsens, normiert auf 1 Mg Input in MBA

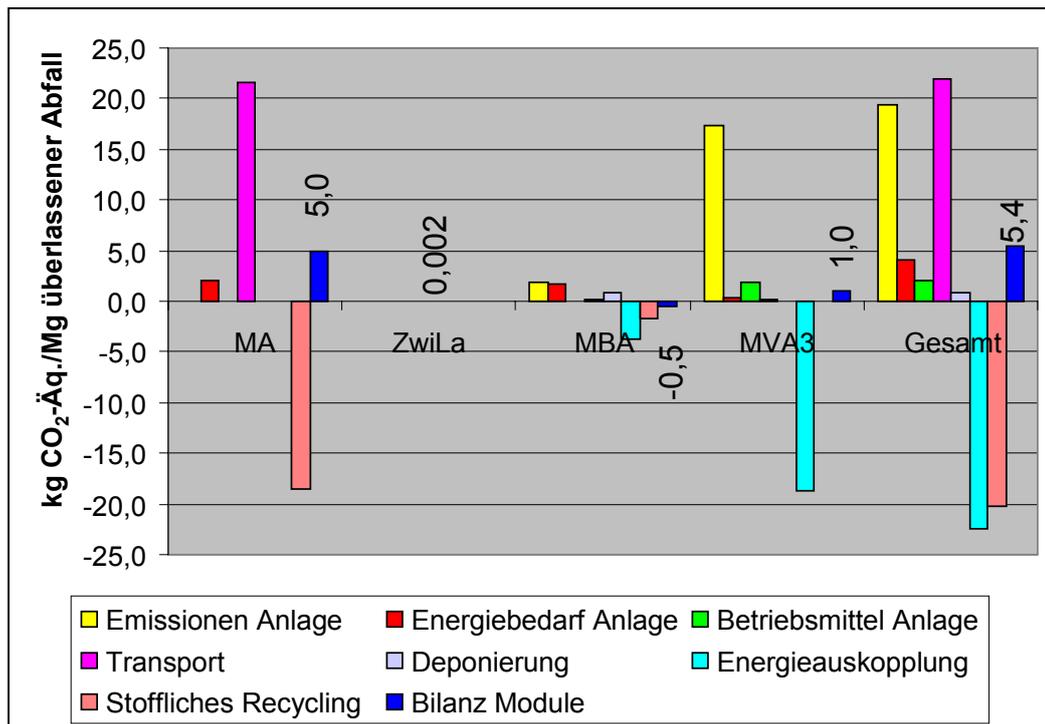
In Summe wird mit der gewählten Entsorgungslösung eine Klimaentlastung erreicht, allerdings nur knapp und nur unter der Voraussetzung, dass die haFr in den modellierten hochwertigen Anlagen (KWK-BKW und BAT-ZEM) verwertet werden. Werden weniger effiziente Anlagen angesteuert, kann das Ergebnis leicht in den Bereich der Klimabelastung (positiver Wert) kippen.

Das Ergebnis ist aber vor allem bestimmt durch den großen Anteil an heizwertangereicherter Masse, die zwischengelagert wird (über 50 % des energetisch nutzbaren Outputs). Deren hoher

Heizwert verlässt das Bilanzierungssystem ohne Gutschrift für das Jahr 2007. Hier schlägt vielmehr nur die Lastschrift für den Energieverbrauch zu Buche.

### 3.3.2.6 Verbringung in eine Mechanische Aufbereitungsanlage und Zwischenlagerung

Ein ÖRE/AV verbringt den weitaus größeren Teil der ihm überlassenen Abfälle in eine MA (vgl. Tabelle 3.14). Dort werden die Abfälle in verschiedene Stoffströme unterteilt, die dann teils zwischengelagert, teils anderen Anlagen zur weiteren Behandlung oder Verwertung zugeführt werden. Ein geringerer Teil wird direkt in die oben beschriebene MBA (vgl. Tabelle 3.13) verbracht. Die in der MA ausgeschleuste mkFr gelangt in die MBA (siehe Tabelle 3.13) oder in die MVA3 (vgl. Tabelle 3.11). Die nkFr wird über die MBA (siehe Kapitel 3.3.2.5) modelliert. Abbildung 3.6 stellt die Bilanz für den betreffenden ÖRE/AV dar.



**Abb. 3.6:** Ergebnis der Berechnung der gesamten Entsorgung der überlassenen Abfälle unter Inanspruchnahme einer MA und einer MBA sowie ZwiLa, normiert auf 1 Mg überlassenen Abfall

Die Ergebnisse zeigen, dass der Entzug der haFr(en) durch Verbringung in ein ZwiLa in der Form bemerkbar macht, dass im Bilanzjahr 2007 nicht genügend Gutschriften in Form von Strom und/oder Wärme generiert werden konnten. Hinzu kommt, dass die Verbringung der haFr in MVA3 ebenfalls nicht zur Klimaentlastung beiträgt, da diese Anlage nur Strom auskoppelt (bundesdeutscher Strommix). Die damit erzielbaren Gutschriften können die Lastschriften aus dem Aufwand nicht überkompensieren.

### 3.3.3 Berechnung der klimarelevanten Emissionen und Emissionseinsparungen der sächsischen ÖRE/AV

#### 3.3.3.1 Klimarelevanz der Entsorgungslösungen 2007

Aus der Verknüpfung der Abfallmengen mit den modellierten Entsorgungslösungen lassen sich die Beiträge der ÖRE/AV zu den Treibhausgasemissionen und die erzielbaren Emissionseinsparungen errechnen, vgl. Tabelle 3.17.

**Tab. 3.17:** Ergebnisse der Berechnung der Klimarelevanz der Entsorgung der überlassenen Abfälle unter Inanspruchnahme der oben beschriebenen Entsorgungslösungen im Freistaat Sachsen (Abweichungen bei Summen durch Rundungsdifferenzen)

RP	Thermisch	MechSort	MechBio	Summe (Mg CO <sub>2</sub> -Äq.)
<b>Chemnitz</b>	648	0	3.762	4.411
<b>Dresden</b>	-12.957	53	-4.578	-17.481
<b>Leipzig</b>	0	194	-2.824	-2.629
<b>Freistaat Sachsen</b>	-12.308	248	-3.639	<b>-15.699</b>

Die im Jahr 2007 von den sächsischen ÖRE/AV erreichten Einsparungen an Klimagasemissionen belaufen sich nach dieser Hochrechnung auf rund 15.700 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

### 3.3.3.2 Klimarelevanz der Transporte zu den Erstbehandlungsanlagen 2007

Wie eingangs erwähnt, werden die Transportaufwendungen für die Verbringung zur Erstbehandlungsanlage separat für jeden ÖRE/AV modelliert.

Aufgrund der Größe der Entsorgungsgebiete werden für die weitere Betrachtung Transportentfernungen zur Erstbehandlungsanlage (einfache Strecke) von oberhalb 25 km berücksichtigt. Alle Entfernungen unter 25 km werden als nicht ergebnisrelevant von der Berechnung ausgeschlossen. Für die Hinfahrt wird die volle Lastschrift angesetzt, für die Rückfahrt wird (optimistisch) eine Quote von 10 % Leerfahrten angesetzt. Insgesamt belaufen sich die Transportaufwendungen auf 28.998.356 Mg \* km, was einer Lastschrift von 6.363 Mg CO<sub>2</sub>-Äq. für das Jahr 2007 entspricht. Diese ist von den errechneten Einsparungen abzuziehen. Danach beträgt der Klimaentlastungseffekt unter Berücksichtigung der Transporte -9.336 Mg CO<sub>2</sub>-Äq. für das Jahr 2007.

### 3.3.3.3 Gutschrift für vermiedene Emissionen aus Ablagerung ohne Vorbehandlung

Durch die im Freistaat Sachsen im Jahr 2007 ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen wurden klimarelevante Emissionen eingespart, die ansonsten bei Fortführung der Ablagerung unbehandelter Abfälle aufgetreten wären. Hierfür ist in der Vorgängerstudie eine Gutschrift erteilt worden. Die Ablagerung unbehandelter Abfälle ist seit dem 1.6.2005 rechtlich nicht mehr zulässig. Aus ökobilanzieller Sicht ist hierfür eine Gutschrift daher nicht mehr zu erteilen. Aktuelle Ökobilanzstudien im Bereich der Abfallwirtschaft verzichten ebenfalls auf diese Berechnung, vgl. [3.10].

### 3.3.4 Sensitivitätsbetrachtung

Die Berechnungen zur Klimarelevanz der Entsorgungslösungen der sächsischen ÖRE/AV beruhen auf Umfrage und Literatur gestützten Daten und eigenen Modellierungen.

In der Sensitivitätsbetrachtung wird untersucht, wie sich die Ergebnisse für die Klimarelevanz der von den ÖRE/AV getroffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen verändern, wenn Rahmenbedingungen oder Grundannahmen verändert werden. Es wurden folgende neue Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt:

- Einfluss der Energieeffizienz,
- Einfluss der substituierten Energie,
- keine ZwiLa von haFr.

Auf Wunsch von Vertretern der ÖRE/AV auf der Präsentation der Ergebnisse am 22.10.2008 wurden folgende zusätzliche Betrachtungen durchgeführt:

- keine Verwertung im SVZ
- Verwertung von Ammoniumsulfat aus dem sauren Wäscher vor RTO.

Die Sensitivitätsanalyse ergab eine Ergebnisrelevanz von 20 % und mehr für den Einfluss der Energieeffizienz und der substituierten Energie sowie die Berücksichtigung der zwischengelagerten Mengen heizwertreicher Fraktionen. Hingegen bewegte der Einfluss der Modellierung für die Verwertung im SVZ und die Verwertung von Ammoniumsulfat aus saurem Wäscher vor RTO unter 20 %.

Hohe Ergebnisrelevanz hat die Energieeffizienz der jeweiligen Anlagen. So wurde für BKW1 ein Nettowirkungsgrad elektrisch von 17 % und von 26,4 % thermisch, in der Summe also 43,4 %, modelliert. Würde für dieses Kraftwerk bei ansonsten gleichen Aufwendungen eine höhere Energieeffizienz angesetzt, z.B. 30 % thermisch (d.h. 47 % Gesamtwirkungsgrad), würde sich die Gutschrift um rund 40 kg CO<sub>2</sub>-Äq/Mg haFr (14.500 MJ/Mg) erhöhen (von -283,8 auf -324,1 kg CO<sub>2</sub>-Äq/Mg haFr). Infolgedessen würde sich für das Szenario MBS2 der Klimaentlastungseffekt im Gesamtergebnis von -53,2 auf -63,8 kg CO<sub>2</sub>-Äq/Mg haFr (also um rund 20 %) erhöhen.

Ergebnisrelevant war auch die Modellierung eines sächsischen Strommix. Diese führte zu einer deutlich höheren Gutschrift für die Bereitstellung von elektrischer Energie innerhalb des Bilanzraums Sachsen als für die Energieauskopplung außerhalb des Freistaates. Infolgedessen waren Anlagen, die in Sachsen Strom aus sächsischen Abfällen bzw. daraus erzeugter haFr erzeugen, systematisch bevorzugt. Im Gegenzug werden die Entsorgungsvarianten, die innerhalb Sachsens unter Energieeinsatz eine haFr erzeugen, aber außerhalb verstromen (lassen), systematisch benachteiligt. Denn in diesen Fällen wird der Strombedarf für die Erzeugung der haFr in Gänze mit einer Lastschrift für den sächsischen Strommix belegt, die energiebezogen rund 50 % über dem Wert liegt, der später als Gutschrift für die Auskopplung von Strom außerhalb Sachsens angesetzt wird. Diese Diskrepanz wird sich verringern, wenn die Stromerzeugung in Sachsen zukünftig mit niedrigerem CO<sub>2</sub>-Äq./kWh als heute erfolgt, also z.B. der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromproduktion zunimmt. Sie wird sich umgekehrt noch vergrößern, wenn der Anteil erneuerbarer Energieträger am bundesdeutschen Strommix schneller steigt als beim sächsischen Strommix.

Diese Ergebnisse sind konsistent mit den Resultaten anderer Studien, bei denen die Klimarelevanz von Entsorgungslösungen ebenfalls von der energetischen Komponente (sieht man einmal von den Methanemissionen der heute nicht mehr zulässigen Deponierung ab) dominiert ist, und gibt Hinweise auf Optimierungspotenziale (siehe Kapitel 5.2).

### **3.4 Klimarelevanz der Verwertung von kompostierbaren Abfällen**

#### **3.4.1 Mengen kompostierbarer Abfälle (Bioabfälle) 2007**

Im Jahr 2007 fielen in Sachsen rund 231.000 Mg kompostierbarer Abfälle an, davon entfiel der Großteil von 216.302 Mg (93,6 %) auf getrennt erfasste Bioabfälle aus Haushalten. Davon wurden 123.079 Mg (53,3 %) über die Biotonne erfasst und 93.223 Mg (40,4 %) waren separat erfasste Grünabfälle aus Haushalten (Abweichung in der Summe durch Rundungsdifferenzen), siehe Tabelle 3.18.

Tabelle 3.19 zeigt eine Auswertung der Abfallbilanzdaten 2007 hinsichtlich der Entsorgungswege Vergärung und Kompostierung, strukturiert nach dem Aufkommen in den AV. Danach wurden die überaus größten Mengen der kompostierbaren Abfälle über Kompostanlagen verwertet. Nur geringe Mengen (ca. 1,5 % der kompostierbaren Abfälle) wurden der Vergärung zugeführt.

**Tab. 3.18:** Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für kompostierbare Abfälle nach Entsorgungswegen, Angaben in Mg/a

Abfallkategorie	Gesamt		zur Kompostierung		zur Vergärung	
	in Mg/a	Anteil	in Mg/a	Anteil	in Mg/a	Anteil
Getrennt erfasste Bioabfälle aus Haushalten	216.302	93,6 %	212.893	93,5 %	3.409	100,0 %
• Bioabfälle (Bio-tonne)	123.079	53,3 %	120.691	53,0 %	2.388	70,0 %
• Grünabfälle	93.223	40,4 %	92.202	40,5 %	1.021	30,0 %
Garten- und Parkabfälle	6.480	2,8 %	6.480	2,8 %	0	
Getrennt erfasste Bioabfälle aus Gewerbe und Industrie	8.199	3,5 %	8.199	3,6 %	0	
<b>Summe</b>	<b>230.981</b>	<b>100 %</b>	<b>227.572</b>	<b>100 %</b>	<b>3.409</b>	<b>100 %</b>

**Tab. 3.19:** Sächsische Abfallbilanzdaten 2007 [3.8] für kompostierbare Abfälle nach RP, Angaben in Mg/a

RP	Gesamt, in Mg/a	zur Kompostierung, in Mg/a	zur Vergärung, in Mg/a
<b>Chemnitz</b>	61.387	59.244	2.143
<b>Dresden</b>	114.668	113.402	1.266
<b>Leipzig</b>	54.926	54.926	0
<b>Freistaat Sachsen</b>	<b>230.981</b>	<b>227.572</b>	<b>3.409</b>
	100,0 %	98,5 %	1,5 %

### 3.4.2 Bioabfallbehandlungsanlagen in Sachsen

Ende 2006 belief sich der Anlagenbestand auf **72 Kompostierungs- und sechs Biogas- und Vergärungsanlagen**, in der Summe also **78 Anlagen** [3.20]. Die meisten Kompostierungsanlagen in Sachsen arbeiten mit einer Normkapazität von 5.000 bis < 10.000 Mg/a. Ab einer Kapazität von 3.000 Mg/a ist eine Genehmigung nach BImSchG erforderlich, kleinere Anlagen unterfallen den Bestimmungen des Baurechts. Ende 2006 waren 56 Kompostierungsanlagen nach BImSchG genehmigt und 16 Anlagen nach Baurecht ausgewiesen. Die Anlagen werden überwiegend (Kompostierungsanlagen) bzw. gar nicht (Vergärungsanlagen) von den ÖRE/AV betrieben.

Die Gesamtkapazität der 72 Kompostanlagen beträgt knapp 860.000 Mg/a, die der darin enthaltenen Anlagen, die gütegesicherten Kompost gemäß RAL-GZ 251 erzeugen, knapp 500.000 Mg/a.

Im Dezember 2006 waren in Sachsen sechs Vergärungsanlagen mit einer Kapazität von 141.600 Mg/a in Betrieb [3.20].

### 3.4.3 Behandelte Abfallmengen

Der Durchsatz der 72 sächsischen Kompostierungs- und Vergärungsanlagen betrug im Jahr 2006 rund 598.917 Mg, darunter 58.097 Mg Abfälle aus anderen Bundesländern und dem Ausland. Die rund 231.000 Mg der ÖRE/AV dürften daher im Jahr 2007 weniger als die Hälfte des Anlagendurchsatzes der sächsischen Kompostierungs-/Vergärungsanlagen ausgemacht haben.

Rund drei Viertel der Abfälle aus der Biotonne, die an sächsischen Kompostierungs-/Vergärungsanlagen angeliefert wurden, waren durch die sächsischen ÖRE/AV eingesammelt worden. In elf Landkreisen/Kreisfreien Städten erfolgte im Jahr 2006 keine Einsammlung von

Bioabfällen über die ÖRE/AV. Weitere rund 20 % stammten aus der Biotonnensammlung von ÖRE/AV außerhalb Sachsens. Der Rest stammte aus Biotonnen aus privatwirtschaftlichen Sammlungen aus einigen Landkreisen [3.21].

Grünabfälle aus Haushalten, die den ÖRE überlassen wurden, hatten einen Anteil von durchschnittlich 44 % an den gesamten Garten- und Parkabfällen, die an Kompostierungs-/Vergärungsanlagen angeliefert wurden. In den Jahren 2005 und 2006 war der Anteil der Garten- und Parkabfälle, der über die ÖRE bei Haushalten eingesammelt wurde, besonders groß. Im Jahr 2005 betrug er 65 % und 2006 fast 60 %.

#### **3.4.4 Erzeugter Kompost**

Im Jahr 2006 erzeugten die 72 sächsischen Kompostierungs- und Vergärungsanlagen 272.813 Mg Kompost. Gut ein Drittel der sächsischen Kompostierungs-/Vergärungsanlagen (n = 26) erzeugten 2006 rund 143.794 Mg gütegesicherten Kompost (entsprechend der vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (RAL) kontrollierten Gütesicherung), was mehr als der Hälfte des insgesamt erzeugten Kompostes (272.813 Mg) entsprach. Davon gelangten folgende Mengen in die Verwertung:

- Landschaftsgestaltung und -pflege sowie Rekultivierung: 62.293 Mg (= 46 % der in diesem Bereich eingesetzten Gesamtmenge)
- Land- und Forstwirtschaft: 45.090 Mg (= 48 % der in diesem Bereich eingesetzten Gesamtmenge)
- Private Haushalte: ~14.000 Mg (entspricht fast zwei Drittel der eingesetzten Mengen).

#### **3.4.5 Erzeugte Gärprodukte**

Vergärungsanlagen erzeugen Biogas, welches direkt oder ggf. nach Aufbereitung energetisch und zukünftig möglicherweise auch stofflich (Bioraffinerien) verwertet werden kann. Der mittlere Biogasertrag aus Bioabfall beträgt nach Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) rund 100 m<sup>3</sup>/Mg FM, mit einem Methangehalt von rund 61 % [3.22].

Bei der energetischen Nutzung können nach FNR [3.22] mit Gas befeuerte BHKW Wirkungsgrade von 30 bis 40 % elektrisch, 40 bis 60 % thermisch und ca. 85 % bei KWK-Betrieb erreichen.

Vergärungsanlagen erzeugen neben einem energetisch verwertbaren Biogas immer auch Gärreste. Diese können nach ggf. weiterer Aufbereitung zur Düngung und Bodenverbesserung in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Hierfür gibt es das RAL-Gütezeichen RAL-GZ 245 für Gärprodukte. Diese enthalten viele pflanzenbaulich relevante Nährstoffe sowie wertvolle organische Substanzen. Lediglich eine der acht sächsischen Biogasanlagen erzeugt gütegesicherte Gärprodukte.

#### **3.4.6 Immissionsschutz bei Kompostierungsanlagen**

Bestehende Kompostierungsanlagen waren nach TA Luft bis spätestens 30.10.2007 zu ertüchtigen. Anlagen mit einem Durchsatz größer 10.000 Mg/a waren einzuhausen (d.h. Einhausung des Annahmebereichs und der Hauptrotte) und eine vollständige Erfassung und Behandlung der Abgase zu installieren. Bei kleineren Anlagen ist die geschlossene Bauweise insbesondere dann erforderlich, wenn diese geruchsintensive nasse und strukturarme Bioabfälle verarbeiten.

Gemäß Nr. 5.2.4 TA Luft ist im Abgas ein Ammoniak-Grenzwert von 0,15 kg/h oder 30 mg/m<sup>3</sup> einzuhalten. Bei Anlagen > 3.000 Mg/a ist laut BMU eine Überschreitung der NH<sub>3</sub>-Frachtbegrenzung zu erwarten. Wegen der zusätzlichen Umwandlung von Ammoniak in Lachgas im Biofilter ist der Betrieb eines Biofilters ohne vorherige NH<sub>3</sub>-Abscheidung nicht sinnvoll. Daher sollten laut BMU aus Klimaschutzgründen Biofilter nicht ohne vorgeschalteten sauren Wäscher betrieben werden [3.23, 3.24].

Von den 72 sächsischen Kompostierungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von rund 860.000 Mg/a arbeiteten Ende 2006 lediglich acht Anlagen mit einer genehmigten Gesamtkapazität von ca. 160.000 Mg/a entweder mit geschlossenen Systemen (Rotteboxen, Container etc.) oder waren zumindest eingehaust. Alle übrigen Kompostierungsanlagen werden weiterhin mit offener Mieten-Kompostierung betrieben [3.20].

### 3.4.7 Immissionsschutz bei Vergärungsanlagen

Vergärungsanlagen arbeiten unter Luftabschluss. Emissionen können aber nicht nur im Störfall auftreten, sondern an vielen Stufen entlang der Prozesskette [3.25], u.a. bei der Anlieferung und Lagerung der Substrate: (Geruchsstoffe, Ammoniak (Güllelager), Methan (Sickerwasser)), bei der Gasreinigung (Methanschluß), im Abgas des BHKW (Formaldehyd > 60 mg/m<sup>3</sup> (Grenzwert TA Luft), Methan: 0,5 bis 1,8 % des eingespeisten Methans können wieder entweichen [3.26]) oder auch bei Ausbringung der Gärreste auf landwirtschaftlichen Flächen (Lachgas, Ammoniak).

Vergärungsanlagen benötigen Energie für ihren Betrieb. Durch die anschließende Verstromung oder Kraft-Wärme-Kopplung (direkt auf der Anlage oder an anderer Stelle) wird jedoch netto mehr Energie in Form von Strom und Wärme bereitgestellt, als die Vergärungsanlage an Strom benötigt.

### 3.4.8 Klimarelevante Emissionen sächsischer Anlagen zur Behandlung kompostierbarer Abfälle

Diverse Ökobilanz-Studien und andere Studien belegen die Vorteilhaftigkeit des Gesamtsystems Vergärung/Biogasnutzung gegenüber der Kompostierung von Bioabfällen (siehe z.B. [3.27]).

Wie Tabelle 3.19 zeigt, wurden nur 1,5 % (3.409 Mg) der von den ÖRE/AV eingesammelten Bioabfälle in eine Vergärungsanlagen verbracht, rund 227.572 Mg (98,5 %) wurden kompostiert. Eine Zuordnung der kompostierten Mengen zu Anlagen ist nicht möglich, daher wird davon ausgegangen, dass die kompostierten Bioabfallmengen entsprechend der Kapazität der geschlossenen (19 %) bzw. offenen Kompostierungsanlagen (81 %) behandelt wurden. Tabelle 3.20 zeigt eine Abschätzung der klimarelevanten Emissionen basierend auf Literaturangaben [3.28].

**Tab. 3.20:** Abschätzung der klimarelevanten Emissionen der Behandlung kompostierbarer Abfälle in Sachsen im Jahr 2007

	Kompostierbare Abfälle in Mg/a	Last-/Gutschrift in kg CO <sub>2</sub> -Äq./Mg Abfall [3.28]	Klimaeffekt in Mg CO <sub>2</sub> -Äq./a
Kompostierungsanlagen mit Abgasfassung und -behandlung (Biofilter)	42.339	~ 69 <sup>a)</sup>	2.921
Offene Kompostierungsanlagen	185.233	~ 50	9.262
Vergärungsanlagen mit Biogasnutzung (BHKW)	3.409	~ -50	-170
<b>Gesamt</b>	<b>230.981</b>		<b>12.013</b>

<sup>a)</sup> Hallenkompostierung nach IFEU [3.28]; da Abgasreinigung über Biofilter, aber ohne sauren Wäscher, ist die Problematik der N<sub>2</sub>O-Bildung nicht gelöst, daher kein reduzierter Wert

Das Ergebnis von rund 12.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./a für 2007 fällt deutlich niedriger aus als der für das Jahr 2000 errechnete Wert, trotz etwa gleich hohen Aufkommens an Bioabfällen. Die Ursache hierfür liegt an den vergleichsweise geringen Gutschriften für die Vergärung/Biogasnutzung. Während in der Vorgängerstudie [3.1] mit einer 50%igen Auslastung der geschätzten Anlagenkapazität von 125.000 Mg/a gerechnet wurde, sind im Ergebnis für 2007 nur die von den ÖRE/AV angelieferten Bioabfälle berücksichtigt. Würde entsprechend dem Ansatz der Vorgängerstudie für die heutige Anlagenkapazität von 189.480 Mg/a eine 50%ige Auslastung angesetzt (Anlieferungen von ÖRE/AV und Dritten), würde sich die Entlastung auf 4.737 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./a für 2007 belaufen.

Auf eine Betrachtung der Transportaufwendungen wird an dieser Stelle verzichtet, da die Kompostierungsanlagen regional eine hohe Dichte aufweisen und die Transportentfernungen daher nicht ergebnisrelevant ausfallen dürften.

### 3.5 Altstoffe

Im Jahr 2007 wurden im Zuständigkeitsbereich der sächsischen ÖRE/AV 520.000 Mg Altstoffe einer Verwertung zugeführt. Anhand der Daten anderer Ökobilanzen für die Verwertung von Altstoffen können die aufgrund der getrennten Altstofffassung der ÖRE/AV möglichen Einsparungen an Treibhausgasemissionen wie folgt abgeschätzt werden.

**Tab. 3.21:** Abschätzung möglicher Einsparungen an Treibhausgasemissionen bei getrennt erfassten Altstoffen

Altstoffstrom	Von den ÖRE/AV erfasstes Aufkommen 2007, in Mg	Netto-Entlastung bei Verwertung, in kg CO <sub>2</sub> -Äq./Mg	Durch Recycling erreichbare Emissionseinsparung (2007), in Mg CO <sub>2</sub> -Äq.
PPK	250.921 <sup>a)</sup>	-183 bis -347 [3.17]	-34.000 bis -65.000 (optim. <sup>b)</sup> -10.500 bis -20.100 (real.) <sup>c)</sup>
Altglas	110.076	- 106 bis -192 [3.2]	-11.700 bis -21.100
Fe-Metalle	8.872	-1.927 [3.29] bis -2.424 [3.2]	-17.100 bis -21.500
LVP	151.010	-254 [3.2]	-38.400
<b>Gesamt</b>	<b>520.879</b>		<b>-101.200 bis -146.000 (opt.)<sup>b)</sup></b> <b>-77.700 bis -101.100 (real.)<sup>c)</sup></b>

a) Daraus können 188.000 Mg Recyclingpapier erzeugt werden.

b) Optimalszenario: Gesamte PPK-Mengen werden für die Produktion grafischer Papiere eingesetzt.

c) Realszenario: 30,9 % der PPK-Mengen gelangen in die Produktion grafischer Papiere. Gutschriften für Verwertung in Produkten minderer Qualität hier nicht berücksichtigt.

Die Zahlenwerte in Tabelle 3.21 Spalte 4 dürfen nicht als real erreichte Einsparungen für Sachsen verstanden werden. Sie stellen eine **Abschätzung** dafür dar, welche Einsparungen **größenordnungsmäßig** erreicht werden, wenn die getrennt erfassten Altstoffe in den entsprechenden Anlagen zur Verwertung gelangt sind. Die dann dort erreichten Einsparungen werden allerdings nicht den sächsischen ÖRE/AV, sondern den verwertenden Anlagen zugerechnet.

Diese Betrachtungen betreffen lediglich Altstoffe, die in der Zuständigkeit der ÖRE/AV separat erfasst und verwertet bzw. durch die ÖRE/AV statistisch erfasst wurden. Altstoffmengen, die durch die Abfallerzeuger selbst oder durch deren beauftragte Dritte entsorgt wurden, sind nicht enthalten. Bei Beachtung entsprechender (gewerblicher) Altstoffmengen ließen sich naturgemäß höhere Klimaentlastungen ausweisen.

#### Literaturverzeichnis Kapitel 3

- [3.1] BIWA Consult GbR Freiberg, BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten (Bearbeiter): Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen, FuE-Vorhaben im Auftrag vom LfUG – Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden  
a): Teil 1: Methodenentwicklung, Bericht vom 28.06.2002  
b): Teil 3: Gebrauchtholzbilanz 2000 und Prognose, Bericht vom 14.12.2001  
c): Teile 2 und 4: Ergebnisse und Auswertung, Endbericht vom 12.05.2003
- [3.2] Dehoust, G., Wiegmann, K., Fritsche, U., Stahl, H., Jenseit, W., Herold, A., Cames, M., Gebhardt, P. (Öko-Institut e.V.), unter Mitarbeit von Vogt, R., und Giegrich, J. (ifeu-Heidelberg GmbH): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, August 2005  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3006.pdf>
- [3.3] GUA, Wien, 2005: Klimarelevanz der kommunalen Wiener Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag der Magistratsabteilungen 22 und 48, der Magistratsdirektion Klimaschutzkoordination, der Fernwärme Wien, der Wiener Kommunal-Umweltschutzprojektgesellschaft mbH und der Wiener Umweltanwaltschaft

- [3.4] IKr - Institut für Kreislaufwirtschaft, Bremen, 2006: Ökologische und energetische Bilanzierung des Vorhabens MKK, Studie im Auftrag der swb Erzeugung GmbH & Co. KG, Bremen
- [3.5] bifa Umweltinstitut, Augsburg, 2007: Abfallwirtschaft und Klimaschutz: Studie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt
- [3.6] MUNLV/IFEU, Düsseldorf/Heidelberg, 2007: Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen; Forschungsarbeit im Auftrag des MUNLV, Düsseldorf
- [3.7] IPCC: Fourth Assessment Report – Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers.  
[http://195.70.10.65/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://195.70.10.65/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf)
- [3.8] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Siedlungsabfallbilanz des Freistaates Sachsen 2007, Dresden, August 2008
- [3.9] Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, Sachsen: Energiedaten, 2005, endgültig, Datei erstellt am 25.2.2008,  
<http://www.smwa.sachsen.de/set/431Energiedaten%202005%2C%20endg%C3%BCltig.pdf>
- [3.10] Fehrenbach, H., Giegrich, J., Möhler, S. (ifeu-Heidelberg GmbH): Behandlungsalternativen für klimarelevante Stoffströme. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 41 300, September 2006
- [3.11] Vogt, R., Giegrich, J., Gromke, U., Patyk, A., Fehrenbach, H., Boess, A. (IFEU), Buchert, M., Dehoust, G. (Öko-Institut): Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – Industrieabfälle. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 33 312, November 2006
- [3.12] 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, hier Anhang zu Kap. 12
- [3.13] BZL GmbH, Oyten, Dr.-Ing. A. Nottrodt GmbH, Hamburg, THERMOCHEM GmbH, Aachen: Arbeitshilfe Kreislaufwirtschaft, erstellt im Auftrag des Landesumweltamtes NRW, November 1998
- [3.14] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. Draft, September 2007  
[ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clp\\_d1\\_0907.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clp_d1_0907.pdf)
- [3.15] 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
- [3.16] IFEU & Partner: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, 2008: Materialband C  
<http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Materialband%20C.pdf>
- [3.17] IFEU: Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. Studie im Auftrag der "Initiative Pro Recyclingpapier", Berlin, IFEU Heidelberg, August 2006  
[http://www.initiative-papier.de/docs/IFEU-Studie\\_Langfassung.002.pdf](http://www.initiative-papier.de/docs/IFEU-Studie_Langfassung.002.pdf)
- [3.18] Peche, R., Roth, U., Kreibe, S., Rommel, W.: Abfallwirtschaft und Klimaschutz. Studie angefertigt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, April 2007, bifa-Text Nr. 34
- [3.19] Statistisches Bundesamt: Abfallentsorgung – Fachserie 19 Reihe 1 – 2006: 6 thermische Abfallbehandlungsanlagen, 8 Feuerungsanlagen mit energetischer Verwertung, 4 MBA  
[http://www.recyclingmagazin.de/rm/download\\_file.asp?PATH=%2F%21Dateien%2FNewsFiles%2F&FILE=080731%5FFachserie%2D19%2DReihe%2D1%2Epdf](http://www.recyclingmagazin.de/rm/download_file.asp?PATH=%2F%21Dateien%2FNewsFiles%2F&FILE=080731%5FFachserie%2D19%2DReihe%2D1%2Epdf)
- [3.20] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG): Kompostierungs- und Vergärungsanlagen 2006. Sachstand 12/2006 und Stoffströme 2005. Juli 2007,  
[http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/abfall/Sachstand\\_Kompostierungs\\_und\\_Vergaerungsanlagen.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/abfall/Sachstand_Kompostierungs_und_Vergaerungsanlagen.pdf)

- [3.21] Hofmann, R., Marciniak, C.: Kompostierungsanlagen in Sachsen. Statistik in Sachsen 1/2008  
[http://www.statistik.sachsen.de/22/1\\_08hofmann.pdf](http://www.statistik.sachsen.de/22/1_08hofmann.pdf)
- [3.22] FNR: Biogas. Basisdaten Deutschland. Stand: Januar 2008  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_185basisdaten\\_biogas\\_08.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_185basisdaten_biogas_08.pdf)
- [3.23] Lahl, U.: Die neuen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen der TA Luft – Konsequenzen für die Praxis der biologischen Abfallbehandlung. Biomasse-Forum: Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund von TA Luft und EEG, 24.10.2007  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag\\_lahl\\_emmission\\_folien.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag_lahl_emmission_folien.pdf)
- [3.24] Lahl, U.: Neueste Entwicklungen europäischer Emissionsgrenzwerte einschließlich der National Emission Ceilings, in: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung II – stofflich – energetisch, 161 – 176, 2007
- [3.25] IFEU & Partner: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, 2008: Materialband C  
<http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Materialband%20C.pdf>
- [3.26] IFEU & Partner: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, 2008: Materialband D  
<http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Materialband%20D.pdf>
- [3.27] IFEU & Partner: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, 2008, Endbericht mit Materialienband  
<http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Gesamtband.pdf>
- [3.28] 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
- [3.29] GEMIS 4.4.2

## 4 Energieeffizienzberechnung für die Behandlung und Entsorgung überlassener Abfälle

### 4.1 Methodik der Bewertung der Energieeffizienz

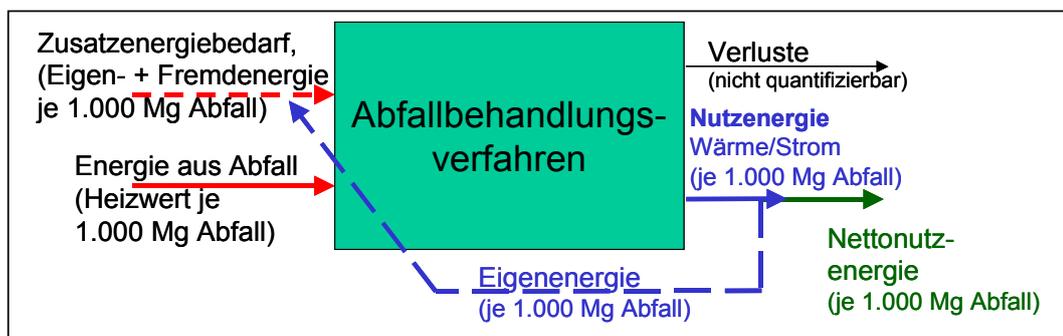
Die Bewertung der Energieeffizienz erfolgt durch Berechnung von energetischen Wirkungsgraden. Die Auswertung der verfügbaren Daten folgt der VDI-Richtlinie 3460 für die Bilanzkreise Q und R (s. [4.1]).

Als Nutzen wird der gewinnbare Nettonutzenergiebetrag (erzeugte elektrische Energie, Wärme und Kälte, vermindert um den Eigenenergiebetrag), als Aufwand der Energiebetrag aus Abfall- und Fremdenergie eingesetzt. Die Energiebeträge werden in den Bilanzen auf 1.000 Mg Abfall oder EBS bezogen.

Das Energieeffizienzkriterium R1 der EG-Abfallrahmenrichtlinie [4.2] ist für die Aufgabenstellung kein geeigneter Kennwert. Der Normenausschuss der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) hat die Anwendung dieser Formel daher für die Ermittlung des energetischen Wirkungsgrades von thermischen Anlagen abgelehnt [4.3].

#### 4.1.1 Energieeffizienz von thermischen Abfallbehandlungsanlagen

Aus der Befragung der Anlagenbetreiber konnten die Energiebeträge entnommen werden, die in der Abbildung 4.1 aufgeführt sind.



**Abb. 4.1:** Energiebeträge zur Ermittlung des Anlagennettowirkungsgrades von thermischen Abfallbehandlungsverfahren

Der energetische Anlagennettowirkungsgrad kann für die verschiedenen Zielenergien ermittelt werden (Wärme, Kälte:  $\eta_{\text{therm.}}$  oder Strom:  $\eta_{\text{el.}}$ ). Die Summe der beiden Wirkungsgrade ergibt den Gesamtnettowirkungsgrad ( $\eta_{\text{Anlage, ges, netto}}$ ).

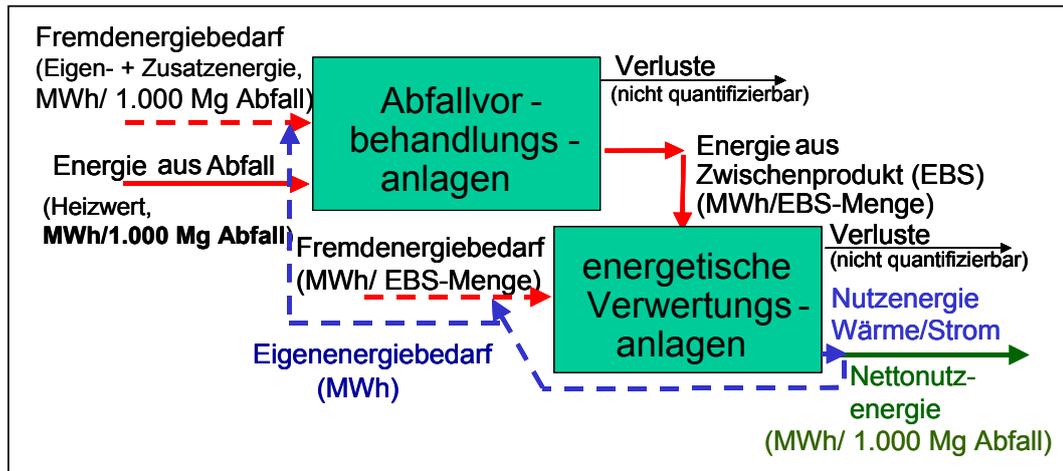
#### 4.1.2 Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen

Bei der Bewertung von Abfallverwertungssystemen wird der Bilanzkreis über die in der Abbildung 4.1 angegebenen Energiebeträge auf die beteiligten Anlagen erweitert, wie die Abbildung 4.2 zeigt. Die Daten wurden überwiegend den Angaben der Anlagenbetreiber entnommen.

In den Erst-(Vor-)behandlungsanlagen erfolgt normalerweise keine Erfassung der Energiebeträge, die mit dem Abfall eingebracht werden. Der wichtigste Wert der Bilanzen, der Energieinhalt der Abfallmengen (Heizwert,  $H_u$  in MJ/kg), muss daher durch Plausibilitätsrechnungen ermittelt werden (s. Kapitel 3.2). Wegen der energetischen Verwertung der haFr werden diese bei der Wirkungsgradberechnung als "EBS" bezeichnet.

Für die energetische Verwertung der EBS kommen in Betracht:

- MVA, sofern diese das Energieeffizienzkriterium (R1-Wert, s. [4.2]) erreichen,
- spezielle EBS-Kraft- oder Heizkraftwerke,
- Kohlefeuerungen und
- ZEM.



**Abb. 4.2:** Energiebeträge zur Ermittlung des Nettowirkungsgrades in Abfallbehandlungssystemen mit energetischen Verwertungsanlagen

Erfolgt der Einsatz von EBS in Zementwerken, ist lediglich eine Ressourcenschonung an Regelbrennstoff ausweisbar. Für die im Zementwerk eingesparte Brennstoffenergie kann die gewinnbare Nutzenergie eines mit Braunkohlestaub ( $H_u = 21 \text{ MJ/kg}$ , s. [4.4]) befeuerten Kraftwerkes im Betrachtungsgebiet berechnet werden. Dabei müsste das Energieaustauschverhältnis ermittelt werden (s. [4.5]).

Für den Einsatz von EBS in der Zementindustrie ergeben sich im Hinblick auf die Energieeffizienz keine anderen Erkenntnisse als sie durch die Mitverbrennung in Kraftwerken gewonnen werden.

#### 4.1.3 Vergleich der Energieeffizienz

Um einen Vergleich der energetischen Effizienz der Abfallbehandlung in MVA und Behandlungssystemen durchzuführen, werden die Wirkungsgrade der MVA mit denen der Abfallverwertungssysteme verglichen (s. Abbildungen 4.1 und 4.2). Dabei wird angenommen, dass eine MVA am gleichen Standort errichtet werden könnte, an der die Vorbehandlungsanlage steht. Damit sind Transportwege zu einer MVA nicht zu berücksichtigen. Die Transporte von EBS zu den Endbehandlungsanlagen werden ebenfalls nicht bewertet. Sie finden in der Klimarelevanzbetrachtung (s. Kapitel 3) Berücksichtigung.

Auch der Energiebedarf zur Errichtung und ggf. Beseitigung der verschiedenen Anlagentypen wird nicht betrachtet. Da neben den Vorbehandlungsanlagen in jedem Fall sehr unterschiedliche thermische Endbehandlungsanlagen mit Einsatz diverser anderer Brennstoffe in den Abfallbehandlungssystemen erforderlich sind, ist eine allgemeine Betrachtung nicht sinnvoll.

### 4.2 Ergebnisse

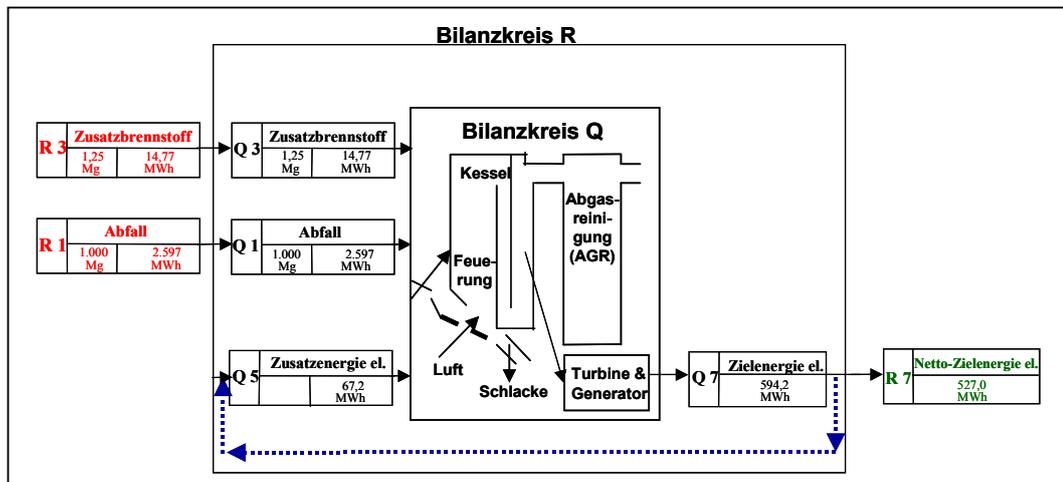
#### 4.2.1 Energieeffizienz von Anlagen im Betrachtungsgebiet, in denen Abfälle thermisch behandelt und verwertet werden

Für die Bewertung der Energieeffizienz wurden Daten moderner Verbrennungsanlagen aus den Bundesländern Sachsen und Sachsen-Anhalt abgefragt und ausgewertet. Generell ist zu unterscheiden zwischen Anlagen, die nur Strom erzeugen, und solchen, in denen durch Kraft-Wärme-Kopplung auch Fern- oder Prozesswärme gewonnen werden kann.

##### 4.2.1.1 Energiebilanzen der Verbrennung gemischter Siedlungsabfälle

Für die Berechnung des energetischen Wirkungsgrades werden die in der Abbildung 4.1 angegebenen Energiebeträge benötigt. Andere Daten haben wegen ihrer geringen Größe keinen bemerkenswerten Einfluss auf die Energiebilanz.

Die Abbildung 4.3 zeigt die Energiebilanz für eine ausgewählte MVA im Betrachtungsgebiet, die nur Strom erzeugt. In der Anlage wurde der Heizwert der verbrannten Siedlungsabfälle mit 9,35 MJ/kg ermittelt.



**Abb. 4.3:** Energiebeträge einer MVA mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

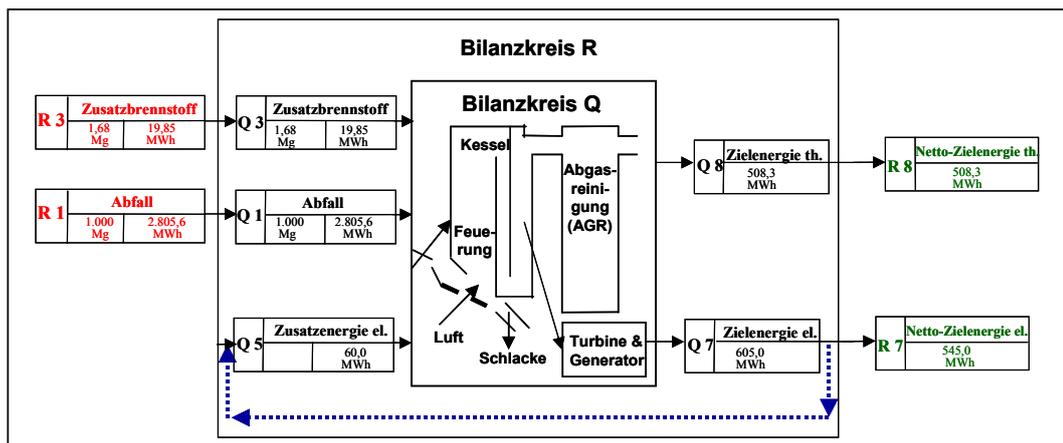
Nach der angeführten Berechnungsmethode ergibt sich der Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch zu:

20,2 %

Die Energieeffizienz von Verbrennungsanlagen für Abfälle ist wegen der Abfalleigenschaften begrenzt. Die hohen Chloranteile in Abfällen verursachen erhebliche Korrosionsraten an den Dampferzeugern, besonders mit steigenden Dampftemperaturen. Die Verwendung eines mittleren Nettowirkungsgrades von 20 % ist für die weiteren Betrachtungen gerechtfertigt (s.a. [4.6]).

Die Abbildung 4.4 zeigt die auf den Abfalldurchsatz von 1.000 Mg normierten Energiebeträge einer MVA mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Der Heizwert der eingesetzten Abfälle wurde mit 10,1 MJ/kg ermittelt.



**Abb. 4.4:** Energiebeträge einer MVA mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

Nach der angeführten Berechnungsmethode ergeben sich folgende Kennwerte:

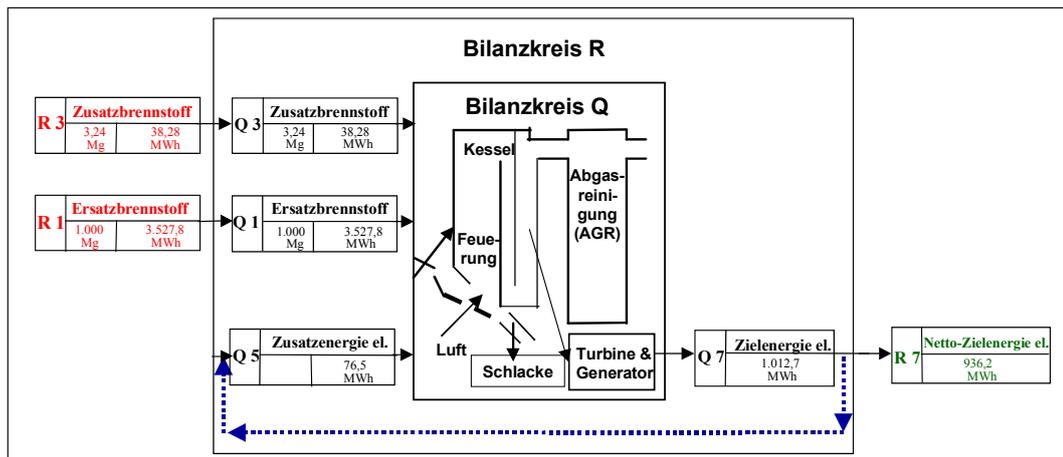
Anlagen-Nettowirkungsgrad gesamt: 37,3 %  
 Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch: 19,3 %  
 Anlagen-Nettowirkungsgrad thermisch: 18,0 %

Der geringe thermische Wirkungsgrad ist durch eine saisonbedingte Begrenzung des Fernwärmeabsatzes und die Größe des verfügbaren Fernwärmenetzes bedingt.

#### 4.2.1.2 Energiebilanzen der Verbrennung heizwertangereicherter Fraktionen aus Siedlungsabfällen (Ersatzbrennstoffe)

Werden EBS-Verbrennungsanlagen, bei gleicher technischer Ausrüstung wie die MVA, zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt, kann ein höherer energetischer Wirkungsgrad erreicht werden.

Zunächst wird die Energieeffizienz für eine Anlage ermittelt, die nur Strom erzeugt. In der Anlage werden EBS mit einem Heizwert von 12,7 MJ/kg verbrannt (s. Abbildung 4.5).



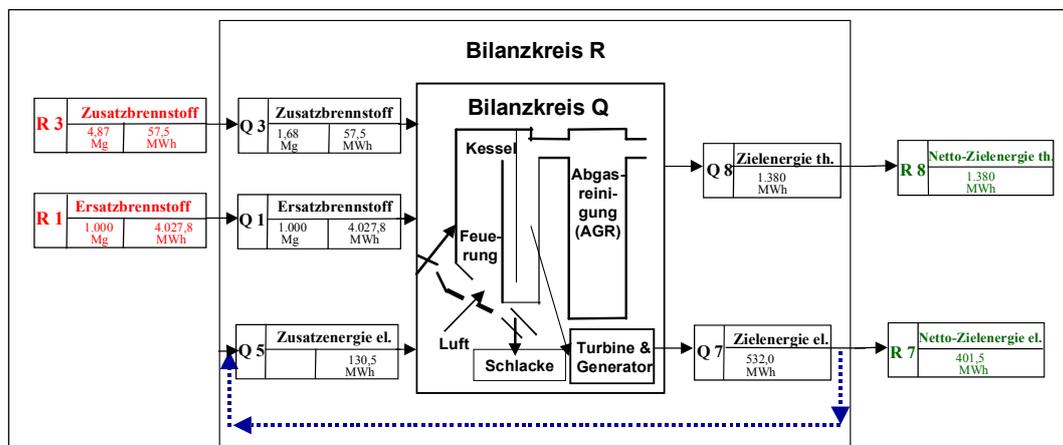
**Abb. 4.5:** Energiebeträge einer EBS-Verbrennungsanlage mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall (EBS)

Nach der angeführten Berechnungsmethode ergibt sich der Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch zu:

26,3 %

Für eine Anlage, die auch Prozesswärme erzeugt, ist die Bilanz in Abbildung 4.6 dargestellt. Im betrachteten Fall führt ein Maximum an Wärmeauskopplung zu einem hohen Wirkungsgrad.

Die Spanne der EBS-Heizwerte in der betrachteten Anlage wurde mit 13 bis 18 MJ/kg angegeben. Gemäß Kapitel 3.2 wird mit 14,5 MJ/kg gerechnet.



**Abb. 4.6:** Energiebeträge einer EBS-Verbrennungsanlage mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall (EBS)

Nach der angeführten Berechnungsmethode ergeben sich folgende Kennwerte:

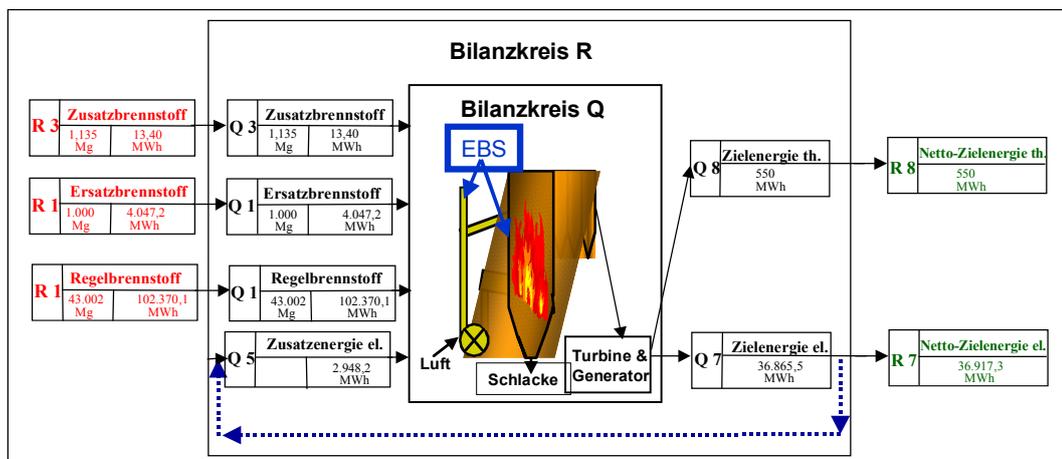
Anlagen-Nettowirkungsgrad gesamt:	43,6 %
Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch:	9,8 %
Anlagen-Nettowirkungsgrad thermisch:	33,8 %

#### 4.2.1.3 Energiebilanzen der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Braunkohlekraft- bzw. -heizkraftwerken

Im Betrachtungsgebiet gibt es keine Steinkohlekraftwerke, die mit EBS beliefert werden können [4.7].

Da die Kohlekraftwerke mit höheren Dampfparametern arbeiten, müssen die EBS-Eigenschaften im Hinblick auf ihre Chlor- und Schwermetallanteile optimiert werden.

Abbildung 4.7 zeigt die Auswertung der abgefragten Daten für ein Braunkohlekraftwerk mit Stromerzeugung (Grundlast).



**Abb. 4.7:** Energiebeträge eines Braunkohlekraftwerks mit Stromerzeugung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall (EBS)

Der Heizwert des Regelbrennstoffs Rohbraunkohle wurde mit 8,57 MJ/kg angegeben, für den mittleren EBS-Heizwert wurden in der Anlage 14,63 MJ/kg ermittelt.

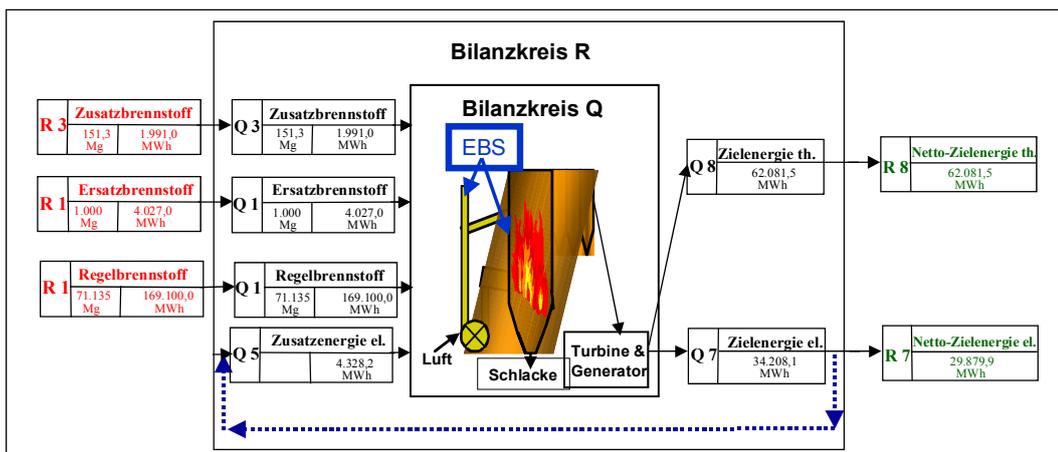
Nach der angeführten Berechnungsmethode ergibt sich der Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch zu:

35,2 %

Ein Beispiel für ein Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung aus dem Betrachtungsgebiet zeigt die Effizienzsteigerung der energetischen Verwertung von EBS. Da für die Berechnung nur begrenzt Daten verfügbar waren, mussten einige Informationen aus Plausibilitätsbetrachtungen abgeleitet werden. (siehe Abbildung 4.8). Der Heizwert der haFr wurde gemäß der Festlegung im Kapitel 3.2 mit 14,5 MJ/kg angesetzt.

Nach der angeführten Berechnungsmethode ergeben sich folgende Kennwerte:

Anlagen-Nettowirkungsgrad gesamt:	52,5 %
Anlagen-Nettowirkungsgrad elektrisch:	17,0 %
Anlagen-Nettowirkungsgrad thermisch:	35,5 %



**Abb. 4.8:** Energiebeträge eines Braunkohlekraftwerks mit Kraft-Wärme-Kopplung (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet mit Ergänzungen), bezogen auf 1.000 Mg EBS

#### 4.2.2 Auswertung der Energieeffizienz von Abfallverwertungssystemen im Betrachtungsgebiet

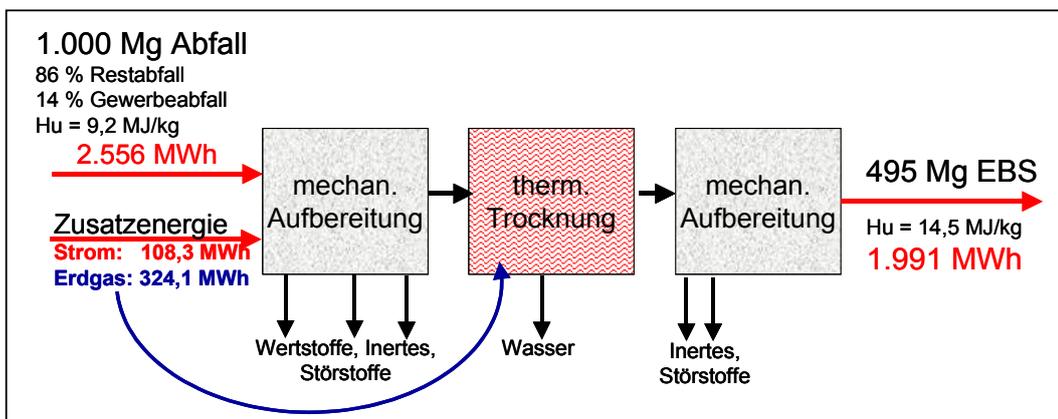
Zunächst werden für die Systeme die energetischen Wirkungsgrade ermittelt. Danach werden sie mit dem Wirkungsgrad verglichen, der bei Einsatz der gesamten Abfallmenge in einer MVA am gleichen Standort erreicht werden könnte (Wirkungsgradverhältnis).

##### 4.2.2.1 Abfallverwertungssystem mit mechanisch-physikalischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des Ersatzbrennstoffs

Für ein System aus MPS und energetischer EBS-Verwertung wurden die Bilanzdaten gemäß Abbildung 4.9 ermittelt.

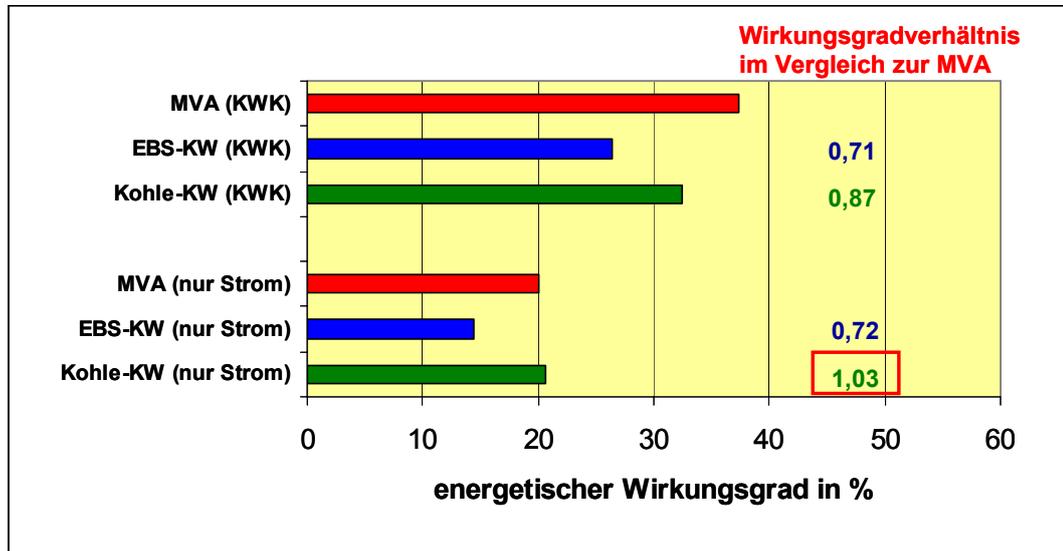
Aus den Anteilen an Restabfall ( $H_u = 8,5$  MJ/kg, siehe Kapitel 3.2 sowie [4.8]) und den heizwertreicheren Inputmengen ( $H_u = 14,5$  MJ/kg) wurde der Abfallheizwert mit  $9,2$  MJ/kg berechnet. Der Heizwert der erzeugten EBS wird gemäß der Festlegung im Kapitel 3.2 mit  $14,5$  MJ/kg angesetzt.

Im EBS sind ca. 78 % des Heizwertes des Abfallinputs enthalten. In [4.9] wurden Ausbeuten an EBS-Energie aus dem Abfall mit 72 % als Höchstwerte bestimmt.



**Abb. 4.9:** Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MPS (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

Nach der angegebenen Berechnungsmethode wurde der energetische Wirkungsgrad verschiedener Verwertungssysteme ermittelt und der Vergleich mit der Energieeffizienz der Behandlung des gesamten Abfallstroms in einer MVA durchgeführt. Die Abbildung 4.10 zeigt die Ergebnisse.



**Abb. 4.10:** Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MPS mit energetischer Verwertung des EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA

Für die gewählten Anlagen ergibt sich:

- In der MVA mit Stromerzeugung kann aus dem Gesamtabfall mehr Strom und Wärme gewonnen werden, als aus der EBS-Menge in einer EBS-Verbrennungsanlage (Wirkungsgradverhältnis 0,72).
- Die Gewinnung von Elektroenergie in einem Kohlekraftwerk mit EBS-Einsatz kann energetisch vorteilhafter sein (Wirkungsgradverhältnis 1,03).

Wird der Abfall am Standort in einer MVA behandelt, so könnte das in der MPS benötigte Erdgas effektiv zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden. Der Wirkungsgrad für die Stromerzeugung beträgt für das Erdgas 50 % und bei KWK 40 % elektrisch und 50 % thermisch (s. [4.10]). Aus dem Energiegewinn des Verwertungssystems und der möglichen Energieausbeute in einer MVA und der Erdgasenergie lässt sich ein Nutzenergieverhältnis berechnen.

Dann vermindern sich die als Wirkungsgradverhältnis berechneten Werte auf ca. 0,62 (für EBS-Kraftwerk im Vergleich zur MVA) und im Verhältnis Kohlekraftwerk zur MVA auf 0,88 (Stromerzeugung) und 0,75 (bei KWK).

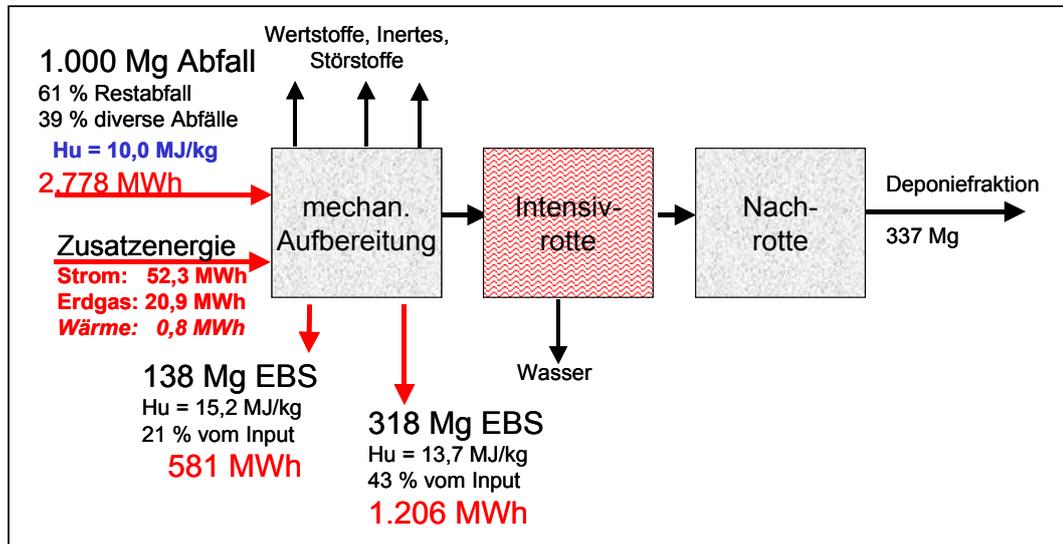
Das Nutzenergieverhältnis belegt, dass trotz des hohen Wirkungsgrades der EBS-Anlage mit KWK (43,6 %) keine der betrachteten Varianten ein Nutzenergieverhältnis von 1,0 erreicht. Die Hauptursachen für das Ergebnis sind, dass Edelenergie (Erdgas) für die Abfalltrocknung ineffizient eingesetzt wird.

#### 4.2.2.2 Abfallverwertungssystem mit mechanisch-biologischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung der Ersatzbrennstoffe

Für ein System aus MBA und energetischer EBS-Verwertung wurden die Bilanzdaten gemäß Abbildung 4.11 ermittelt. Ein weiterer Bedarf an Primärenergie (z.B. Diesel für Fahrzeuge zum Umsetzen der Rotte) wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt.

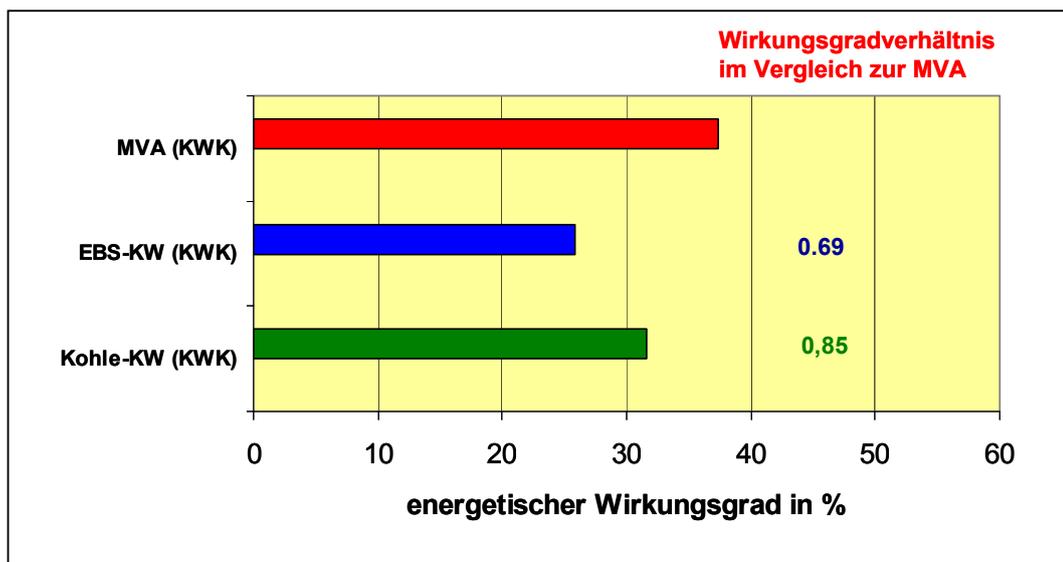
Der Energieinhalt des Abfallgemischs wurde aus dem Anteil an Restabfall ( $H_u = 8,5 \text{ MJ/kg}$ , nach Kapitel 3.2 in Übereinstimmung mit [4.8]) und aus verschiedenen mittelkalorischen Inputmengen ( $H_u = 12 \text{ bis } 14 \text{ MJ/kg}$ ) zu  $10,0 \text{ MJ/kg}$  berechnet. Der Heizwert der erzeugten EBS

wurde in der Anlage nach DIN 51900-3 ermittelt. Vom Energieinhalt des Abfallgemischs werden 64 % als Heizwert der EBS gewonnen. Im Vergleich mit den Ergebnissen, die in [4.9] ermittelt wurden, liegen die Heizwerte und die Energieausbeute der EBS höher.



**Abb. 4.11:** Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MBA (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

Wie in der Abbildung 4.10 werden in der Abbildung 4.12 die energetischen Wirkungsgrade der Verwertungssysteme ermittelt. Die Auswertung der Daten erfolgt nur für KWK, da die MBA einen Wärmebedarf ausweist, der als Eigenenergiebedarf berücksichtigt wird. Auch in diesem Beispiel ist der Energiegewinn bei der Verbrennung des Gesamtabfallgemischs in einer MVA unter Nutzung der KWK signifikant höher als bei der Verwertung des EBS in einem Kohle- oder EBS-Kraftwerk mit KWK.



**Abb. 4.12:** Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MBA mit energetischer Verwertung der EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA

Da die Menge an Fremdenergie zum Betrieb der RTO in der Abfallvorbehandlung relativ gering ist, unterscheiden sich die Werte der Wirkungsgrad- und Nutzenergieverhältnisse nur geringfügig.

Hauptursache für die geringe Energieeffizienz dieses Systems ist, dass die Energieausbeute an EBS gering ist und ein wesentlicher Teil der im Abfall enthaltenen Energie als Rottegut deponiert wird.

#### 4.2.2.3 Abfallverwertungssystem mit mechanisch-biologischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des erzeugten Ersatzbrennstoffs

Für ein System aus MBS und energetischer EBS-Verwertung wurden die Bilanzdaten gemäß Abbildung 4.13 ermittelt.

Der Energieinhalt der Abfallmenge wurde, wie im Kapitel 3.2 festgelegt, mit 8,5 MJ/kg angesetzt. Der Heizwert der mkFr wurde nach DIN 51900 mit 13,8 MJ/kg bestimmt.

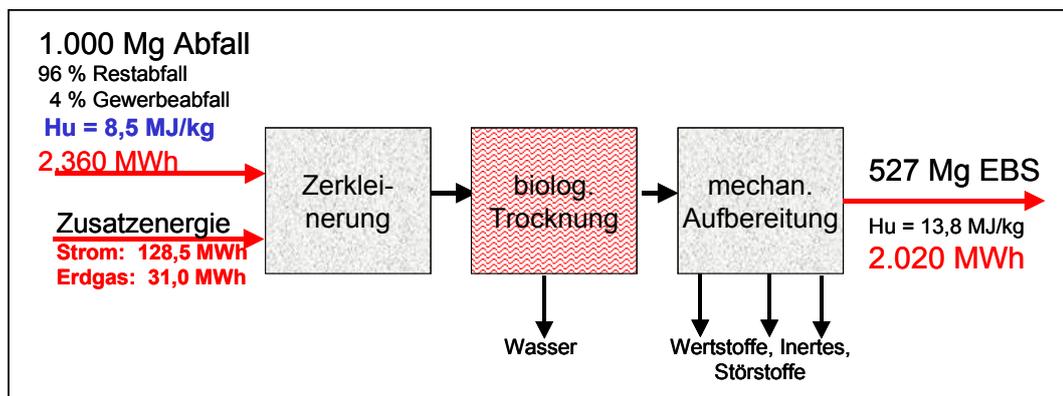


Abb. 4.13: Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MBS (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

In der Abbildung 4.14 werden die energetischen Wirkungsgrade der Verwertungssysteme angegeben.

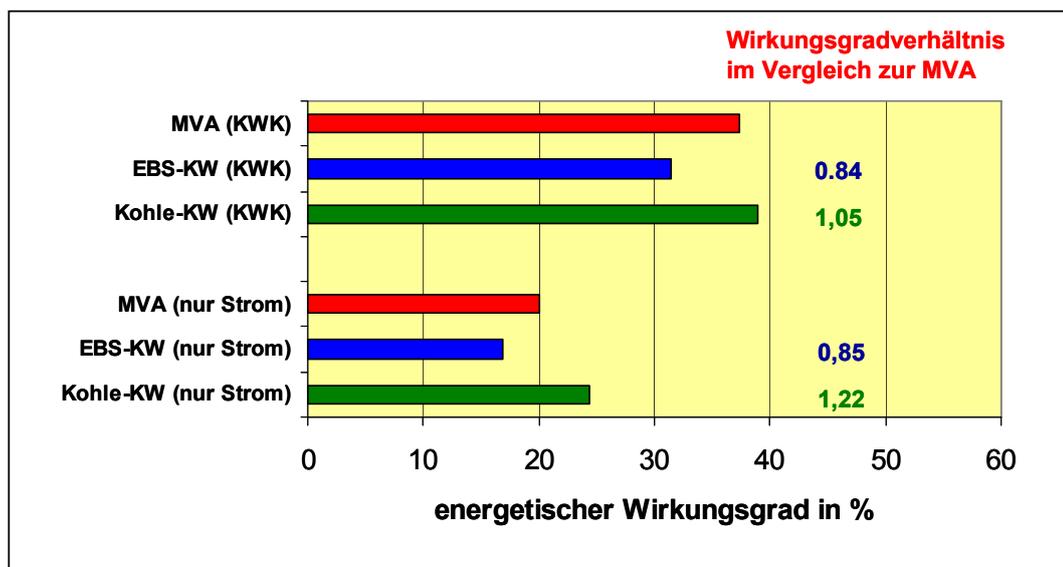


Abb. 4.14: Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MBS mit energetischer Verwertung des EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA

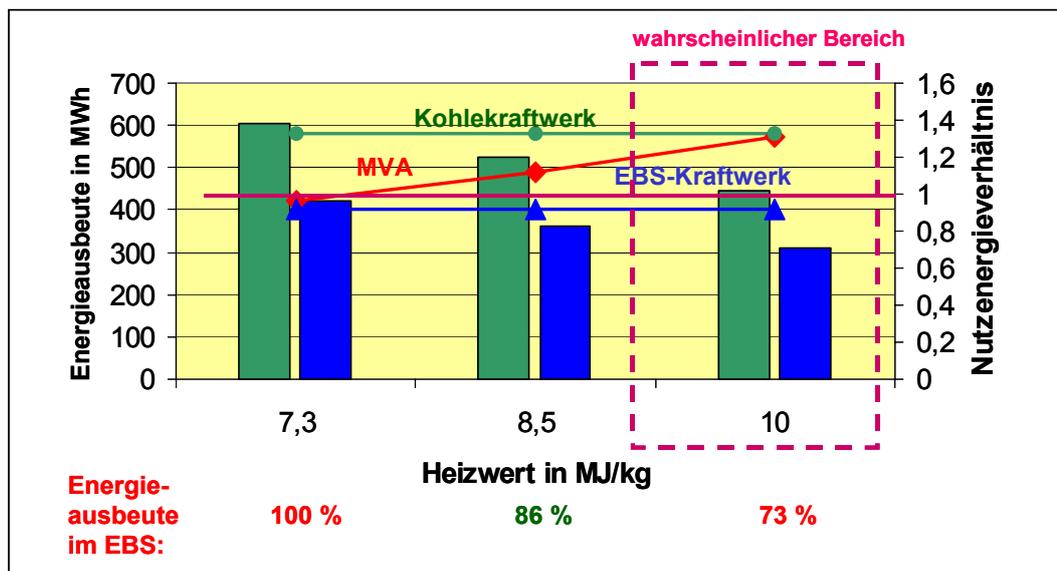
Sie werden mit den Wirkungsgraden verglichen, die sich ergeben, wenn die Abfallmenge von 1.000 Mg in einer MVA eingesetzt wird.

Wegen der hohen Ausbeuten an Energie im EBS kann durch dessen Verwertung im Kohlekraftwerk mit Stromerzeugung mehr Energie erzeugt werden als bei der Verbrennung des gesamten Abfalls in einer MVA, die ebenfalls nur Strom erzeugt.

Da die Heizwerte der den Vorbehandlungsanlagen zugeführten Abfälle meist nicht bekannt sind, ist zu prüfen, inwiefern unterschiedliche Heizwerte des Inputmaterials die getroffenen Aussagen zur Energieeffizienz beeinflussen. Bei dieser Betrachtung bleiben die Nutzenergiegewinne aus den Prozessen der EBS-Verwertung gleich, da die Energiebeträge in den EBS nicht beeinflusst werden.

Mit zunehmendem Heizwert des Abfallstroms erhöht sich aber bei konstantem energetischem Wirkungsgrad der Nettoenergiegewinn in einer MVA.

Die Abbildung 4.15 zeigt die Zusammenhänge.



**Abb. 4.15:** Einfluss des Abfallheizwertes auf die Energieausbeute (Linien) und das Nutzenergieverhältnis (Säulen). Werte für EBS- und Kohlekraftwerk, bezogen auf EBS-Menge, für MVA auf gesamte Abfallmenge

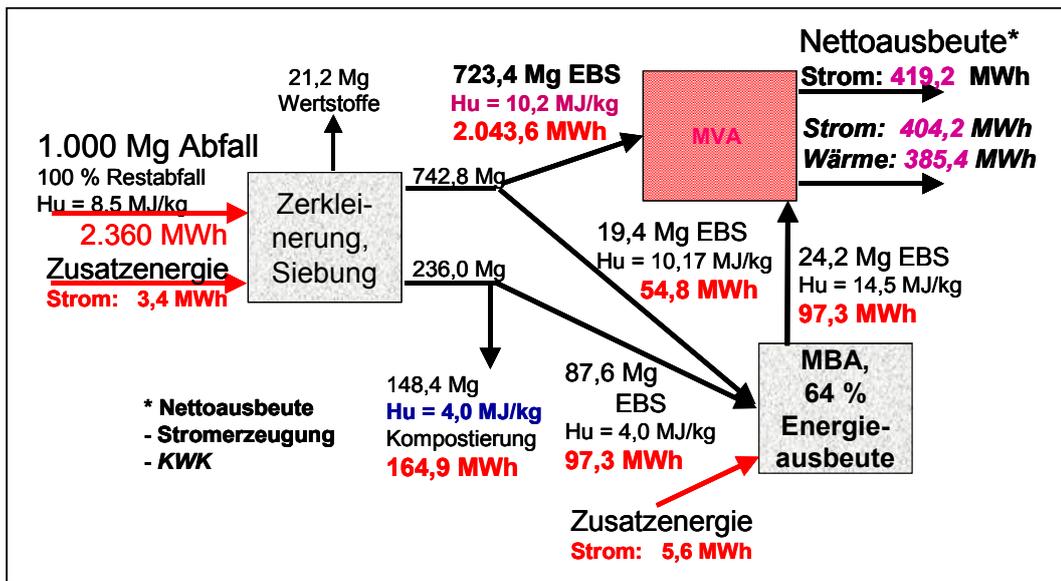
Bei höheren Heizwerten bzw. geringeren Energieausbeuten der MBS sinkt das Nutzenergieverhältnis im Vergleich zur Abfallbehandlung in einer MVA.

#### 4.2.2.4 Abfallverwertungssystem mit mechanischer Vorbehandlung und energetischer Verwertung des Ersatzbrennstoffs

Für ein System aus MA und energetischer EBS-Verwertung wurden die Bilanzdaten gemäß Abbildung 4.16 ermittelt. Da in die Anlage nur überlassene Abfälle eingebracht werden, wird ein Heizwert von 8,5 MJ/kg eingesetzt.

Aus der Energiebilanz lässt sich für die haFr ein Heizwert von 10,2 MJ/kg berechnen. Nach den Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes soll eine energetische Verwertung für Abfälle mit einem Heizwert unterhalb von 11 MJ/kg nicht zulässig sein. Diese Vorgabe wird allerdings vom Europäischen Gerichtshof (EuGH) als Verstoß gegen das Gemeinschaftsrecht angesehen. Im Urteil in der Rechtssache C228/00 [4.11] wird eine energetische Verwertung an den Hauptzweck der Energiebereitstellung und die Vermeidung der Nutzung von Regelbrennstoffen für diesen Zweck gebunden.

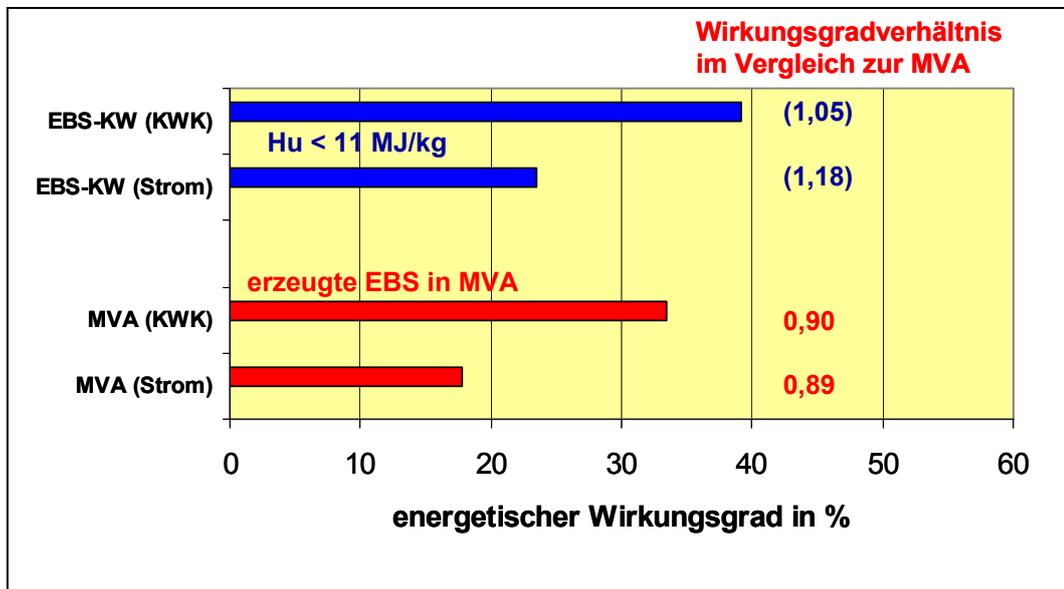
Die Betrachtung des Einsatzes dieser aufbereiteten Fraktionen in einer Kohlefeuerung erübrigt sich, da die Eigenschaften des Abfalls in der MA nicht so weit verändert wurden, dass die Qualität den Anforderungen einer Kohlefeuerung genügen kann.



**Abb. 4.16:** Energiebeträge eines Abfallverwertungssystems mit MA (Beispiel aus dem Betrachtungsgebiet), bezogen auf 1.000 Mg Abfall

Die Abbildung 4.16 zeigt auch die Nettoausbeuten an Strom und Wärme (bei KWK), die aus den erzeugten haFr gewinnbar sind. Die Wirkungsgrade sind in der Abbildung 4.17 dargestellt.

Die Kombination MA mit MBA und MVA stellt keine energetisch sinnvolle Lösung der Entsorgungsaufgabe dar.



**Abb. 4.17:** Energetischer Wirkungsgrad des Abfallverwertungssystems MA mit energetischer Verwertung der EBS und Verhältnis zum Wirkungsgrad der Behandlung des Abfalls in einer MVA (die oberen Balken gelten nur, wenn ein EBS-Heizwert von 11 MJ/kg überschritten werden kann)

#### Literaturverzeichnis Kapitel 4

- [4.1] Emissionsminderung, Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung. VDI-Richtlinie 3460, Blatt 2, 2007
- [4.2] Novellierung der EG-Rahmenrichtlinie 2006/12/EG durch das Europäische Parlament am 17.06.2008 in 2. Lesung
- [4.3] Beckmann, M. et al.: Bewertung der Energieeffizienz in Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung. In Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 2, TK-Verlag 2007, S. 119-132
- [4.4] Webseite Vattenfall: Braunkohlenstaub – die Energiealternative aus der Lausitz. [http://www.vattenfall.de/www/vf/vf\\_de/225583xberx/225613dasxu/225933bergb/226503kerng/225963tageb/339260indus/359034braun/index.jsp?WT.ac](http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/225583xberx/225613dasxu/225933bergb/226503kerng/225963tageb/339260indus/359034braun/index.jsp?WT.ac)
- [4.5] Beckmann, M. et al.: Notwendigkeit der Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen. In Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe, Band 3, TK-Verlag 2003, S. 213-230
- [4.6] Scharf, R.: Erzeugung von Strom und Wärme aus Abfall. In Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Texte zur Abfall- und Energiewirtschaft, Band 2, TK-Verlag 2006, S. 13-28
- [4.7] Thiel, St.: Ersatzbrennstoffe in Kohlekraftwerken. TK-Verlag, 2007 sowie: Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Kohlekraftwerken. Abfallkolloquium SIDAF, Freiberg, 24.10.2007
- [4.8] Hoffmann, G. et al.: Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfall – eine Energiebilanz. In: Faulstich, M.; Quicker, P. (Hrsg.): Verfahren & Werkstoffe für die Energietechnik, Band 4 der ATZ-Schriftenreihe, 2008, S. 65-72
- [4.9] Wallmann, R. et al.: Energieeffizienz bei der Mechanisch-Biologischen Restabfallbehandlung. Müll und Abfall, 7, 2008, S. 332-339
- [4.10] Dittmann, A.; Beckmann, M.: Die Hochtemperatur-Energietechnik aus thermodynamischer Sicht. Tagungsband des 39. Kraftwerkstechnischen Kolloquiums, TU Dresden 2007, S. 1-16
- [4.11] Urteil des EuGH in der Rechtssache C228/00 vom 13.02.2003

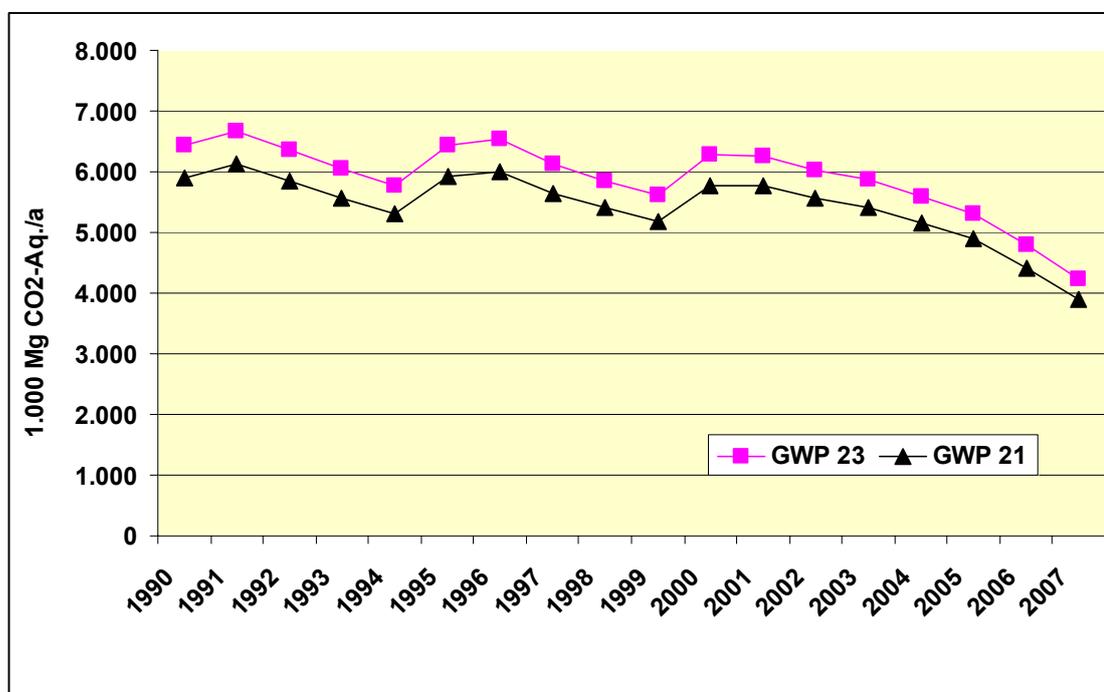
## 5 Diskussion

Die ökobilanziellen Berechnungen und Abschätzungen zu den abfallwirtschaftlichen Maßnahmen der sächsischen ÖRE/AV ergeben in der Summe eine Klimaentlastung bei den Altstoffen und bei den überlassenen Abfällen, nicht aber bei den Bioabfällen. Bzgl. der Altstoffe wurde bereits angemerkt, dass die anhand von Literaturdaten abgeschätzten Einsparungen an klimarelevanten Emissionen nur dann erreicht werden, wenn die Altstoffe auch wirklich in den entsprechenden Anlagen verwertet werden. Hier sind die Politik und die Wirtschaft gefordert, noch bestehende Potenziale zu heben.

### 5.1 Vergleich unterschiedlicher Verfahren der Abfallbehandlung im Wandel der Zeit

Ein Vergleich der unterschiedlichen Verfahren der Abfallbehandlung im Wandel der Zeit zeigt, dass die im Freistaat Sachsen von den ÖRE/AV ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen in erheblichem Umfang zur Einsparung klimarelevanter Emissionen beigetragen haben. So war die Abfallbehandlung im Freistaat Sachsen lange Zeit von der Deponierung unvorbehandelter Abfälle bestimmt. Der Stichtag der TASI (1.6.2005) zur Beendigung dieser Praxis und der Forderung nach Einhaltung von Ablagerungskriterien für behandelte Abfälle (Abfallablagerversordnung) stellt auch in Sachsen eine Zäsur in der Siedlungsabfallwirtschaft dar. Nicht alle Anlagen zur Abfallvorbehandlung waren in Sachsen zum Stichtag in Betrieb, so dass Übergangslösungen – u.a. die Einrichtung von Zwischenlagern – realisiert werden mussten.

Abbildung 5.1 gibt eine Abschätzung des LfULG bzgl. des Deponiegaspotenzials von 1990 bis 2007 grafisch wieder. Für das Jahr 2005 wurde (trotz Ende der TASI-Frist zum 1.6.2005) als konservative Annahme der alte Berechnungsansatz mit einem C-Gehalt von 200 kg C/Mg abzulagernden Abfalls beibehalten. Die entstehenden Gasmengen aus den ab 2006 abgelagerten Abfällen werden als nicht mehr relevant eingeschätzt und deshalb nicht mehr mit berechnet. Hier gehen nur noch die Emissionen aus den bis 2005 abgelagerten Abfällen ein.



**Abb. 5.1:** Abschätzung des Gesamtgaspotenzials von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1990 bis 2007, inkl. der abgepackelten bzw. verwerteten Gasmengen, in 1.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./a (Werte bis 1999 aus [5.1], ab 2000 aus [5.2], Berechnung nach VDI 3790 Bl. 2; abgepackeltes/verwertetes Deponiegas nur grob geschätzt)

Darüber hinaus wird berücksichtigt, dass ein Teil der erfassten Deponiegasmengen abgefackelt bzw. verwertet wird und bei der Verbrennung von Methan  $\text{CO}_2$  entsteht. Hierfür liegen dem LfULG jedoch nur grobe Abschätzungen vor.

Bis zum Zeitpunkt der Beendigung der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle dominierten die Deponiegasemissionen die Klimarelevanz der sächsischen Abfallwirtschaft. Mit dem Deponierungsverbot un behandelter Abfälle ab 1.6.2005 konnten damit in den vergangenen Jahren erhebliche Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Das hier abgeschätzte Emissionspotenzial aus der lange Jahre praktizierten Ablagerung unvorbehandelter Abfälle beläuft sich auf 4,2 Mio. Mg  $\text{CO}_2$ -Äq. im Jahr 2007. Aus diesem Potenzial lassen sich jedoch noch keine Aussagen zu den **tatsächlichen** Treibhausgasemissionen aus sächsischen Deponien ableiten. So sind neben der Verwertung und Verbrennung von Methan auch die Oberflächenabdichtung der Deponie und die Zusammensetzung des jeweils abgelagerten Abfalls zu berücksichtigen.

Weiterhin sind in Abbildung 5.1 die hochgerechneten Werte für zwei unterschiedliche GWP (Global Warming Potential – Treibhauspotenzial) ausgewiesen. Hintergrund hierfür ist, dass im Rahmen dieser Studie mit einem GWP für Methan von 23 gerechnet wird, während die vom LfULG überlassenen Daten mit einem GWP von 21 berechnet wurden. Der Unterschiedsbetrag für das Jahr 2007 beträgt dadurch  $(4.227.000 - 3.898.000 =) 329.000$  Mg  $\text{CO}_2$ -Äq.

In Tabelle 5.1 sind die Klimaefekte der Behandlung überlassener Abfälle in Sachsen für die Jahre 2000 und nach 2005 (Ergebnisse aus Klimarelevanz 1, [5.3]) und im Vergleich dazu für das Jahr 2007 (Ergebnisse der vorliegenden Studie) zusammengestellt.

Durch die im Freistaat Sachsen im Jahr 2007 ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen werden die klimarelevanten Emissionen eingespart, die ansonsten bei Fortführung der Ablagerung un behandelter Abfälle aufgetreten wären. Hierfür ist in der Vorgängerstudie eine Gutschrift erteilt worden. Die Ablagerung un behandelter Abfälle ist seit dem 1.6.2005 rechtlich nicht mehr zulässig. Aus ökobilanzieller Sicht ist hierfür eine Gutschrift daher nicht mehr zu erteilen. Aktuelle Ökobilanzstudien im Bereich der Abfallwirtschaft verzichten daher ebenfalls auf diese Berechnung, vgl. [5.4].

Auch ohne Berücksichtigung der vermiedenen Emissionen aus Deponien leisten die Maßnahmen der sächsischen ÖRE/AV in Summe einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. So wurden im Jahr 2007 durch die realisierten Entsorgungsverfahren rund 15.700 Mg  $\text{CO}_2$ -Äq. an Emissionen eingespart<sup>4</sup>. Ohne Zwischenlagerung größerer Mengen heizwertreicher Fraktion und deren direkter energetischer Verwertung wären Einsparungen in Höhe von -22.900 bis -51.000 Mg  $\text{CO}_2$ -Äq. erreichbar gewesen. Dieser Beitrag könnte bei Ausschöpfung vorhandener Optimierungspotenziale (s.u.) noch weiter gesteigert werden.

---

<sup>4</sup> Unter Berücksichtigung der Transportemissionen in Höhe von rund 6.400 Mg  $\text{CO}_2$ -Äq./a verbleibt hier eine Entlastung von rund 9.300 Mg  $\text{CO}_2$ -Äq./a.

**Tab. 5.1:** Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle im Freistaat Sachsen nach 2005 – Hochrechnung anhand der Abfallmengenprognose und der Planungen der ÖRE/AV für die technischen Lösungen zur Abfallbehandlung [5.3] und Vergleich mit der aktuellen Abschätzung auf der Basis realisierter Entsorgungslösungen inkl. Sensitivätsbetrachtung

Entsorgungslösung	Klimaeffekt in 1.000 Mg CO <sub>2</sub> -Äq./a			
	Status 2000	Prognose 2006+	Bilanzierung 2007 (mit ZwiLa)	Bilanzierung 2007 (ohne ZwiLa)
MVA	-	-29,4	-	-12,3
MA + Verwertung	-	-10	0,2	0,6 <sup>a)</sup> bis -2,9 <sup>b)</sup>
MBS/MBA				
- MPS + Verwertung	-	-	3,8	3,8
- MBS + Verwertung	-	-20,7	-4,6	-4,6
- MBA + Verwertung (ohne Deponierung)	-	6,1	-2,8	-10,3 <sup>c)</sup> bis -34,9 <sup>d)</sup>
- Deponierung von MBA-Rottegut	-	9,2		
Summe	-	-5,4	-3,6	-11,1 bis -35,7
Verwertung ohne Vorbehandlung <sup>e)</sup>	-	-0,4	-	-
<b>Summe</b>	-	<b>-45,2</b>	<b>-15,7</b>	<b>-22,9 bis -51,0 <sup>f)</sup></b>
Deponiegaspotenzial	5.551 bis 6.135 <sup>g)</sup> 6.272 <sup>h)</sup>	4.227	4.227	4.227

- a) haFr in MVA3  
b) haFr in EBS-KW1  
c) haFr in MVA1  
d) haFr in BKW1 und ZEM  
e) Entsorgung unvorbehandelter Abfälle im SVZ (Vergasung)  
f) Abweichung bei der Summenbildung durch Rundungen  
g) nach Klimarelevanz 1 [5.3]  
h) LfULG-Datei [5.2], berechnet mit GWP 23

## 5.2 Optimierungspotenziale

### 5.2.1 Entsorgung überlassener Abfälle

Die Optimierung der technischen Ausrüstung bestehender **MVAs** ist schwierig, da kostenintensive Umbauten mit dem Ziel der besseren energetischen Effizienz nicht durch nachträgliche finanzielle Ergebnisse ausgeglichen werden. Die im Betrachtungsgebiet analysierten Anlagen sind relativ neu und damit auf dem aktuellen technischen Stand.

Generell könnten verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz bestehender MVA beitragen. Durch anlageninterne Maßnahmen zur Reduzierung des Bedarfs an Zusatzenergie oder durch Optimierung interner Kreisläufe können Effizienzsteigerungen maximal im einstelligen Prozentbereich erreicht werden.

Bei der Neuplanung bzw. beim umfangreichen Umbau bestehender Anlagen können weitaus größere energetische Potenziale erschlossen werden. So ist die wichtigste Maßnahme die Nutzung der **Kraft-Wärme-Kopplung**. Diese Möglichkeit setzt voraus, dass der Standort einer MVA eine Abgabe von Fern- oder Prozesswärme ermöglicht. Solange den MVA als

Abfallbeseitigungsanlagen nur eine Entsorgungsfunktion zuerkannt wird und die energetischen Potenziale nicht in ein regionales Energiekonzept eingebunden werden, lassen sich diese Vorteile nicht nutzen. Die Einbindung der Wärmenutzung aus MVA erfordert allerdings auch die Sicherung der Anlagenverfügbarkeit in Abstimmung mit den Abnehmern der thermischen Energie.

Bei Anlagen mit Stromerzeugung können höhere energetische Anlagenwirkungsgrade durch höhere Dampfparameter erreicht werden. **EBS-Verbrennungsanlagen** können – anders als MVAs – diese Effektivitätsvorteile nutzen, wenn in der Vorbehandlung eine Begrenzung der Anteile korrosiver Elemente in den EBS erreicht werden kann. Kohlefeuerungen zur EBS-Mitverbrennung umgehen bei hohen Dampfparametern die Korrosionsgefahr durch Minimierung der EBS-Zumischraten. Auch kann durch regionale Kooperation von MVA und Kraft- bzw. Heizkraftwerken die Einstellung höherer Dampfparameter in den Kraftwerken nach Dampfübernahme aus der MVA erreicht werden.

Die Energieeffizienz von **Anlagensystemen** mit MBA/MBS werden zu 75 % bis 96 % durch die Energieeffizienz der nachgeschalteten Anlagen zur energetischen Verwertung der haFr bzw. EBS bestimmt [5.5]. Insofern treffen die bisherigen Ausführungen zur Effizienzsteigerung bei thermischen Anlagen auch für die hier betrachteten Anlagensysteme unter Nutzung von MBA, MBS, MPS und MA zu.

Gleichwohl bestehen auch für Vorbehandlungsanlagen an sich Optimierungsmöglichkeiten. Auch hier kann der Energieeigenverbrauch minimiert und die ausgebrachte Energie (in Form von haFr oder EBS) maximiert werden, wobei die Qualitätsansprüche der Abnehmer an diese Materialien zu beachten sind. Die Herstellung haFr aus dem Abfall erfordert den Einsatz von Zerkleinerungs- und Trennaggregaten. Der Strombedarf dafür wurde mit 0,4 (MA) bis ca. 5 % (MBS) der Abfallenergie berechnet. Die Energieaufwendungen liegen erheblich über den Daten für die MVA. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aus der Forderung, höhere Ausbeuten an stofflich verwertbaren Abfällen und eine Minimierung an korrosiven Elementen in den EBS zu erreichen, auch ein größerer Einsatz an Energie für aufwändige Trenntechniken resultiert. Daher muss die Minimierung des Eigenenergiebedarfs mit dem Gewinn an Energie an anderer Stelle optimiert werden.

Die Bewertung der Energieeffizienz der Abfallverwertungssysteme zeigt, dass die **EBS-Qualitäten** auf die optimale energetische Verwertung ausgerichtet werden sollten. Der Einsatz von EBS in MVA, wie für die MA ermittelt, stellt keine sinnvolle Variante dar. Die energetische Verwertung von EBS in Kohlekraftwerken, insbesondere bei KWK, bringt Vorteile in der Energieeffizienz, ist aber durch die Kraft- und Heizwerkskapazitäten begrenzt. Die energetische Verwertung der EBS in speziellen EBS-Kraftwerken sollte auf solche Anlagen konzentriert werden, die KWK nutzen. Die Planung dieser Anlagen muss sich am Bedarf an Fern- oder Prozesswärme orientieren. Diese Betrachtungen gelten aber nur, wie die Berechnung der Nutzenergieverhältnisse gezeigt hat, wenn an Stelle der EBS-Kraftwerke nur eine Verwertung in MVA mit Stromerzeugung möglich ist. Die Gewinnung von Strom und Wärme aus dem Abfallstrom zeigte eine höhere Energieeffizienz als alle EBS-Verwertungen, außer u.U. dem Einsatz in Kohlekraftwerken.

### 5.2.2 Bioabfallverwertung

Die Optimierung der Verwertungsstrategien für Bioabfälle und andere biologisch abbaubare Abfälle biogenen Ursprungs setzt unter Klimaschutzaspekten auf die Verringerung der Emissionen aus der Behandlung (hier insbesondere Methan und Lachgas aus der offenen Kompostierung bzw. aus dem Biofilter geschlossener Anlagen) sowie auf die energetische und stoffliche Nutzung der erzeugten Stoffströme wie Einsatz von Biogas/Biomethan in BHKW oder Fahrzeugen und Einsatz des Gärrestes (fest und/oder flüssig) als Humusbildner und Düngemittel.

Der Nachrüstungsbedarf offener Kompostieranlagen zur Verringerung der Emissionen und Erfüllung der Vorgaben der TA Luft bedeutet einen zusätzlichen Investitionsaufwand, der letztlich auf die Behandlungskosten umgelegt werden muss und nicht durch Mehreinnahmen etwa auf der Outputseite kompensiert werden kann. Hier stellt sich bei den betroffenen Anlagen die Frage, ob nicht eine Nachrüstung oder Erweiterung mit anaerober Anlagentechnik (Integration einer Vergärungsstufe) möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Insbesondere aus Sicht des Klimaschutzes schneidet die Vergärung von biologisch abbaubaren Abfällen biogenen

Ursprungs deutlich besser ab, da im Vergleich zur Kompostierung geringere klimarelevante Emissionen auftreten und zudem die in den Abfällen enthaltene Energie genutzt werden kann, um fossile Energieträger zu substituieren. Das dabei freigesetzte CO<sub>2</sub> gilt als klimaneutral<sup>5</sup>. So beträgt nach einer Studie der TU München der spezifische CO<sub>2</sub>-Minderungsfaktor für Biogasanlagen (BHKW) – die vornehmlich Mittellast- und Spitzenlastkraftwerke (Steinkohle- und Erdgaskraftwerke) ersetzen – rund 790 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>el</sub>. Weiterhin vermeiden Biogasanlagen Methanemissionen, die sich umgerechnet auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente in einer Größenordnung von 456 g/kWh<sub>el</sub> (EWI) bis 580 g/kWh<sub>el</sub> (DLR) bewegen [5.6].

Nach [5.7] sprechen für eine nachträgliche Integration einer Vergärungsstufe in eine bestehende Kompostierungsanlage – hier im Fallbeispiel Passau – mehrere Aspekte, wie zusätzlicher Erlös aus der Stromproduktion und Nutzung der Abwärme bei voller Nutzung der EEG-Förderung, Rückholung fremdvergebener Abfallmengen in die Eigenverwertung, Einsparung der bei der Fremdvergabe anfallenden Transportkosten und Nutzung der bisher vorhandenen Rottetechnologie als Nachrotte. Die Integration einer Vergärung ist nach [5.8] besonders wirtschaftlich mit Kapazitätserhöhung oder bei Ersatzbedarf. Als Neubau ist eine Vergärung wirtschaftlicher als eine gekapselte Intensivrotte, wobei die Wirtschaftlichkeit der Vergärung stark vom EEG abhängig ist.

Nach [5.9] setzt die Integration einer Vergärungsanlage in eine bestehende offene Kompostierungsanlage eine Kapselung bzw. Teilkapselung der Kompostierung voraus, da davon auszugehen ist, dass der Gärrest zwingend in einem geschlossenen System einer Nachrotte zugeführt werden muss. Mithin ist diese Lösung keine Alternative zur Nachrüstung auf TA Luft-Standard, sondern eine technologische Weiterentwicklung. Mit ihr sind je nach Technik und Nutzungskonzept auf der Grundlage des „alten“ EEG (d.h. ohne Vergütung für die Einspeisung ins Erdgasnetz) und unter Berücksichtigung möglicher Bonus-Erlöse von 20 bis 35 € pro Mg Bioabfall erreichbar. Die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten führen allerdings nicht zu einem kostenneutralen Betrieb. Nur bei optimalen Randbedingungen lässt sich die Integration wirtschaftlich darstellen.

*„Hierbei kommen insbesondere standort- und gebietskörperschaftsspezifische Synergien sowie kommunale umwelt- und klimapolitische Ziele zum Tragen: Im Einzelnen sind dies:*

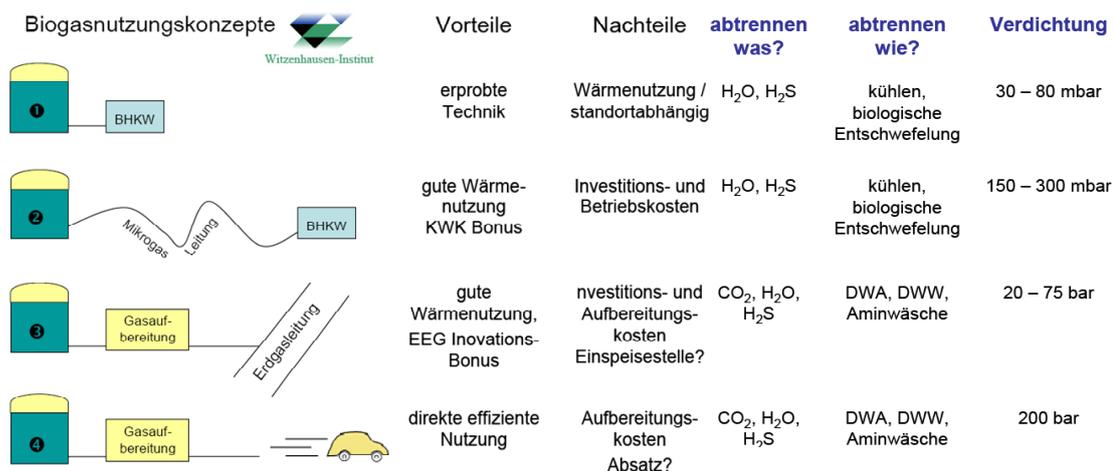
- *Durchsatzsteigerung für die biologische Behandlung der Anlage auf der gleichen Fläche von bis zu 40 % des bisherigen Inputs*
- *Geruchsminderung durch den anaeroben Abbau bei kritischen Standorten*
- *Umwelt- und klimarelevante Vorteile durch die Erzeugung und Nutzung von Bioenergie (Biogas).“*

Nach [5.10] gibt es verschiedene Nutzungskonzepte für Biogas, vgl. Abbildung 5.2.

Die neueren Konzepte wie Mikrogasnetze (Biogasnahleitung zu einem BHKW), Gasaufbereitung und anschließende Einspeisung in das Erdgasnetz oder direkte Nutzung als Treibstoff erfordern Investitionen in weitere Maßnahmen, vgl. Abbildung 5.2. So liegen die Investitionskosten für die Verlegung einer Biogasleitung zu einer Biogasanlage oder einem Einspeisepunkt in das Hochdruckerdgasnetz in einem Umkreis von bis zu 10 km in starker Abhängigkeit vom Trassenverlauf in einer Größenordnung von 100.000 bis 300.000 €. Die spezifischen Investkosten für die Gasaufbereitung hängen vom gewählten Verfahren ab und liegen nach Erfahrungen in schwedischen Anlagen zwischen 2.000 und 8.000 €/Nm<sup>3</sup> Methan, die Betriebskosten liegen zwischen 5 und 21 Cent/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> [5.11]. Unter Einbeziehung der EEG-Vergütung mit KWK- und Innovationsbonus sind Aufbereitungskosten von 0,7 Cent/kWh erreichbar.

---

<sup>5</sup> Diese Aussage gilt explizit **nicht** für biologisch abbaubare Stoffe fossilen Ursprungs, wie etwa bestimmte Polyester, Polyesteramide, Polyesterurethane und Polyvinylalkohole.



**Abb. 5.2:** Nutzungskonzepte für Biogas in der Übersicht sowie jeweils notwendige Maßnahmen [5.10, verändert]

Bezüglich EEG-Vergütung haben sich zum 1.1.2009 die Bedingungen für die Biomethaneinspeisung ins Erdgasnetz verbessert. Während die Bereitstellung von Strom und/oder Wärme aus Biogas bislang schon nach dem EEG vergütet wurde, fehlte bisher eine Vergütungsregelung für die Einspeisung von aufbereitetem Biogas ("Biomethan") in das Erdgasnetz. Mit der EEG-Novelle vom 25.10.2008 hat der Gesetzgeber im EEG nun eine Regelung geschaffen, welche einen wirtschaftlichen Anreiz zur Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz setzt. Ab 1.1.2009 wird die EEG-Strom-Vergütung für Biogas auch dann erfolgen, wenn dieses nicht wie bisher üblich direkt vor Ort verstromt wird, sondern aus einem Erdgasnetz entnommen wird (§ 27 Abs. 2).

Über die zuletzt 2008 novellierte Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) wird zudem die Einspeisung von Biomethan in vorhandene Erdgasnetze gefördert. So haben Netzbetreiber auf Antrag Anlagen eines Anschlussnehmers vorrangig an die Gasversorgungsnetze anzuschließen. Die Kosten für den Netzanschluss sind bis zu einer Länge von 10 km je zur Hälfte vom Anschlussnehmer und vom Netzbetreiber zu tragen. Mehrkosten bei größerer Entfernung gehen zu Lasten des Anschlussnehmers. Das Biomethan muss festgelegte Qualitätskriterien erfüllen und muss zu diesem Zweck aufbereitet werden. Der Anteil der Kosten für die Aufbereitung an den Gestehungskosten insgesamt ist jedoch eher gering und liegt nach Berechnungen von [5.12] bei gerade mal 2 %.

Ein Argument gegen die Vergärung von Bioabfällen zur energetischen Nutzung anstelle ihrer Kompostierung mit anschließender stofflicher Nutzung ist die fehlende Humusbildung. Eine Studie von EPA in Kooperation mit VHE - Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V. [5.13] kommt zu dem Ergebnis, dass nicht nur das Humuserneuerungspotenzial, sondern auch die Bodenfruchtbarkeitsindices vergleichbare Ergebnisse für die Kompostierung und für die Vergärung zeigen. *"Ein leichter Nachteil der Vergärung mit anschließender Kompostierung des Gärrückstandes gegenüber der Kompostierung ergibt sich aus einem Verlust an Nährstoffen im Abwasser, der teilweise durch ein leicht höheres Potenzial des Vergärungsrückstandes gegenüber dem Kompost, Humus zu bilden, kompensiert wird."*

In wieweit für sächsische Kompostierungsanlagen eine Umrüstung auf eine anaerobe Behandlung wirtschaftlich sinnvoll ist, bedarf der Überprüfung im Einzelfall. Für eine Potenzialabschätzung für Sachsen wäre eine Bestandaufnahme der sächsischen Kompostierungsanlagen hinsichtlich ihrer Kapazitäten, Technik und Emissionsstandard, Stoff- und Energiebilanzen sowie vorhandenen oder erschließbaren Absatzmöglichkeiten für den Output erforderlich. Letzteres umfasst die Entfernung zu potenziellen Abnehmern von Wärme aus BHKW oder von Biogas-Treibstoff (Betreiber großer Fahrzeugflotten) sowie zu möglichen Einspeisepunkten von Biomethan ins Erdgasnetz im Umkreis von 10 km.

In einem zweiten Schritt wäre dann zu prüfen, welche Anlagen die besten Voraussetzungen für eine Nachrüstung/Integration aufweisen. Diese sollten dann nicht nur entsprechend

nachgerüstet, sondern auch in ihrer Kapazität ausgebaut werden. Parallel sind die Anlagen zu ermitteln, deren Input in diese nachgerüsteten Anlagen umgelenkt werden soll. Dies dürfte vorrangig kleinere Anlagen mit offener Rotte, deren Einkapselung und Ausrüstung mit Abgasreinigung wirtschaftlich nicht darstellbar ist, betreffen. Hierbei sind auch die Konsequenzen für die Sammel- und Transportlogistik mit einzubeziehen.

### **5.3 Realisierbarkeit und erforderliche Randbedingungen zur Hebung der Optimierungspotenziale**

Im Folgenden sollen die Realisierbarkeit und die erforderlichen Randbedingungen des unter 5.2 vorgestellten Optimierungspotenzials diskutiert werden.

#### **5.3.1 Erhöhung der Energieeffizienz**

Aufgrund der hohen und teilweise noch immer steigenden Energiekosten ist davon auszugehen, dass die Betreiber von Aufbereitungsanlagen ein eigenes Interesse an der Reduzierung des Energiebedarfs für die Aufbereitung der Abfälle haben und daher von sich aus alle Möglichkeiten der Energieeinsparung nutzen. Wesentliche Auswirkungen haben aber auch die Marktpreise für abgetrennte Sekundärrohstoffe wie Fe- und NE-Metalle, mit denen Erlöse erzielt werden. Hier sind derzeit wegen der Turbulenzen an den Aktien- und Rohstoffbörsen keine Prognosen möglich. Anfang November 2008 verzeichneten die Altmetallpreise, insbesondere auch die für Aluminiumsorten, nochmals deutliche Abschlüsse [5.14]. Hohe Energiepreise bei sinkenden Preisen für abgetrennte Altmetalle dürften aus betriebswirtschaftlicher Überlegung zu einer Abtrennleistung führen, die sich an den Vorgaben des Abnehmers der haFr(en) (Obergrenze Fe/NE-Gehalt) und nicht an der Optimierung der Abtrennung der Metalle orientiert. Erst, wenn die Erlöse für Altmetalle (und dies gilt auch für andere abtrennbare Stofffraktionen) ausreichen, den finanziellen Aufwand für die auf maximale Ausbeute ausgelegte Aufbereitung (über) zu kompensieren, wird die aus Klimaschutzsicht zu bevorzugende Ausweitung der Abtrennung von Altmetallen, insbesondere Aluminium, vermehrt praktiziert werden. Den geringfügig erhöhten Energieaufwendungen in der Aufbereitung steht dann eine deutliche Energieeinsparung bei der Sekundäraluminiumindustrie gegenüber.

Für MVA ist die Verbesserung der Einnahmen aus Strom- und Wärme eine der Voraussetzungen für die Bereitschaft zur Investition in höhere Wirkungsgrade. Eine wichtige Rolle könnte hier die Anerkennung der biogenen Anteile im Abfall als regenerative Energieträger und damit eine Vergütung nach EEG für den ausgekoppelten Strom spielen. Zu den EE zählt nach EEG Energie aus Biomasse einschließlich des "biologisch abbaubaren Anteils von Abfällen aus Haushalten und Industrie" (§ 3 Abs. 3). Zwar gilt der daraus produzierte Strom anteilig als EE durch den "biogenen" Anteil im Abfall, aber aufgrund des Ausschließlichkeitsprinzips erfolgt bislang und auch auf absehbare Zeit keine Vergütung nach EEG, so dass hier kein zusätzlicher Anreiz zur Steigerung der Energieeffizienz für diese Anlagen besteht.

Zukünftig wird der Wärmeabsatz forciert werden, insbesondere in Folge des EEWärmeG, welches die Nutzungspflicht von Erneuerbaren Energien (solare Strahlungsenergie, Geothermie, Umweltwärme und Biomasse) bei Neubauten vorsieht. Als alternative Maßnahmen sind stärkere Wärmedämmung, Abwärmennutzung, Wärmebezug aus Fernwärmenetzen oder aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zulässig. Nach Marktanreizprogramm zu Gunsten erneuerbarer Energien (MAP) sind u. a. Nahwärmenetze für Wärme aus erneuerbaren Energien (EE) förderfähig [5.15] Verglichen mit dem EEG ist die Regelung im EEWärmeG/MAP eine Verbesserung in dem Sinne, dass sie Betreibern von MVAs (und auch EBS-Kraftwerken) über die Förderung von Investitionen einen Anreiz zur Errichtung von Wärmenetzen und damit zur Erhöhung der Energieeffizienz der Anlage gibt. Konsequenterweise müsste nun die volle Anerkennung auch für die Vergütung der Strombereitstellung gelten. Allerdings hat die letzte Novellierungsrunde zum EEG gezeigt, dass am Ausschließlichkeitsprinzip nicht gerüttelt werden soll.

Für die Umsetzung im Freistaat Sachsen ist daher zukünftig von Bedeutung, in welchem Umfang weitere Abnahmemöglichkeiten für die Wärme geschaffen werden. Hier spielt der Vollzug des EEWärmeG – insbesondere die Berücksichtigung bei der Flächenplanung anhand

der Instrumente der Bauleitplanung und kommunaler Satzungen (z. B. Sanierungsplanung, Anschluss- und Benutzungszwang für Nahwärme) – eine große Rolle. Hier sind die Möglichkeiten unterstützender Maßnahmen z.B. im Rahmen der Sächsischen Bauordnung zu prüfen (z.B. Ergänzung in § 42 Feuerungsanlagen, sonstige Anlagen zur Wärmeerzeugung, Brennstoffversorgung).

### 5.3.2 Anforderungen aus dem Genehmigungsrecht

Bei MVAs ist, so belegen wissenschaftliche Untersuchungen, die Einhaltung einer Temperatur von 850 °C während des Betriebes für die Einhaltung der Umweltstandards nicht erforderlich. Auch die Notwendigkeit des An- und Abfahrens mit Fremdenergie sollte auf den Prüfstand gelangen. Da die Anlagen im Genehmigungsverfahren die Vorgaben der 17. BImSchV einzuhalten hatten, ist der Fremdenergieaufwand praktisch vorgegeben. Nur durch Änderungen in den Rechtsvorgaben oder durch die Nutzung möglicher Änderungsgenehmigungen gemäß der 17. BImSchV können Verminderungen des Fremdenergiebedarfs erreicht werden. Für die Anlagen ist der Anreiz wegen der geringen zu erwartenden Effekte und der geringen öffentlichen Akzeptanz von Änderungsanträgen nicht attraktiv.

Bei den nichtthermischen Verfahren ist der Einsatz von Fremdenergie für die Abgasreinigung (RTO) durch die 30. BImSchV vorgeschrieben. Allerdings gibt es hier Möglichkeiten, auf regenerative Energieträger wie Deponiegas, Klärgas oder Biogas auszuweichen. Gleiches gilt für MPS-Anlagen, die das Material thermisch trocknen, alternativ könnte die Trocknung auch biologisch durchgeführt werden. Letzteres würde ggf. eine wesentliche Änderung der Anlage darstellen, die auch genehmigungsrechtliche Konsequenzen hätte. Für MPS-Anlagen gilt, was Lahl [5.16] für MBAs festgestellt hat: *„Durch Optimierungen der Behandlungsschritte und der Verfahrenstechnik der MBA (z.B. Prozessluftmanagement, Nachrüstung anaerober Behandlungsstufen) können mögliche negative Umweltauswirkungen der Abgasreinigung mit RTO deutlich verringert werden.“*

### 5.3.3 Umsetzung genehmigungsrechtlicher Möglichkeiten

Die Gewinnung von Strom und Wärme aus dem Abfallstrom zeigt eine höhere Energieeffizienz als alle EBS-Verwertungen, außer u.U. dem Einsatz in Kohlekraftwerken. D.h. für die Praxis, dass Abfallverbrennungsanlagen nur noch genehmigt werden sollten, wenn sie über eine KWK verfügen. Für die vorhandene MVA in Sachsen sollte weiterhin nach Möglichkeiten des Wärme- bzw. auch des Kälteabsatzes gesucht werden.

Die Forderung nach Realisierung einer KWK gilt gleichermaßen auch für EBS-Kraftwerke. Optimal ist dabei die Dampfabgabe an einen Industriebetrieb auf einem niedrigen Niveau (< 10 bar) [5.17] und der Bezug der benötigten Ersatzbrennstoffe aus der Region, um größere Transportemissionen zu vermeiden. Hier sind insbesondere die Möglichkeiten des Genehmigungsrechtes auszuschöpfen. So sollten EBS-Anlagen nur noch genehmigt werden, wenn sie durch KWK eine höhere energetische Effizienz aufweisen.

Die Nachrüstung der größeren Bioabfallbehandlungsanlagen mit einer Vergärungsstufe wurde durch die Novellierung der GasNZV und des EEG zum 1.1.2009 attraktiver gemacht. Die Motivation für Betreiber zur Nachrüstung ihrer Anlage sollte durch eine konsequente Umsetzung der Vorgaben der TA Luft – d.h. Anpassung der Genehmigung – von Seiten des Landes flankiert werden. Zugleich könnte über zusätzlich vom Freistaat geförderte Projekte mit Modellcharakter die Anpassung des Anlagenbestandes weiter unterstützt werden.

## Literaturverzeichnis Kapitel 5

- [5.1] 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
- [5.2] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG): Gesamtemissionen von den Altablagerungen und Deponien im Freistaat Sachsen von 1996 bis 2006, Datei Emissionen\_Deponien\_Ablagerungen\_1996-2007.xls, übersandt am 10.10.2008
- [5.3] BIWA Consult GbR Freiberg, BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH Oyten (Bearbeiter): Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen, FuE-Vorhaben im Auftrag vom LfUG – Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden  
a): Teil 1: Methodenentwicklung, Bericht vom 28.06.2002  
b): Teil 3: Gebrauchtholzbilanz 2000 und Prognose, Bericht vom 14.12.2001  
c): Teile 2 und 4: Ergebnisse und Auswertung, Endbericht vom 12.05.2003
- [5.4] Dehoust, G., Wiegmann, K., Fritsche, U., Stahl, H., Jenseit, W., Herold, A., Cames, M., Gebhardt, P. (Öko-Institut e.V.), unter Mitarbeit von Vogt, R., und Giegrich, J. (ifeu-Heidelberg GmbH): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, August 2005  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3006.pdf>
- [5.5] Ketelsen, K.: Optimierung von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen, in: Thomé-Kozmiensky, K.-J.; Beckmann, M. (Hrsg): Energie aus Abfall – Band 5, TK-Verlag, Neuruppin 2008
- [5.6] Studie TU München, zitiert in Klobasa, M., Ragwitz, M. (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe): Gutachten zur CO<sub>2</sub>-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien. Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) im Auftrag des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Januar 2005  
[http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Umweltschutz/Frauenhofer\\_gutachten\\_co2\\_minderung.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Umweltschutz/Frauenhofer_gutachten_co2_minderung.pdf)
- [5.7] Fricke, K., Bahr, T.: Integration der Vergärung auf Kompost- und MBA-Anlagen, in: Wiemer K., Kern, M.: Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund der TA Luft und EEG, S. 49 - 73. Oktober 2007
- [5.8] Zeifang, M.: Allgemeine Aspekte der Integration einer Vergärung in eine Kompostierung. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Humustag 2007  
[http://www.kompost.de/uploads/media/Vortrag-Zeifang\\_01.pdf](http://www.kompost.de/uploads/media/Vortrag-Zeifang_01.pdf)
- [5.9] Turk, T., Kern, M., Sprich, W., Hake, J.: Vergärungsanlagen als Vorschaltanlagen vor der Kompostierung – Technik, Kosten und Wirtschaftlichkeit, in: Wiemer K., Kern, M.: Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund der TA Luft und EEG, S. 153 - 183. Oktober 2007
- [5.10] Kern, M., Raussen, T.: Konzepte zur optimierten stofflichen und energetischen Nutzung von Bio- und Grünabfällen, in: Wiemer K., Kern, M.: Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund der TA Luft und EEG, S. 129 - 152. Oktober 2007  
[http://www.abfallforum.de/downloads/kern\\_biomasseforum\\_2007.pdf](http://www.abfallforum.de/downloads/kern_biomasseforum_2007.pdf)
- [5.11] Schulte-Schulze Berndt, A. (CarboTech): Aufbereitung und Einspeisung von Biogas, Mai 2006  
[http://www.asue.de/images/veroeff\\_pdf/dr\\_schulte-schulze\\_berndt\\_mai\\_2006.pdf](http://www.asue.de/images/veroeff_pdf/dr_schulte-schulze_berndt_mai_2006.pdf)
- [5.12] <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/wirtschaftliche-planung/darstellung-der-gesamtkosten.html>  
Das Projekt <http://www.biogas-netzeinspeisung.at> wird im Rahmen des Programms "Energiesysteme der Zukunft" – einer Initiative des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) – durchgeführt]

- [5.13] EPEA Internationale Umweltforschung GmbH: Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen. Kompass für die Entscheidungsfindung vor dem Hintergrund der geplanten Überarbeitung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes, April 2008  
[http://www.bde-berlin.org/wp-content/uploads/2008/04/epea\\_kompass.pdf](http://www.bde-berlin.org/wp-content/uploads/2008/04/epea_kompass.pdf)
- [5.14] Dow-Jones-Großhandelsankaufspreise für Almetalle. EUWID Re Nr. 45, S. 18, 4.11.2008
- [5.15] BMU: Übersicht zur Förderung mit einem Tilgungszuschuss. Förderung im Marktanreizprogramm 2008 des Bundesumweltministeriums  
[http://www.bmu.de/erneuerbare\\_energien/downloads/doc/40828.php](http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/40828.php).
- [5.16] Lahl, U.: Immissionsschutzrechtliche Regelungen bei der thermischen und biologischen Abfallbehandlung. 7. Internationale ASA-Tage. Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung – Leistungsfähigkeit der MBA. S. 21 – 38, 2008  
[http://bundesumweltministerium.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/asa2008\\_immissionsschutzrechtl\\_regelungen.pdf](http://bundesumweltministerium.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/asa2008_immissionsschutzrechtl_regelungen.pdf)].
- [5.17] Schubert, M.: Sind ersatzbrennstoffbefeuerte Kraftwerke für die industrielle Energieversorgung eine echte Alternative? Bundeskongress des BWK-Bundesverbandes, Weimar, 15.-17.9.2005  
<http://www.bwk-bund.de/kongresse/bundeskongress2005/Schubert.pdf>

## 6 Empfehlungen und Maßnahmen

Die Ergebnisse der Berechnungen und Abschätzungen zeigen, dass die im Freistaat Sachsen von den ÖRE/AV ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen seit 2005 bereits im erheblichen Umfang zur Einsparung klimarelevanter Emissionen beigetragen haben. Den größten Beitrag zur Klimaentlastung leistete die Einführung der Abfallbehandlung. Besonders relevante positive Beiträge konnten für die Stoffströme der Altstoffe und der Restabfälle festgestellt werden. Bei Bioabfällen stehen Klima entlastenden Beiträgen auch klimabelastende Beiträge gegenüber. Auf Basis der Ergebnisse der Studie lassen sich nachfolgende Handlungsmöglichkeiten formulieren, die zur weiteren Optimierung des Abfallmanagements in Sachsen beitragen können.

### 6.1 Ableitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen

#### 6.1.1 Altdeponien/Altlasten

Ausgehend von den in der Studie dargestellten Abschätzungen des Deponiegaspotenzials lassen sich noch keine Aussagen zu den tatsächlichen Treibhausgasemissionen aus sächsischen Deponien ableiten. Aus diesem Grund und wegen der relevanten Größenordnung des abgeschätzten theoretischen Potenzials für Deponiegasemissionen wird empfohlen zu untersuchen, welchen Beitrag die in Sachsen betriebenen und stillgelegten Deponien zu den Emissionen von Treibhausgasen leisten. Auf dieser Grundlage ist zu prüfen, welche weiteren Maßnahmen zur weitergehenden Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus Deponien möglich sind. Zur Bewertung dieser Maßnahmen ist auch der Vergleich ihrer relativen Kosten mit dem Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate heranzuziehen. Dies entspricht auch der Intention des Energieprogramms Sachsen 2007 [6.1]:

*“Die Zielstellungen im Rahmen des Umwelt- und Klimaschutzes sind auch unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Analysen festzulegen (Beispiel: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten). Aufgabe von Landespolitik ist es, dem bei der Förderung entsprechender Maßnahmen Rechnung zu tragen.”*

Nach Literaturangaben liegen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für Maßnahmen im Bereich abfallwirtschaftlicher Anlagen im Bereich von < 10 bis > 40 €/Mg CO<sub>2</sub>-Äq. ([6.2], [6.3]).

Im Abhängigkeit von den nach einer Bewertung möglicher Maßnahmen zu treffenden Entscheidungen wäre zu prüfen, inwieweit finanzielle Fördermaßnahmen vorzusehen sind, um die Hürde der Finanzierung sinnvoller Maßnahmen niedrig zu halten.

#### 6.1.2 Altstoffverwertung

Die Studie hat gezeigt, dass die vorhandenen Systeme der getrennten Erfassung und Verwertung von Altstoffen unbedingt beizubehalten sind. Die höchsten spezifischen Einsparungen an klimarelevanten Emissionen lassen sich durch die Erfassung und Verwertung von Eisenmetallen und mehr noch von Nicht-Eisenmetallen erreichen. Wie eine Intensivierung der getrennten Metallsammlung und eine Ausweitung auf die Erfassung von Altaluminium am sinnvollsten zu realisieren ist, sollte in einer Machbarkeitsstudie untersucht werden. Dabei sollten nicht nur die Kosten, sondern auch die erreichbaren CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte finanziell bilanziert werden (CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten).

Ob ein Ausbau der getrennten Erfassung von PPK und LVP in Sachsen klimabilanziell vorteilhaft ist, bedarf ebenfalls weiterer Untersuchungen. Eine Ausweitung der Abschöpfung dieser Heizwertträger wird absehbar zu Lasten der Heizwerte des Restabfalls bzw. daraus erzeugter haFr gehen. Dies führt zu einer geringeren Energieauskopplung in den thermischen Anlagen. Ob in der Gesamt-Bilanz dann ein Mehr an Klimaentlastung erreicht wird oder aber – aufgrund der niedrigeren Ausbeuten bei der Verbrennung/energetischen Verwertung – die Klimaentlastung sogar geringer ausfällt, bedarf einer gesonderten Untersuchung.

### **6.1.3 Thermische Behandlungs- und Verwertungsanlagen und nicht-thermische Behandlungsanlagen**

Insbesondere im Hinblick auf die Energieeffizienz bestehen Optimierungsmöglichkeiten wie z.B. Nachrüstung der sächsischen MVA mit KWK oder Senkung des Energieeigenbedarfs der sächsischen Anlagen. Eine Erhöhung der Energieeffizienz thermischer Anlagen bietet sich beispielsweise durch die konsequente und möglichst umfassende Nutzung der Energie durch KWK. Zukünftige thermische Anlagen (MVA, EBS-Kraftwerke) sollten ausschließlich mit KWK geplant werden. Letztendlich lassen sich entsprechende Potenziale aber nur auf der Grundlage anlagenkonkreter standortbezogener Betrachtungen unter Beachtung der wesentlichen Rahmenbedingungen vor Ort (nicht nur Klimarelevanz und Energieeffizienz) quantifizieren und umsetzen.

Für die Umsetzung ist auch von Bedeutung, in welchem Umfang weitere Abnahmemöglichkeiten für die Wärme geschaffen werden. Hier spielt der Vollzug des EEWärmeG – insbesondere die Berücksichtigung bei der Flächenplanung anhand der Instrumente der Bauleitplanung und kommunaler Satzungen (z. B. Sanierungsplanung, Anschluss- und Benutzungszwang für Nahwärme) – eine große Rolle. Hier sind die Möglichkeiten unterstützender Maßnahmen z.B. im Rahmen der Sächsischen Bauordnung zu prüfen (z.B. Ergänzung in § 42 Feuerungsanlagen, sonstige Anlagen zur Wärmeerzeugung, Brennstoffversorgung).

Für die **nicht-thermischen Behandlungsanlagen** sind die vorgenannten Ausführungen ebenfalls relevant. Durch Effizienzsteigerungen bei den thermischen Verwertungsanlagen erhöhen sich die Effizienzen der Systeme, bei denen die Erstbehandlung über nicht-thermische Behandlungsanlagen läuft. Zudem können diese Anlagen selbst zur Effizienzerhöhung beitragen, indem sie ihre Anlagenkonzepte (Optimierung zwischen minimalem Aufwand und maximalen Ausbringen an Wertfraktionen hinsichtlich Menge und Qualität), ihre Anlagen an sich (Einsparung von Energie, Einsparung oder Ersatz von Regelbrennstoffen) und ihre Verwertungswege (Nutzung hocheffizienter energetischer Verwertungsanlagen) optimieren. Möglichkeiten, klimarelevante Emissionen zu reduzieren, bestehen bei nicht-thermischen Anlagen u.a. durch Reduzierung oder Ersatz von Regelbrennstoffen für Abgasreinigungsmaßnahmen und für Abfalltrocknung, durch Optimierung der Verwertungswege für haFr hinsichtlich Transporten und Nutzung hocheffizienter thermischer Anlagen. Diese Potenziale lassen sich wiederum nur auf der Basis anlagenkonkreter standortbezogener Untersuchungen quantifizieren und erschließen.

### **6.1.4 Bioabfallbehandlung**

Bioabfälle werden gegenwärtig in Sachsen zum Teil getrennt gesammelt und verwertet und zum Teil gemeinsam mit den Restabfällen erfasst und entsorgt. Die gegenwärtig überwiegend praktizierte Art der Verwertung der getrennt erfassten Bioabfälle – die offene Kompostierung – führt zur Erzeugung von Komposten, die bei geeignetem Einsatz positive Beiträge zum Klimaschutz erzielen können. Andererseits ist die Kompostierung auch mit klimarelevanten Emissionen verbunden. Diese Situation wirft zunächst Fragen nach Möglichkeiten der Optimierung der Behandlungsinfrastruktur auf. Darüber hinaus ist zu klären, ob und, wenn ja, in welchem Maße und in welchem Zeitregime der verschiedentlich geforderte Ausbau der getrennten Sammlung von Bioabfällen aus Klimaschutz- und Ressourcenschutzgründen sinnvoll ist. Zu berücksichtigen ist dabei der Einfluss der Bioabfallanteile auf die Klimabilanz der Restabfallentsorgung. Zu prüfen ist außerdem, ob und welche bisher nicht genutzten Bioabfallpotenziale erschlossen werden sollten.

Um Aufwand und Potenziale abschätzen zu können, empfiehlt sich, eine Bestandsaufnahme der sächsischen Anlagen zur Verwertung von Bioabfällen durchzuführen, in der nicht nur die technischen Daten, sondern auch die Umfeldbedingungen (Lage, Entfernung zur nächsten Erdgasleitung etc.) erhoben werden. Das LfULG bereitet derzeit die Bearbeitung eines FuE-Vorhabens zum oben genannten Thema vor. Das Ziel des Vorhabens besteht vor allem darin, auf der Grundlage einer entsprechenden Ist-Stand-Untersuchungen vor dem Hintergrund des Klimaschutzes, des Bodenschutzes und der Energieeffizienz, aber auch der Wirtschaftlichkeit Strategien für den zukünftigen Umgang mit biogenen Abfällen in Sachsen abzuleiten.

### 6.1.5 Abfälle aus Gewerbe und Industrie

Im Bericht wurde an verschiedenen Stellen vermerkt, dass die Untersuchungen auf bestimmte Abfälle beschränkt waren, die in Regie der ÖRE/AV entsorgt bzw. statistisch erfasst wurden. Abfallmengen, die durch Abfallerzeuger selbst (hier insbesondere Abfallerzeuger aus Gewerbe und Industrie) oder deren beauftragte Dritte entsorgt wurden, waren nicht Gegenstand der Betrachtungen. Der Beitrag zum Klimaschutz, der durch die Entsorgung der bisher nicht untersuchten Abfallströme erbracht wird, ließe sich in einem gesonderten Vorhaben ermitteln oder zumindest abschätzen, um die Leistungen der sächsischen Abfallwirtschaft auf dem Gebiet Klimaschutz insgesamt zu erfassen.

### 6.2 Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms des Freistaates Sachsen

Das Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen vom Juni 2001 [6.1] sah für den Sektor Abfallwirtschaft zunehmenden Handlungsbedarf in folgenden Bereichen:

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

Als Maßnahmen wurden vorgesehen:

- Nutzung der Energie aus Restabfällen,
- stoffliche Verwertung von Abfällen,
- energetische Verwertung des Deponiegases,

thermische Behandlung / energetische Verwertung / mechanisch-biologische Behandlung von Restabfällen.

Mit Blick auf den Status quo im Jahr 2007 kann festgehalten werden, dass die geplanten Maßnahmen in unterschiedlichem Umfang realisiert worden sind. Um den Beitrag zur Klimaentlastung weiter zu steigern, sind sie teilweise noch weiter auszubauen. Energie aus Restabfällen wird zwar genutzt, jedoch zumeist nicht mit der technisch möglichen und aus Klimaschuttsicht erforderlichen Effizienz. So heißt es im Klimaschutzprogramm bzgl. der thermisch zu behandelnden Abfallmenge (3.1.3 Nutzung der Energie aus Restabfällen):

*“Die effektivste Möglichkeit, dieses Potenzial zu nutzen, ist die Kraft-Wärme-Kopplung. Deren Anwendung ist allerdings von geeigneten Abnehmern für Wärmeenergie abhängig. Bei der Standortwahl für Behandlungsanlagen in Sachsen soll daher auf entsprechende Möglichkeiten geachtet werden.”*

Diese Aussage hat nach wie vor Gültigkeit.

Ob und in welchem Maße im Bereich der Deponien weitere Reduzierungen der Emission klimaschädlicher Gase sinnvoll sind, bedarf einer vertiefenden Betrachtung.

Zur Ableitung weiterer konkreter Maßnahmen **außerhalb des Bereichs der Restabfallentsorgung** sind unter Berücksichtigung der in Umsetzung der Abfallablagereungsverordnung entstandenen Entsorgungsinfrastruktur im Freistaat Sachsen weitere Untersuchungen beispielsweise im Bereich der Bioabfallverwertung oder im Bereich der Verwertung getrennt zu erfassender Altstoffe notwendig.

**Es ist festzuhalten, dass bei abfallwirtschaftlichen Maßnahmen alle Möglichkeiten zu nutzen sind, um einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Verbesserung der Energieeffizienz leisten zu können. Dazu sind alle Akteure in der Abfallwirtschaft angehalten, dies bei ihrer Tätigkeit umfassend zu beachten. Das bedeutet auch, dass der Klimaschutz und die Energieeffizienz in den Abfallwirtschaftskonzepten Eingang finden müssen. Getreu dem Motto des hier bearbeiteten Vorhabens:**

***Die Sächsische Abfallwirtschaft – ein starker Partner beim Klimaschutz***

## Literaturverzeichnis Kapitel 6

- [6.1] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen, Dresden 2001 (Stand: 01. Juni 2001)
- [6.2] Bilitewski, B., Müller, H., Schirmer, M., Wagner, J.: Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung. EdDE-Dokumentation Nr. 10, 2005
- [6.3] Folien zu Bilitewski et al.,  
<http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/nachhaltigkeit/dokumente/energieaus-abfall-verbrennung.pdf>

## 7 Zusammenfassung

### Aufgabenstellung

Vom Freistaat Sachsen, vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG – Auftraggeber (AG)), wurde im Jahr 2007 ein FuE-Vorhaben zum Thema "Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen" initiiert. Mit der Bearbeitung des Vorhabens wurde die Bietergemeinschaft, bestehend aus der BIWA Consult GbR, Freiberg, der BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oytzen, sowie Prof. Manfred Born, SIDAF Freiberg, als Unterauftragnehmer beauftragt.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen Berechnungen zur Klimarelevanz für die Entsorgung von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (ÖRE) oder den Abfallverbänden (AV) überlassenen Abfällen auf der Grundlage von Daten zu Anlagen, die in die Entsorgungssysteme der ÖRE/AV eingebunden sind. Außerdem wurden Berechnungen zur Energieeffizienz für Anlagen und Systeme zur Entsorgung der überlassenen Abfälle durchgeführt. Darüber hinaus waren Betrachtungen zu den klimarelevanten Auswirkungen der Verwertung ausgewählter Altstoffe anzustellen.

Das Gesamtvorhaben strukturiert sich in drei Bearbeitungsphasen. In Phase 1 (2007) wurden die Inhalte für die nachfolgenden Bearbeitungsphasen festgelegt und methodische Vorarbeiten geleistet. Die Phase 2 (2008) hatte im Wesentlichen die Datenerhebung und -auswertung zum Inhalt. In Phase 3 (2008) waren Systemvergleiche, Bewertungen und Szenarienbetrachtungen anzustellen sowie Maßnahmen und Handlungsempfehlungen abzuleiten gewesen.

### Vorgehensweise

Grundlagen für die Berechnungen zur Klimarelevanz und zur Energieeffizienz bilden u.a.

- die installierten Konzepte/Systeme der ÖRE/AV zur Entsorgung überlassener Abfälle,
- die Abfallmengen 2007,
- die Daten wesentlicher Entsorgungsanlagen, in denen sächsische Abfälle entsorgt werden,
- für die Klimarelevanz darüber hinaus weitere Daten (Abfallzusammensetzung und -eigenschaften, Betriebs- und Hilfsmittel, Transportaufwendungen).

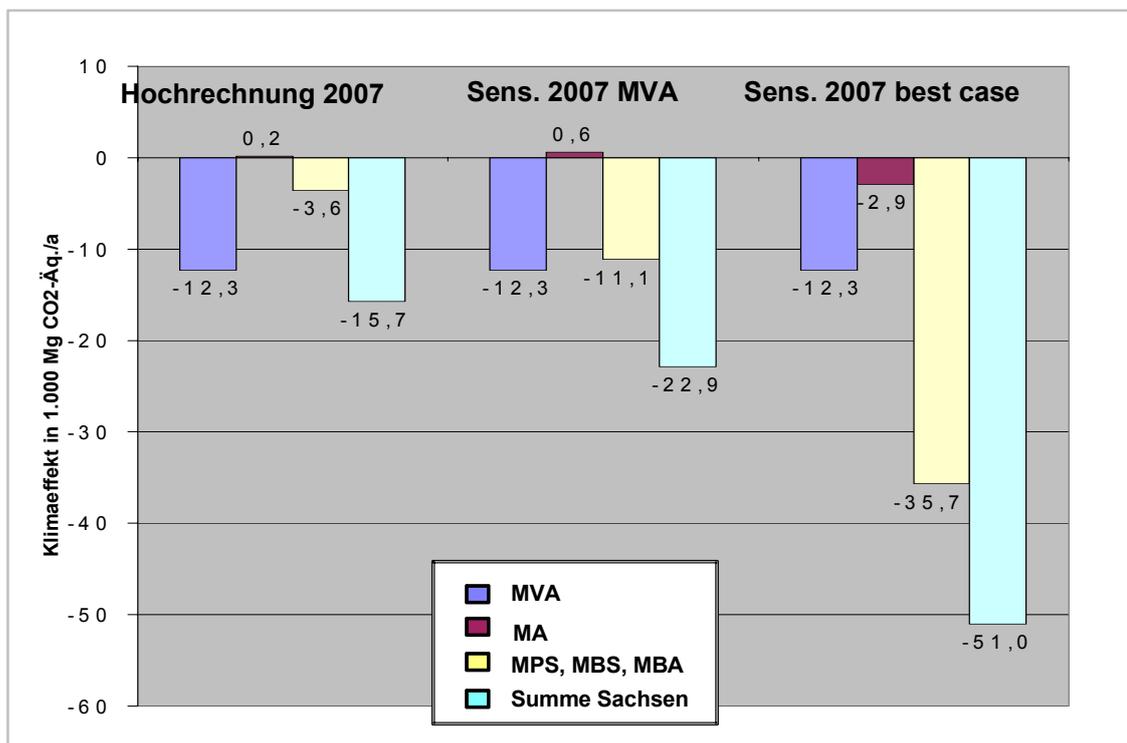
Zu den Konzepten/Systemen der ÖRE/AV und zu den Anlagendaten wurden umfangreiche Befragungen durchgeführt. Die Abfallmengen 2007 wurden vorzugsweise aus der Siedlungsabfallbilanz für den Freistaat Sachsen übernommen. Die "sonstigen" Daten wurden auf der Grundlage von Studienergebnissen und durch Auswertung von Literaturquellen ermittelt.

Für die Klimarelevanzberechnungen wurde die Methodik der überarbeiteten IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)-Richtlinie aus dem Jahr 1996 zur Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare sowie ergänzend die Methodik der Ökobilanzierung zu Grunde gelegt. Die Energieeffizienzberechnungen erfolgten auf der Basis der VDI-Richtlinie 3460 Blatt 2, 2007 – Emissionsminderung und Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung.

### Wesentliche Ergebnisse bzgl. Klimarelevanz

#### Behandlung der den ÖRE/AV überlassenen Abfälle

Die nachfolgende Übersicht enthält die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** in Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr für die unterschiedlichen **Entsorgungslösungen für die sächsischen überlassenen Abfälle** im Jahr 2007. Negative Werte bedeuten Klimaentlastungen, positive Werte Klimabelastungen für die entsprechenden Entsorgungswege. In Abbildung 7.1 sind die Klimaeffekte für den Ist-Stand 2007 (unter Beachtung der Zwischenlagerung heizwertreicher Fraktionen) und zum Vergleich für zwei Varianten, bei denen die energetische Verwertung der zwischengelagerten Materialien angenommen wurde, gegenübergestellt.



**Abb. 7.1:** Klimarelevanz der Behandlung überlassener Abfälle im Freistaat Sachsen - aktuelle Abschätzung auf der Basis realisierter Entsorgungslösungen mit Zwischenlagerung (Hochrechnung 2007) und ohne Zwischenlagerung der heizwertangereicherten Fraktionen, sondern Verbringung in Müllverbrennungsanlagen (Sens. 2007 MVA) oder in andere thermische Anlagen (Sens. 2007 best case)

In Summe werden durch die Entsorgung der überlassenen sächsischen Abfälle über die Konzepte/Systeme der ÖRE/AV **Klimaentlastungen** von ca. 15.700 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./a erreicht (Hochrechnung 2007). Hiervon sind die Transportaufwendungen von rund 6.400 Mg CO<sub>2</sub>-Äq. für das Jahr 2007 in Abzug zu bringen, so dass in Summe eine Entlastung von etwa 9.300 Mg CO<sub>2</sub>-Äq. für das Jahr 2007 verbleibt.

Sensitivitätsanalysen haben gezeigt, dass die Ergebnisse der Klimarelevanzberechnungen für die Behandlung der den ÖRE/AV überlassenen Abfälle u.a. ganz wesentlich abhängen:

- von der Energieeffizienz der (energetisch) verwertenden Anlagen,
- von der Wahl der Last-/Gutschrift für benötigten/ausgekoppelten Strom (Ansatz des deutschen Strommix führt im Vergleich zum sächsischen Strommix zu geringeren Gutschriften) und
- von den im Jahr 2007 aufgrund der Zwischenlagerung heizwertangereicherter Fraktionen "fehlenden" Gutschriften für die energetische Verwertung (s. Abbildung 7.1).

#### *Davon Bioabfälle*

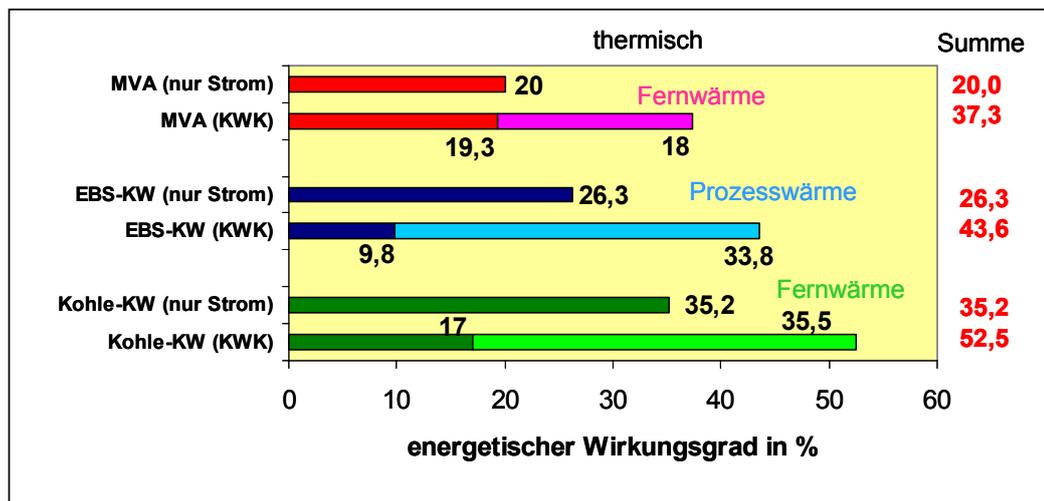
Im Jahr 2007 wurden nur 1,5 % der von den ÖRE/AV separat eingesammelten Bioabfälle in eine Vergärungsanlagen verbracht, 98,5 % wurden kompostiert, wobei davon auszugehen ist, dass davon der Großteil in offenen Kompostierungsanlagen behandelt wurde (reichlich 80 %). Vor diesem Hintergrund ergibt sich auf der Basis von Literaturwerten für die **Bioabfallverwertung** eine Klimabelastung von insgesamt rund 12.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./a für 2007. Die Ursache hierfür liegt an den vergleichsweise geringen Gutschriften für die Vergärung/Biogasnutzung.

## Davon Altstoffe

Für die in der Abfallbilanz 2007 für Sachsen ausgewiesenen **Altstoffmengen** (PPK-, Altglas-, Fe-Metall- und LVP-Mengen) und deren **Verwertung** wurden potenzielle Klimaentlastungen von etwa  $-70.600 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq.}$  bis zu  $-146.000 \text{ Mg CO}_2\text{-Äq.}$  abgeschätzt. Die vergleichsweise große Spannweite ergibt sich durch die Verwendung verschiedener Literaturwerte für die spezifischen, altstoffbezogenen Klimaentlastungen und infolge von Szenarienbetrachtungen. Bei dieser Abschätzung wurden separat erfasste PPK-, Altglas-, Fe-Metall- und LVP-Mengen betrachtet, die durch die ÖRE/AV entsorgt und/oder statistisch erfasst wurden.

## Wesentliche Ergebnisse bzgl. Energieeffizienz

Für die drei untersuchten, hier relevanten Müllverbrennungsanlagen mit Stromerzeugung wurden Wirkungsgrade von um die 20 % ermittelt. Für eine Müllverbrennungsanlage mit teilweiser Wärmeauskopplung (Kraft-Wärme-Kopplung – KWK) wurde ein Wirkungsgrad von insgesamt 37,3 % ermittelt. Die Wirkungsgrade von anderen thermischen Anlagen, wie Kohlekraftwerke, Ersatzbrennstoff (EBS)-Kraftwerke und Zementwerke, können höher sein, insbesondere bei KWK-Anlagen (s. Abbildung 7.2). Zu beachten ist allerdings, dass in solche energetische Verwertungsanlagen nur aufbereitete Fraktionen verbracht werden können. Nicht vorbehandelte überlassene Abfälle lassen sich hier nicht einsetzen.



**Abb. 7.2:** Energetische Wirkungsgrade bei der Behandlung und Verwertung von Abfällen

Die Aufbereitung der überlassenen Abfälle bedingt zunächst (energetische) Aufwendungen, die im Folgenden nur durch die Verwertung der heizwertreichen Fraktionen in hocheffizienten KWK-Verbrennungsanlagen ausgeglichen werden können.

Mit Hilfe des Wirkungsgradverhältnisses, das die energetischen Effekte der verschiedenen Verwertungswege der heizwertreichen Fraktionen mit der Behandlung des gesamten überlassenen Abfalls in einer MVA vergleicht, konnte für die betrachteten Anlagen folgendes ermittelt werden:

- Für das Abfallverwertungssystem mit einer Mechanisch-Physikalischen Stabilisierungsanlage ergaben sich energetische Systemwirkungsgrade von 14,4 % (Verwertung in einer EBS-Verbrennungsanlage mit Stromerzeugung) bis zu 32,5 % (Verwertung des EBS in einem Kohlekraftwerk mit KWK). Damit kann die Energieeffizienz einer Müllverbrennungsanlage, die den gesamten Abfall verbrennt (20 % bei Stromerzeugung und 37,3 % bei KWK), nicht erreicht werden. Wird der Aufwand für die Abfalltrocknung im System für die Strom- und Wärmeerzeugung nutzbar gemacht, so erreicht die Energieeffizienz des Systems nur ca. 60 bis maximal 90 % (bei Kohlekraftwerkseinsatz) der Effizienz einer Müllverbrennungsanlage (Nutzenergieverhältnis).

- Für die Abfallverwertungssysteme mit einer Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlage konnten energetische Systemwirkungsgrade bei Anwendung von KWK von 25,9 bis 31,6 % ermittelt werden. Sie liegen deutlich unter dem für eine MVA ermittelten Wert von 37,3 %.
- Für die Abfallverwertungssysteme mit einer Mechanisch-Biologischen Stabilisierungsanlage werden bei Einsatz der EBS in einer EBS-Verbrennungsanlage nicht die Systemwirkungsgrade erreicht, die für die Müllverbrennungsanlage berechnet wurden. Die energetische Verwertung der EBS in Kohlekraftwerken kann mit 23,0 % (Stromerzeugung) und 36,8 % (KWK) höhere Nettowirkungsgrade erreichen als eine Müllverbrennungsanlage.
- Für das Abfallverwertungssystem Mechanische Aufbereitungsanlage + Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage wurde aus Plausibilitätsberechnungen ermittelt, dass eine Verbringung der heizwertangereicherten Fraktionen nur in eine Müllverbrennungsanlage möglich sein sollte. Der Systemnettowirkungsgrad erreicht nur ca. 90 % des Müllverbrennungsanlage-Wirkungsgrades.

### **Optimierungspotenziale, weitergehende Reduzierung von THG-Emissionen**

Ausgehend von den Ergebnissen zum Ist-Stand wurde abgeschätzt, welche Optimierungspotenziale zur weitergehenden Reduzierung von THG-Emissionen bestehen. Es existiert eine Reihe von Maßnahmen, die bei ihrer Umsetzung zu weiteren Klimaentlastungen in der Abfallwirtschaft führen können. Letztendlich geht es bei den durchzuführenden Maßnahmen immer darum, den Aufwand (Material- und Energieeinsatz) so gering wie möglich zu halten und den Nutzen (Material- und Energieausbringung) maximal zu erhöhen.

Für die nicht-thermischen Vorbehandlungsanlagen beispielsweise bedeutet dies, dass die Optimierung zwischen Minimierung des Eigenenergiebedarfs und Maximierung des Ausbringens an heizwertangereicherten Fraktionen und Altstoffen (hinsichtlich Menge **und** Qualität) erfolgen muss. Bei thermischen Verwertungsanlagen ist der Eigenenergieverbrauch zu senken und der Nettoenergiegewinn beispielsweise durch KWK zu erhöhen (Erhöhung des Wirkungsgrades).

Die Umsetzung entsprechender Maßnahmen hängt von einer Vielzahl von Rahmenbedingungen ab. Sie sind oft mit z.T. hohen Investitionen verbunden. Alles entscheidend ist in der Regel, dass sich die Maßnahmen wirtschaftlich darstellen lassen müssen.

Unabhängig von den Betrachtungen zu Optimierungspotenzialen lassen sich von den in der Studie dargestellten Abschätzungen des Deponiegaspotenzials noch keine Aussagen zu den tatsächlichen Treibhausgasemissionen aus Deponien ableiten. Aus diesem Grund und wegen der relevanten Größenordnung des abgeschätzten theoretischen Potenzials für Deponiegasemissionen ist zu prüfen, welchen Beitrag die in Sachsen betriebenen und stillgelegten Deponien zu den Emissionen von treibhausrelevanten Gasen leisten.

Außerdem ist festzustellen, dass die gezielte separate Erfassung und Verwertung von Altstoffen zu merklichen Klima- und Umweltentlastungen führt. Der Ausbau der (werkstofflichen) Altstoffverwertung könnte daher zur Reduzierung abfallwirtschaftlich bedingter THG-Emissionen beitragen.

### **Empfehlungen, Maßnahmen**

Die sächsische Abfallwirtschaft leistet einen beachtlichen Beitrag zum Klimaschutz. Dieser Beitrag kann weiter ausgebaut werden. Im Rahmen des FuE-Vorhabens "Klimarelevanz 2" wurden hierfür folgende Ansätze identifiziert:

- Prüfung, welchen Beitrag die in Sachsen betriebenen und auch die stillgelegten Deponien zu den Emissionen von Treibhausgasen leisten, um auf dieser Grundlage entscheiden zu können, welche Maßnahmen zur weiteren Reduzierung von Treibhausgasen möglich sind,
- Beibehaltung bzw. Ausbau der separaten Erfassung und Verwertung von Altstoffen (insbesondere Fe- und NE-Metalle),
- Erhöhung der Effizienz von Müllverbrennungsanlagen und energetischer Verwertungsanlagen,

- Optimierung der nicht-thermischen Behandlungskonzepte (Minimierung des Aufwandes, Maximierung des Ausbringens an Wertfraktionen) und Optimierung der nicht-thermischen Anlagen und der Verwertungswege für heizwertangereicherte Fraktionen,
- Erschließung von Potenzialen zur Reduzierung von THG-Emissionen beispielsweise durch Ausbau der Bioabfallvergärung auf der Basis einer zu erarbeitenden Strategie für den Freistaat Sachsen.

Diese Ansätze sind durch FuE-Vorhaben, Pilotprojekte und/oder Fördermaßnahmen des Freistaates Sachsen zu initiieren und zu flankieren.

Es wird empfohlen, das Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen aus dem Jahr 2001 auf der Basis einer Ist-Stand-Untersuchung fortzuschreiben. Die vorliegenden Ergebnisse und Empfehlungen bieten für den Bereich Abfallwirtschaft hierfür eine Grundlage.