

# Studie KRIGEZ



## Kriterien zur Trennung von Siedlungsabfall aus Industrie und Gewerbe als Voraussetzung zur Zuordnung zu Behandlungsverfahren

Oktober 2008







**Kriterien zur Trennung von Siedlungsabfall aus  
Industrie und Gewerbe als Voraussetzung zur  
Zuordnung zu Behandlungsverfahren  
(KRIGEZ)**

David Laner  
Paul H. Brunner

Auftraggeber

Saubermacher Dienstleistungs AG  
und  
Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D

Wien, Oktober 2008

Projektleitung  
Paul H. Brunner

Projektbearbeitung  
David Laner

Telefonische Befragungen  
Annemarie Sulzberger

Grafische Gestaltung und Layout  
Inge Hengl

Impressum  
Technische Universität Wien  
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft  
A-1040 Wien, Karlsplatz 13/226  
Tel.: +43 1 58 801 226 41 (Skr.)  
Fax.: +43 1 58 801 226 97  
E-Mail: [aws@iwa.tuwien.ac.at](mailto:aws@iwa.tuwien.ac.at)  
<http://www.iwa.tuwien.ac.at>



---

## Kurzfassung

Die Frage, ob eine getrennte Sammlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle einer gemeinsamen Behandlung mit dem kommunalen Systemmüll vorzuziehen ist, wird immer wieder kontrovers diskutiert. Die vorliegende Studie stellt in diesem Zusammenhang eine naturwissenschaftlich-technische Grundlage für die Diskussion dieser Fragestellung im Hinblick auf die Ziele des AWG dar. Ihr Ziel besteht darin, am Beispiel der Steiermark Handlungsempfehlungen für die Zuordnung von betrieblichem Restmüll (=hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) zu Behandlungsverfahren zu entwickeln.

Zunächst wurde die Menge hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark mit 115.000 Tonnen abgeschätzt, wovon bereits ca. 80 % getrennt von kommunalem Systemmüll gesammelt werden. Aufgrund der schlechten Datenlage sind die Abschätzungen allerdings mit großen Unschärfen behaftet. Da die Zusammensetzung dieser Abfälle nicht bekannt ist, wurden sogenannte Modellabfälle in Abhängigkeit von Branche und Sammelsystem definiert. Anhand dieser Schätzungen und basierend auf den in der Steiermark verfügbaren Behandlungsanlagen wurden Szenarien für deren Bewirtschaftung entwickelt. Diese Szenarien wurden mittels Güter- und Stoffflussanalysen hinsichtlich der Ziele der Abfallwirtschaft bewertet. Als exemplarische Kriterien dienten der kumulierte Energieaufwand (KEA), das Treibhauspotential (THP), das verbrauchte Deponievolumen sowie die Lenkung von Schadstoffen (Cadmium) in geeignete Senken.

Die Bilanzierung des KEA und des THP ergab für Szenarien, die von einer getrennten Sammlung und Behandlung eines Teiles der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle ausgehen, die größten Gutschriften. Die Unterschiede zu Behandlungskonzepten mit gemeinsamer Sammlung und Behandlung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls mit dem Systemmüll würden ausreichen, um je nach Szenario einen erhöhten LKW-Transportaufwand von 500 – 1000 km pro Tonne Abfall zu kompensieren. Das benötigte Deponievolumen lag für alle Szenarien in einem Bereich von 24.000 – 27.000 m<sup>3</sup>; es waren jedoch, wie auch für die Lenkung der Cadmiumflüsse in geeignete Senken, keine Präferenzen für bestimmte Behandlungskonzepte festzustellen.

Die Erkenntnisse erlauben eine Zuordnung spezifischer hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu entsprechenden Abfalltypen anhand bestimmter Kriterien (z.B. Heizwert) und ermöglichen dadurch eine zielorientierte Behandlung dieser Abfälle. Allerdings sind für die Entwicklung konkreter Bewirtschaftungskonzepte jedenfalls die spezifischen abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie die Kosten mit einzubeziehen; insbesondere können hausmüllähnliche Gewerbeabfälle nur dann Behandlungsverfahren objektiv zugeordnet werden, wenn ihre Art, Menge und Zusammensetzung bekannt ist.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ziele und Fragestellungen.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>5</b>
3.1	Begriffsbestimmungen .....	5
3.2	Menge und Zusammensetzung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall .....	6
3.2.1	Bisherige Arbeiten .....	6
3.2.2	Mengenabschätzung und Entwicklung von Modellabfällen.....	10
3.3	Beschreibung der Abfallbehandlungsverfahren .....	26
3.3.1	Restmüllsplittinganlagen (RSA) .....	26
3.3.2	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA) .....	28
3.3.3	Anlagen zur Behandlung der Outputströme aus RSA und MBA .....	31
3.4	Kriterien zur Beurteilung der Zielorientierung einer Behandlungsmaßnahme .....	33
3.4.1	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	34
3.4.2	Emissionen klimarelevanter Gase - Treibhauspotential (THP).....	35
3.4.3	Schonung von Deponievolumen.....	36
3.4.4	Lenkung umweltrelevanter bzw. problematischer Stoffflüsse in geeignete Senken.....	36
3.5	Szenarien zur Behandlung und Verwertung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall .....	37
3.5.1	Beschreibung der verschiedenen Behandlungsszenarien .....	37
3.5.2	Bilanzierung und Bewertung der Behandlungsszenarien.....	46



---

<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Interpretation.....</b>	<b>49</b>
4.1	Bilanzen der Behandlungsszenarien.....	49
4.1.1	Güterflussanalysen der Behandlungsszenarien .....	49
4.1.2	Stoffflussanalysen für Kohlenstoff und Cadmium.....	58
4.2	Bewertung der Szenarien .....	75
4.2.1	„Status Quo“ (AO) .....	78
4.2.2	Szenario A1 „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“ .....	82
4.2.3	Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“.....	84
4.2.4	Szenario B1 „Getrennte Behandlung – Abfallcharakteristik“ .....	86
4.2.5	Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung“ .....	88
4.3	Vergleich der Szenarien.....	90
4.3.1	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	90
4.3.2	Treibhauspotential (THP) .....	92
4.3.3	Verbrauch an Deponievolumen .....	94
4.3.4	Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken .....	96
4.4	Einschränkungen und Zuverlässigkeit der Ergebnisse .....	98
4.4.1	Datenunschärfe und Unsicherheiten.....	98
4.4.2	Methodische Einschränkungen und Unsicherheiten.....	99
4.4.3	Szenarioabhängige Einschränkungen und Unsicherheiten.....	101
4.4.4	Zuverlässigkeit der Ergebnisse und Forschungsbedarf.....	103
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen.....</b>	<b>105</b>
5.1	Schlussfolgerungen.....	105
5.2	Beantwortung der Fragestellungen.....	111
5.3	Handlungsempfehlungen.....	113
<b>6</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>121</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>127</b>





## 1 Einleitung

„Siedlungsabfälle“ sind Abfälle aus privaten Haushalten und andere Abfälle, die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung den Abfällen aus privaten Haushalten ähnlich sind (AWG, 2002). Insbesondere fallen auch gemischte Siedlungsabfälle („Restmüll“) sowohl in privaten Haushalten, als auch in Gewerbe- und Industriebetrieben an. Die Notwendigkeit bzw. Sinnhaftigkeit einer gegebenenfalls daraus abzuleitenden gemeinsamen Sammlung und Behandlung wird immer wieder kontrovers diskutiert. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sowohl die kommunale Abfallwirtschaft (Gemeinden und Abfallwirtschaftsverbände über ihre gesetzlichen Verpflichtungen zur Sammlung und Behandlung von Siedlungsabfällen z.B. nach dem Steiermärkischen Abfallwirtschaftsgesetz (Land Steiermark, 2004)), als auch die private Entsorgungswirtschaft (über ihr Dienstleistungsangebot zur Sammlung und Behandlung von Abfällen aus Gewerbe und Industrie) in diesem Bereich tätig sind.

Die vorliegende Studie bildet eine naturwissenschaftlich-technische Grundlage, um eine Zuordnung „hausmüllähnlicher“ Gewerbe- und Industrieabfälle zu Behandlungsverfahren basierend auf den Zielen des AWG (AWG, 2002) zu ermöglichen. Anhand der Beurteilung verschiedener Behandlungskonzepte für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle werden Handlungsempfehlungen für eine zielorientierte Bewirtschaftung dieser Abfälle in der Steiermark hergeleitet.

Eine Diskussion zur Eingrenzung der Anschlusspflicht für Industrie- und Gewerbebetriebe („Andienung“), insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht, erfolgt im Rahmen der vorliegenden Studie nicht. Diese Frage hängt letztendlich von den abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen am jeweiligen Standort ab. Letzteres stellt auch Hutterer (2008) im Rahmen einer Diskussion verschiedener Aspekte einer Eingrenzung der Anschlusspflicht für Industrie- und Gewerbebetriebe fest. Insgesamt gibt es kaum Studien, die auf naturwissenschaftlicher Basis verschiedene Behandlungskonzepte für „hausmüllähnliche“ Gewerbe- und Industrieabfälle untersuchen.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst eine operative, sammlungsbezogene Definition für Teilfraktionen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle hergeleitet und darauf aufbauend die Datenlage hinsichtlich Menge und Zusammensetzung dieser Abfälle dargestellt. Anhand der verfügbaren Behandlungsanlagen in der Steiermark werden Behandlungsszenarien zur Beurteilung verschiedener Bewirtschaftungskonzepte für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle entworfen. Für diese Szenarien werden Güter- und Stoffflussanalysen durchgeführt und basierend darauf die Erfüllung abfallwirtschaftlicher Zielsetzungen für unterschiedliche Behandlungsstrategien be-

wertet. Aufgrund der ermittelten Resultate werden Kriterien für eine Zuordnung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu geeigneten Behandlungsverfahren entwickelt und Handlungsempfehlungen für eine zielorientierte Bewirtschaftung dieser Abfälle abgeleitet.



## 2 Ziele und Fragestellungen

Das Ziel des Projektes besteht darin, am Beispiel der Steiermark praxisbezogene Handlungsempfehlungen für die Zuordnung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zu Behandlungsverfahren zu entwickeln.

Im Hinblick auf die Zielsetzung der Studie sind folgende Fragestellungen von Interesse:

- Wie kann die Menge an gewerblichem Restmüll „gemessen“ werden?
- Wie kann die Zusammensetzung dieser Abfälle bestimmt werden und welche branchenspezifischen Unterschiede lassen sich feststellen?
- Welches sind die Massenflüsse und die Zusammensetzungen des gewerblichen Restmülls in der Steiermark im Jahre 2006?
- Welche Behandlungsanlagen kommen für diese Abfälle in Frage?
- Wie groß sind deren Behandlungskapazitäten?
- Mit welchen Kriterien können diese Anlagen im Hinblick auf die Erfüllung der Ziele des AWG bewertet werden?
- Welche Szenarien lassen sich für die Behandlung und Verwertung des gewerblichen Restmülls in der Steiermark bilden?
- Welches sind die Resultate der Bewertung der Szenarien anhand der Kriterien?
- Welche Kriterien sind robust und eignen sich für die Zuordnung von Abfällen zu Behandlungsanlagen?
- Welche Empfehlungen kann man aus den Resultaten ableiten?





### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Begriffsbestimmungen

Im Rahmen dieser Studie werden für Abfälle aus Gewerbe und Industrie folgende Definitionen verwendet:

##### ***Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall***

Feste Abfälle aus Industrie und Gewerbe, die nach der getrennten Sammlung (z.B. von Altstoffen, Produktionsabfällen, Baurestmassen oder gefährlichen Abfällen) anfallen. Gemäß ÖNORM S 2100 (2005) werden diese Abfälle unter der Schlüsselnummer 91101 (Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) erfasst. Diese Abfälle stellen den betrieblichen Restmüll dar und können nach Art der Sammlung weiter in Geschäftsmüll und Gewerbemüll unterteilt werden (siehe Abbildung 3-1).

##### ***Geschäftsmüll***

Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, der im Holsystem gemeinsam mit dem Hausmüll durch die kommunale Entsorgung (Systemabfuhr) erfasst wird.

##### ***Gewerbemüll***

Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, der durch private Entsorgungsunternehmen getrennt von der kommunalen Sammlung entgegen genommen wird.

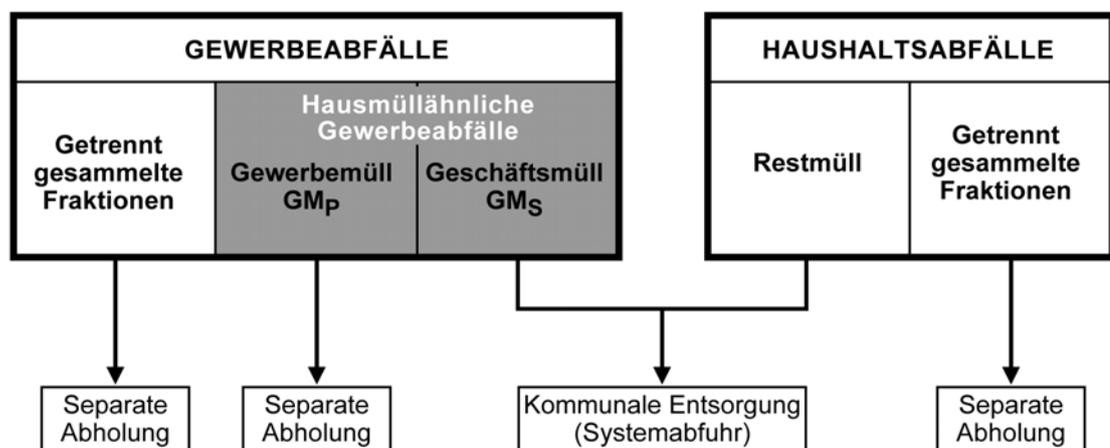


Abbildung 3-1: Schematische Illustration der Abfälle aus Industrie und Gewerbe unterteilt nach Art der Sammlung und deren Bezug zu Haushaltsabfällen

**Industrie und Gewerbe** wird als Überbegriff für Betriebe aus Gewerbe, Industrie, Land- und Forstwirtschaft sowie für entsprechende Einrichtungen im öffentlichen Bereich verwendet.

Die Begriffe Recycling (=stoffliche Verwertung), thermische Verwertung und Beseitigung werden in dieser Studie wie folgt gebraucht:

**Recycling** bedeutet eine stoffliche Verwertung des Abfalls. **Thermische Verwertung** bezeichnet die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie. **Beseitigung** steht für keine weitere Nutzung der betreffenden Abfallfraktion. Unter dem Begriff Behandlung werden beide Formen der Verwertung als auch Beseitigung verstanden.

## 3.2 Menge und Zusammensetzung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall

### 3.2.1 Bisherige Arbeiten

Gewerbeabfall ist hinsichtlich Menge und Zusammensetzung schwer einzuschätzen. Die Gründe dafür reichen von unterschiedlichen Gebühren- und Abgabensystemen bis zur Art der Betriebe, deren Produktionsweise und angewandte Technologien sowie die innerbetriebliche Abgrenzung zu produktspezifischen Abfallströmen und Bauabfällen (vgl. Kranert, 2006). Die Situation des Gewerbeabfalls ist also weitgehend unbekannt, ganz besonders in Bezug auf den Teilstrom des Gewerbeabfalls, der gemeinsam mit dem Systemmüll gesammelt wird (=Geschäftsmüll) und somit nicht gesondert statistisch erfasst werden kann. Aufgrund der besonders großen Wissenslücken im Hinblick auf diesen Teilstrom des Gewerbeabfalls wurde in diversen Studien versucht, mehr über den Geschäftsmüll in Erfahrung zu bringen. Im Anschluss werden einige dieser Arbeiten kurz dargestellt.

Eine umfangreiche Arbeit zur Menge und Zusammensetzung des Geschäftsmülls stammt von Kranert (2004) und bezieht sich auf das Stadtgebiet von Wolfenbüttel in Deutschland. Anhand verschiedener Erhebungsmethoden (Fragebögen, Messungen, betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte, statistische Auswertungen usw.) wurden Menge und Zusammensetzung des Geschäftsmülls für das Untersuchungsgebiet im Jahr 1997 ermittelt. Die Ergebnisse wurden differenziert für 21 Branchen (teilweise mit Untergruppen) ausgewiesen und ermöglichen eine Charakterisierung branchenspezifischer Geschäftsmüllströme, wobei große Unterschiede in der Abfallzusammensetzung der einzelnen Branchen beobachtet werden konnten (siehe Tabelle 7-1 im Anhang). Besonders hohe Anteile an Papierabfällen konnten beispielsweise in den Branchen „Verlags- und Druckgewerbe“, „Einzelhandel mit Büchern“, „Einzelhandel mit Lebensmitteln“, „Apotheken“, „Nachrichtenübermittlung, Kredit- und Versicherungsgewerbe“ sowie „Verwaltung“ beobachtet werden. Als Branchen mit hohen Anteilen an nativer Organik im Geschäftsmüll wurden beispielsweise „Gartenbau und Tierhaltung“ oder „Gastgewerbe“ identifiziert. Die durchschnittliche Zusammensetzung des Geschäftsmülls im Untersuchungsgebiet ist in



Abbildung 3-2 dargestellt, wobei Papier, Pappe und Karton mit einem Anteil von mehr als einem Drittel die größte Fraktion darstellen. Der Heizwert des durchschnittlichen Geschäftsmülls war um ca. 40 % höher als der des Hausmülls im Untersuchungsgebiet, wodurch sich die im Mittel höheren Anteile an heizwertreichen Fraktionen widerspiegeln.

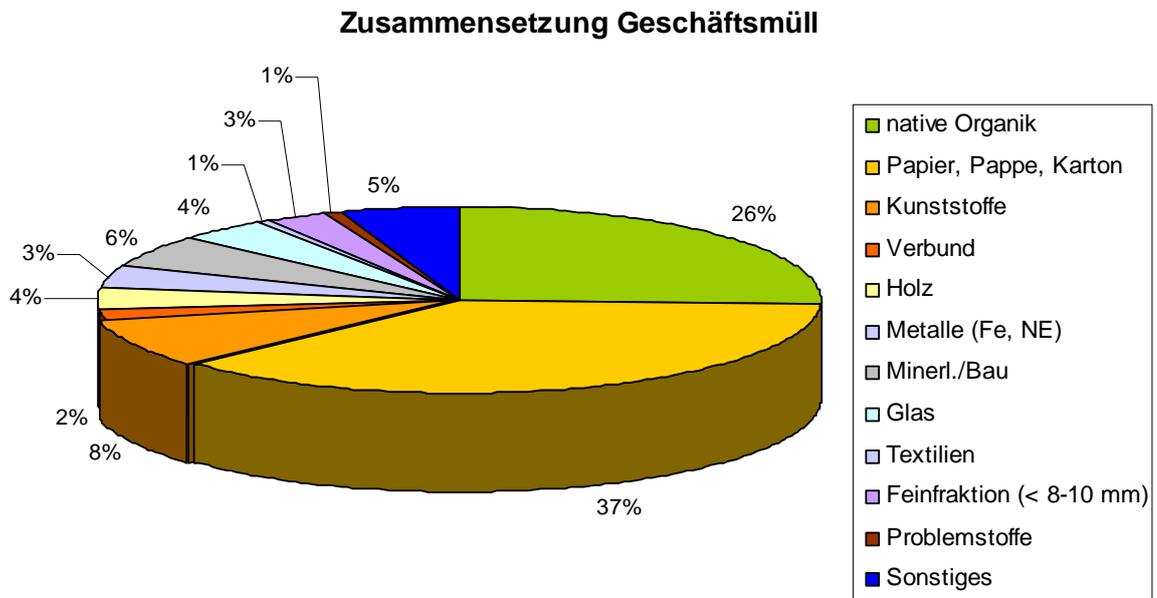


Abbildung 3-2: Durchschnittliche Zusammensetzung des Geschäftsmülls in Wolfenbüttel 1997 (nach Kranert, 2004)

Die Geschäftsmüllmenge wurde ebenfalls im Hinblick auf branchenspezifische Unterschiede, Betriebsgröße (ausgedrückt durch Mitarbeiteranzahl, Verkaufsfläche, Sitzplätze, Bettenanzahl,...) und nach Strukturgebiet (z.B. Einzelhausbebauung, Kernstadt usw.) analysiert. Insgesamt wurde ein Anteil des Geschäftsmülls am kommunal gesammelten Restmüll von ca. 34 % im Untersuchungsgebiet abgeschätzt, das entspricht einem einwohnerspezifischen Anfall von Geschäftsmüll von ca. 126 kg/E.a. Der Beitrag der einzelnen Branchen war dabei sehr unterschiedlich, die größten Mengen fielen im Gastgewerbe (ca. 11 %), in Supermärkten (ca. 10 %) und bei Kfz-Handel und -reparatur (ca. 9 %) an. Diese Anteile hängen naturgemäß von der Betriebsstruktur des Untersuchungsgebietes ab und sind daher nicht direkt auf andere Gebiete übertragbar. Dies gilt auch für die durchschnittliche Geschäftsmüllzusammensetzung, da diese ebenfalls von der Wirtschaftsstruktur, den innerbetrieblichen und den abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes abhängt.

Hochrechnungen der Geschäftsmüllmenge sind aber beispielsweise anhand branchenbezogener spezifischer Abfallmengen möglich. Solche spezifischen Kenngrößen können sich auf Arbeitsstätten, Beschäftigte, Betten, Sitzplätze, Verkaufs- oder Produktionsfläche usw. beziehen. Korrelationen zwischen verschiedenen Kenngrößen und Geschäftsmüllmengen sowie deren Anwendung auf andere (nicht untersuchte) Gebiete werden in Kranert (2004) hergeleitet und diskutiert. Insgesamt stellen die Arbeiten von Kranert (2004) eine Basis zur Abschätzung von Geschäftsmüllmengen differenziert nach unterschiedlichen Wirtschaftszweigen und unter Berücksichtigung von Gebietsstruktur und Einwohnerzahl zur Verfügung.

Eine weitere Möglichkeit, um die Menge an Geschäftsmüll zu quantifizieren, wurde von Quicker et al. (2006) vorgestellt. Die Abschätzung erfolgt über eine lineare Beziehung zwischen dem Anfall an hausmüllähnlichen Gewerbeabfall aus der privaten Sammlung und dem Geschäftsmüllaufkommen. Einschränkungen dieses Verfahrens sind vor allem die limitierte Verfügbarkeit von Daten zum Gewerbeabfallaufkommen, der starke Einfluss betrieblicher Abfallwirtschaftskonzepte (Sammlung und Entsorgungswege), sowie das Fehlen branchenspezifischer Daten zum Geschäftsmüllaufkommen. Verschiedene Studien über spezifische Geschäftsmüllmengen weisen Mengen zwischen ca. 30 und 140 kg an Geschäftsmüll pro Einwohner und Jahr auf (vgl. Kranert, 2004 und Quicker et al., 2006). Diese Mengen ergeben einen Anteil des Geschäftsmülls am gesamten Restmüll in den jeweils untersuchten Regionen zwischen rund 10 und 46 %.

Für Wien wurden Abschätzungen des Geschäftsmüllaufkommens von Salhofer et al. (1996) vorgenommen. Anhand von Betriebsbegehungen, Interviews und der Analyse von Abfallwirtschaftskonzepten (bei Großbetrieben) wurden, nach Branchen und Betriebsgrößen unterteilt, Erhebungen des Gewerbeabfallanfalls für ein ausgewähltes Modellgebiet durchgeführt. Dabei wurde je nach Branche ein Mengenpotenzial des Geschäftsmülls für Klein- und Mittelbetriebe zwischen 25 und 602 kg pro Beschäftigten und Jahr und für Großbetriebe zwischen 11 und 401 kg pro Beschäftigten und Jahr abgeschätzt. Insgesamt sind die Großbetriebe im Modellgebiet für ca. 40 % des gesamten Geschäftsmüllaufkommens verantwortlich, obwohl sie nur 1,5 % der Betriebe darstellen. Daraus lässt sich erkennen, dass Großbetrieben eine besondere Bedeutung bei der Mengenabschätzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in einem bestimmten Gebiet zukommt.

Untersuchungen, die in erster Linie die Zusammensetzung des Geschäftsmülls beleuchteten wurden unter anderem von Kern et al. (2002) in Berlin durchgeführt. Wie in den Arbeiten von Kranert (2004) wurden auch in dieser Studie große Unterschiede hinsichtlich der Geschäftsmüllzusammensetzung verschiedener Branchen



beobachtet. Besonders hohe Anteile der Fraktion Papier und Pappe (über 35 %) wurde beispielsweise im Geschäftsmüll von Behörden, Medien und Zeitungen, Konsulaten, sowie Banken und Versicherungen gefunden. Auch die Anteile von Hohlglas (z.B. U- und S-Bahnhöfe) und Leichtverpackungen (z.B. Imbisse, Tankstellen, Großhandel) im Geschäftsmüll waren teilweise beträchtlich. Insgesamt wurde in einigen Branchen ein Anteil trockener Wertstoffe von mehr als der Hälfte des Geschäftsmülls festgestellt. In anderen Branchen fanden sich hingegen hohe Anteile nativer Organik im Geschäftsmüll, wie z.B. bei Floristen, Restaurants, Lebensmittelgeschäften oder Imbissen. Der Geschäftsmüllanteil, der in Berlin ca. 30 % des Restmülls beträgt, beinhaltet also ein hohen Anteil an gut verwertbaren Wertstoffen (siehe Kern et al., 2002). Die Ergebnisse einiger Studien, in denen die Gesamtzusammensetzung des Geschäftsmülls mittels Sortieranalysen erhoben wurde, sind in Tabelle 3-1 dargestellt.

*Tabelle 3-1: Durchschnittliche Geschäftsmüllzusammensetzung verschiedener Studien in g/100 g*

Fraktionen	Berlin***	Großstadt NRW**	Braunschweig**	Wolfenbüttel (Behälter)*	Wolfenbüttel (Großcont.)*	Wolfenbüttel (Gesamt)*
Feinfraktion (< 8-10 mm)	-	5,0	1,5	3,1	2,1	2,7
native Organik	33	31,2	15,9	19,8	33,5	25,7
Papier, Karton	27	21,0	26,6	46,6	25,2	37,4
Glas	9	4,8	6,4	4,9	2,5	3,9
Kunststoffe	7	8,8	12,8	8,2	8,4	8,3
Metalle (Fe, NE)	4	3,0	4,6	3,7	3,4	3,5
Verbund	6	7,1	14,1	3,1	0,5	2,0
Mineral./Bau	-	5,3	2,5	3,1	9,6	5,9
Holz	-	3,9	13,9	0,7	8,2	3,9
Textilien	-	2,9	0,2	0,6	-	0,6
Problemstoffe	-	1,9	0,1	1,3	0,2	0,8
Sonstiges	14	5,1	1,4	5,1	6,5	5,4

Anmerkungen: \* aus Kranert 2004; \*\* zitiert in Kranert 2004; \*\*\* aus Kern et al. 2002

Eine Studie, die sich mit der gesamten Menge an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall beschäftigt, wurde von Wieczorek et al. (2002) erstellt. Basierend auf einer erzeugerorientierten Unterteilung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls wird in dieser Arbeit ein Mengenpotential für diese Abfälle von 110 kg pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Bemerkenswert ist, dass diese Abschätzung niedriger ist als die Menge des Geschäftsmüll-Teilstromes, der in den Arbeiten von Kranert (2004) ermittelt wurde (siehe oben). Eine andere Studie (Quantum, 1998) schätzt den Anteil des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls am gesamten Restmüll des Landes Salzburg mit 40 % ab. Aus dieser Arbeit geht jedoch nicht hervor, wie es zu dieser Abschätzung kam und auf welchen Annahmen diese beruht. Dementsprechend kann dieser Anteil nur als grobe Abschätzung gewertet werden und erscheint nicht belastbar.

### 3.2.2 Mengenabschätzung und Entwicklung von Modellabfällen

Aus der vorhergehenden Darstellung bestehender Arbeiten zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen wird deutlich, dass es kaum möglich ist, daraus direkte Daten zu diesem Abfallstrom zu erhalten. Außerdem ist in diesen Arbeiten die Trennung zwischen Geschäftsmüll und Gewerbemüll oft unscharf und nicht gut nachvollziehbar. In einigen Gebieten (z.B. Wien) ist außerdem davon auszugehen, dass ein sehr hoher Anteil des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls als Geschäftsmüll anfällt, also über die kommunale Sammlung erfasst wird. Die Anteile des Geschäftsmülls im Systemmüll sind generell stark durch die abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen in einem bestimmten Gebiet beeinflusst und können auch aus diesem Grund starken Schwankungen unterliegen. In den erwähnten Arbeiten liegt der Anteil des Geschäftsmülls am gesamten Restmüll zwischen 10 und 46 %, wobei der Großteil der angeführten Geschäftsmüllanteile zwischen 25 und 35 % liegt.

Hinsichtlich der Zusammensetzung konnten große Unterschiede zwischen verschiedenen Branchen und auch zwischen typischem Geschäftsmüll und typischem Hausmüll festgestellt werden. Generell bestehen hausmüllähnliche Gewerbeabfälle aus einem Gemisch von Papier und Karton, nativer Organik, Kunststoffen, Verbundmaterialien, Metallen, Holz, Glas, Textilien und sonstigen Abfällen. Grundsätzlich fällt dieses Gemisch in jedem Betrieb an (vgl. Pretz, 2005), da

- manche Abfälle nicht wirtschaftlich getrennt gesammelt werden können,
- verunreinigte Abfallströme entstehen, die sich nicht für eine Wertstoffsammlung eignen,
- beengte Platzverhältnisse die Behälteranzahl einschränken,
- die Erfassungswirkungsgrade der getrennten Sammlung begrenzt sind.

Die Unterschiede in der Zusammensetzung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls unterschiedlicher Branchen stellen die Ausgangsbasis für die Entwicklung von Modellabfällen dar, die in weiterer Folge die Grundlage für die Beurteilung unterschiedlicher Behandlungserfordernisse bilden.

#### 3.2.2.1 Abschätzung der Menge an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall in der Steiermark

Die Menge an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall in der Steiermark setzt sich aus dem Geschäftsmüll und dem Gewerbemüll zusammen (siehe Abbildung 3-1). Untersuchungen zur Menge dieser beiden Abfallströme existieren für die Steiermark nicht. Daher wird versucht, anhand von Literaturangaben, Daten des Landes Steiermark (Behandlungskapazitäten, Wirtschaftskenngrößen, Restmüllmengen usw.) und Informationen von privaten Entsorgungsbetrieben bzw. Behandlungsanlagen



(angelieferte Gewerbemüllmengen) Abschätzungen der Menge an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall in der Steiermark vorzunehmen.

### **Geschäftsmüllmenge – Abschätzung anhand von Literaturdaten**

Basierend auf den Beschäftigtenzahlen aus der Arbeitstätterhebung 2001 (Statistik Austria, 2008) wurde versucht, mittels Literaturangaben die Geschäftsmüllmenge in der Steiermark abzuschätzen. Die Literaturdaten beziehen sich auf branchenspezifische Geschäftsmüllmengen, ausgedrückt als kg Geschäftsmüll pro Bedienstetem für eine bestimmte Branche bzw. Branchengruppe. Die jeweils in der Literatur verwendete Branchenzuordnung wurde den Branchen der ÖNACE 1995 zugeteilt. Das war nur eingeschränkt möglich, da nicht alle Branchen, die für die Steiermark ausgewiesen werden, auch in den vorliegenden Untersuchungen zu Geschäftsmüllmengen aus Betrieben aufschienen. Schließlich konnten mehr als 85 % der Beschäftigten entsprechenden Branchen mit dokumentierten Geschäftsmüllaufkommen zugeordnet werden. Der Anteil an nicht berücksichtigten Bediensteten liegt für die Berechnung nach Kranert (2004) bei ca. 15 % und bei der Schätzung nach Salhofer et al. (1996) bei ca. 7 %.

Die Berechnung anhand der branchenspezifischen Geschäftsmüllmengen pro Bedienstetem von Kranert (2004, S. 118) ergibt eine Gesamtmenge an Geschäftsmüll von 114.400 Tonnen für die Steiermark (siehe Tabelle 7-2). Diese Abschätzung ist als deutlich überhöht anzusehen, da die gesamte Restmüllmenge aus der kommunalen Sammlung in der Steiermark nur 135.000 Tonnen beträgt (vgl. Land Steiermark, 2005). Dass die Werte aus Kranert (2004) als hoch anzusehen sind, stellen auch Quicker et al. (2006) fest. Sie führen dies auf die insgesamt hohe Restmüllmenge im Untersuchungsgebiet bei Kranert (2004) von insgesamt 240 kg pro Einwohner und Jahr zurück. Diese einwohnerspezifische Restmüllmenge ist auch mehr als doppelt so groß wie der Restmüllanfall in der Steiermark (gemäß Land Steiermark, 2005: 114 kg/EW.a). Da sich die Werte aus Kranert (2004) zusätzlich auf ein Stadtgebiet beziehen und daher nur sehr begrenzt auf ein ganzes Bundesland übertragen werden können, wird die obige Schätzung als unrealistisch für die Steiermark eingestuft.

Die Abschätzung der steirischen Geschäftsmüllmenge anhand der branchenspezifischen Geschäftsmüllmengen basierend auf Salhofer et al. (1996) liefert für die Steiermark eine Menge von 63.500 Tonnen (siehe Tabelle 7-3). Das würde einen Anteil des Geschäftsmülls im Restmüll von ca. 47 % bedeuten. Auch diese Zahl ist aufgrund vergleichbarer Literaturwerte im Bereich zwischen 20 und 40 % als zu hoch anzusehen. Die Daten von Salhofer et al. (1996) beziehen sich auf eine Region in Wien, also ein urbanes Siedlungsgebiet, und sind im Hinblick auf die Rahmenbedingungen für die getrennte Sammlung kaum auf die Steiermark übertragbar. Da-

her wird auch die Geschäftsmüllmenge basierend auf diesen Daten als eine Überschätzung des tatsächlichen Geschäftsmüllanfalles angesehen.

Andere Abschätzungsmethoden beruhen beispielsweise auf der Geschäftsmüllmenge pro Einwohner in einem bestimmten Gebiet. Solche Schätzmethoden inkludieren aber weder die regionale Wirtschaftsstruktur noch andere abfallwirtschaftliche Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Auslegung des Sammelsystems oder die Andienung des Restmülls aus Gewerbe und Industrie. Letztere konnten aber auch durch die beschäftigungsspezifischen Auswertungen für verschiedene Branchen nicht berücksichtigt werden, was sich unter anderem in der geringen Plausibilität der Schätzergebnisse manifestiert. Kranert (2004) diskutiert die Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen auf den Geschäftsmüllanteil im Restmüll und erwartet aufgrund der Entwicklungen in der Abfallwirtschaft (bezogen auf das Jahr 1997) einen Rückgang der Geschäftsmüllmengen in der Zukunft. Auch eine Abnahme der Geschäftsmüllmengen um fast zwei Drittel erscheint dabei unter bestimmten Rahmenbedingungen möglich (Kranert, 2004: S. 139). Das würden die nach Kranert berechnete Geschäftsmüllmenge für die Steiermark auf ca. 43.500 Tonnen reduzieren. Diese Menge erscheint immer noch etwas hoch (Anteil im Restmüll von 32 %), liegt aber bereits in einem plausiblen Bereich. Diese Schätzung erscheint auch deswegen praxistauglicher, da Kranert (2004) als Grundlage für dieses Szenario höhere Restabfallbehandlungskosten, höhere energetische Verwertungsanteile, verstärkten Zugriff privater Entsorger auf den Geschäftsmüll, verbessertes Umweltmanagement in Betrieben und die Erstellung von Branchenkonzepten annimmt. Diese Bedingungen sind in der Steiermark weitestgehend bereits gegeben, wodurch für die Steiermark generell von niedrigeren Geschäftsmüllanteilen im Restmüll auszugehen ist, als dies bei den Arbeiten von Kranert (2004) der Fall ist.

Es gibt auch die Möglichkeit, die Mengen an Geschäftsmüll als Anteil am gesamten Restmüll abzuschätzen. Entsprechende Literaturauswertungen sind beispielsweise in Kranert (2004) oder Quicker et al. (2006) dokumentiert. In der Regel liegen die angeführten Geschäftsmüllanteile zwischen 15 und 45 %. In der Studie von Salhofer et al. (1996) wird für Wien ein Geschäftsmüllanteil im Restmüll von 24 % errechnet. Basierend auf diesen Literaturangaben kann man für die Steiermark eine Geschäftsmüllmenge zwischen 20.000 und 40.000 Tonnen (entspricht 15 bzw. 30 % des Restmülls) annehmen. Es bleibt aber jedenfalls festzuhalten, dass es nicht möglich ist, Erhebungen aus anderen Gebieten vorbehaltlos auf die Steiermark zu übertragen. Da aufgrund der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen in der Steiermark ein verhältnismäßig niedriger Anteil des Geschäftsmülls am gesamten Restmüll als plausibel anzusehen ist, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Geschäftsmüll-



menge von 25.000 Tonnen (entspricht ca. 18,5 % des Systemmülls) für die Steiermark angesetzt. Geringfügig höhere Geschäftsmüllanteile im Restmüll wurden beispielsweise von Quicker et al. (2006) dokumentiert, wobei in deren Fall auch die einwohnerspezifische Restmüllmenge von 130 kg/EW.a mit steirischen Verhältnissen (114 kg/EW.a (Land Steiermark, 2007)) vergleichbar ist. Es sei aber nochmals erwähnt, dass sich die obige Schätzung nicht auf direkte Daten aus der Steiermark stützt und daher nur eine grobe Näherung darstellen kann. Sie stellt wahrscheinlich eine Überschätzung der tatsächlichen Geschäftsmüllmenge dar, da beispielsweise in einer Studie für Niederösterreich ein Geschäftsmüllanteil von 14 % im Restmüll erhoben wurde (Ringhofer, 2000). Dieser Geschäftsmüllanteil wurde danach auch im Rahmen einer Studie von Frühwirth et al. (2005) im Auftrag des Lebensministeriums als repräsentativ für ganz Österreich angesehen. Insgesamt kann der geschätzte Geschäftsmüllanteil in dieser Arbeit daher als eher hoch betrachtet werden, obwohl es keine Grundlagen für eine bessere Schätzung dieser Teilmenge der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Steiermark gibt.

### **Gewerbemüllmenge – Abschätzung anhand von Literaturdaten und Daten des Landes Steiermark**

Eine Möglichkeit zur Abschätzung der steirischen Gewerbemüllmenge stellt die Auswertung von dokumentierten Anliefermengen bei Anlagenbetreibern dar. Basierend auf einer Publikation zur mechanischen Aufbereitung in Österreich (Neubauer & Öhlinger, 2008) sowie auf Daten zur Erzeugung von Sekundärbrennstoffen des Landes Steiermark (Gungl, 2008) wurde versucht die Gewerbemüllmenge für die Steiermark zu erheben. Da die vorhandenen Informationen zu angelieferten Gewerbemüllmengen lückenhaft waren, wurde versucht fehlende Informationen bei den jeweiligen Anlagenbetreibern zu erheben. Leider waren nur wenige Betreiber bereit Daten zu diesen Mengen zur Verfügung zu stellen, was die Unsicherheit der Abschätzung deutlich erhöht bzw. höchstwahrscheinlich zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Mengen führt.<sup>1</sup> Schließlich konnten für 80 % der Anlagenbetreiber Informationen erhoben werden, welche eine angelieferte Gewerbemüllmenge von rd. 80.000 Tonnen pro Jahr (bezogen auf 2006 bzw. 2007) ergaben. Unter der Annahme, dass die Gewerbemüllmenge jener Anlagenbetreiber, die keine Angaben machten, ca. 10 % ausmacht, kommt man zu einer Schätzung der Gewerbemüllmenge für die Steiermark von rd. 90.000 Tonnen pro Jahr.

---

<sup>1</sup> Anlagen die keine Daten zur Verfügung stellten, konnten nicht für die Schätzung berücksichtigt werden und dort angelieferte Gewerbemüllmengen wurden daher bei der ersten Schätzung nicht erfasst.

Die obige Abschätzung deckt sich relativ gut mit einem von Quicker et al. (2006) abgeleiteten Zusammenhang zwischen Geschäftsmüllmenge und Gewerbemüllmenge. Eine Untersuchung in vier deutschen Gebietskörperschaften ergab, dass die Menge an Gewerbemüll um einen Faktor 3,1 größer ist als die Menge an Geschäftsmüll. Dieser Zusammenhang ist rein empirisch und eine Übertragbarkeit auf andere Regionen erscheint äußerst problematisch. Es sei aber aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt, dass die skizzierten steirischen Verhältnisse in relativ guter Übereinstimmung mit dieser Beziehung sind. Die obigen Abschätzungen würden für die Steiermark einen Faktor von 3,6 (= 90.000/25.000) ergeben.

### **Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen – Abschätzung anhand von Literaturdaten**

Wie aus den bisherigen Ausführungen und Abschätzungen deutlich wird, ist die Ermittlung der Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark mit großen Unsicherheiten behaftet. Der Übertrag von Mengenabschätzungen aus anderen Gebieten auf die Steiermark ist grundsätzlich als problematisch zu bezeichnen, da die Steiermark andere abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen aufweist als die Untersuchungsgebiete der bestehenden Arbeiten, die zusätzlich bereits über 10 Jahre zurück liegen (vgl. Salhofer et al., 1996; Kranert, 2004). Generell kann die abfallwirtschaftliche Situation in der Steiermark als begünstigend für relativ geringe Geschäftsmüllmengen bezeichnet werden (vgl. Kranert, 2004), dafür sprechen auch die zahlreichen Aktivitäten des Landes Steiermark zur Optimierung der betrieblichen Abfallwirtschaft (siehe Land Steiermark, 2008b). Der Zugriff privater Entsorgungsbetriebe auf hausmüllähnliche Gewerbeabfälle ist über die Anschlusspflicht bzw. die Entbindung von der Anschlusspflicht, die für Betriebe unter bestimmten Voraussetzungen erfolgen kann, geregelt. Die Aufteilung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in Geschäftsmüll und Gewerbemüll hängt letztendlich von der Handhabung der Anschlusspflicht durch die Gemeinde ab und kann sich demgemäß von Kommune zu Kommune stark unterscheiden. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass in der Steiermark der größte Anteil der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle derzeit privat entsorgt wird. Ein Zusammenhang zwischen Gewerbemüllmenge und Geschäftsmüllmenge wie in Quicker et al. (2006) präsentiert erscheint auch für die Steiermark plausibel.

Im Rahmen dieser Arbeit wird für die Steiermark eine Gesamtmenge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen von 115.000 Tonnen pro Jahr angesetzt. Davon entfallen 25.000 Tonnen pro Jahr auf den Geschäftsmüll und 90.000 Tonnen auf den Gewerbemüll. Einen Unsicherheitsbereich für diese Schätzungen anzugeben ist aufgrund der vagen Datengrundlage schwierig. Anhand vergleichbarer Literaturwerte



und basierend auf erfassten Gewerbemüllmengen sollten sich die tatsächlichen Gesamtabfallmengen in einem Bereich zwischen 50.000 und 150.000 Tonnen bewegen. Einen Anhaltspunkt dafür liefert auch eine grobe Abschätzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfallmengen auf Bezirksebene, die von Abfallberatern und Betriebsleitern der Saubermacher Dienstleistungs AG (SDAG) für die Steiermark durchgeführt wurde. Basierend auf den Einschätzungen der Abfallwirtschaftler zu den behandelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfallmengen, einerseits durch die SDAG selbst und andererseits durch weitere Entsorgungsbetriebe in den jeweiligen Bezirken, wurden Mengen für die gesamte Steiermark abgeleitet. Die Liste mit den Abschätzungen auf Bezirksebene findet sich im Anhang (siehe Tabelle 7-4) und ergibt für die gesamte Steiermark eine Menge von rund 85.000 Tonnen an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall. Diese Menge wird von den Schätzenden als niedrig bzw. vorsichtig deklariert und stellt daher wahrscheinlich eine Unterschätzung der tatsächlich gesammelten Mengen dar. Obwohl auch die Zuverlässigkeit dieser Schätzung unbekannt ist, deutet sie darauf hin, dass sich die Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark rund um 100.000 Tonnen pro Jahr bewegen dürfte.

Insgesamt erscheinen die Mengenschätzungen im Rahmen dieser Studie ausreichend plausibel, um basierend darauf Kriterien für die Zuordnung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu Behandlungsanlagen anhand von Szenarien zu entwickeln. Schließlich geht es nicht um eine exakte Erhebung der Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, sondern Kriterien zu entwickeln, die eine zielorientierte Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle erlauben.

### **3.2.2.2 Beschreibung des Gewerbemülls der Saubermacher Dienstleistungs AG (SDAG) im Raum Graz**

Ergänzend zu den vorherigen Abschätzungen erfolgt in diesem Abschnitt eine kurze Darstellung der Gewerbemüllmengen im Raum Graz und Graz-Umgebung. Die Diskussion des von SDAG gesammelten Gewerbemülls soll dazu dienen, einen Eindruck von Art und Menge dieser Abfälle zu gewinnen. Anfangs sollte anhand von Informationen der SDAG, den gesammelten Gewerbemüllmengen und ergänzend durchgeführten Telefonbefragungen eine Grundlage für die Schätzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle im Raum Graz und darauf aufbauend für die gesamte Steiermark durchgeführt werden. Die Abschätzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle bzw. eines Teilstroms davon anhand der vorhandenen Stichprobe wurde aber schließlich aus folgenden Gründen verworfen:

- Die SDAG ist nicht das einzige private Entsorgungsunternehmen, das im Raum Graz Gewerbemüll einsammelt. Da die gesammelten Mengen der anderen Entsorgungsbetriebe nicht bekannt sind, ist eine zuverlässige Schät-

zung der Gewerbemüllmengen für den Raum Graz nicht möglich. Zusätzlich sind auch Aussagen zu Ähnlichkeiten zwischen Betrieben, die ausschließlich kommunal entsorgen und Betrieben, die Gewerbemüll an private Entsorger abgeben, schwierig.

- Der Großteil der Betriebe, die Gewerbemüll an die SDAG abgeben, ist auch an die kommunale Systemabfuhr angeschlossen und entsorgt daher einen Teil der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle über den kommunalen Restmüll. Wie groß dieser Anteil ist, ist anhand der verfügbaren Daten (auch nach telefonischen Rückfragen) nicht bestimmbar.
- Einige Betriebe (v.a. im Gesundheitswesen) geben ihren Gewerbemüll an mehr als einen privaten Entsorger ab. Nach welchen Kriterien die Aufteilung erfolgt bzw. wie sich die entsprechenden Mengenverhältnisse darstellen, konnte nicht eruiert werden. Daher sind auch Aussagen zu den Gewerbemüllmengen der SDAG-Kunden mit Unsicherheiten behaftet.
- In einigen Fällen bezieht sich der gesammelte Restmüll bereits auf mehrere Betriebe, da diese gemeinsame Behälter zur Entsorgung nutzen. Für diese Betriebe ist die Ermittlung des spezifischen Gewerbemüllaufkommens nur mehr schwer möglich, da sie in der Datenbank der SDAG als ein Kunde berücksichtigt werden. Dadurch ist auch die Branchenzuordnung in solchen Fällen problematisch.

Außerdem ergeben sich im Hinblick auf die Verwendung der Schätzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle im Raum Graz zur Hochrechnung für die Steiermark zusätzliche Probleme:

- Graz ist das urbane Zentrum der Steiermark und weist daher eine andere Bebauungs- und Wirtschaftsstruktur, als der Rest der Steiermark auf. Außerdem ist Graz eine von nur 16 (entspricht 3 % der Steiermark) steirischen Gemeinden (Land Steiermark, 2007), in der die Restmüllsammmlung über einen kommunalen Betrieb erfolgt, was die Übertragbarkeit der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes auf andere Regionen in Frage stellt.
- Die SDAG-Kunden repräsentieren nicht alle Wirtschaftszweige und Branchen in der Steiermark, daher wäre eine Hochrechnung nur für Branchen, welche anhand der Stichprobe abgebildet werden können, möglich.

Die angeführten Probleme bei der Verwendung der vorhandenen Stichprobe zur Schätzung der Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen verhindern eine statistisch belastbare Hochrechnung der Mengen für die Steiermark. Da auch über ergänzende Telefonbefragungen zu Betriebsgröße, Behältergrößen, Abfuhrintervallen sowie betrieblichen Abfallmanagement keine solide Datenbasis geschaffen werden



konnte, wird die Stichprobe für den Raum Graz in der Folge nur beispielhaft diskutiert. Außer einer Beschreibung der Stichprobe werden auch die Zusammenhänge zwischen Branchenzugehörigkeit, Betriebsgröße und Gewerbemüllmenge kurz dargestellt. Schließlich soll eine qualitative Diskussion der Zusammensetzung des eingesammelten Gewerbemülls ausgewählter Betriebe einen Eindruck von der Unterschiedlichkeit dieser Abfallströme vermitteln.

Der Raum Graz (Graz-Stadt und Graz-Umland) weist laut Volkszählung 2001 eine Bevölkerung von ca. 360.000 Menschen auf (Landesstatistik Steiermark, 2008) die in 19.200 Arbeitsstätten beschäftigt sind (Statistik Austria, 2008: Stand 15. Mai 2001). Die SDAG sammelt bei ca. 4 % dieser Betriebe bzw. Arbeitsstätten gemischten Siedlungsabfall mit der Schlüsselnummer 91.101 ein, wobei der Großteil der entsorgten Standorte im Bezirk Graz-Stadt liegt. Aus diesem Datensatz wurde eine Stichprobe genommen, für die Erhebungen zum betrieblichen Abfallmanagement durchgeführt und ausgewertet wurden. Die Stichprobe umfasst 355 Betriebe, die verschiedenen Branchen zuzuordnen sind. Die wichtigsten Kenngrößen der Stichprobe an Betrieben, wie deren Branchenzugehörigkeit, die Anzahl an Beschäftigten usw. sind in Tabelle 3-2 angeführt. Anhand der dargestellten Informationen ist zwar eine Schätzung und Hochrechnung der Gewerbemüllmengen möglich, aufgrund der zuvor dargestellten Probleme und Einschränkungen wird auf die Verwertung einer solchen Schätzung aber verzichtet. Weder sind zuverlässige Aussagen über den Anfall hausmüllähnlicher Abfälle in den untersuchten Betrieben möglich, da die kommunal gesammelten Mengen unbekannt sind, noch können anhand der verfügbaren Informationen die tatsächlichen Gewerbemüllmengen bestimmt werden, da fallweise mehrere private Entsorger den gemischten Siedlungsabfall übernehmen. Eine Hochrechnung auf den Raum Graz oder die gesamte Steiermark erscheint aufgrund der mangelnden Repräsentativität und Zuverlässigkeit des Datensatzes jedenfalls nicht sinnvoll möglich.

Anhand der Daten aus Tabelle 3-2 sind Aussagen zu den Betrieben möglich, die (zumindest) einen Teil ihres hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls an die SDAG übergeben. So entsorgen von den 355 untersuchten Betrieben 280 (entspricht 80 %) ihren betrieblichen Restmüll teilweise über die kommunale Systemabfuhr. Im Bezirk Graz-Stadt trifft dies praktisch auf jeden Betrieb zu: neben der privaten Restmülltonne gibt es immer auch eine kommunale Restmülltonne. Die kommunal entsorgten Mengen, also der Geschäftsmüll, konnte aber anhand der verfügbaren Daten nicht abgeschätzt werden und bleibt somit unberücksichtigt. Im Hinblick auf den gesammelten Gewerbemüll ergibt sich basierend auf den verrechneten Mengen ein mittlerer Anfall von etwas mehr als 10 Tonnen Gewerbemüll pro Betrieb und Jahr, wobei die in der Stichprobe berücksichtigten Betriebe tendenziell mehr Beschäftigte aufweisen als der Durchschnittsbetrieb im Raum Graz. Erwartungsgemäß schwankt

dieser Wert je nach Branche und Betriebsgröße enorm. Das verdeutlicht die Darstellung der beschäftigten-spezifischen Gewerbemüllmengen, gegliedert nach Branchen der ausgewählten Betriebe, in Tabelle 3-2. Der Mittelwert und der Median der spezifischen Gewerbemüllmengen einzelner Betriebe unterscheiden sich dabei innerhalb einer Branche um bis zu eine Größenordnung. Diese Unterschiede sind durch die teilweise enormen Streuungen der Einzelwerte (bis zu drei Größenordnungen) begründet, welche die Zuverlässigkeit bzw. Repräsentativität dieser spezifischen Gewerbemüllmengen jedenfalls in Frage stellen. Als Gründe für die beobachteten Abweichungen werden die zuvor beschriebenen Einschränkungen des SDAG-Datensatzes vermutet.

Eine Hochrechnung anhand der ermittelten spezifischen Gewerbemüllmengen für die gesamte Steiermark würde bezogen auf die Mittelwerte ca. 120.000 Tonnen und bezogen auf die Medianwerte ca. 50.000 Tonnen ergeben. Obwohl diese Werte in einem vernünftigen Bereich liegen, werden sie hier nur zu Demonstrationzwecken angeführt; eine zuverlässige Abschätzung der Gewerbemüllmenge in der Steiermark ist anhand der beschriebenen Stichprobe, wie bereits diskutiert, nicht möglich. Unter diesem Hintergrund sind auch die mittleren beschäftigten-spezifischen Gewerbemüllmengen aus Tabelle 3-2 zu sehen: sie stellen keine repräsentative Grundlage für eine Schätzung, sondern eine Auswertung für die beschriebene Stichprobe dar.



*Tabelle 3-2: Beschreibung der Stichprobe an Betrieben aus dem Raum Graz, die Gewerbemüll an die SDAG abgeben.*

<b>Branche</b>	<b>Anzahl d. Betriebe</b>	<b>Beschäftigte</b>	<b>GM pro Besch. Mittelwert</b>	<b>GM pro Besch. Median</b>
<b>Einheit</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>
Gartenbau & Tierh.	7	223	1057	110
EH & Erzeugung - Backwaren	2	335	84	***
Be- & Verarbeitung - Holz	8	104	360	266
Verlags- & Druckgew.	3	352	47	52
EH - Bücher	1	5	23	***
Metallerzeugung	11	636	249	115
Chemische Industrie	4	245	40	10
Energie & Abfall	10	566	1257	150
Hoch- & Tiefbau	33	1029	1608	586
Dachdeckerei & Zimmerer	11	171	599	158
Bauinstallationen	22	737	263	109
Bau - sonstiges	17	323	732	293
Kfz-Gewerbe	31	974	267	147
EH - Sonstiger	9	282	370	130
Supermarkt**	1	483	39	***
EH - Lebensmittel	1	7	34	***
Warenhaus	33	3455	130	87
EH - Möbel	11	649	962	478
EH - Elektrogeräte	9	123	38	20
EH - Heimwerkerbedarf	3	18	595	450
EH - Kunst & Bilder	2	11	61	***
EH - Spielwaren	1	55	763	***
Gastgewerbe	11	355	115	40
Landverkehr & Transport	13	897	68	53
Kredit & Versicherung	1	120	26	***
Verwaltung	33	1716	351	117
Verein & Unterhaltung	9	558	174	103
Datenverarbeitung	2	115	73	***
Erziehung & Unterricht	6	800	62	40
Krankenhäuser	8	2137	78	77
Arzt (allgemein)	2	9	65	***
Sonstiges Gesundheitsw.	2	75	38	***
Alten- & Pflegeheime	5	242	161	89
Sozialwesen	4	200	328	108
Sonstige Dienstleistungen	23	593	469	180
Sonstige Industrie	6	3748	88	30
<b>Gesamt bzw. Durchschnitt*</b>	<b>355</b>	<b>22348</b>	<b>324</b>	<b>154</b>

\* Durchschnittliche Gewerbemüllmenge als Mittelwert der angegebenen Branchenwerte  
 \*\* Es konnte nur ein Datensatz für Supermärkte berücksichtigt werden, da die anderen Datensätze auf Ketten bezogen sind.  
 \*\*\* Medianwert entspricht aufgrund der geringen Stichprobenanzahl dem Mittelwert (nicht berücksichtigt)

### **Qualitative Beurteilung des von SDAG gesammelten Gewerbemülls im Raum Graz**

Die Gewerbemüllmengen in der Region Graz und Graz Umgebung wurden im Rahmen früherer Untersuchungen der SDAG hinsichtlich ihrer Zusammensetzung beurteilt. Diese Sortierversuche und qualitativen Abfallbeurteilungen werden in der Folge kurz dargestellt, um einen Eindruck von der Charakteristik des gesammelten Gewerbemülls zu vermitteln und die Heterogenität dieses Abfallstromes zu verdeutlichen. Aus der beispielhaften Darstellung des Gewerbemülls einiger ausgewählter Betriebe in Abbildung 3-3 ist die unterschiedliche Zusammensetzung der jeweiligen Abfallströme bereits sichtbar. Je nach Branche sind visuell deutliche Unterschiede erkennbar, die auch durch stichprobenartig durchgeführte Sortieranalysen bestätigt werden. Zum Beispiel ergab eine Gewerbemüllsortierung bei einem öffentlichen Verwaltungsbetrieb einen Anteil der Fraktion Papier und Karton von ca. 50 % und einen Kunststoffanteil von ca. 15 % (Gruber, 2007). Aus der Dokumentation der Abfallzusammensetzungen des von SDAG gesammelten Gewerbemülls wird klar, dass die Branchenzugehörigkeit eines Betriebes einen bestimmenden Einfluss auf die Abfallzusammensetzung des Gewerbemülls hat, obwohl sich einzelne Gewerbemüllanlieferungen auch stark unterscheiden können.

In seiner Gesamtheit weist der hausmüllähnliche Gewerbeabfall typische Merkmale auf, die auf visueller Basis eine Abgrenzung zu kommunalem Hausmüll ermöglichen. Kommen beispielsweise bestimmte Abfallfraktionen dominant vor, so handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um hausmüllähnliche Gewerbeabfälle. Außerdem wurden im Rahmen von Untersuchungen der SDAG zahlreiche Abfälle definiert, die in Haushaltsmengen charakteristisch für kommunale Siedlungsabfälle sind bzw. typischerweise nicht in Gewerbemüll vorkommen (z.B. Haustiernahrungsmittel, Windeln, Müll in Einkaufstaschen gesammelt usw.). Bei Anwendung einer entsprechenden Kriterienliste für die visuelle Zuordnung von Siedlungsabfällen zu hausmüllähnlichem Gewerbeabfall oder kommunalem Restmüll, wurden diese Unterschiede auch anhand von Praxisversuchen bestätigt. Die unterschiedliche Charakteristik von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall und Hausmüll (siehe Abschnitt 3.2.1) kann somit auch auf rein visueller Basis beurteilt werden. Beispiele für Gewerbemüll im Übernahmehunker einer Abfallbehandlungsanlage und Restmüll aus der Systemabfuhr sind in Abbildung 3-4 dargestellt.



Abbildung 3-3: *Gewerbemüll verschiedener Betriebe im Raum Graz (links oben: Kfz-Werkstätte und Tankstelle, rechts oben: Industrieabfälle (Maschinenbau), links unten: Bau-gewerbe (Flachdachbau), rechts unten: gemischter Gewerbemüll verschiedener Kleinbetriebe)*



Abbildung 3-4: *Restmüll nach der Anlieferung bei einer Abfallbehandlungsanlage (links: Gewer-bemüll, rechts: kommunaler Restmüll)*

### 3.2.2.3 Modellzusammensetzungen des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls

Da sich die Zusammensetzung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls je nach Betrieb unterscheiden kann und es praktisch keine Daten zu branchentypischen Abfallzusammensetzungen für die Steiermark gibt, wird die Eignung eines Verfahrens zur Behandlung unterschiedlicher hausmüllähnlicher Gewerbeabfallströme anhand von Modellabfallzusammensetzungen diskutiert. Diese Modellabfälle stellen kein genaues Abbild der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Steiermark dar, sondern dienen dazu die unterschiedliche Zusammensetzung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls aus verschiedenen Branchen deutlich zu machen. Die tatsächliche Abfallzusammensetzung gemischter Siedlungsabfälle aus einem bestimmten Betrieb muss im Einzelfall erhoben werden und kann dann anhand verschiedener Merkmale (z.B. Anteil an nativer Organik, Anteil an Kunststoffen und Verbundmaterialien usw.) den entsprechenden Modellabfällen zugeordnet werden.

Die unterschiedliche Zusammensetzung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls aus verschiedenen Branchen ist durch zahlreiche Arbeiten (z.B. Kern et al., 2002; Kranert, 2004) dokumentiert und wird auch durch Betriebsdaten von Abfallbehndlern (siehe 3.2.2.2) belegt. Diese Informationen bilden in weiterer Folge die Grundlage für die Entwicklung der Modellabfälle.

Insgesamt werden fünf Modellabfalltypen als Basis für die Analyse und Diskussion der Behandlungsszenarien (siehe Kapitel 3.5) definiert.

#### **a) Abfall A - hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (trocken, heizwertreich)**

Dieser Modellabfall basiert auf ausgewählten branchentypischen Geschäftsmüllzusammensetzungen aus Kranert (2004). Branchen mit weniger als 10 % nativer Organik, mehr als 40 % Papier und Pappe und/oder über 20 % an Kunststoff im Geschäftsmüll wurden für die Berechnung der Modellabfallzusammensetzung in Tabelle 3-3 heran gezogen. Die Durchschnittswerte aus Tabelle 3-3 beziehen sich auf die Zusammensetzung des in Behältern gesammelten Geschäftsmülls (vgl. Tabelle 7-1). Modellabfall A stellt also einen eher trockenen Abfall mit geringen Anteilen nativer Organik dar.



Tabelle 3-3: Durchschnittlicher Geschäftsmüll aus Branchen mit eher trockenen, heizwertreichen Abfällen

Abfall A	[g pro 100 g]
Fraktion < 8 mm	2
native Organik	8
Papier und Pappe	48
Glas	5
Kunststoffe	10
Metalle	4,5
Verbund	5
Holz	7
Bau, mineral	5
Sonstiges	5
Problemstoffe	0,5
<b>Branchen (aus Kranert, 2004):</b>	
Verlags- und Druckgewerbe, Einzelhandel mit Büchern/Zeitschriften/Textilien/Schuhen/Möbel/E-Geräte/Metallwaren/Heimwerkerbedarf/Foto/Spielwaren, Apotheken, Herstellung von Metallwaren, Energieversorgung und Umwelttechnik, Bauinstallationen, Kfz-Handel und -Reparatur, Kredit- und Versicherungsgewerbe, Nachrichtenübermittlung, Grundstücks- und Wohnungswesen, Öffentliche Verwaltung, Erziehung und Unterricht, Krankenhäuser, Alten- und Pflegeheime, Ärzte, Sozialwesen, sowie Erbringung sonstiger Dienstleistungen.	

#### b) Abfall B – hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (feucht, hoher Organikanteil)

Der Berechnung dieses Modellabfalles wurden branchentypische Abfallzusammensetzungen mit einem Anteil nativer Organik von mehr als 30 % zu Grunde gelegt. Die Zusammensetzung der Abfallströme bezieht sich wieder auf die Angaben für die Behältersammlung aus Kranert (2004) (vgl. Tabelle 7-1). Abfall B repräsentiert einen feuchteren Abfall mit relativ hohem Organikanteil.

Tabelle 3-4: Durchschnittlicher Geschäftsmüll aus Branchen mit höherem Organikanteil

Abfall B	[g pro 100 g]
Fraktion < 8 mm	6
native Organik	50
Papier und Pappe	18
Glas	5
Kunststoffe	6
Metalle	2
Verbund	2
Holz	3
Bau, mineral	3
Sonstiges	4,5
Problemstoffe	0,5
<b>Branchen (aus Kranert, 2004):</b>	
Gartenbau, Tierhaltung, Einzelhandel mit Blumen/Fleisch/Backwaren/Lebensmittel, Supermärkte, Großhandel/Warenhaus, Gastgewerbe, Vereine/Kultur/Sport/Unterhaltung.	

### c) Abfall C – Gewerbemüll (Betriebsdaten – Splitting Anlage)

Dieser Modellabfall ist ein Beispiel für durchschnittlichen Gewerbemüll, der mit dem Ziel der Herstellung von Sekundärbrennstoffen in einer Splitting Anlage behandelt wird (Menapace, 2006). Der Abfall weist einen geringen Anteil nativer Organik sowie einen hohen Anteil von Holz-, Papier- und Kunststofffraktionen auf. Abfall C ist daher als heizwertreicher Abfall mit geringen Anteilen an nativer Organik zu bezeichnen. Eine Zuordnung der Abfallzusammensetzung zu bestimmten Branchen ist anhand der vorliegenden Informationen nicht möglich.

Tabelle 3-5: *Typischer Gewerbemüll als Input einer Splitting Anlage (Daten aus Menapace et al. (2006) und Pomberger (2008))*

<b>Abfall C</b>	<b>[g pro 100 g]</b>
Fraktion < 20 mm	8,93
native Organik	9,20
Papier und Pappe	26,80
Glas	2,50
Kunststoffe	20,00
Metalle	4,00
Verbund	1,00
Holz	10,53
Bau, mineral	8,42
Sonstiges (Textilien, Hygieneartikel...)	8,60
Problemstoffe	0,02
<b>Anmerkungen:</b> Die angegebene Gewerbemüllzusammensetzung basiert auf Stoffflussanalysen und Bilanzierungsdaten der SDAG Splitting Anlage in Wien Oberlaa.	

### d) Abfall D – Geschäftsmüll (Durchschnitt)

Der Modellabfall in Tabelle 3-6 basiert auf den Geschäftsmüllanalysen, die in Tabelle 3-1 angeführt sind. Abfall D stellt also eine typische, auf Literaturangaben basierende, Geschäftsmüllzusammensetzung dar.

Tabelle 3-6: *Durchschnittlicher Geschäftsmüll basierend auf Tabelle 3-1*

<b>Abfall D</b>	<b>[g pro 100 g]</b>
Fraktion < 8 mm	3
native Organik	30
Papier und Pappe	30
Glas	6
Kunststoffe	8
Metalle	4
Verbund	4
Holz	5
Bau, mineral	4,5
Sonstiges	5
Problemstoffe	0,5
<b>Anmerkungen:</b> Literaturbasierte Zusammensetzung eines durchschnittlichen Geschäftsmülls (alle Angaben beziehen sich auf Deutschland).	



### e) Abfall E – Hausmüll (Restmüllzusammensetzung in der Steiermark)

In Tabelle 3-7 ist die Zusammensetzung des steirischen Restmülls angeführt. Dieser Abfallstrom beinhaltet auch einen Geschäftsmüllanteil, der sich auf die Zusammensetzung auswirkt. Da keine Daten zur Abschätzung dieses Einflusses vorliegen, wird im Rahmen dieser Arbeit die Zusammensetzung des Restmülls als Hausmüllzusammensetzung für die Steiermark verwendet. Diese Annahme erscheint aufgrund des eher geringen Geschäftsmüllanteiles im steirischen Restmüll (siehe Abschnitt 3.2.2.1) gerechtfertigt. Außerdem sind die Restmüllanalysen für die Steiermark wahrscheinlich aussagekräftiger für die Hausmüllzusammensetzung (obwohl Geschäftsmüllanteile miterfasst werden), als Hausmüllanalysen aus anderen Regionen mit unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Obwohl hier angemerkt werden sollte, dass die Art der Bestimmung der Zusammensetzung des Restmülls wahrscheinlich zu einer Unterschätzung des Papier- und Pappanteils führt (wird bei siebgestützten Analysen teilweise als Organikanteil erfasst). Zusätzlich erscheinen auch die Anteile an Hygieneartikeln im Hausmüll sehr hoch.

Abfall E stellt also ein Modell für den typischen steirischen Hausmüll dar. Obwohl dieser Abfallstrom nicht direkt in den Szenarien zur Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen eingeht, sollte klar sein, dass hausmüllähnliche Gewerbeabfälle v.a. in MBAs gemeinsam mit diesem Abfallstrom behandelt werden. Daher hat der Hausmüll einen wesentlichen Einfluss auf die Aufbereitungseigenschaften des gesamten Abfallinputs. Außerdem dient die Hausmüllzusammensetzung aus Tabelle 3-7 auch dazu, die unterschiedlichen Charakteristika von Restmüll aus Haushalten und aus Betrieben zu verdeutlichen.

Tabelle 3-7: Restmüllzusammensetzung in der Steiermark (Land Steiermark, 2005)

<b>Abfall E</b>	<b>[g pro 100 g]</b>
native Organik	37,6
Papier und Pappe	11,8
Glas	4,5
Kunststoffe	9,9
Metalle	3,6
Verbund	8,1
Bau, mineral (Inertstoffe)	5,4
Textilien, Hygieneartikel	15,3
Sonstiges	2,3
Problemstoffe	1,5
<b>Anmerkungen:</b>	
Die Restmüllzusammensetzung aus dem Landes-Abfallwirtschaftsplan wird näherungsweise für die Zusammensetzung des typischen steirischen Hausmülls heran gezogen.	

### 3.3 Beschreibung der Abfallbehandlungsverfahren

In der Steiermark werden hausmüllähnliche Gewerbeabfälle generell zwei Abfallbehandlungsverfahren zugewiesen: Gewerbemüll wird primär in Restmüllsplittingsanlagen (RSA) behandelt und Geschäftsmüll wird in der Regel bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) angeliefert. Diese Anlagen produzieren zu unterschiedlichen Anteilen Güterströme zur stofflichen Verwertung, für die thermische Behandlung, sowie deponierfähiges Material. Diese Anlagen, die für die Behandlung der Outputströme aus MBA und RSA zur Verfügung stehen, werden in diesem Abschnitt ebenfalls kurz beschrieben. Die stoffflussanalytische Darstellung der verschiedenen Behandlungsanlagen basiert auf den Begriffen und Definitionen der ÖNORM S 2096 (ÖNORM, 2005) und wurde mit Hilfe der Software STAN (Cencic, 2008) vorgenommen.

#### 3.3.1 Restmüllsplittingsanlagen (RSA)

Die Gesamtkapazität der neun Restmüllsplittingsanlagen in der Steiermark beträgt ca. 307.000 Tonnen pro Jahr (Land Steiermark, 2007), wobei nicht nur Restmüll in diesen Anlagen behandelt wird, sondern eine Vielzahl an Abfallströmen (vgl. Neubauer & Öhlinger, 2008). Eine dieser Anlagen wurde inzwischen zu einer Sortieranlage umgebaut, was die entsprechenden Kapazitäten auf ca. 294.000 Tonnen verringert (siehe dazu Tabelle 7-6 im Anhang).

Restmüllsplittingsanlagen sind mechanische Aufbereitungsverfahren, die primär heizwertreiche Fraktionen aus dem angelieferten Abfall erzeugen und eine heizwertarme Restfraktion zur biologischen Behandlung bzw. Deponierung abgeben. Der Abfallinput dieser Anlagen ist also eher auf die Erzeugung heizwertreicher Fraktionen ausgerichtet und setzt sich daher unter anderem aus Gewerbemüll zusammen. In Abbildung 3-5 ist die Anlagenbilanz einer Modell-Splittingsanlage für Gewerbemüll (entspricht Abfall C aus 3.2.2.3) abgebildet. Die Massenflüsse der Modellanlage basieren auf Anlagenbilanzen aus Menapace et al. (2006) und Pomberger (2008). Der vorsortierte Abfall wird in einem Shredder zerkleinert und nach einem Magnetabscheider mittels eines 80 mm-Siebs fraktioniert. Die hochkalorische Leichtfraktion größer 80 mm wird zu Ballen verpresst und zu einer Anlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen (EBS) transportiert<sup>2</sup>. Vom Siebdurchgang werden, nachdem die Fraktion kleiner 20 mm abgetrennt wurde, die Anteile an Fe-, Nicht-Eisen-Metallen und Störstoffen abgetrennt. Die verbleibende heizwertreiche Fraktion kann direkt als Ersatzbrennstoff thermisch verwertet werden.

---

<sup>2</sup> Die schwere Fraktion größer 80 mm wird nach der Windsichtung wieder durch den Shredder geführt.

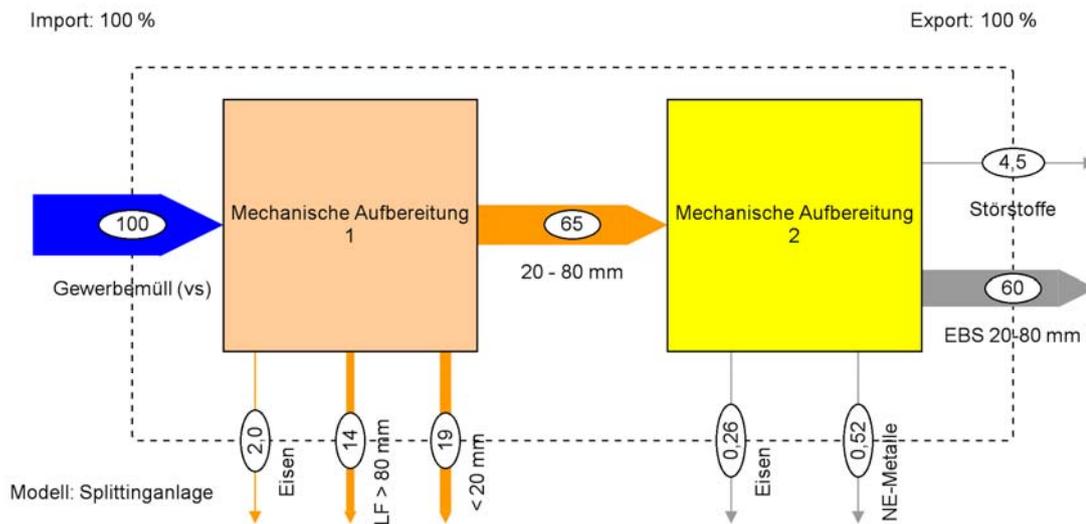


Abbildung 3-5: Modellsystem für eine Restmüllsplittinganlage mit Gewerbemüll (Abfall C) als Input

Wie bereits erwähnt, ist der Input der Splittinganlage aus Abbildung 3-5 bereits vorsortierter Gewerbemüll. Die Vorsortierung des angelieferten Gewerbemülls ist aufgrund der Beschaffenheit dieses Abfallstroms sinnvoll, da durch eine grobe Fraktionierung ca. 9 % des angelieferten Materials als Wertstoffe erfasst werden und so einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Von diesen 9 % entfallen gemäß Sortierdaten der SDAG ca. 50 % auf Altholz, 30 % auf Fe-Metalle, 15 % Schutt und 5 % sonstige Fraktionen. Diese Angaben beziehen sich auf die Bodensortierung von gemischten Siedlungsabfällen, beinhalten aber angelieferte sperrige Siedlungsabfälle, deren Anteil nicht bekannt ist. Bei der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle wird in der Folge diese Bodensortierung berücksichtigt, da so, bei getrennter Anlieferung, jedenfalls ein relevanter Wertstoffanteil aus dem Abfallstrom ausgetragen werden kann.

Auf Basis der Güter- und Stoffbilanzen einer Gewerbemüllsplittinganlage in Menapace et al. (2006) und Pomberger (2008) wurden Transferkoeffizienten für die verschiedenen Sortierfraktionen bestimmt, die eine inputabhängige Modellierung dieser Behandlungsanlage erlauben. Die ermittelten sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten aus Tabelle 3-8 ermöglichen daher eine Bilanzierung der Massenflüsse in die verschiedenen Outputgüter basierend auf dem jeweiligen Abfallinput. Es ist allerdings festzuhalten, dass die Aufbereitungseigenschaften des Abfallgemisches in etwa denen des behandelten Gewerbemülls in der Modellanlage entsprechen müssen, da ansonsten nicht von einer gleichartigen Auftrennung der einzelnen Sortierfraktionen ausgegangen werden kann.

Tabelle 3-8: *Sortierfraktionsbezogene Transferkoeffizienten der Modell-Gewerbemüll-splittinganlage (Eigene Berechnungen basierend auf Menapace et al. (2006) und Pomberger (2008))*

Transferkoeffizienten Stufe 1	< 20 mm	20 – 80 mm	LF > 80 mm	Eisen
native Organik	0,45	0,52	0,03	
Papier + Pappe	0,10	0,72	0,18	
Glas	0,60	0,39	0,01	
Kunststoffe	0,05	0,67	0,29	
Metalle	0,05	0,35	0,10	0,50
Verbund	0,05	0,76	0,19	
Bau, mineral	0,40	0,59	0,01	
Holz	0,05	0,86	0,10	
Sonstiges (Textilien usw.)	0,05	0,80	0,15	
Problemstoffe	0,20	0,20	0,20	0,40
Fraktion < 20 mm	0,60	0,39	0,01	
Transferkoeffizienten Stufe 2	20–80 mm (ofenfertig)	Störstoffe	Eisen	NE-Metalle
native Organik	0,80	0,20		
Papier + Pappe	1,00			
Glas	0,70	0,30		
Kunststoffe	0,96	0,04		
Metalle	0,24	0,10	0,22	0,44
Verbund	1,00			
Bau, mineral	0,45	0,55		
Holz	1,00			
Sonstiges (Textilien usw.)	1,00			
Problemstoffe	1,00			
Fraktion < 20 mm	1,00			

Der Energieverbrauch für die mechanische Aufbereitung von einer Tonne Abfall in der Modellsplittinganlage wird mit 35 kWh (=126 MJ) pro Tonne abgeschätzt. Ein Stromverbrauch von 23 kWh wurde in Brunner et al. (2001) für die mechanische Stufe einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage nach dem Stand der Technik ermittelt. Dieser Wert wird für die Modell-Splittinganlage um 50 % erhöht, da dort von einer energieintensiveren mechanischen Aufbereitung (größerer Teilstrom wird im mechanischen Teil weiter behandelt – weniger Siebdurchgang, 2 Magnetabscheider) auszugehen ist.

### 3.3.2 Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA)

Die Anlagenkapazität der vier mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen in der Steiermark beträgt insgesamt ca. 190.000 Tonnen pro Jahr (Land Steiermark, 2007). Die Anlage in Frohnleiten mit einer Kapazität von 76.000 Tonnen stellt aber nur die biologische Stufe der Behandlung dar und übernimmt daher vorwiegend bereits aufbereiteten Abfall nach der mechanischen Behandlung (siehe Tabelle 7-5 im



Anhang). Sie behandeln vorwiegend kommunal gesammelten Restmüll, aber auch bedeutende Anteile anderer Abfallströme, wie z.B. Gewerbemüll oder Sperrmüll. Im Rahmen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung werden neben einer deponierfähigen Hauptfraktion auch heizwertreiche Fraktionen und stofflich verwertbare Outputgüter erzeugt (vgl. Neubauer & Öhlinger, 2006). Die Modellanlage in Abbildung 3-6 beruht auf Massenbilanzen für ein MBA-System in der Steiermark (MA Graz und (M)BA Frohnleiten), welches den aktuellen Stand der Technik darstellt. Die Daten beruhen auf Massenbilanzen und Anlagenbeschreibungen aus Neubauer & Öhlinger (2006 und 2008) für das Jahr 2006 und beziehen sich auf einen Abfallinput aus gemischten und sperrigen Siedlungsabfällen. Nach einer Vorsortierung der angelieferten Abfälle mit einem Greifer werden sie in Shreddern (Einwellen-Langsamläufer) zerkleinert. Durch ein Rüttelsieb wird der Abfallstrom in eine Fraktion kleiner 80 mm und eine Fraktion größer 80 mm aufgeteilt. Vom Siebüberlauf werden Fe-Metalle und Nicht-Fe-Metalle abgetrennt, bevor mit Hilfe eines Windsichters (und einem weiteren Shredder zur Nachzerkleinerung) zwei heizwertreiche Fraktionen erzeugt werden. Der Siebdurchgang (< 80 mm) wird nach einer Fe-Metall-Abtrennung einer biologischen Behandlung unterzogen. Nach einer Homogenisierung des Materials wird dieses für 4 Wochen in Intensivrottetunneln behandelt. Die Abluft aus den Rottetunneln wird nach einer Reinigung über saure Wäscher und Biofilter freigesetzt. Auf die Intensivrotte folgt eine zehn- bis vierzehnwöchige Nachrottephase. Vor der Deponierung wird schließlich noch eine heizwertreiche Fraktion anhand eines Windsichters abgeschieden, welche in einer Wirbelschichtfeuerung thermisch verwertet werden kann.

Der Energiebedarf für die Behandlung einer Tonne Abfall in der Modell-MBA wird auf Basis der Angaben von Brunner et al. (2001) mit 55 kWh bzw. knapp 200 MJ abgeschätzt. Dieser Energieverbrauch basiert auf dem Stromverbrauch in der mechanischen Stufe (23 kWh/Tonne Abfall) und dem Energieverbrauch während der biologischen Behandlung (32 kWh/Tonne Abfall).

Der Abfallinput der Modell-MBA setzt sich zu ca.  $\frac{3}{4}$  aus gemischten Siedlungsabfällen und zu ca.  $\frac{1}{4}$  aus sperrigen Siedlungsabfällen zusammen. Diese Zusammensetzung beruht in erster Linie darauf, dass MBAs nicht primär für die Behandlung bzw. Aufbereitung von Gewerbeabfällen ausgelegt sind und somit der typische Anlageninput nur zu einem kleinen Teil aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen besteht<sup>3</sup>. Auch hier wird eine Vorsortierung und der damit verbundene Austrag an Wertstoffen berücksichtigt, allerdings zu einem geringeren Anteil (vgl. Neubauer &

---

<sup>3</sup> Dieser Anteil besteht vorwiegend aus dem Geschäftsmüllanteil im kommunalen Restmüll sowie in geringerem Ausmaß aus getrennt angelieferten Gewerbemüllmengen.

Öhlinger, 2006), da einerseits weniger Fraktionen erfasst werden und andererseits der Großteil der erfassten Wertstoffe (Altholz) eigentlich den behandelten sperrigen Siedlungsabfällen zugeordnet werden muss.

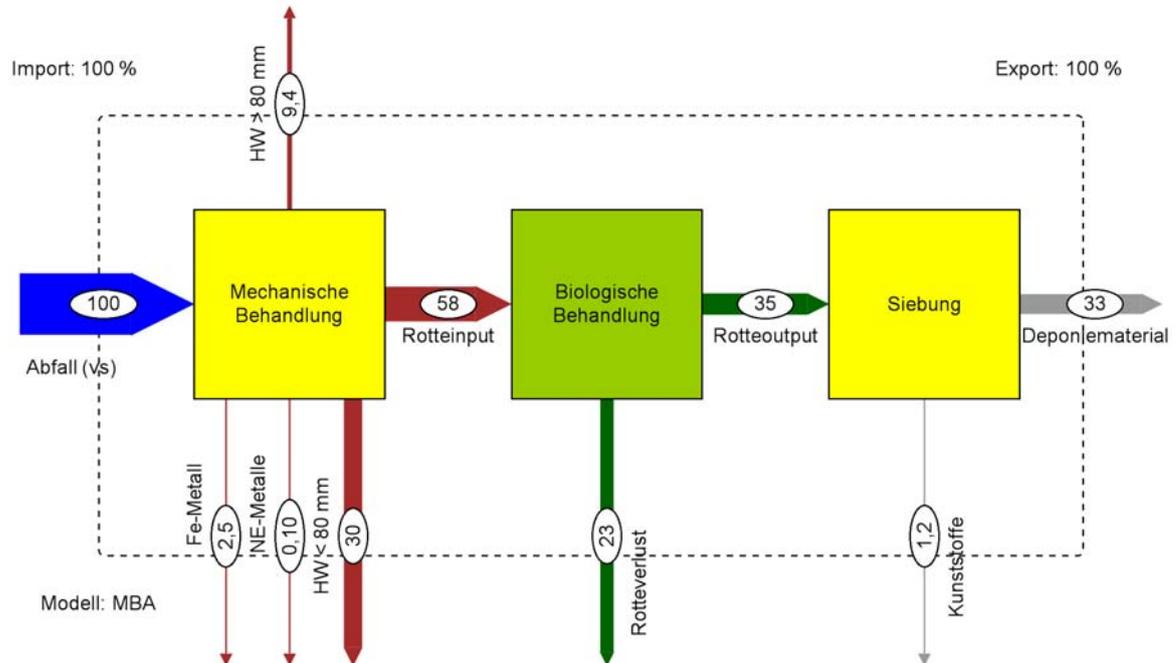


Abbildung 3-6: Modellsystem für eine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage mit kommunalem Restmüll und Sperrmüll als Input

Generell beruht die Verwendung von Transferkoeffizienten für typische Abfallinputs zur Bilanzierung der Behandlungsanlagen auf der Annahme, dass sich einzelne Abfallströme mit dem restlichen Input der Anlage vermischen und somit ein Aufbereitungsverhalten an den Tag legen, wie es für den gesamten Anlageninput beobachtet werden kann. Diese Annahme ist vor allem dann plausibel, wenn der betreffende Abfallstrom nur einen geringen Beitrag zum Gesamtinput der Anlage leistet, da in diesem Fall der Einfluss auf die Aufbereitungseigenschaften des angelieferten Abfalls von untergeordneter Bedeutung ist. Je größer dieser Beitrag allerdings wird, desto wahrscheinlicher ändert sich auch die Fraktionierung der Output-Güter. Leider gibt es hierzu keine fundierten Untersuchungen, was eine quantitative Abschätzung geänderter Aufbereitungseigenschaften aufgrund der Vermischung unterschiedlicher Abfallströme nicht zulässt. Deshalb wird auch für die modellhafte Betrachtung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung eine inputabhängige Bilanzierung auf Basis von Sortierfraktionen durchgeführt. Für die Abschätzung von Transferkoeffizienten verschiedener Sortierfraktionen in die Outputgüter der mechanischen Behandlung von MBAs (siehe Tabelle 3-9) werden Daten aus Skutan & Brunner (2006, S. 265) heran gezogen. Die Transferkoeffizienten in die hochkalorische Outputfraktion wurden identisch zur Modell-Splittinganlage angesetzt, da es hier aus



verfahrenstechnischer Sicht keine prägnanten Unterschiede gibt. Eine Darstellung der sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten für die verschiedenen Stufen der mechanisch-biologischen Behandlung bietet Tabelle 3-9. Die entsprechenden Transferkoeffizienten wurden aus Güter- und Stoffbilanzen der Modellanlage (vgl. Neubauer & Öhlinger, 2006 und 2008) sowie basierend auf Angaben in Skutan & Brunner (2005) ermittelt. Die 2. Stufe (=biologische Behandlung) wird auf Güterebene bilanziert, wobei der Rotteverlust zum Wassergehalt des Rotteinputs in Bezug gesetzt wird. Für die Modellanlage ergibt sich eine Aufteilung des Rotteinputs von 35 % in den Rotteverlust (17,5 % Wasserdampf und 17,5 % organischer Abbau) sowie 65 % in den Rotteoutput. Die darauffolgende Siebung wird ebenfalls auf Güterebene bilanziert, dabei wird der Anteil des Siebüberlaufes (v.a. Kunststoffe) mit 3,5 % des Rotteoutputs abgeschätzt. Die Bilanzierung der Modell-MBA wird auch später im Zuge der Dokumentation der verschiedenen Behandlungsszenarien noch detailliert dargestellt.

*Tabelle 3-9: Transferkoeffizienten für Sortierfraktionen in der 1. Stufe einer mechanisch-biologischen Behandlung (Eigene Berechnung basierend auf Skutan & Brunner (2006))*

Transferkoeffizienten Stufe 1	HW < 80 mm	HW > 80 mm	Rotteinput	Eisen	NE-Metalle
native Organik	0,19	0,01	0,80		
Papier + Pappe	0,62	0,18	0,20		
Glas	0,04	0,01	0,95		
Kunststoffe	0,57	0,29	0,15		
Metalle	0,10	0,10	0,1	0,60	0,10
Verbund	0,66	0,19	0,15		
Bau, mineral	0,01	0,01	0,98		
Holz	0,81	0,10	0,09		
Sonstiges (Textilien usw.)	0,65	0,15	0,20		
Problemstoffe	0,20	0,10	0,30	0,40	
Fraktion < 20 mm	0,04	0,01	0,95		

### 3.3.3 Anlagen zur Behandlung der Outputströme aus RSA und MBA

#### **Aufbereitung heizwertreicher Fraktionen zu Ersatzbrennstoffen (EBS)**

In der Steiermark gibt es eine Aufbereitungsanlage, die aus heizwertreichen Outputgütern (15 – 20 MJ pro Tonne) von MBA und RSA Ersatzbrennstoffe für die Verwendung im Zementdrehrohr erzeugt. Die Gesamtkapazität der Anlage beträgt 100.000 Tonnen pro Jahr. Basierend auf Daten zu dieser Behandlungsanlage (Prochaska et al., 2005) wurde das in Abbildung 3-7 dargestellte System der Modellanlage entwickelt. Nach einem Vorzerkleinerungsschritt wird über einen Windsichter Schwer- und Leichtgut getrennt. Aus dem Schwergut werden Fe- und Nicht-

Fe-Metalle abgetrennt und auf eine Korngröße  $< 10$  mm zerkleinert. Das Leichtgut wird auf eine Korngröße  $< 30$  mm zerkleinert und dann in einem Bunker zwischengelagert. Vor der Verwertung im Zementwerk werden schließlich ein weiteres Mal Fe-Metalle über einen Magnetabscheider abgetrennt. Der Heizwert des Ersatzbrennstoffes zur Verwertung im Zementwerk liegt dann bei über 20 MJ pro Tonne.

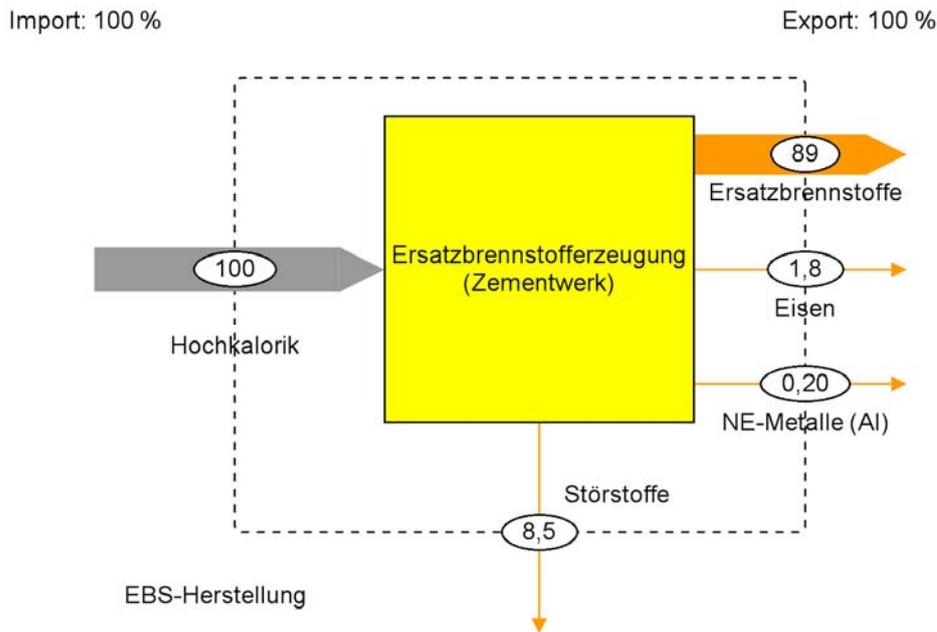


Abbildung 3-7: Modellanlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die Zementindustrie aus heizwertreichen Fraktionen

Die sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten zur Bilanzierung der EBS-Aufbereitung wurden anhand der Untersuchungen in Prochaska et al. (2005) ermittelt und sind in Tabelle 3-10 dargestellt.

Tabelle 3-10: Sortierfraktionsbezogene Transferkoeffizienten für die EBS-Aufbereitung

Transferkoeffizienten EBS-Aufbereitung	EBS	Störstoffe	Metalle
native Organik	0,5	0,5	
Papier + Pappe	0,95	0,05	
Glas	0,2	0,8	
Kunststoffe	0,95	0,05	
Metalle	0	0,05	0,95
Verbund	0,95	0,05	
Bau, mineral	0,1	0,9	
Holz	1		
Sonstiges (Textilien, Hygieneartikel)	0,95	0,05	
Problemstoffe	0,5	0,5	
Fraktion $< 20$ mm	0,3	0,7	



### **Thermische Abfallbehandlung in der Steiermark**

Zur thermischen Behandlung der Outputgüter aus MBA und RSA stehen in der Steiermark mehrere Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 280.000 Tonnen pro Jahr zur Verfügung (Land Steiermark, 2007). Im Rahmen der Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen kommen aber nur die Monoverbrennung in einer Wirbelschichtanlage (Niklasdorf) und die Mitverbrennung in Zementwerken (Peggau und Retznei) als thermische Behandlungsverfahren in Betracht. Die Modelle dieser Anlagen beruhen auf Informationen des Landes Steiermark (Land Steiermark, 2008a) und beschränken sich für die Wirbelschichtfeuerung auf die Annahme eines Wirkungsgrades bei der Verwertung der Ersatzbrennstoffe von 80 % (Nutzung von Strom und Prozesswärme). Der Ersatzbrennstoff im Zementwerk ersetzt dort (gemäß seinem Heizwert) den Regelbrennstoff Steinkohle<sup>4</sup>.

Anlagen, die außerhalb der Steiermark Outputgüter aus MBA und RSA thermisch behandeln, sind das Zementwerk Rohoznik (HOTDISC-Technologie) und österreichische Müllverbrennungsanlagen. Für die Müllverbrennung wird, bei Stromerzeugung und Nutzung der Prozesswärme bzw. Fernwärme, ein Wirkungsgrad von 70 % angesetzt (vgl. Hackl & Mauschitz, 1997).

Die Verbrennungsrückstände aus den thermisch behandelten Güterströmen werden anhand von Angaben zum Wasser- und Aschegehalt der verschiedenen Sorterfraktionen nach Hauer (2002) bzw. Kost (2001) berechnet. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Berücksichtigung verschiedener Güterstromzusammensetzungen im Hinblick auf die Modellierung der abzulagernden Verbrennungsrückstände.

### **3.4 Kriterien zur Beurteilung der Zielorientierung einer Behandlungsmaßnahme**

Abfallwirtschaftliche Maßnahmen sind im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit<sup>5</sup> nach den Zielen der Abfallwirtschaft auszurichten. Diese sind gemäß dem österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz (AWG, 2002) der Schutz von Mensch und Umwelt, ein geringer Ausstoß an Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen, die Schonung von Ressourcen (wie z.B. Rohstoffe, Wasser, Energie, Depnievolumen usw.) sowie Anforderungen an das Recycling und die Ablagerung von Abfällen. Basierend darauf können als die drei wesentlichen Ziele „Schutz von

---

<sup>4</sup> Kohle, vor allem Steinkohle, ist der Hauptbrennstoff in der österreichischen Zementherzeugung. Sie deckt ca. 42 % des Brennstoffbedarfes der Zementwerke in Österreich (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2007)

<sup>5</sup> Nachhaltige Entwicklung ist gemäß der Brundtlandt-Kommission (WCED 1987) definiert als: "Sustainable Development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

Mensch und Umwelt“, „Schonung von Ressourcen“ und „nachsorgefreie Abfallwirtschaft“ zusammengefasst werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Beiträge verschiedener Behandlungsszenarien zu den Zielen der Abfallwirtschaft anhand von ausgewählten Beurteilungskriterien erfasst. Die jeweiligen Bewertungskriterien ermöglichen die Beschreibung von Teilaspekten der abfallwirtschaftlichen Zielsetzungen und sind deshalb in ihrer Zusammenschau zu beurteilen. Obwohl die einzelnen Kennwerte einander gegenübergestellt werden können, ist ein Vergleich schwer möglich, da eine Vergleichbarkeit erst nach einer Gewichtung der Bewertungskriterien gegeben ist. Eine solche Gewichtung basiert jedoch auf Werthaltungen und ist somit nicht eindeutig. Sie wird durch gesellschaftliche und politische Zielvorstellungen bestimmt und ist im Kern subjektiv. Ein Beispiel für einen Ansatz zur Ableitung von objektiv nachvollziehbaren Bewertungshierarchien stellt die Zielanalyse und darauf aufbauend die Entwicklung einer Zielhierarchie aus Brunner et al. (2001) dar. Weitere Ansätze zur Gewichtung verschiedener Wirkungskategorien bzw. Kennwerte finden sich beispielsweise in Studien des deutschen Umweltbundesamtes (vgl. Schonert et al., 2002). In jedem Fall ist die Entwicklung einer Gesamtkennzahl mit Informationsverlusten verbunden, wodurch der zu Grunde liegenden Werthaltungen bzw. ihrer Offenlegung große Bedeutung zukommt.

In dieser Arbeit wird im Zuge der Szenariobewertung keine Gewichtung einzelner Bewertungskriterien vorgenommen. Für den Vergleich der verschiedenen Behandlungsszenarien werden die Bedeutung der Bewertungsergebnisse bzw. deren Unterschiede in qualitativer Art und Weise diskutiert. Als Grundlage für diese Diskussion werden wiederum die Ziele der Abfallwirtschaft heran gezogen.

Zur Quantifizierung des Beitrages eines bestimmten Behandlungsszenarios zu den Zielen der Abfallwirtschaft werden die in diesem Abschnitt beschriebenen Indikatoren verwendet.

### **3.4.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA)**

Der kumulierte Energieaufwand bezeichnet den primärenergetisch bewerteten Aufwand zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines bestimmten Gutes. Als Primärenergie versteht man dabei den Energieinhalt von Energieträgern vor der ersten Umwandlung. Die Bilanzgrenze erstreckt sich von den Rohstoffen in den Lagerstätten bis zur Deponierung der Materialien. Detaillierte Angaben zur Berechnung und Verwendung des kumulierten Energieaufwandes finden sich in der VDI Richtlinie 4600 (VDI, 1997).

Anhand des KEA ist es möglich verschiedene Systeme (Produkte und Dienstleistungen) energetisch zu beurteilen und zu vergleichen. Dabei werden die Aufwendungen für die Bereitstellung eines bestimmten Gutes für den gesamten Lebens-



zyklus ermittelt und in der Bewertung dementsprechend berücksichtigt. Der KEA stellt daher einen Kennwert für den energetischen Ressourcenverbrauch bzw. für die Ressourcenschonung dar. Außerdem ist er indikativ für andere Umweltprobleme, wie den Abbau an fossilen Brennstoffen, treibhausrelevante Emissionen sowie einige toxische Einwirkungen (vgl. Svensson et al., 2006) und eignet sich daher generell als erstes Schätzmaß für die Umweltrelevanz eines Gutes (Huijbregts et al., 2006).

### 3.4.2 Emissionen klimarelevanter Gase - Treibhauspotential (THP)

Die Emissionen an klimarelevanten Gasen werden anhand des Indikators „Treibhauspotential“ zusammengefasst. Der Beitrag einer bestimmten Emission zur globalen Erwärmung beruht auf den Strahlungseigenschaften der jeweiligen Substanzen. Dieser Beitrag wird anhand des Treibhauspotentials quantifiziert, indem die potentiellen zukünftigen Auswirkungen von gasförmigen Emissionen auf das Klima abgeschätzt werden (siehe IPCC, 2007). Das THP wird in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben, dabei wird dem Treibhauspotential von CO<sub>2</sub> der Wert 1 zugeordnet. Andere treibhausrelevante Gase werden durch bestimmte Äquivalenzfaktoren zu den Strahlungseigenschaften von CO<sub>2</sub> in Bezug gesetzt. Je nach Betrachtungszeitraum ändern sich diese Faktoren für emittierte Substanzen, in dieser Arbeit werden die Werte für das Treibhauspotential bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren verwendet. Weitere Informationen zum Treibhauspotential finden sich unter anderem im 4. Bewertungsbericht zur Klimaänderung des IPCC (2007). Gemäß den Richtlinien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen biogenen und fossilen Ursprungs unterschieden. Erstere entstehen aus dem biologischen Abbau organischer Masse oder der Verbrennung von Energieträgern mit biogenen Kohlenstoffanteilen; sie werden als klimaneutral angesehen. Im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung werden diese nicht treibhauswirksamen Emissionen separat ausgewiesen.

Die Ermittlung des Treibhauspotentials für ein Szenario erfolgt anhand der direkten Emissionen im Rahmen der Behandlung der Abfälle, sowie basierend auf indirekten Emissionen, die für die Bereitstellung eines Gutes entstehen. Es werden die Einwirkungen über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt, damit auch die positiven Effekte der stofflichen bzw. thermischen Verwertung als Gutschriften in die Bewertung eingehen können.

Das Treibhauspotential stellt einen Kennwert zur Quantifizierung eines Aspektes aus dem Bereich des Schutzes von Mensch und Umwelt dar. Dieser Indikator wird auch aufgrund des großen öffentlichen Interesses an der globalen Erwärmung und den damit verbundenen Folgen gewählt, womit der politischen Bedeutung dieses Umweltproblems Rechnung getragen werden soll.

### 3.4.3 Schonung von Deponievolumen

Dieser Kennwert bezeichnet die Menge an festen Abfällen, die auf einer Deponie zur Ablagerung kommt. Im Rahmen der entwickelten Szenarien (siehe Kapitel 3.5) kommen für die abzulagernden Abfälle Massenabfalldeponien, Reststoffdeponien, Untertagedeponien oder Baurestmassendeponien in Frage, wobei der Großteil der Massenströme auf einem der ersten beiden Deponietypen abgelagert wird, da es sich vorwiegend um Rückstände aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung oder der thermischen Abfallbehandlung handelt.

Die Ressourcen an freiem Deponievolumen in der Steiermark sind begrenzt und reichen bei einer Fortsetzung des derzeitigen Ablagerungsniveaus und konstantem Deponievolumen noch bis ins Jahr 2025 (bezogen auf Massenabfalldeponien) (Land Steiermark, 2005). Um das freie Deponievolumen optimal auszunützen gilt es, die Menge an festen, zu deponierenden Abfällen so gering als möglich zu halten.

### 3.4.4 Lenkung umweltrelevanter bzw. problematischer Stoffflüsse in geeignete Senken

Dieses Kriterium wird nicht anhand eines einzelnen Kennwertes festgemacht, sondern es stellt eine Beurteilung der Flüsse ausgewählter Stoffe (z.B. Cadmium) im Rahmen der Behandlungsszenarien dar. Als letzte Senke wird ein genau abgegrenztes System bezeichnet in dem die mittlere Verweildauer des Stoffes in einem Bereich von 10.000 Jahren oder mehr liegt. Die Eignung einer Senke wird auf qualitativer Basis hinsichtlich der Schadwirkung eines Stoffes auf Mensch und Umwelt (bzw. Beurteilung der Exposition des Rezeptors „Mensch“) und hinsichtlich des Rohstoffpotentials für eine spätere Wiedergewinnung des Stoffes beurteilt. Diese Bewertung erfolgt in Form von groben bzw. punktuellen Stoffbilanzen, basierend auf den Güterbilanzen der jeweiligen Behandlungsszenarien, und einer entsprechenden Diskussion der zu erwartenden Auswirkungen. Die Bewertung wird somit vorwiegend auf qualitativer Basis vorgenommen, da eine quantitative Darstellung aller relevanten Stoffflüsse und deren Auswirkungen im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt werden kann. Außerdem konzentrieren sich die Betrachtungen im Zuge dieses Bewertungskriteriums in erster Linie auf Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien, da es letztendlich um Aussagen zu den Effekten unterschiedlicher Behandlungsvarianten geht und nicht um eine grundlegende Beurteilung jedes Behandlungsverfahrens.

In dieser Arbeit wird zur Bewertung nach diesem Kriterium eine Grob-Bilanzierung der Cadmiumflüsse durchgeführt. Cadmium wird exemplarisch für andere problematische Stoffe betrachtet, da es bekanntermaßen in relevanten Mengen im Restmüll vorkommt und bereits in geringen Mengen toxisch auf Organismen wirkt. Basierend auf Güterbilanzen werden die Pfade von Cadmium in die Umwelt analysiert



und potentielle Senken hinsichtlich ihrer Eignung zur Lagerung von Cadmium diskutiert. Eine ideale Senke für Cadmium stellt beispielsweise eine Untertagedeponie dar, in der das Cadmium zumindest über Jahrtausende hinweg vom hydrologischen Kreislauf ausgeschlossen ist (z.B. ein ehemaliges Salzbergwerk).

Die oben angeführten Beurteilungskriterien ermöglichen die Ermittlung des Beitrages eines bestimmten Behandlungsszenarios zu den Zielen der Abfallwirtschaft. Die gewählten Kennwerte erlauben jedoch keine umfassende Beschreibung der abfallwirtschaftlichen Zielsetzungen. Da durch sie aber wesentliche Aspekte dieser Ziele ausgedrückt werden können, stellen sie letztendlich eine geeignete Basis zur Beurteilung der Zielorientierung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen dar.

Im Hinblick auf Kennwerte, die Einwirkungen über mehrere Lebenszyklusabschnitte beinhalten, ist auch eine gute Dokumentation der entsprechenden Bilanzierungsdaten in allgemein zugänglichen Datenbanken von Bedeutung. Im Fall der beiden Kennwerte, kumulierter Energieaufwand und Treibhauspotential, bestehen solche Datenbanken und ermöglichen die Bewertung einer Vielzahl an Gütern und Services.

### **3.5 Szenarien zur Behandlung und Verwertung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall**

#### **3.5.1 Beschreibung der verschiedenen Behandlungsszenarien**

Die Darstellung der Effekte unterschiedlicher Behandlungsoptionen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle basiert auf Szenarioanalysen, die mit Hilfe der Methode der Stoffflussanalyse durchgeführt werden (siehe dazu ÖNORM (2005) oder Brunner & Rechberger (2004)). Die Betrachtung der Bewirtschaftungsszenarien für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle erfolgt von der Abfallsammlung bis zur endgültigen Verwertung bzw. Beseitigung der Abfälle. Der bilanzierte Teilbereich der steirischen Abfallwirtschaft ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Die betrachteten Güterflüsse und Prozesse sind fett geschrieben, wobei im Fall des Systemmülls für die Szenarien nur der Geschäftsmüllanteil dieses Abfallstroms bilanziert wird. Die gemeinsame Behandlung mit kommunalem Hausmüll wirkt sich aber auf die Aufbereitungseigenschaften des Geschäftsmülls bzw. auf die Transferkoeffizienten der Behandlungsanlagen aus (siehe dazu auch Abschnitt 3.3.2). Im Zuge der Szenarien wird somit die Behandlung der getrennt bzw. gemischt mit Hausmüll gesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle dargestellt und bilanziert. Die Szenarien unterscheiden sich durch unterschiedliche Abfallzusammensetzungen, die Art der Sammlung und die Zuordnung der jeweiligen Abfallströme zu verschiedenen Behandlungsverfahren. Eine Übersicht der Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der einzelnen Szenarien bietet Tabelle 3-11.

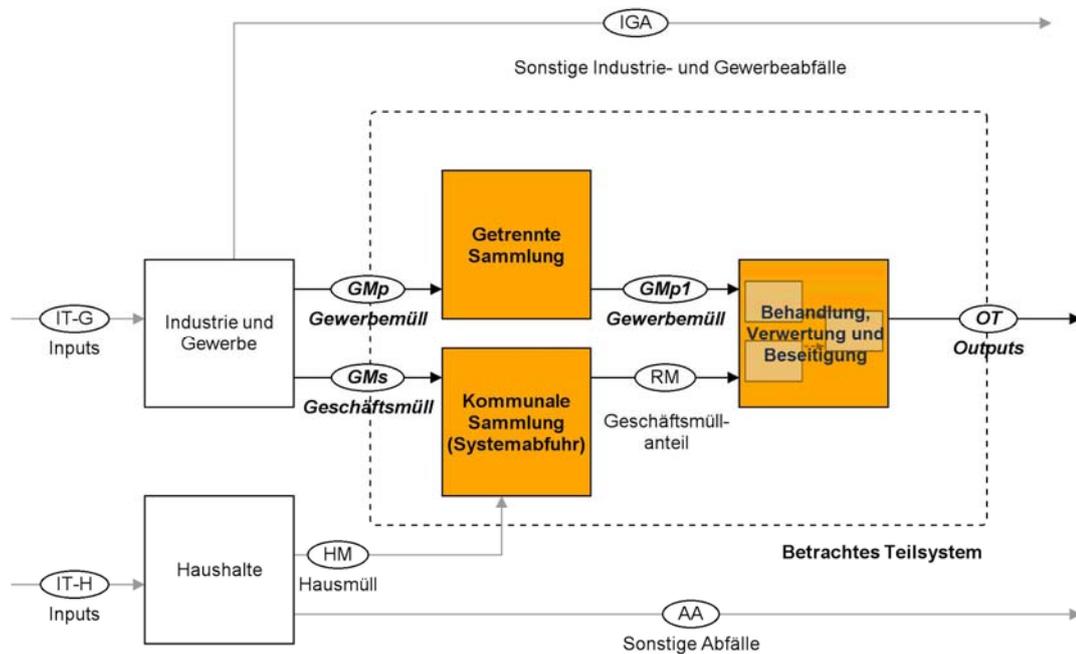


Abbildung 3-8: Teilbereich der steirischen Abfallwirtschaft, der durch die Szenarien abgebildet wird

Tabelle 3-11: Übersicht zu den verschiedenen Behandlungsszenarien für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark

Szenario	Abfallinput (Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle)	Behandlung
<b>A0:</b> Status Quo	Modellabfall <b>C</b> + Modellabfall <b>D</b>	(Abfall <b>C</b> – Abfall <b>C*</b> ) → Splitting (Abfall <b>D</b> + Abfall <b>C*</b> ) → MBA
<b>A1:</b> Getrennte Behandlung - Sammlung	Modellabfall <b>C</b> + Modellabfall <b>D</b>	Abfall <b>C</b> → Splitting Abfall <b>D</b> → MBA
<b>A2:</b> Gemeinsame Behandlung	Modellabfall <b>C</b> + Modellabfall <b>D</b>	(Abfall <b>C</b> + Abfall <b>D</b> ) → MBA
<b>B1:</b> Getrennte Behandlung - Abfallcharakteristik	Modellabfall <b>D</b>	Abfall <b>A</b> → Splitting (Abfall <b>D</b> – Abfall <b>A</b> ) → MBA
<b>B2:</b> Gemeinsame Behandlung	Modellabfall <b>D</b>	Abfall <b>D</b> → MBA
Abfall C* .... der Anteil des Gewerbemülls, der einer gemeinsamen Behandlung mit dem Systemmüll zugeführt wird		

Die entwickelten Szenarien stellen kein reales Abbild steirischer Verhältnisse dar, sondern sollen eine Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Sammlungs- und Behandlungsoptionen ermöglichen. Eine Beschreibung der tatsächlichen Verhältnisse im Bezug auf hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (Zusammensetzung und Menge) ist in Anbetracht der schlechten Datenlage und der daraus resultierenden Unsi-



cherheiten nicht möglich. Es wird hingegen versucht anhand von Schätzungen und Modellannahmen Rückschlüsse im Hinblick auf eine zielorientierte Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu ziehen. Die Szenarien sollen schließlich eine Basis für die Zuordnung bestimmter Abfallströme zu geeigneten Behandlungsverfahren darstellen.

Aus Tabelle 3-11 ist ersichtlich, dass sich die Szenarien der Serien A und B durch die Abfallzusammensetzungen des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls unterscheiden. Die Szenarien werden für unterschiedliche Abfallinputs entworfen, da Abfall C als typischer Gewerbemüll einen sehr trockenen, heizwertreichen Abfall darstellt und es bei einer Hochrechnung für die gesamte Steiermark dadurch wahrscheinlich zu einer Überschätzung dieser Abfallart im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall kommt. Es ist also davon auszugehen, dass die A-Szenarien den trockenen, heizwertreichen Mengenanteil im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall überschätzen. Aus diesem Grund wird bei den B-Szenarien die Zusammensetzung von Abfall D (Geschäftsmüll basierend auf Tabelle 3-1) für den hausmüllähnlichen Gewerbeabfall angesetzt. Diese Annahme führt tendenziell zu einer Unterschätzung des gut aufbereitbaren Abfallanteils, da in den zu Grunde liegenden Arbeiten nur der Geschäftsmüllanteil hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle untersucht wurde und der privat entsorgte, tendenziell heizwertreichere Gewerbemüll keine Berücksichtigung fand. Die beiden Abfallzusammensetzungen des Inputs sollen eine mögliche Bandbreite widerspiegeln und Aussagen unabhängig von der tatsächlichen Zusammensetzung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls erlauben.

#### **a) „Status Quo“ (A0)**

Die Status Quo - Analyse dient dazu, einen Eindruck der derzeitigen Behandlungspraxis für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark zu vermitteln. Die Mengenströme und Abfallzusammensetzungen basieren auf den Abschätzungen aus Kapitel 3.2.2. Der gesammelte Gewerbemüll setzt sich gemäß Abfall C zusammen, der gesammelte Geschäftsmüll nach Abfall D. Zusammen ergibt sich daraus die Zusammensetzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (siehe Tabelle 3-13) für die Szenarien der Serie A.

Tabelle 3-12: Zusammensetzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle im Rahmen der A-Szenarien

Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (A-Szenarien)	[Masse%]	Tonnen pro Jahr
Fraktion < 8 mm bzw. < 20 mm	7,6	8787
native Organik	13,7	15780
Papier und Pappe	27,5	31620
Glas	3,3	3750
Kunststoffe	17,4	20000
Metalle	4,0	4600
Verbund	1,7	1900
Holz	9,3	10727
Bau, mineral	7,6	8699
Sonstiges	7,8	8990
Problemstoffe	0,1	147

Der Wassergehalt (Masse Abfall/Masse Wasser) des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls beträgt 22 %. Diese Angabe basiert auf einem Wassergehalt von 20 % für Abfall C (Gewerbemüll lt. Menapace et al., 2006) und einem Wassergehalt von 29 % für Abfall D (Geschäftsmüll lt. Kranert, 2004).

Im Rahmen dieses Behandlungsszenarios wird ein Teil des getrennt gesammelten Gewerbemülls (ca. 20 %) gemeinsam mit kommunalem Restmüll behandelt, der Rest wird in Splittinganlagen für Gewerbemüll aufbereitet. Die gemeinsame Behandlung des Gewerbemüllanteils und des kommunalen Restmülls (inkl. Geschäftsmüllanteil) wird anhand des Prozesses „mechanisch-biologische Abfallbehandlung“ abgebildet. Somit stehen die Bezeichnungen „Splittinganlage“ und „MBA“ eigentlich für die getrennte Behandlung bzw. gemischte Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Hausmüll. Die Bilanzierung der Behandlungsverfahren und der Outputgüter erfolgt gemäß den Beschreibungen in Kapitel 3.3. Die Bilanzen der Behandlungsanlagen in Kapitel 3.3 reflektieren dementsprechend die jeweils unterschiedlichen Systeminputs verschiedener Anlagen. Daher wird in diesem Szenario für den Teilstrom des Gewerbemülls, der gemeinsam mit kommunalen Restmüll behandelt wird, die Trennung in heizwertreiche Fraktion und Rottefraktion während der mechanischen Behandlung anhand von Transferkoeffizienten verschiedener Sortierfraktionen aus Skutan & Brunner (2006) abgebildet (siehe Tabelle 3-9). Diese Aufteilung der Güterströme auf der Ebene von Sortierfraktionen ermöglicht somit eine Berücksichtigung unterschiedlicher Abfallzusammensetzungen im Anlageninput der mechanisch-biologischen Behandlung. Einen Überblick der berücksichtigten Güterflüsse und Prozesse im Rahmen des „Status Quo“ gibt Abbildung 3-9.

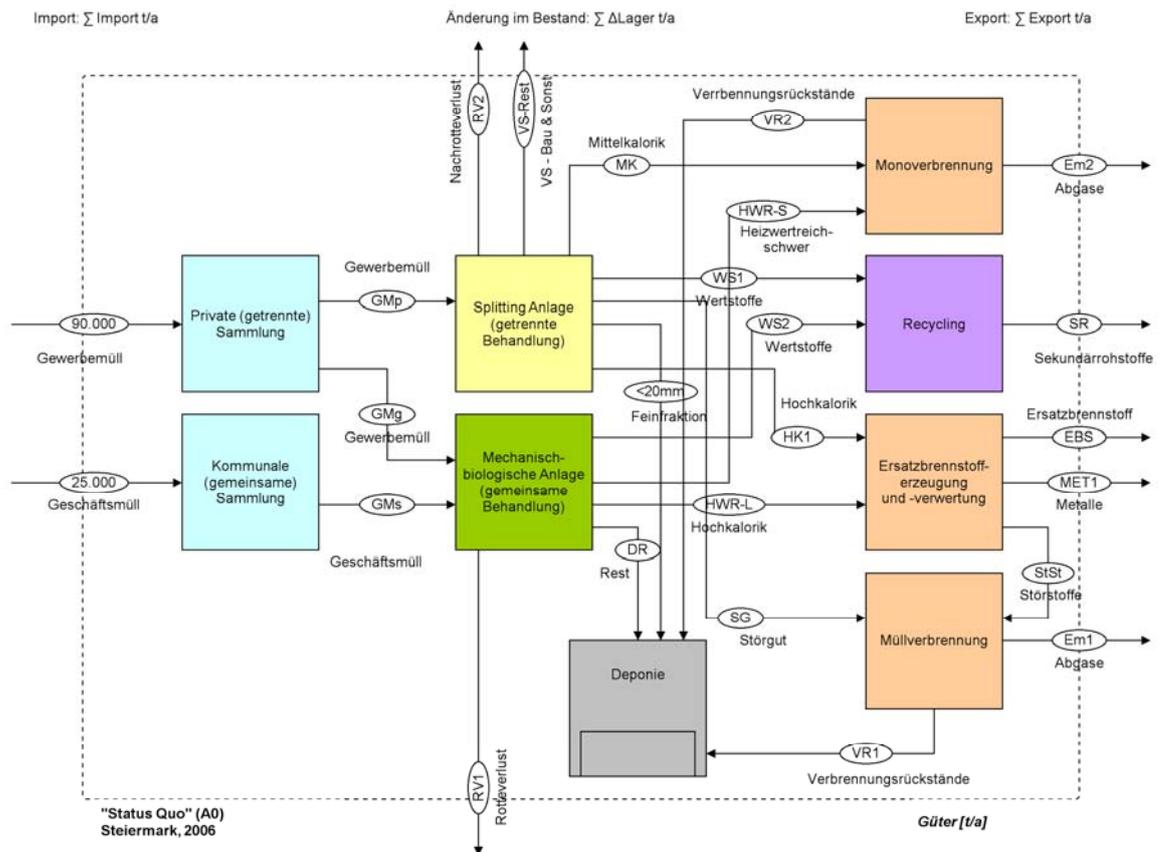


Abbildung 3-9: Qualitative Darstellung des „Status Quo“ (A0)

### b) Szenario A1 – „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“

Dieses Behandlungsszenario basiert auf dem „Status Quo“ und unterscheidet sich von diesem durch die Zuordnung des gesamten getrennt gesammelten Gewerbemülls zur separaten Behandlung in einer Splittinganlage. Es soll somit den Effekt einer maximalen Trennung der entsprechend gesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle darstellen. Wie bereits erwähnt, überschätzen die A-Szenarien wahrscheinlich den heizwertreichen Abfallanteil im Gewerbemüll. Dieser Umstand macht dieses Szenario zu einem Maximal-Szenario für die getrennte Behandlung trockenen Gewerbemülls und die daraus resultierende Erzeugung von Ersatzbrennstoffen. Eine Darstellung des betrachteten Systems für die Erstellung der Güterbilanzen erfolgt in Abbildung 3-10.

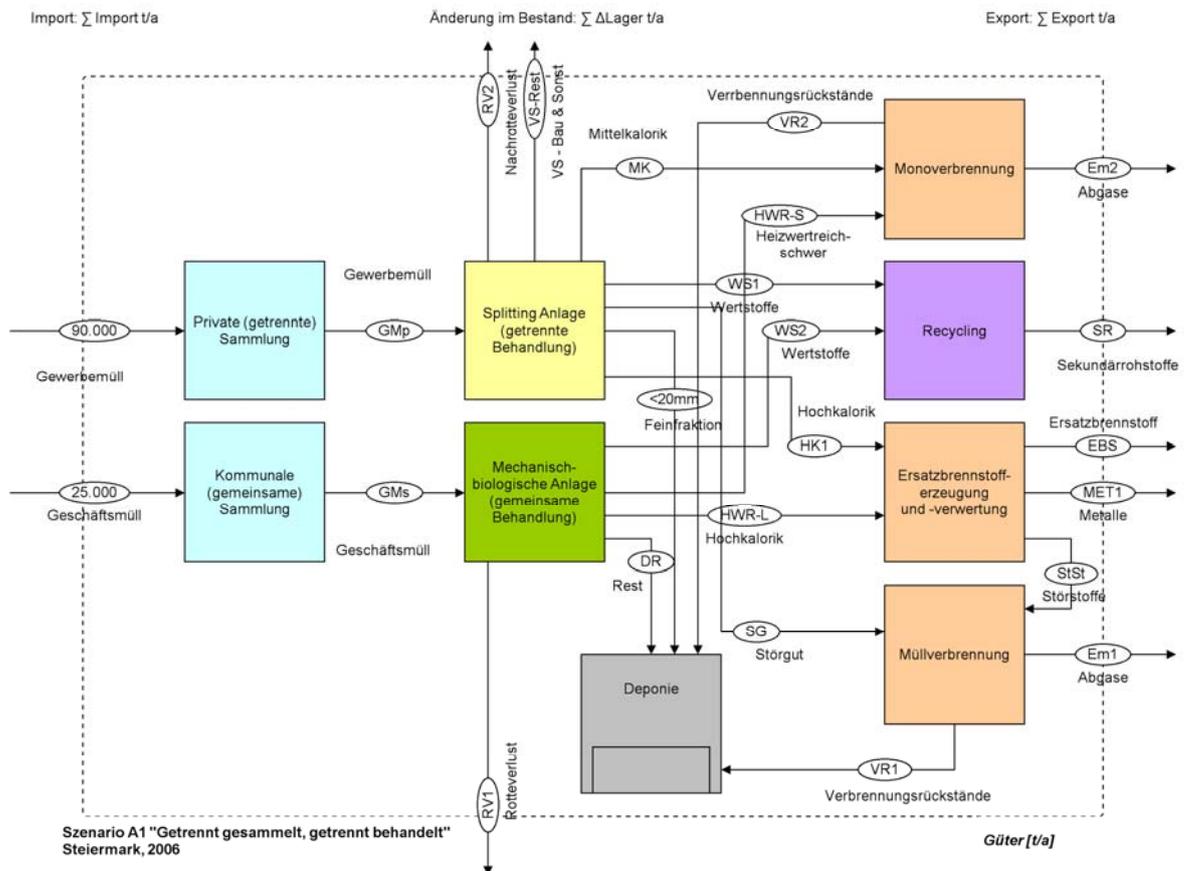


Abbildung 3-10: Qualitative Darstellung von Szenario A1: Getrennte Behandlung

### c) Szenario A2 – „Gemeinsame Behandlung“

Auch dieses Szenario basiert auf den Abfallzusammensetzungen und Annahmen des „Status Quo“, mit dem Unterschied, dass der gesamte hausmüllähnliche Gewerbeabfall als Teil des Systemmülls gesammelt und in weiterer Folge auch behandelt wird. Dieses Szenario dient also dazu, die Auswirkungen einer ausschließlich gemeinsamen Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle mit kommunalem Restmüll darzustellen. Im Zuge von Szenario A2 erfolgt die Bilanzierung der mechanisch-biologischen Behandlungsanlage vollständig in der Ebene von Sortierfraktionen gemäß den Transferkoeffizienten aus Skutan & Brunner (siehe Tabelle 3-9). Die Güterflüsse und die verschiedenen Prozesse dieses Szenarios sind in Abbildung 3-11 dargestellt.

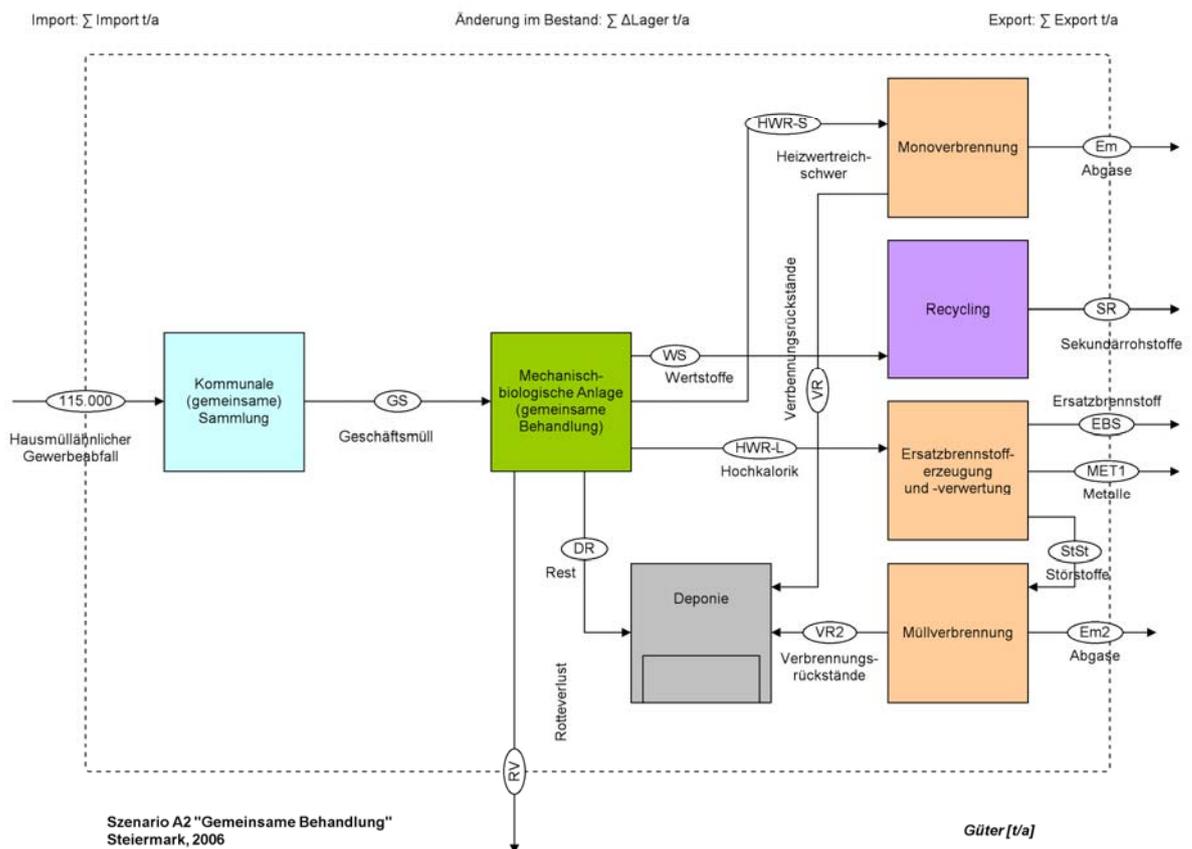


Abbildung 3-11: Qualitative Darstellung von Szenario A2: Gemeinsame Behandlung

#### d) Szenario B1 – „Abfall A getrennt, Rest + Abfall B gemeinsam behandelt“

Im Zuge dieses Szenarios wird für den hausmüllähnlichen Gewerbeabfall die Zusammensetzung von Modellabfall D angesetzt (siehe Tabelle 3-6). Bei der Ermittlung dieser Abfallcharakteristik wurde der Gewerbemüll nicht berücksichtigt, wodurch davon auszugehen ist, dass der heizwertreichere Abfallanteil tendenziell unterschätzt wird. Das drückt sich auch durch den höheren massenbezogenen Wassergehalt von 29 % des Abfallinputs der B-Szenarien im Vergleich zu den A-Szenarien (22 %) aus. Diese Annahme wird getroffen, um die Effekte unterschiedlicher Behandlungsoptionen im Falle eines weniger heizwertreichen Abfallinputs zu veranschaulichen. Die Unterteilung in Gewerbemüll, also den getrennt gesammelten Anteil, und Geschäftsmüll erfolgt basierend auf branchentypischen Abfallcharakteristika. Im Wesentlichen stellt Modellabfall A einen Durchschnitt über die typischerweise trockenen und heizwertreichen Abfälle bestimmter Branchen dar, die im Rahmen dieses Szenarios getrennt gesammelt und behandelt werden. Der restliche Anteil der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle setzt sich aus den Branchen mit typischerweise höheren Anteilen nativer Organik im betrieblichen Restmüll (=Abfall B) und dem Abfall aus schwer zuzuordnenden Branchen zusammen. Dieser Abfall-

strom wird gemeinsam in der Modell-MBA behandelt, wobei wiederum sortierfraktionsbezogene Transferkoeffizienten aus Tabelle 3-9 zur Bilanzierung der Güterströme angewendet werden.

In Szenario B1 werden also bestimmte branchentypische hausmüllähnliche Gewerbeabfälle aufgrund ihrer Zusammensetzung der getrennten bzw. gemeinsamen Sammlung und Behandlung zugeordnet. Somit dient dieses Szenario dazu, die Auswirkungen einer getrennten Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen aufgrund bestimmter Abfallcharakteristika darzustellen. Das qualitative Systemmodell des Szenarios ist in Abbildung 3-12 dargestellt.

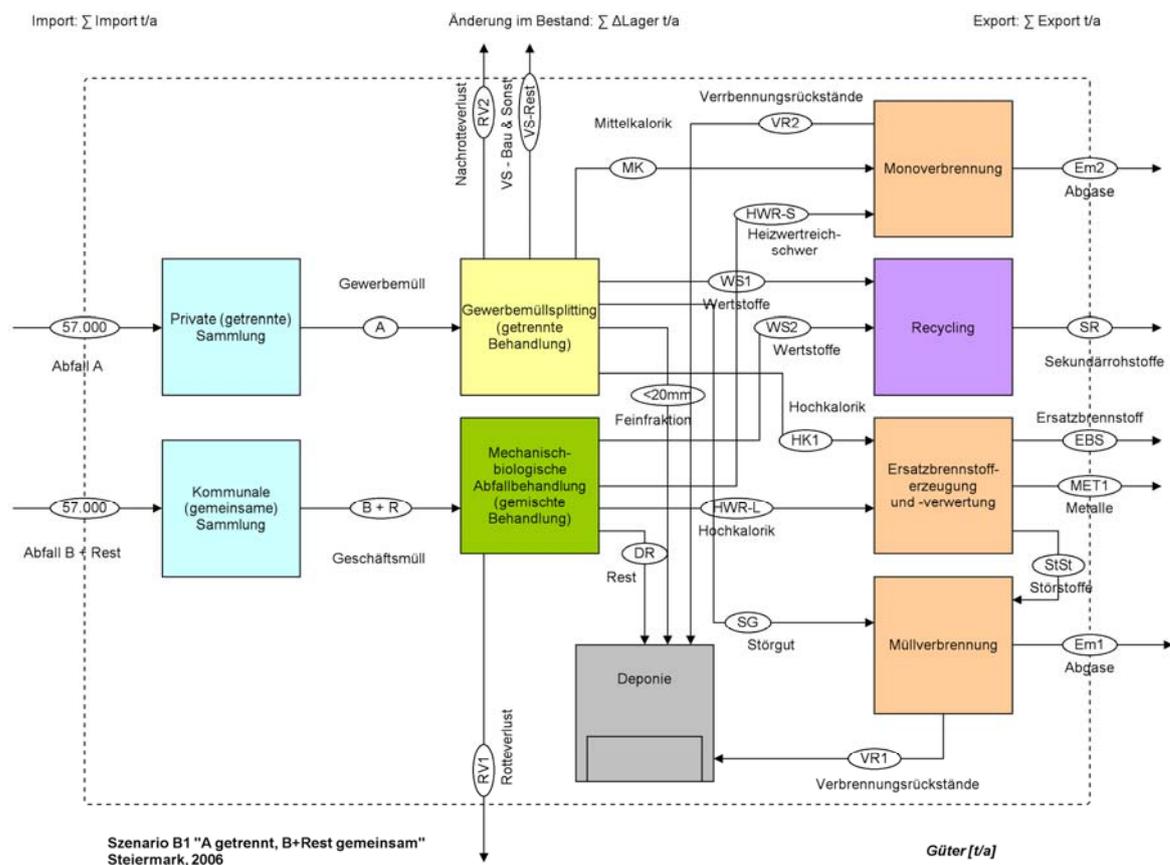


Abbildung 3-12: Qualitative Darstellung von Szenario B1: Trennung nach Abfallzusammensetzungen



**e) Szenario B2 – „Gemeinsame Behandlung“**

In diesem Szenario wird von einer gemeinsamen Sammlung und Behandlung des gesamten Abfallinputs ausgegangen. Die Zusammensetzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle wird gleich wie im Szenario B1 angesetzt, was einen Vergleich der Abfallzuordnung zu getrennten Behandlungsverfahren mit einer gemeinsamen Behandlung im Zuge dieses Szenarios ermöglicht. Die Bilanzierung der gemeinsamen Behandlung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen erfolgt auch hier basierend auf den Transferkoeffizienten aus Tabelle 3-9. Einen schematischen Eindruck von Szenario B2 vermittelt Abbildung 3-13.

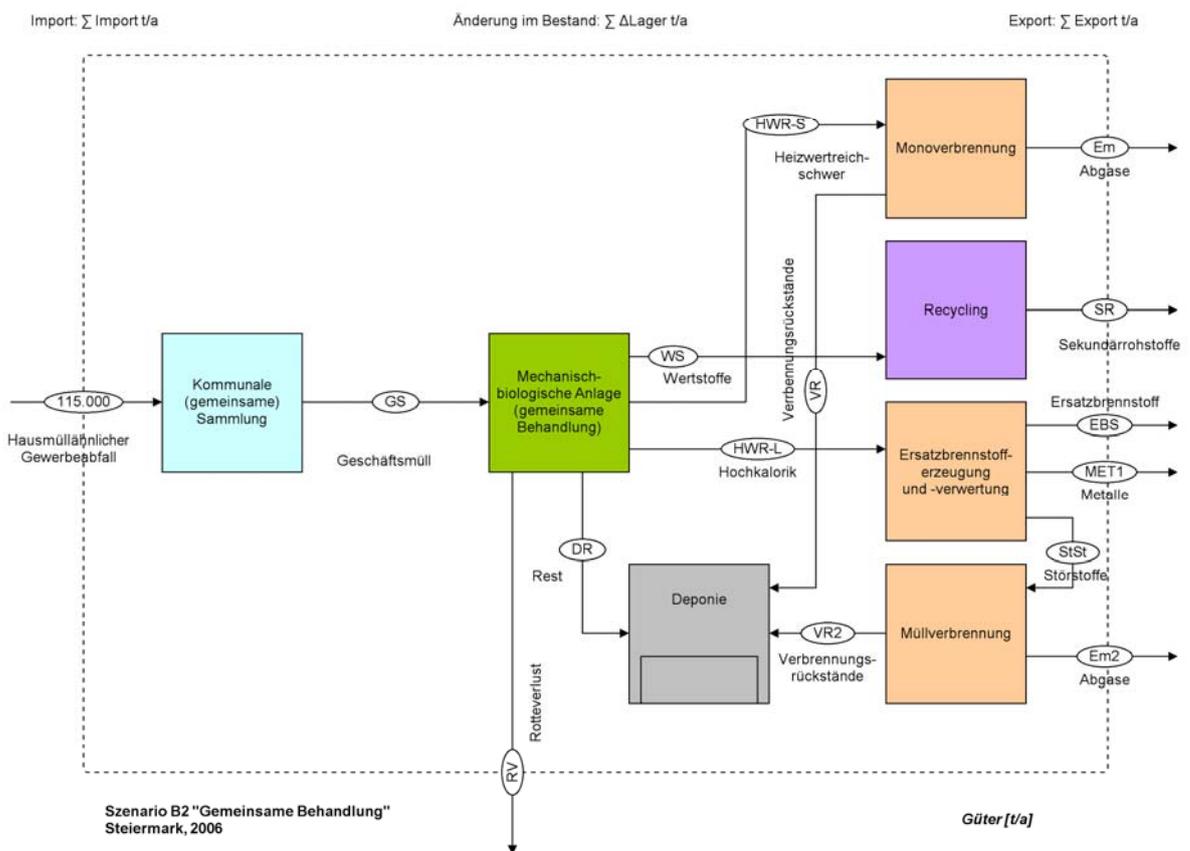


Abbildung 3-13: Qualitative Darstellung von Szenario B2: Gemeinsame Behandlung

### 3.5.2 Bilanzierung und Bewertung der Behandlungsszenarien

Die Bilanzierung der einzelnen Behandlungsszenarien erfolgt anhand der Sortierfraktionszusammensetzung des Abfallinputs und entsprechenden Transferkoeffizienten. Die Ergebnisse der Bilanzierung werden auf Güterebene sowohl anhand von Güterflussdiagrammen als auch tabellarisch dargestellt. Die Massenflüsse an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark basieren auf den Abschätzungen aus Kapitel 3.2.2.1 und sind in Tabelle 3-13 zusammenfassend dargestellt.

*Tabelle 3-13: Mengenabschätzung für gemischte Siedlungsabfälle aus Industrie und Gewerbe in der Steiermark*

Abfallstrom	Mengenabschätzung [Tonnen pro Jahr]	Unsicherheit (geschätzt)
Gewerbemüll	90.000	± 30 %
Geschäftsmüll	25.000	± 50 %
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	115.000	± 26 %

Die Bilanzierung der Abfallströme für die verschiedenen Szenarien auf Güterebene bildet die Basis für die nachfolgende Bewertung:

- Die Bewertung mit Hilfe des **kumulierten Energieaufwandes (KEA)** erfolgt anhand einer Gegenüberstellung der Aufwendungen und des Nutzens, der durch die jeweilige Behandlung erzielt wird. Aufwendungen entstehen in erster Linie für die Sammlung und Behandlung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, wobei der quantifizierbare Nutzen der Abfallbehandlung v.a. in der Bereitstellung von stofflich oder energetisch verwertbaren Outputgütern liegt. Für diese nutzbaren Outputgüter werden einem Szenario Gutschriften erteilt, die sich nach dem jeweils durch die Verwertung ersetzten Gut richten, da dieses nicht erzeugt werden muss. Dieses „Ersatzprodukt“ wird basierend auf einer Nutzengleichheit bestimmt, d.h. beispielsweise, dass die Menge der ersetzten Steinkohle durch die Verwendung von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie anhand eines Äquivalenzfaktors berechnet wird, der vom Heizwert der Ersatzbrennstoffe und der Steinkohle abhängt. Das gleiche Prinzip gilt für Sekundärrohstoffe: die Gutschrift für ein Recyclingprodukt ( $G_R$ ) richtet sich nach dem jeweiligen Ersatzprodukt, dem Aufwand dieses herzustellen ( $A_E$ ) und dem Aufwand für das Recycling ( $A_R$ ) ( $\rightarrow G_R = A_E - A_R$ ). Die Bilanzdaten dieser Prozesse werden aus öffentlich zugänglichen Datenbanken entnommen und auf Plausibilität überprüft.



- Die Bewertung der **treibhausrelevanten Emissionen** eines Behandlungsszenarios erfolgt ebenfalls gemäß dem Schema, das soeben für den KEA beschrieben wurde. Im Rahmen der Bewertung anhand dieses Indikators werden aber auch direkte Emissionen treibhausrelevanter Gase ( $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ ) während und als Folge der Abfallbehandlung berücksichtigt. Der direkte Ausstoß klimarelevanter Gase im Zuge eines Behandlungsszenarios wird anhand von groben Kohlenstoffbilanzen und über die Abschätzung der emittierten Verbindungen ermittelt.
- Die Ermittlung des verbrauchten **Deponievolumens** im Rahmen eines bestimmten Szenarios basiert auf den Güterbilanzen der Behandlungsszenarien. Die Umrechnung der deponierten Massen auf die entsprechenden Volumina erfolgt basierend auf Literaturdaten zur Lagerungsdichte für die betreffenden Deponietypen.
- Um die **Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken** beurteilen zu können, werden für die Szenarien grobe Stoffbilanzen für Kohlenstoff und Cadmium erstellt. Die Bilanzen für Kohlenstoff dienen als Grundlage zur Ermittlung direkter treibhausrelevanter Emissionen im Zuge der Behandlungsverfahren. Die Betrachtungen für Cadmium der jeweiligen Szenarien werden miteinander verglichen und Unterschiede werden im Hinblick auf eine geeignete Steuerung der Stoffflüsse diskutiert. Anhand dieser qualitativen Bewertung ist es möglich, Vor- bzw. Nachteile eines bestimmten Szenarios darzustellen. Die Bilanzierung weiterer Stoffe zur Beurteilung dieses Kriteriums kann je nach Daten- und Bedarfslage erfolgen.

Die Abschätzung geänderter Transportaufwendungen im Rahmen eines bestimmten Behandlungsszenarios erfolgt lediglich auf qualitativer Basis und in modellhafter Art und Weise (siehe dazu auch Abbildung 7-1). Es werden keine konkreten Transportaufwendungen ermittelt, sondern es wird versucht, anhand der Darstellung möglicher Auswirkungen geänderter Transportwege Aussagen zu treffen. Für die Beurteilung eines bestimmten Falles müssten solche Abschätzungen ohnehin auf der Basis von Logistikkonzepten getroffen werden. Diese Feststellung, dass eine generelle Aussage zu geänderten Transportaufwendungen durch den Wechsel des Sammelsystems für Abfälle nicht möglich ist, findet sich auch in einer Studie von Hutterer (2008).





## 4 Ergebnisse und Interpretation

In diesem Abschnitt werden zuerst die Ergebnisse der Güter- und Stoffbilanzen für die betrachteten Behandlungsszenarien dargestellt. Darauf aufbauend werden die einzelnen Szenarien, anhand der zuvor beschriebenen Kriterien, bewertet und die Resultate einander gegenüber gestellt. Die abschließende Analyse der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Zuverlässigkeit stellt die Basis für die Ableitung der Schlussfolgerungen bezüglich der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle dar.

### 4.1 Bilanzen der Behandlungsszenarien

Die Bilanzen der Behandlungsverfahren (siehe Kapitel 3.5) werden in Abhängigkeit der unterschiedlichen Abfallzusammensetzungen auf Sortierfraktionsebene erstellt. Die Darstellung im Bericht erfolgt anhand von Güter- und Stoffflussdiagrammen, die sortierfraktionsbezogenen Bilanzierungstabellen werden im Anhang (siehe A-4 für die Güterebene) dargestellt. Die entsprechenden sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten der einzelnen Behandlungsanlagen finden sich in Kapitel 3.3.

#### 4.1.1 Güterflussanalysen der Behandlungsszenarien

Die Güterflussanalysen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark wurden nach der Methode der Stoffflussanalyse (siehe ÖNORM (2005)) für die entwickelten Behandlungsszenarien durchgeführt. Die Bilanzierung der Sortierfraktionen in MS Excel© bildete die Basis für die Bilanzierung auf Güterebene, welche mit der kostenlosen Software STAN (Cencic, 2008) durchgeführt wurde.

##### **a) „Status Quo“ (A0)**

Die zu Grunde liegenden Bilanzierungsdaten der Güterflussanalyse des „Status Quo“ sind im Anhang in Tabelle 7-7 angeführt. Die daraus abgeleiteten Transferkoeffizienten ergeben für die Güterebene die Massenflüsse, die in Abbildung 4-1 dargestellt sind. Aus dieser Abbildung wird ersichtlich, dass im Rahmen dieses Szenarios der Großteil (mehr als 60 %) des Abfallinputs einer thermischen Verwertung zugeführt wird, wobei der größte Massenfluss als mittelkalorische Fraktion aus den Behandlungsanlagen direkt in die Wirbelschichtverbrennung geht. Die 14.400 Tonnen an hochkalorischer Fraktion werden in einer speziellen Anlage noch weiter aufbereitet und schließlich als Ersatzbrennstoff an die Zementindustrie abgegeben. Der Austrag an Wertstoffen wird in Tabelle 4-1 für die einzelnen Recyclingfraktionen dargestellt, welche anhand der jeweiligen Abfallzusammensetzungen und basierend

auf den Bilanzen der Modellanlagen ermittelt wurden. Außerdem sind in Tabelle 4-1 auch Güterflüsse angeführt, die keiner Verwertung sondern einer Deponierung zugeführt werden.

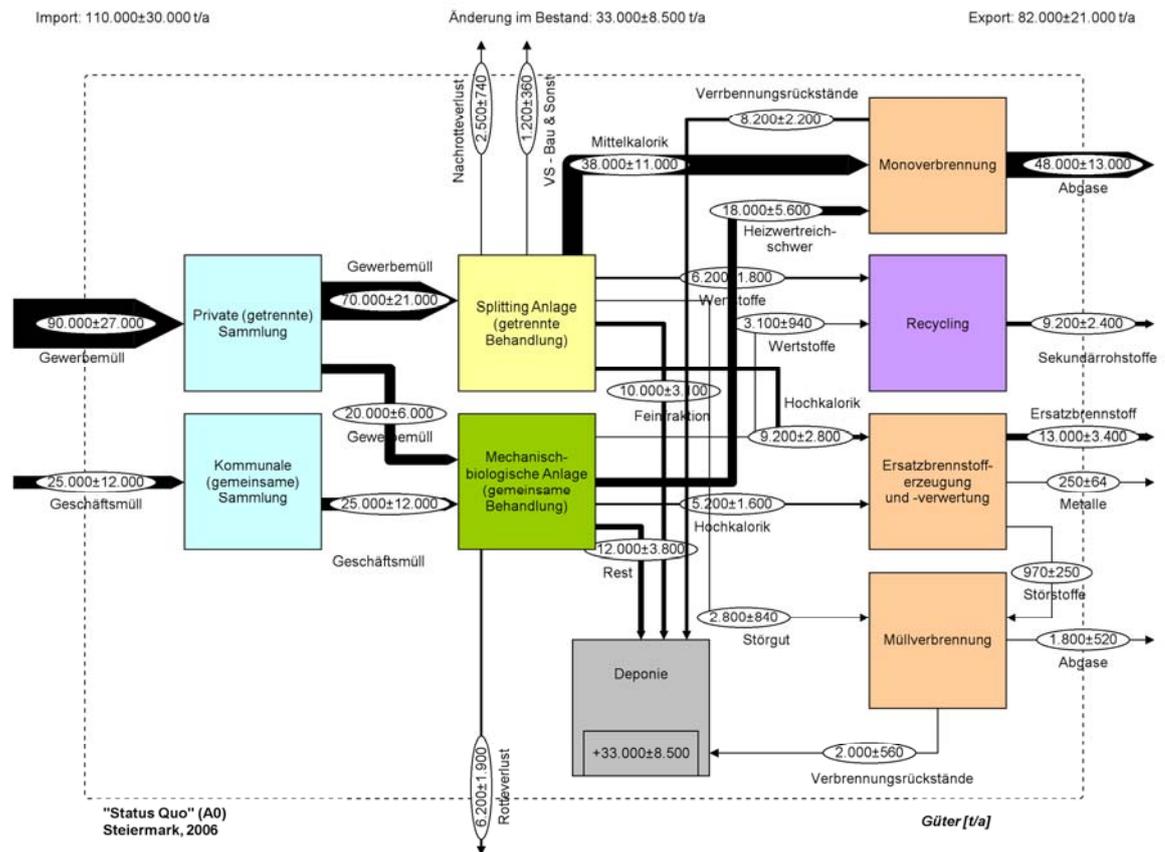


Abbildung 4-1: Güterflussanalyse für den Status Quo (A0)

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Güterflussanalysen des „Status Quo“ für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
<b>Verbrennung</b>		<b>Tonnen pro Jahr</b>	<b>[%]</b>
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	56062	30%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	13201	26%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	3769	29%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	193	30%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	168	30%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3856	30%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	5249	30%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Feinfraktion	Massenabfalldeponie	10220	30%
Rest	Massenabfalldeponie	12429	31%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	10201	27%
<b>Sonstige</b>			
Bauschutt (aus Vorsortierung)	Baumaterial oder Deponie	1190	30%



Um den Effekt der unterschiedlichen Effizienz bei der Aussortierung von Wert- bzw. Altstoffen im Rahmen der Vorsortierung bei der Modell-Gewerbemüllsplittanlage<sup>6</sup> und der mechanisch-biologischen Modellanlage zu beurteilen, wird hier auch eine Variante mit gleicher Vorsortierung für die beiden Anlagen bilanziert. Der wesentliche Unterschied dieser Variante zum Basisszenario liegt in den ausgetragenen Wertstoffmengen, was auch aus Tabelle 4-3 ersichtlich ist.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario A1 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	58444	33%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	13174	26%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	4610	29%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	194	33%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	171	34%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3847	34%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	5301	32%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Feinfraktion	Massenabfalldeponie	13118	30%
Rest	Massenabfalldeponie	7283	50%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	11354	27%
<b>Sonstige</b>			
Bauschutt (aus Vorsortierung)	Baumaterial oder Deponie	1515	30%

Tabelle 4-3: Güterflüsse für die Variante von Szenario A1 mit identischer Vorsortierung für MBA und Splittanlage

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	59295	33%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	13282	26%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	5126	29%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	236	32%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	213	33%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3620	34%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	4827	32%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Feinfraktion	Massenabfalldeponie	13643	30%
Rest	Massenabfalldeponie	7283	50%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	11760	27%

<sup>6</sup> Durch die bessere Aufbereikbaarheit des „sortenreinen“ Gewerbemülls ist es möglich, einen höheren Anteil an Altstoffen schon während der Vorsortierung abzuscheiden (siehe Kapitel 3.3.1).



Wie aus Tabelle 4-3 erkennbar, ändern sich die Wertstoffflüsse bei einer identischen Vorsortierung für MBA und Splittinganlage kaum. Insgesamt werden etwas weniger Wertstoffe erfasst als bei der Basisvariante, es kommt aber, bedingt durch den größeren Anlageninput an Metallen und die entsprechenden Transferkoeffizienten, zu einem höheren Austrag an NE-Metallen im Zuge dieser Variante. Die anderen Güterflüsse ändern sich nur geringfügig aufgrund der geänderten Vorsortierungseffizienz.

### c) Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“

Dieses Szenario betrachtet den Effekt einer Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gemeinsam mit dem restlichen Abfall aus der kommunalen Sammlung. In Abbildung 4-3 sind die Güterflüsse für die gemeinsame Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der mechanisch-biologischen Modellanlage dargestellt (für zugrundeliegende Bilanzierungsdaten siehe Tabelle 7-9 im Anhang), wobei die wesentlichen Güterflüsse zusammenfassend in Tabelle 4-4 angeführt sind. Auch im Zuge dieses Szenarios wird etwas mehr als die Hälfte des Abfallinputs einer thermischen Verwertung zugeführt und rund 30 % des Abfallinputs deponiert.

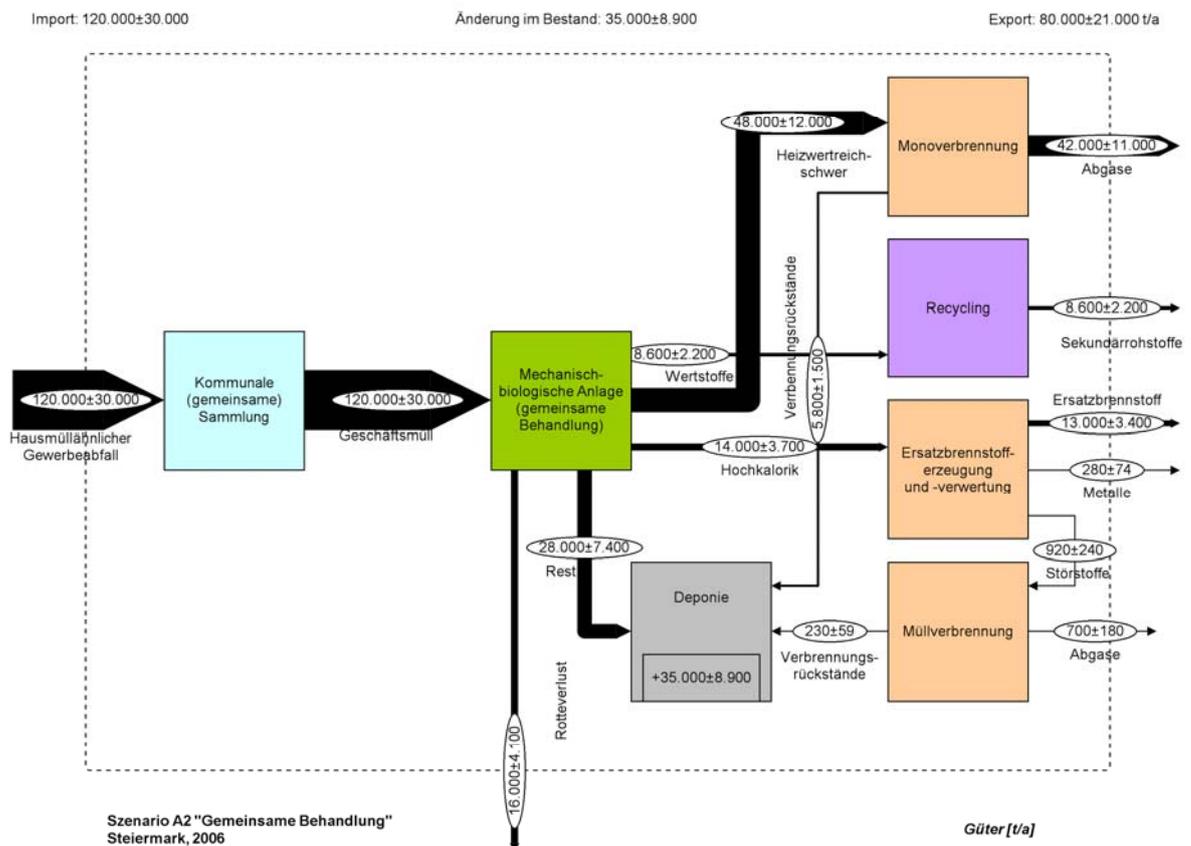


Abbildung 4-3: Güterflussanalyse für Szenario A2 "Gemeinsame Behandlung"

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario A2 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	47688	26%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	13147	26%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	924	26%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	178	26%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	150	26%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3719	26%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	4828	26%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Rest	Massenabfalldeponie	28476	26%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	6044	26%

#### d) Szenario B1 „Abfallcharakteristik“

Im Rahmen dieses Szenarios wird eine Auftrennung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle basierend auf charakteristischen Abfallzusammensetzungen unterschiedlicher Branchen vorgenommen und die entsprechenden Abfallinputs getrennt von bzw. gemeinsam mit kommunalem Restmüll gesammelt und behandelt. Die Bilanzierungsdaten des Behandlungsszenarios finden sich im Anhang in Tabelle 7-10, die entsprechenden Güterflüsse sind in Abbildung 4-4 quantitativ dargestellt. Demnach wird mehr als die Hälfte des Abfallinputs einer thermischen Verwertung zugeführt und rund ein Drittel auf Deponien abgelagert. Die restlichen Inputs werden entweder im Zuge der biologischen Behandlung abgebaut oder als Wertstoffe ausgetragen; einen Überblick der Güterflüsse aus Szenario B1 bietet auch Tabelle 4-5.

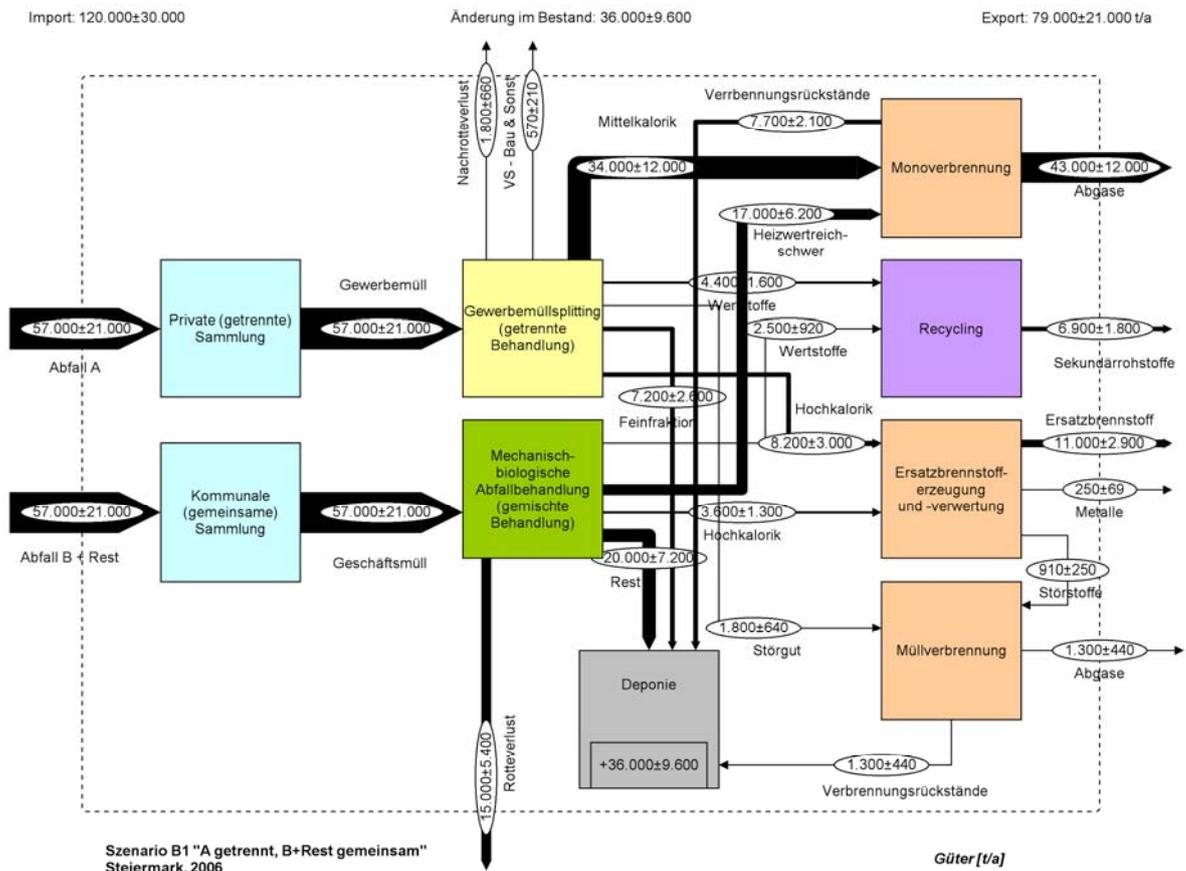


Abbildung 4-4: Güterflussanalyse für Szenario B1 "Trennung aufgrund der Abfallcharakteristik"

Wie bereits für Szenario A1 wird auch für das Szenario B1 eine Variante mit identischer Sortiereffizienz bei der Vorsortierung in der Gewerbemüllsplittinganlage und in der mechanisch-biologischen Modellanlage betrachtet. Anhand der Güterflüsse in Tabelle 4-6 ist ersichtlich, dass sich bei identischer Vorsortierung zwar die Gesamtmenge an ausgetragenen Wertstoffen reduziert, die Menge an NE-Metallen aber auch in diesem Fall ansteigt. Dieser Anstieg ist wiederum auf die größere Menge an Metallen im Anlageninput der Splittinganlage und die unveränderten Transferkoeffizienten in die Metallfraktionen zurück zu führen – da diese für die Modell-Splittinganlage bestimmt wurden, führen sie bei verminderter Vorsortierungseffizienz wahrscheinlich zu einer Überschätzung der NE-Metallmengen. Abgesehen von den abgetrennten Mengen an Altholz (nehmen ab) und dem Bauschutt aus der Vorsortierung (fällt weg) werden die restlichen Güterflüsse durch die geänderte Vorsortierung nur in sehr geringem Ausmaß beeinflusst und daher hier nicht im Detail diskutiert. Schließlich dient die Analyse dieser Variante vor allem dazu, die Effekte der unterschiedlichen Vorsortierung bei den beiden Behandlungsanlagen zu quantifizieren und zu diskutieren.

Tabelle 4-5: Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario B1 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	50540	37%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	10613	28%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	2672	34%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	190	35%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	165	37%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3982	36%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	2789	37%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Feinfraktion	Massenabfalldeponie	7170	37%
Rest	Massenabfalldeponie	19716	37%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	9005	28%
<b>Sonstige</b>			
Bauschutt (aus Vorsortierung)	Baumaterial oder Deponie	575	37%

Tabelle 4-6: Güterflüsse für die Variante von Szenario B1 mit identischer Vorsortierung für MBA und Splittinganlage

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	50898	37%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	10671	28%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	2876	34%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	220	36%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	195	37%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3819	36%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	2588	37%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Feinfraktion	Massenabfalldeponie	7378	37%
Rest	Massenabfalldeponie	19716	37%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	9160	28%

#### e) Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung - Geschäftsmüll“

Die Effekte der gemeinsamen Behandlung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls mit Restmüll aus der gemischten Sammlung werden in diesem Szenario quantifiziert. Der Abfallinput ist gegenüber dem Szenario B1 unverändert, mit dem Unterschied, dass nicht nach branchentypischen Abfallzusammensetzungen aufgetrennt, sondern der gesamte betriebliche Restmüll gemeinsam gesammelt und behandelt wird. In Abbildung 4-5 sind die Güterflüsse für dieses Szenario dargestellt. Die Bilanzierung der Massenströme beruht auf den Daten aus Tabelle 7-11, welche im Anhang aufgelistet sind.

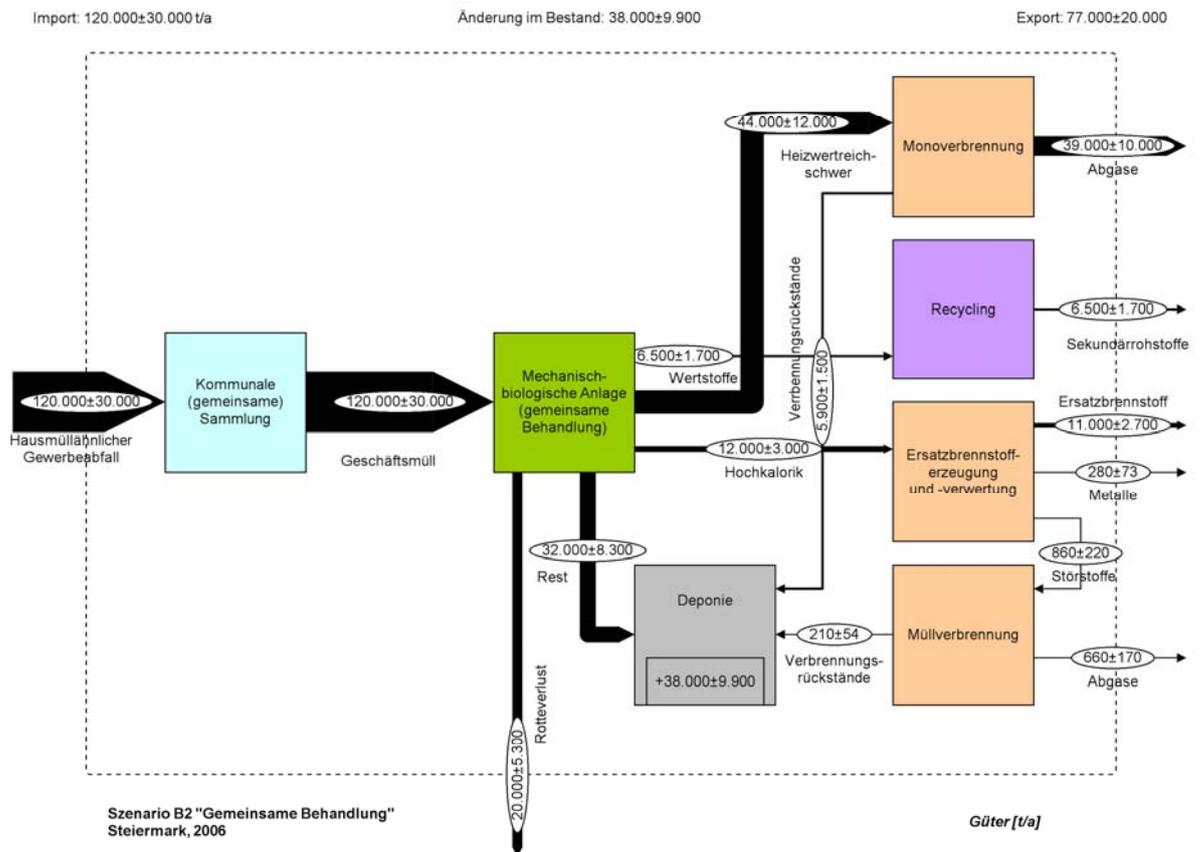


Abbildung 4-5: Güterflussanalyse für Szenario B2 "Gemeinsame Behandlung - Geschäftsmüll"

Aus den Angaben in Tabelle 4-7 geht hervor, dass im Rahmen dieses Szenarios knapp die Hälfte des Inputs als heizwertreiche Fraktionen die Behandlungsanlagen verlässt und in weiterer Folge einer thermischen Verwertung zugeführt wird. Außerdem wird mehr als ein Drittel der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle auf Deponien abgelagert, wobei der Großteil auf Massenabfalldeponien als Rotterest aus der biologischen Behandlung abgelagert wird. Rund 6 % des Abfallinputs werden als Wertstoffe ausgetragen und stofflich verwertet.

Tabelle 4-7: Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario B2 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter

Güterströme	Verwertung/Behandlung	Massenstrom	Unsicherheit
		Tonnen pro Jahr	[-]
<b>Verbrennung</b>			
Mittelkalorik (Wirbelschicht)	Thermische Verwertung	44499	26%
Ersatzbrennstoffe (Zementwerk)	Thermische Verwertung	10579	26%
Störgut (zu MVA)	Thermische Verwertung	864	26%
<b>Wertstoffe</b>			
davon Al	Stoffliche Verwertung	178	26%
davon Cu	Stoffliche Verwertung	150	26%
davon Fe	Stoffliche Verwertung	3889	26%
davon Altholz	Stoffliche Verwertung	2588	26%
<b>Güter zur Deponierung</b>			
Rest	Massenabfalldeponie	31956	26%
Verbrennungsrückstände	Reststoffdeponie	6126	26%

#### 4.1.2 Stoffflussanalysen für Kohlenstoff und Cadmium

Die Grobbilanzen für Kohlenstoff und Cadmium stellen eine Grundlage zur Bewertung der Szenarien nach den Kriterien aus Kapitel 3.4 (Treibhauspotential und Lenkung von Schadstoffen in geeignete Senken). In Tabelle 4-8 sind die Wasser- und Kohlenstoffgehalte der einzelnen Sortierfraktionen angeführt, welche den Ausgangspunkt für die Bilanzierung der Trockensubstanz- und Kohlenstoffflüsse bilden. Die eigentliche Ermittlung der Cadmiumflüsse erfolgt basierend auf den Bilanzen für die Abfalltrockensubstanz anhand von Cadmiumgehalten in den bilanzierten Güterflüssen.

Tabelle 4-8: Daten zum Wasser- und Kohlenstoffgehalt der Sortierfraktionen im Abfallinput der Behandlungsszenarien

Fraktionen	Wassergehalt*	Kohlenstoffgehalt**
	$[m_{\text{Wasser}}/m_{\text{Abfall}}]$	$[m_{\text{Kohlenstoff}}/m_{\text{Trockensubstanz}}]$
Fraktion <8 bzw. <20 mm	25,0%***	30%***
native Organik	60,0%	40%
Papier und Pappe	20,0%	38%
Glas	2,0%	0%
Kunststoffe	10,0%	62%
Metalle	7,0%	0%
Verbund	15,0%	36%
Holz	17,0%	48%
Bau, mineral	8,0%	0%
Sonstiges	30,0%***	45%***
Problemstoffe	8,0%	0%
*Quelle: Hauer, 2002		
**Quelle: Skutan & Brunner, 2006: S. 262		
***geschätzt aus Durchschnittswerten		



#### 4.1.2.1 Grobbilanzen – Kohlenstoff

Die Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse ermöglicht die Abschätzung direkter Kohlenstoffemissionen im Zuge der Behandlungsszenarien. Basierend auf den ermittelten Stoffflüssen wird anhand von Literaturdaten erhoben in welchen Verbindungen die Kohlenstoffflüsse vorliegen und wie es sich mit der Klimarelevanz dieser C-Emissionen verhält. Kohlendioxidemissionen aus biogenen Brennstoffanteilen bzw. aus dem biologischen Abbau organischer Substanz werden nicht als klimarelevant angesehen und daher im Zuge der Bewertung der Treibhausrelevanz der Szenarien nicht berücksichtigt. Die Basis für die Festlegung des biogenen C-Anteils der relevanten Flüsse ist im Anhang in Tabelle 7-12 für die bilanzierten Sortierfraktionen der jeweiligen Abfallinputs angeführt. Basierend auf den Kohlenstoffbilanzen und den biogenen C-Anteilen wird schließlich das Treibhauspotential für die verschiedenen Behandlungsszenarien ermittelt.

Die Erstellung der Kohlenstoffbilanzen erfolgt für die einzelnen Sortierfraktionen des Abfallinputs gemäß den Werten aus Tabelle 4-8. Die Vorgehensweise bei der Durchführung der Stoffflussanalysen entspricht jener für die Güterflussanalysen. Die sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten für die mechanische Aufbereitung bleiben unverändert gegenüber der Güterbilanzierung. Für die biologische Behandlung werden massenbasierte Transferkoeffizienten für Kohlenstoff aus Skutan & Brunner (2006) herangezogen. Da ein Großteil des Kohlenstoffs in organischer Form im Abfall vorliegt (vgl. Skutan & Brunner, 2006, S. 224), wird bei Verbrennungsprozessen, vereinfacht, von einem vollständigen Austrag des Kohlenstoffs über das Reingas ausgegangen. Obwohl sämtliche Bilanzen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf Güterebene durchgeführt wurden, sind diese in den Stoffflussdiagrammen aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die Berechnungsergebnisse für die Kohlenstoffgehalte der Trockensubstanz werden allerdings mit den zugehörigen Unsicherheiten dargestellt, in erster Linie um einen Eindruck des Einflusses der Unsicherheiten auf Güterebene auf die Kohlenstoffflüsse zu vermitteln. Außerdem wird im Rahmen der Bilanzierungsergebnisse auch der Anteil an biogenem Kohlenstoff für ausgewählte Flüsse dargestellt.

##### **a) „Status Quo“ (A0)**

In Abbildung 4-6 sind die Ergebnisse der Kohlenstoffbilanzierung für den „Status Quo“ dargestellt. Auffällig ist, dass ca.  $\frac{3}{4}$  des Kohlenstoffinputs in heizwertreiche Fraktionen transferiert und somit einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Nachdem bei der biologischen Behandlung ein Teil des Kohlenstoffs gasförmig abgetragen wurde (ca. 7 %), wird noch ein Zehntel der importierten Kohlenstoffmenge deponiert. Die Kohlenstoffflüsse in den Recyclinggütern beziehen sich auf das abge-

trennte Altholz, da für die Metallfraktionen vernachlässigbare Kohlenstoffgehalte angenommen wurden.

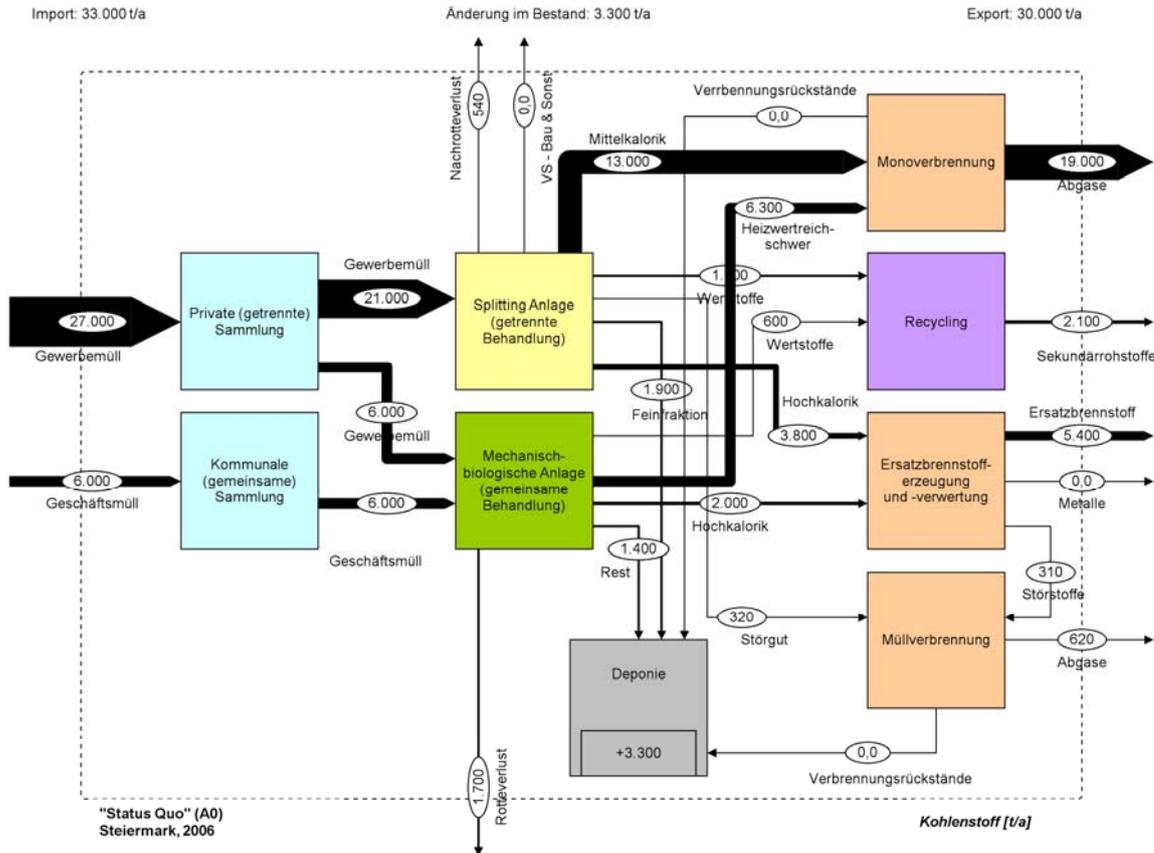


Abbildung 4-6: Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in AO (Status Quo)

Die Kohlenstoffanteile der verschiedenen Güterflüsse bezogen auf Feucht- und Trockensubstanz, die biogenen Kohlenstoffanteile sowie die Absolutwerte der Massenflüsse sind in Tabelle 4-9 angeführt. Außerdem finden sich in Tabelle 4-9 auch die Unsicherheiten der Kohlenstoffgehalte (bezogen auf die Trockensubstanz), die sich aufgrund der Unsicherheiten auf Güterebene ergeben. Die Kohlenstoffbilanzierung ergibt demnach für die heizwertreichen Fraktionen durchwegs Gehalte von 343 – 410 kg Kohlenstoff pro Tonne heizwertreiche Fraktion (feucht), was unteren Heizwerten ( $H_u$ ) zwischen 14 und 18 MJ pro Tonne entspricht (Die Abschätzung von  $H_u$  abhängig vom Kohlenstoffgehalt erfolgt anhand der Näherungsformel von Boie (1957) aus Kost (2001)). Dieser Heizwertbereich deckt sich mit Messungen von hoch- und mittelkalorischem Material bei den Aufbereitungsanlagen (vgl. Prochaska et al., 2005; Pomberger, 2008). Die gemessenen, etwas höheren Heizwerte für das EBS Material lassen sich durch die Auftrocknung des Materials im Laufe der Aufbereitung erklären, welche bei der Bilanzierung der Behandlungsszenarien nicht berücksichtigt wird. Die trockensubstanzbezogenen C-Gehalte ergeben Heizwerte



zwischen 18 und 22 MJ pro Tonne. Hinsichtlich der Restfraktionen die auf Deponien abgelagert werden, lässt sich festhalten, dass auch diese durch gemessene Werte bestätigt werden (vgl. Brunner et al., 2001) und somit in einem plausiblen Bereich liegen.

Die biogenen Anteile der verschiedenen Kohlenstoffflüsse aus Tabelle 4-9 ergeben sich aus den biogenen Kohlenstoffgehalten der Sortierfraktionen. Der Vergleich mit Literaturwerten für die Brennstofffraktionen (vgl. Prochaska et al., 2006 oder Hackl & Mauschwitz, 2003) zeigt gute Übereinstimmungen.

Tabelle 4-9: Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für AO (Status Quo)

Güterströme	Massenfluss	C <sub>biogen</sub>	C- Gehalt (feucht)	C-Gehalt (trocken)	Unsicherheit (trocken)
<b>Verbrennung</b>					
Mittelkalorik (SA)	13007 t/a	51 %	0,343 t/t	0,435 t/t	0,130 t/t
Mittelkalorik (MBA)	6314 t/a	60 %	0,348 t/t	0,445 t/t	0,133 t/t
Störgut (SA)	315 t/a	34 %	0,113 t/t	0,140 t/t	0,042 t/t
Störgut (EBS)	305 t/a	40 %	0,315 t/t	0,404 t/t	0,105 t/t
Ersatzbrennstoff	5415 t/a	38 %	0,410 t/t	0,496 t/t	0,129 t/t
<b>Biologische Behandlung</b>					
Rotteverlust (MBA)	1669 t/a	100 %	0,269 t/t	0,461 t/t	0,138 t/t
Nachrotteverlust	538 t/a	100 %	0,220 t/t	0,502 t/t	0,151 t/t
<b>Deponierung</b>					
Restfraktion (SA)	1909 t/a	38 %	0,187 t/t	0,231 t/t	0,069 t/t
Restfraktion (MBA)	1418 t/a	24 %	0,114 t/t	0,160 t/t	0,048 t/t

### b) Szenario A1

Die Kohlenstoffflüsse bei einer separaten Sammlung und Behandlung des anfallenden Gewerbemülls im Rahmen von Szenario A1 sind in Abbildung 4-7 dargestellt. Rund 78 % des Kohlenstoffinputs werden in diesem Behandlungsszenario in heizwertreiche Fraktionen transferiert und thermisch verwertet. Die Kohlenstoffgehalte der einzelnen Güterflüsse in Tabelle 4-10 unterscheiden sich nur unwesentlich von jenen des „Status Quo“. Auch der biogene Kohlenstoffanteil ist gegenüber AO beinahe unverändert, außer dass die biogenen Anteile in der mittelkalorischen Fraktion und dem Rottereststoff aus der MBA etwas ansteigen, was sich auf den höheren biogenen Anteil im Anlageninput für dieses Szenario zurückführen lässt.

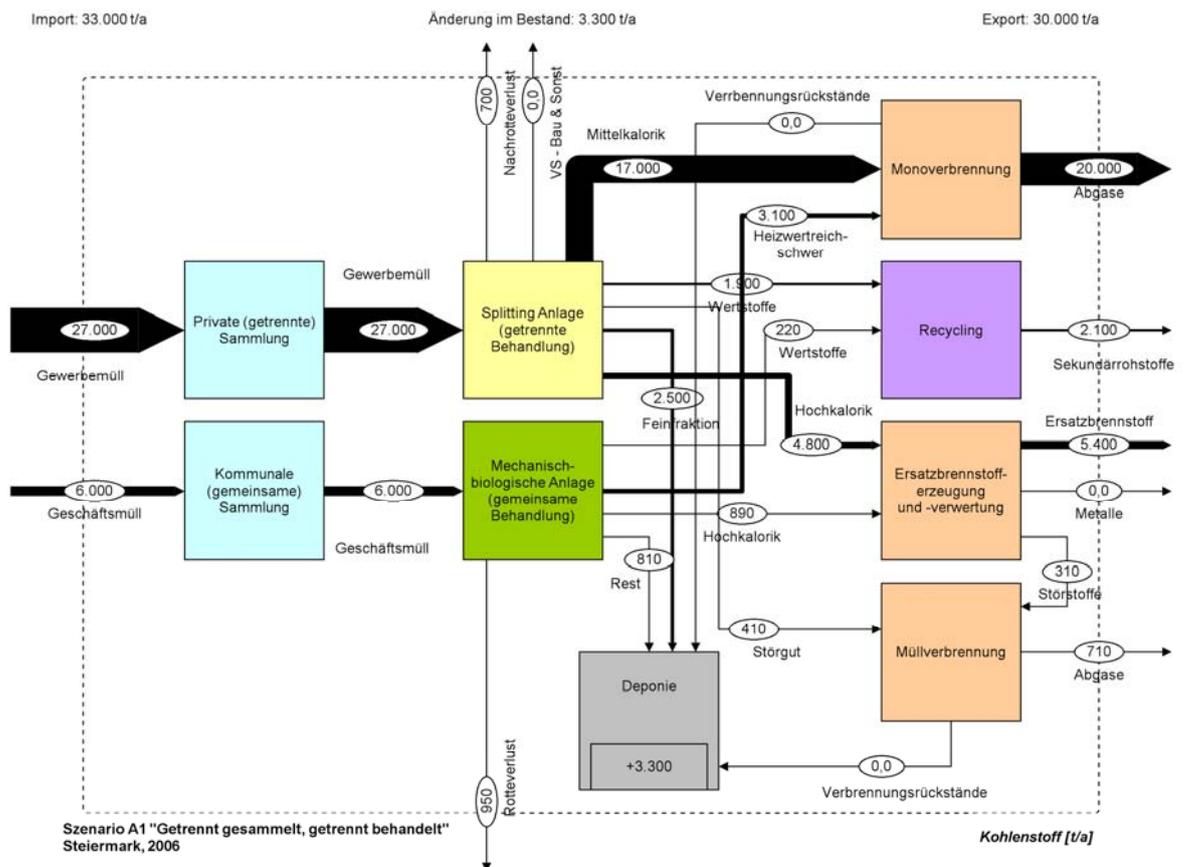


Abbildung 4-7: Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario A1

Tabelle 4-10: Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario A1

Güterströme	Massenfluss	C <sub>biogen</sub>	C- Gehalt (feucht)	C-Gehalt (trocken)	Unsicherheit (trocken)
<b>Verbrennung</b>					
Mittelkalorik (SA)	16712 t/a	51 %	0,343 t/t	0,434 t/t	0,130 t/t
Mittelkalorik (MBA)	3099 t/a	68 %	0,320 t/t	0,423 t/t	0,211 t/t
Störgut (SA)	406 t/a	34 %	0,112 t/t	0,140 t/t	0,042 t/t
Störgut (EBS)	308 t/a	41 %	0,315 t/t	0,406 t/t	0,107 t/t
Ersatzbrennstoff	5414 t/a	38 %	0,411 t/t	0,496 t/t	0,130 t/t
<b>Biologische Behandlung</b>					
Rotteverlust (MBA)	948 t/a	100 %	0,233 t/t	0,466 t/t	0,233 t/t
Nachrotteverlust	703 t/a	100 %	0,214 t/t	0,510 t/t	0,153 t/t
<b>Deponierung</b>					
Restfraktion (SA)	2454 t/a	38 %	0,187 t/t	0,231 t/t	0,069 t/t
Restfraktion (MBA)	806 t/a	37 %	0,111 t/t	0,162 t/t	0,081 t/t

### c) Szenario A2

Die Kohlenstoffflüsse für dieses Szenario sind in Abbildung 4-8 dargestellt und zeigen auch für die gemeinsame Behandlung von Geschäfts- und Gewerbemüll mit kommunalem Restmüll einen überwiegenden Austrag des Kohlenstoffs im Abfallinput über die heizwertreichen Fraktionen (ca. 69 %). Aus dem Stoffflussdiagramm



wird aber auch deutlich, dass im Zuge dieses Szenarios fast ein Viertel in die biologische Behandlung geht, wovon etwas mehr als 10 % schließlich auf Massenabfalldeponien abgelagert werden. Die Kohlenstoffgehalte der Güterflüsse im Rahmen von Szenario A2 sind in Tabelle 4-11 angeführt. Die geringfügig höheren Kohlenstoffgehalte der mittelkalorischen Fraktion gegenüber den Szenarien der getrennten Behandlung sind auf das reduzierte Masseausbringen dieses Güterstroms zurückzuführen. Der Grund für den niedrigen Anteil an biogenem Kohlenstoff im Rottereststoff liegt im verstärkten Austrag an  $C_{\text{biogen}}$  im Rahmen der intensiven biologischen Behandlung.

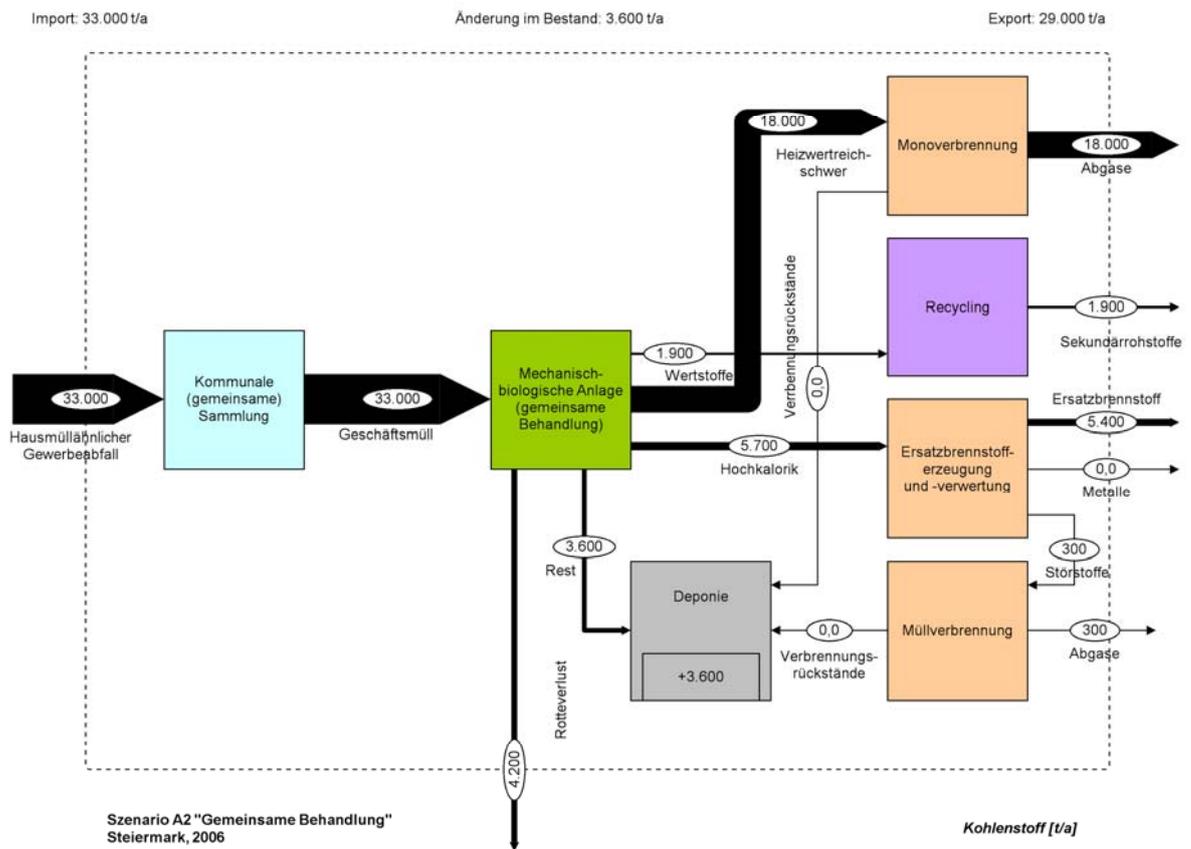


Abbildung 4-8: Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario A2

Tabelle 4-11: Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario A2

Güterströme	Massenfluss	$C_{\text{biogen}}$	C- Gehalt (feucht)	C-Gehalt (trocken)	Unsicherheit (trocken)
<b>Verbrennung</b>					
Mittelkalorik (MBA)	17568 t/a	54%	0,368 t/t	0,461 t/t	0,120 t/t
Störgut (EBS)	296 t/a	38%	0,320 t/t	0,397 t/t	0,103 t/t
Ersatzbrennstoff	5420 t/a	38%	0,412 t/t	0,496 t/t	0,129 t/t
<b>Biologische Behandlung</b>					
Rotteverlust (MBA)	4191 t/a	100 %	0,264 t/t	0,458 t/t	0,119 t/t
<b>Deponierung</b>					
Restfraktion (MBA)	3563 t/a	14 %	0,125 t/t	0,159 t/t	0,041 t/t

**d) Szenario B1**

In Abbildung 4-9 sind die Kohlenstoffflüsse einer, nach branchentypischen Abfallzusammensetzungen, getrennten bzw. gemeinsamen Behandlung von hausmüll-ähnlichen Gewerbeabfällen dargestellt. Aus dem Stoffflussdiagramm ist ersichtlich, dass in diesem Szenario fast  $\frac{3}{4}$  des Kohlenstoffinputs in heizwertreiche Fraktionen transferiert werden. Der restliche Kohlenstoff wird großteils (ca. 24 %) einer biologischen Behandlung zugeführt und entweder gasförmig ausgetragen (ca. 11 %) oder deponiert (ca. 13 %). Die Absolutwerte der Kohlenstoffflüsse sowie die C-Gehalte der einzelnen Güterflüsse sind in Tabelle 4-12 aufgelistet. Die Kohlenstoffgehalte der heizwertreichen Fraktionen liegen zwischen 294 – 362 kg Kohlenstoff pro Tonne heizwertreiche Fraktion (feucht), was unteren Heizwerten zwischen 12 und 16 MJ pro Tonne entspricht. Bezogen auf die Trockensubstanz ergeben sich für die Werte aus Tabelle 4-12 Heizwerte zwischen 16 und 20 MJ pro Tonne. Die etwas niedrigeren Heizwerte der thermisch verwerteten Güterflüsse gegenüber den A-Szenarien sind durch die unterschiedliche Abfallzusammensetzung der A- und B-Szenarien bedingt (vgl. Kapitel 3.5). Insgesamt liegen aber auch die Heizwertabschätzungen für dieses Szenario in einem plausiblen und durch die Praxis belegten Bereich. Auch im Hinblick auf die Kohlenstoffgehalte des Rotterestes ist festzuhalten, dass diese in einem plausiblen Bereich liegen und durch Literaturwerte bestätigt werden (vgl. Brunner et al., 2001).

Die relativ hohen Anteile an biogenem Kohlenstoff in Tabelle 4-12 sind durch die Abfallzusammensetzung der B-Szenarien bedingt, da der Input einen hohen Anteil an nativer Organik und an Papier und Pappe aufweist. Die bilanzierten  $C_{\text{biogen}}$ -Anteile werden daher für die Berechnung der treibhauswirksamen Emissionen im Zuge der B-Szenarien verwendet, obwohl sie gegenüber tatsächlich gemessenen Werten (vgl. Prochaska et al., 2006) sehr hoch erscheinen.

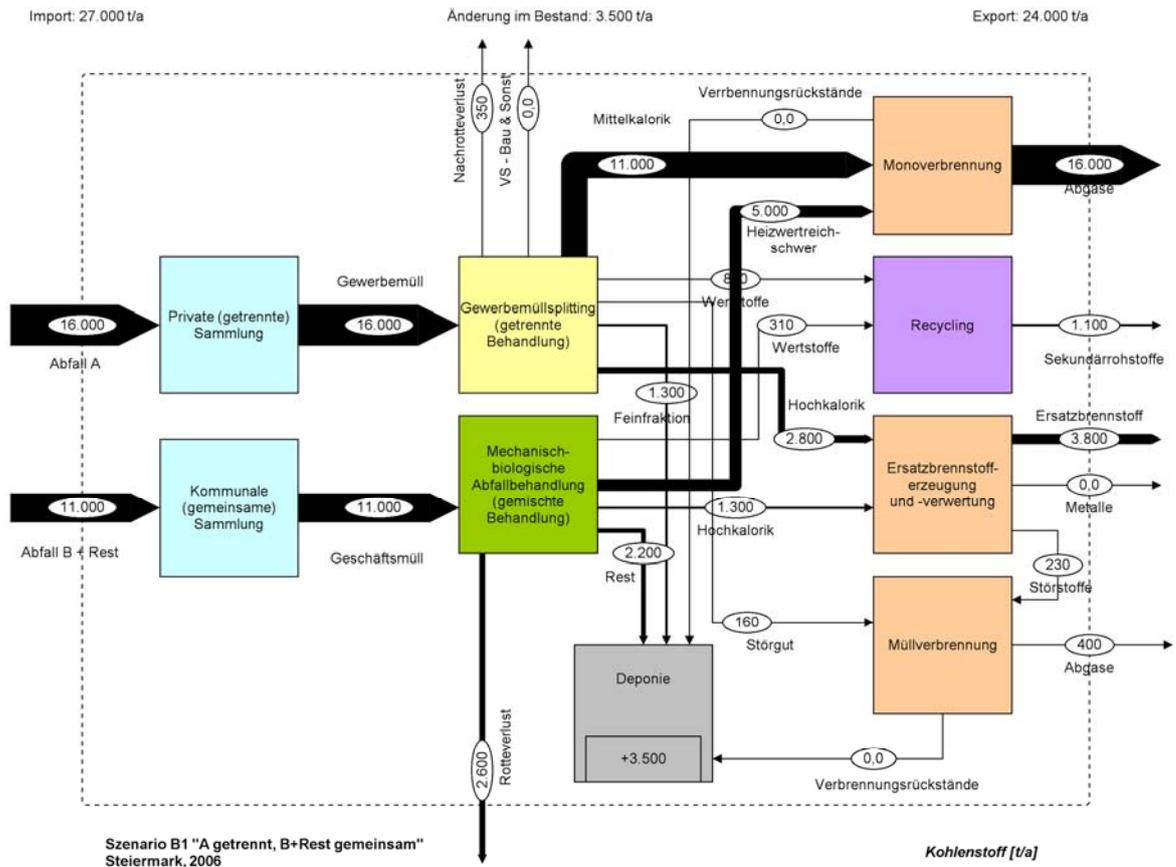


Abbildung 4-9: Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario B1

Tabelle 4-12: Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario B1

Güterströme	Massenfluss	C <sub>biogen</sub>	C- Gehalt (feucht)	C-Gehalt (trocken)	Unsicherheit (trocken)
<b>Verbrennung</b>					
Mittelkalorik (SA)	10569 t/a	71 %	0,314 t/t	0,396 t/t	0,145 t/t
Mittelkalorik (MBA)	4954 t/a	62 %	0,294 t/t	0,432 t/t	0,158 t/t
Störgut (SA)	162 t/a	47 %	0,092 t/t	0,117 t/t	0,043 t/t
Störgut (EBS)	233 t/a	60 %	0,256 t/t	0,346 t/t	0,096 t/t
Ersatzbrennstoff	3847 t/a	55 %	0,362 t/t	0,446 t/t	0,124 t/t
<b>Biologische Behandlung</b>					
Rotteverlust (MBA)	2646 t/a	100 %	0,179 t/t	0,487 t/t	0,178 t/t
Nachrotteverlust	353 t/a	100 %	0,197 t/t	0,461 t/t	0,169 t/t
<b>Deponierung</b>					
Restfraktion (SA)	1252 t/a	58 %	0,175 t/t	0,210 t/t	0,077 t/t
Restfraktion (MBA)	2249 t/a	42 %	0,114 t/t	0,170 t/t	0,062 t/t

### ***e) Szenario B2***

Die Kohlenstoffflüsse bei einer gemeinsamen Behandlung aller hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle mit kommunalem Restmüll im Rahmen von Szenario B2 sind in Abbildung 4-10 dargestellt. Etwa zwei Drittel des Kohlenstoffs werden in heizwertreichen Fraktionen akkumuliert und thermisch verwertet. Fast 30 % werden biologisch behandelt und entsprechend im Rottegas ausgetragen (ca. 16 %) oder deponiert (ca. 14 %).

Die Kohlenstoffgehalte in den verschiedenen Güterflüssen unterscheiden sich kaum von den C-Gehalten, die für Szenario B1 bilanziert wurden. Aufgrund der geringeren Menge weisen die heizwertreichen Fraktionen etwas höhere C-Gehalte auf. Der Kohlenstoffanteil im Rotterest ist hingegen relativ gering, da im Zuge der intensiven Rottephase ein großer Anteil des Kohlenstoffs gasförmig ausgetragen wird. Wie zuvor gilt auch für dieses Szenario, dass sich die Bilanzierungsergebnisse in einem plausiblen Bereich bewegen. Die niedrigeren Anteile an biogenem Kohlenstoff im Rottereststoff sind auch hier wieder auf den intensiveren biologischen Abbau im Rahmen der Rotte zurück zu führen. Ansonsten gilt auch für dieses Szenario, dass die hohen bilanzierten Anteile an biogenem Kohlenstoff vorwiegend durch die Zusammensetzung des Abfallinputs bedingt sind.

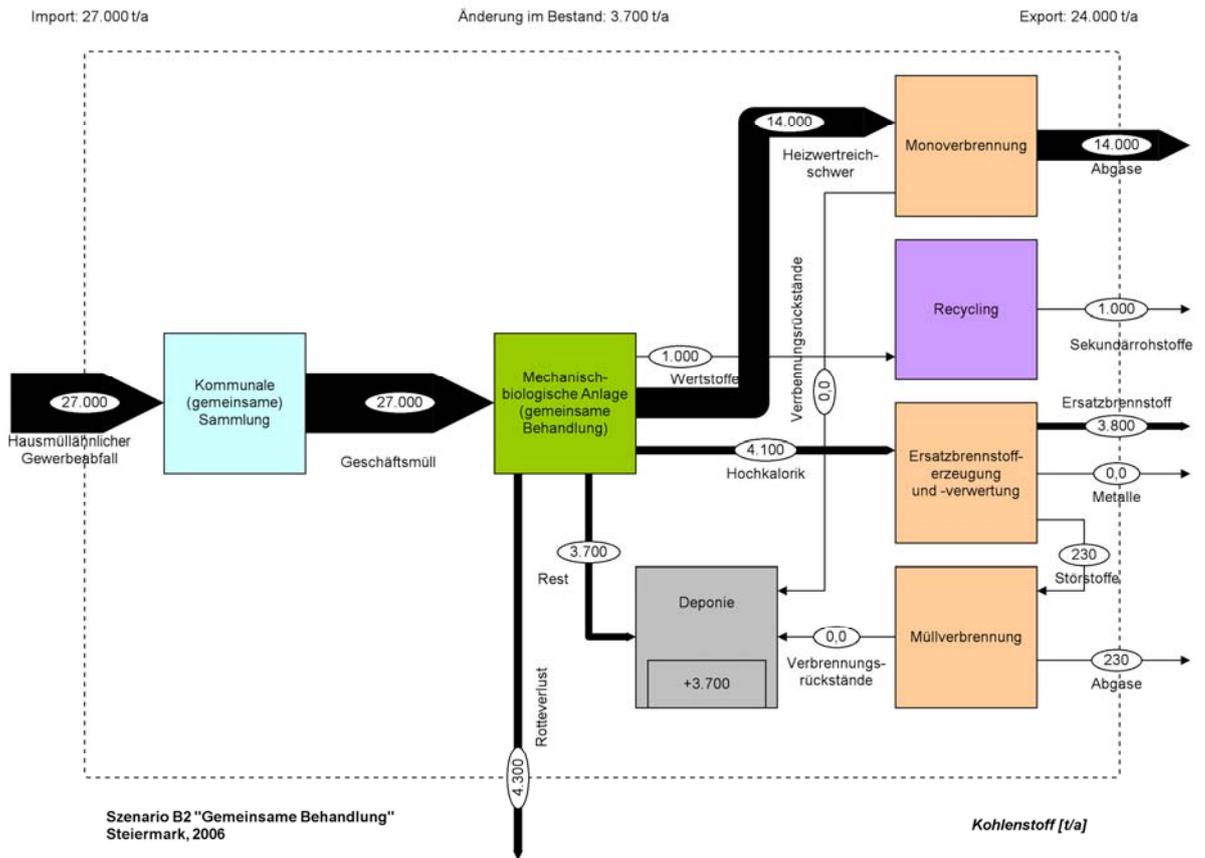


Abbildung 4-10: Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario B2

Tabelle 4-13: Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario B2

Güterströme	Massenfluss	C <sub>biogen</sub>	C- Gehalt (feucht)	C-Gehalt (trocken)	Unsicherheit (trocken)
<b>Verbrennung</b>					
Mittelkalorik (MBA)	14250 t/a	68 %	0,320 t/t	0,423 t/t	0,110 t/t
Störgut (EBS)	227 t/a	59 %	0,262 t/t	0,347 t/t	0,091 t/t
Ersatzbrennstoff	3848 t/a	55 %	0,364 t/t	0,447 t/t	0,117 t/t
<b>Biologische Behandlung</b>					
Rotteverlust (MBA)	4336 t/a	100 %	0,214 t/t	0,465 t/t	0,121 t/t
<b>Deponierung</b>					
Restfraktion (MBA)	3685 t/a	38 %	0,115 t/t	0,162 t/t	0,042 t/t

#### 4.1.2.2 Grobbilanzen – Cadmium

Die Cadmiumbilanzen dienen dazu, die Lenkung problematischer Stoffe im Rahmen der Behandlungsszenarien einander gegenüber zu stellen. Die Beurteilung der Unterschiede zwischen einzelnen Szenarien erfolgt exemplarisch für umweltrelevante Stoffe anhand der ermittelten Cadmiumflüsse.

Die Grobbilanzierung für Cadmium wird basierend auf Güterbilanzen für die Trockensubstanz des Abfallinputs vorgenommen. Die entsprechenden Eingangsdaten und die darauf basierenden Güterflussanalysen finden sich in Tabelle 4-8 (Trockensubstanz) und im Anhang (Abbildung 7-2 bis Abbildung 7-6). Im Gegensatz zur Bilanzierung des Kohlenstoffes (siehe vorheriger Abschnitt) werden die Cadmiumflüsse im Rahmen der Behandlungsszenarien nicht über die Cadmiumgehalte einzelner Sortierfraktionen, sondern über Literaturwerte zu Cadmiumgehalten in verschiedenen Güterströmen ermittelt. Die Aschegehalte der thermisch behandelten Güterflüsse werden anhand von Untersuchungen durch Kost (2001) sortierfraktionsbezogen bestimmt und erlauben somit die Bestimmung der Transferkoeffizienten in die Verbrennungsrückstände (Schlacke, Filteraschen).

#### **a) A – Szenarien**

Um eine Bandbreite an verschiedenen Cadmiumgehalten berücksichtigen zu können wurden die Massenkonzentrationen der Güterflüsse für die Szenarien der Serie A und der Serie B unterschiedlich gewählt. Für die A-Szenarien werden geringere Cadmiumgehalte als in kommunalem Restmüll angesetzt, da im Restmüll die Hälfte der Cadmiumfracht in NiCd-Batterien enthalten ist (vgl. Skutan & Brunner, 2006), der Anteil an Batterien in hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen aber niedriger eingeschätzt wird (siehe z.B. Kranert, 2004). Die Literaturwerte zu Cadmiumgehalten im Restmüll beziehen sich in der Regel auf Hausmüll bzw. kommunalen Restmüll und werden daher für die Bilanzierung der A-Szenarien angepasst. Güterflüsse, welche kaum Batterien oder andere für Hausmüll typische Cadmiumträger aufweisen, wurden unverändert aus der Literatur übernommen, da für diese keine grundsätzlichen Unterschiede zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen bestehen. Die Cadmiumgehalte des Abfallinputs und der Güterströme mit Cadmiumkontaminationen durch Batterien (z.B. Eisenschrott) wurden gegenüber Literaturwerten entsprechend verringert. Die verwendeten Cadmiumgehalte zur Erstellung der Grobbilanz, basierend auf den Bilanzen für die Trockensubstanz der Güterflüsse, sind in Tabelle 4-14 dargestellt.



Tabelle 4-14: Cadmiumgehalte der Güterströme im Rahmen der A-Szenarien (geringer als in kommunalem Restmüll)

Güterfluss	Cadmiumgehalt [m <sub>Cd</sub> /m <sub>TS</sub> ]	Quelle bzw. Berechnungsbasis
Ersatzbrennstoff	8,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Feinfraktion	3,00 mg/kg	basierend auf [1] unter Berücksichtigung des Rotteverlustes
Geschäftsmüll	6,00 mg/kg	reduziert gegenüber Werten für kommunalem Restmüll aus [1] und [2], da weniger NiCd-Batterien
Gewerbemüll	6,00 mg/kg	reduziert gegenüber Werten für kommunalem Restmüll aus [1] und [2], da weniger NiCd-Batterien
Hochkalorik	10,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Hochkalorik	10,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Nachrotteverlust	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen lt. [1] vernachlässigbar
Reingas (Verbr.)	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen vernachlässigbar (vgl. [3])
Rotterest	4,00 mg/kg	basierend auf [1] unter Berücksichtigung des Rotteverlustes
Rotteverlust	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen lt. [1] vernachlässigbar
Störgut (Splitting)	6,00 mg/kg	basierend auf [1] für heizwertreiche Fraktion
Störgut (EBS)	6,00 mg/kg	basierend auf [1] für heizwertreiche Fraktion
VS - Bau & Sonst	2,00 mg/kg	Hintergrundkonzentration an Cd im Restmüll (siehe [1])
Wertstoffe	berechnet	Annahme von 50 mg Cd/kg Eisenschrott, da weniger Batterien im Abfall als in kommunalem Restmüll (die Hälfte des Fe wird durch Magnetabscheider entfernt; restliche Wertstofffraktionen Cd-frei)
[1] Skutan und Brunner, 2006; [2] Belevi und Baccini, 1989; [3] Fehring et al., 1997		

### „Status Quo“ (A0)

Abbildung 4-11 zeigt die Ergebnisse der Cadmiumbilanzierung für den „Status Quo“. Anhand des abgebildeten Stoffflussdiagramms lässt sich feststellen, dass ein Großteil des Cadmiums im Abfallinput letztendlich zur Deponierung gelangt (ca. 58 %). Je nach Güterfluss, in dem das Cadmium beinhaltet ist, unterscheidet sich der Deponietyp auf dem es zur Ablagerung kommt. Filteraschen aus der Müllverbrennung werden beispielsweise auf Untertagedeponien abgelagert, Bauschutt aus der Vorsortierung gelangt dagegen in der Regel auf Baurestmassendeponien. Das restliche Cadmium ist zum Großteil in den Recyclinggütern (in erster Linie im Eisenschrott) und in den Ersatzbrennstoffen für die Zementindustrie enthalten. Hinsichtlich der Analyse der Senken für die einzelnen Cadmiumflüsse und der Beurteilung deren Eignung wird an dieser Stelle auf die Szenariobewertung in Kapitel 4.2 verwiesen.

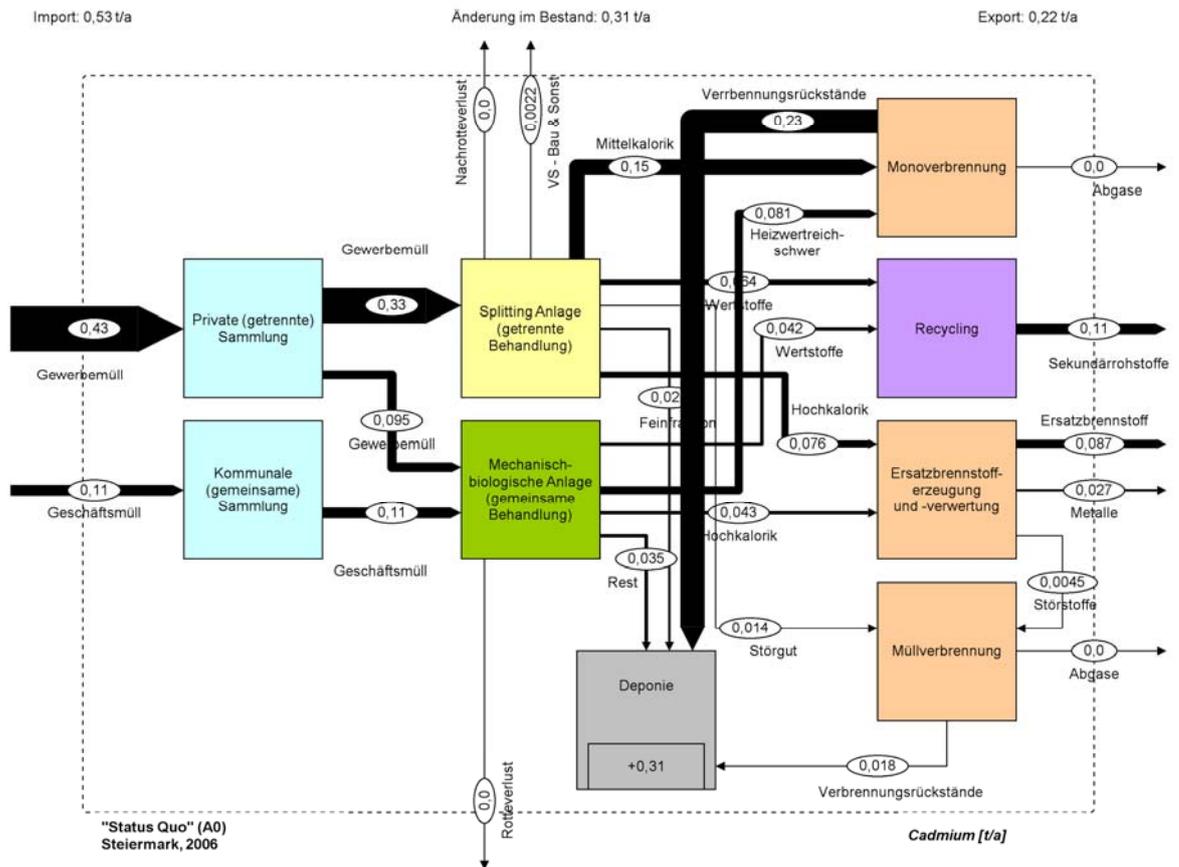


Abbildung 4-11: Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für den „Status Quo“ (A0)

### Szenario A1 „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“

Die Cadmiumflüsse für das Szenario einer möglichst getrennten Sammlung und Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle sind in Abbildung 4-12 dargestellt. Auch hier wird der Großteil des Cadmiums auf Deponien abgelagert (ca. 58 %). Das restliche Cadmium wird vorwiegend über die Recyclinggüter und die Ersatzbrennstoffe aus dem System ausgeschleust und in die Verwertungsprozesse eingetragen. Wie sich das Cadmium in den einzelnen Güterflüssen verhält bzw. welche Probleme damit verbunden sind, wird später im Rahmen der Bewertung des Szenarios diskutiert.

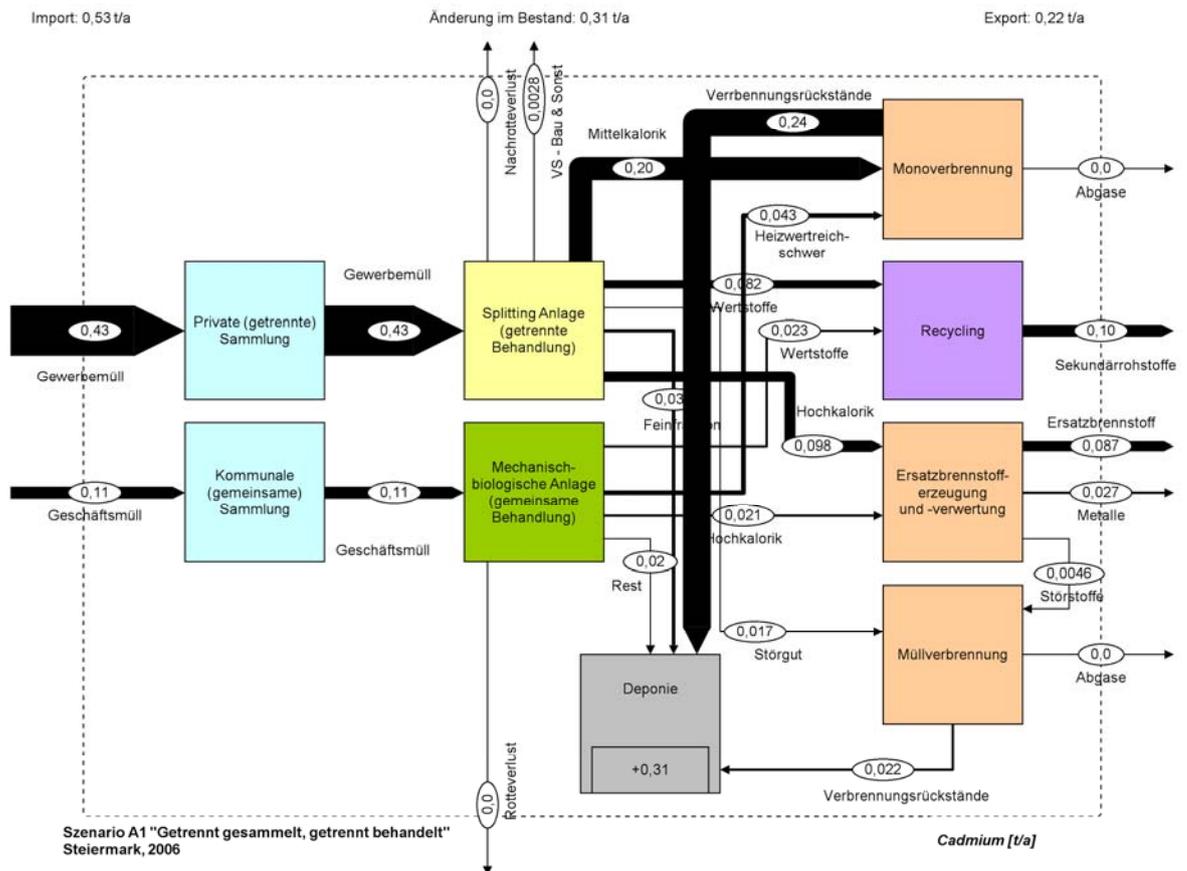


Abbildung 4-12: Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario A1

### Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“

Die Cadmiumflüsse im Rahmen dieses Szenarios sind in Abbildung 4-13 dargestellt. Auch im Rahmen der gemeinsamen Behandlung wird der Großteil des Cadmiums auf Deponien abgelagert (ca. 59 %); vorwiegend ist das Cadmium zwar in Verbrennungsrückständen enthalten, wobei sich ein Anteil von ca. 30 % im Rottereststoff findet und mit diesem deponiert wird. Ansonsten machen auch in diesem Szenario die Recyclinggüter und die Ersatzbrennstoffe zur Zementindustrie beinahe die gesamte restliche Cadmiumfracht aus.

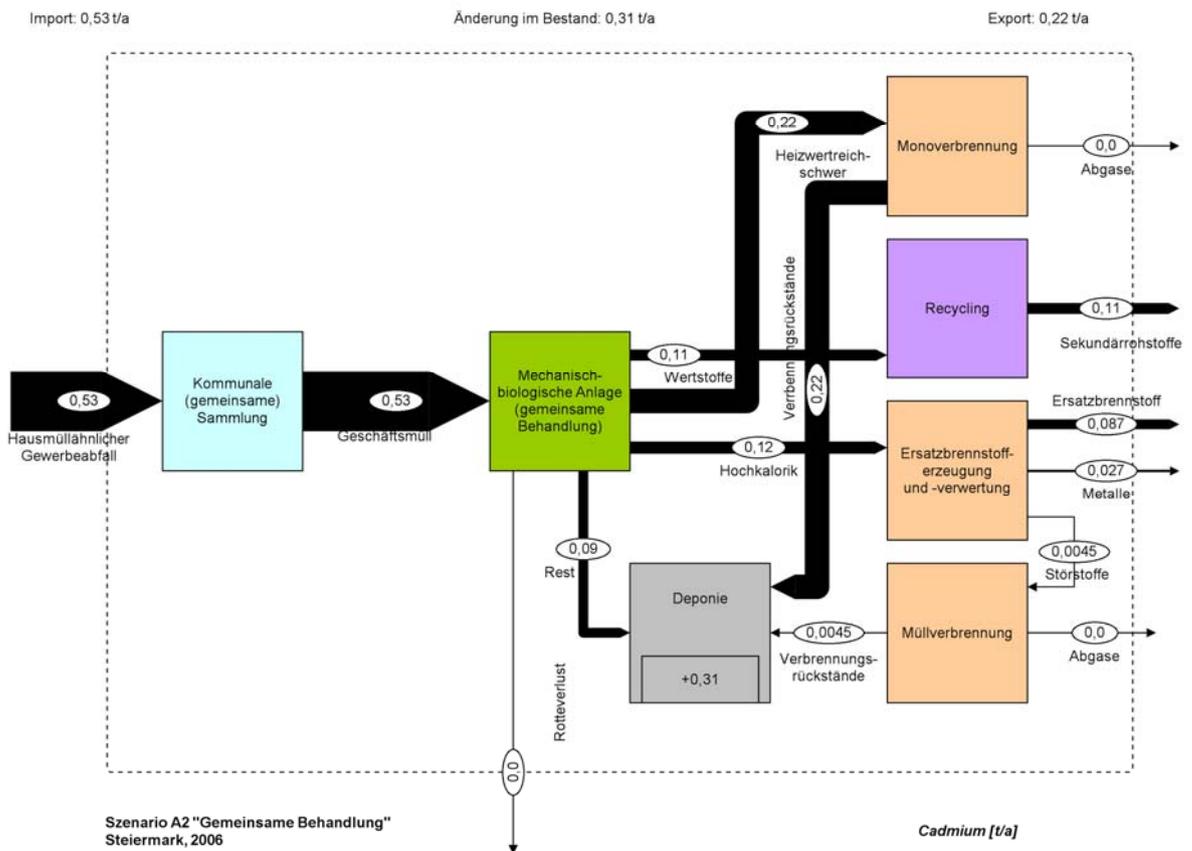


Abbildung 4-13: Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario A2

### a) B-Szenarien

Für die B-Szenarien werden Cadmiumgehalte angesetzt (Tabelle 4-15), die jenen des kommunalen Restmülls entsprechen und dadurch wahrscheinlich zu einer Überschätzung der tatsächlichen Cadmiumfrachten in hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen führen (siehe vorher). Diese Annahme soll eine Einschätzung der Auswirkungen verschiedener Behandlungsoptionen bei vergleichsweise höheren Cadmiumgehalten der Abfälle erlauben. Ergeben sich für beide Szenarioserien ähnliche Schlussfolgerungen, so können diese als robust im Hinblick auf die „tatsächliche“ Cadmiumkonzentration im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall angesehen werden und erlauben daher Aussagen über die Lenkung der Cadmiumflüsse, obwohl die tatsächlichen Cadmiumgehalte im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall weitgehend unbekannt sind.

Die Cd-Gehalte aus Tabelle 4-15 führen vor allem für die Schrottfraction zu deutlich höheren Cadmiumfrachten als dies bei den A-Szenarien der Fall war, da hier aufgrund von NiCd-Akkumulatoren in der entsprechenden Restmüllfraction deutlich höhere Werte angesetzt werden.



Tabelle 4-15: Cadmiumgehalte der Güterströme im Rahmen der B-Szenarien (ähnlich zu kommunalem Restmüll)

Güterfluss	Cadmiumgehalt [m <sub>Cd</sub> /m <sub>TS</sub> ]	Quelle bzw. Berechnungsbasis
Ersatzbrennstoff	10,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Feinfraktion	3,00 mg/kg	basierend auf [1] unter Berücksichtigung des Rotteverlustes
Geschäftsmüll	10,00 mg/kg	Werte für kommunalem Restmüll (vgl. [1] und [2])
Gewerbemüll	10,00 mg/kg	Werte für kommunalem Restmüll (vgl. [1] und [2])
Hochkalorik	12,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Hochkalorik	12,00 mg/kg	vgl. Werte für Kunststofffraktionen aus [1]
Nachrotteverlust	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen lt. [1] vernachlässigbar
Reingas	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen vernachlässigbar (vgl. [3])
Rest	4,00 mg/kg	basierend auf [1] unter Berücksichtigung des Rotteverlustes
Rotteverlust	0,00 mg/kg	Cd-Emissionen lt. [1] vernachlässigbar
Störgut	6,50 mg/kg	basierend auf [1] für heizwertreiche Fraktion
Störstoffe	6,50 mg/kg	basierend auf [1] für heizwertreiche Fraktion
VS - Bau & Sonst	2,00 mg/kg	Hintergrundkonzentration an Cd im Restmüll (siehe [1])
Wertstoffe	berechnet	Annahme von 200 mg Cd/kg Eisenschrott, ähnlich zu kommunalem Restmüll (die Hälfte des Fe wird durch Magnetabscheider entfernt; restliche Wertstofffraktionen Cd-frei)

[1] Skutan und Brunner, 2006; [2] Belevi und Baccini, 1989; [3] Fehringer et al., 1997

**Szenario B1 „Abfallcharakteristik – getrennte Behandlung“**

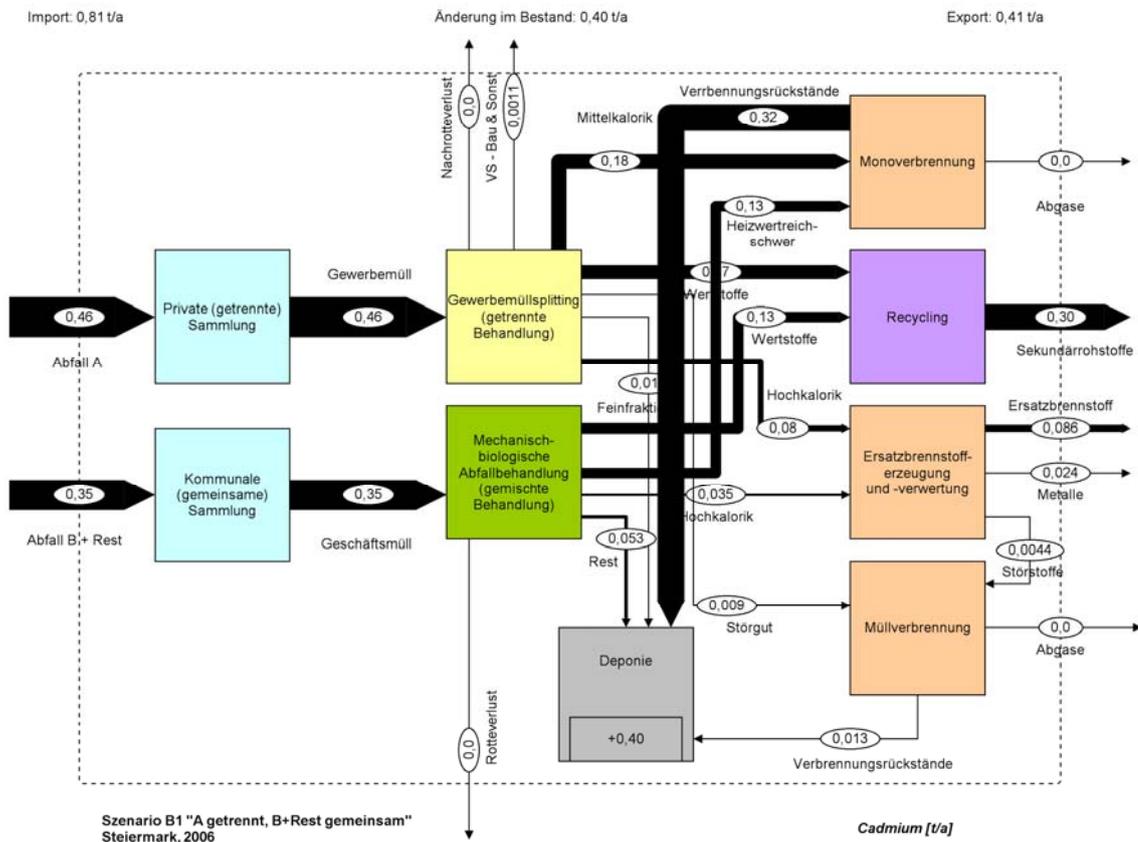


Abbildung 4-14: Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario B1

In Abbildung 4-14 sind die Ergebnisse der Cadmiumbilanzierung für dieses Szenario dargestellt. Aus dem Stoffflussdiagramm ist ersichtlich, dass ca. die Hälfte des Cadmiuminputs in den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen auf Deponien abgelagert wird. Die andere Hälfte ist in den Güterströmen zur thermischen und stofflichen Verwertung enthalten, wobei die Schrottfractionen (Metallrecycling) ca. 37 % des gesamten Cadmiums aus dem Abfallinput beinhalten. Die verhältnismäßig große Cadmiumfracht in den Recyclinggütern ist somit vorwiegend auf die hohen Cadmiumgehalte im Eisenschrott zurückzuführen.

**Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung“**

Die Cadmiumflüsse im Rahmen dieses Szenarios zeigt Abbildung 4-15. Auch hier wird eine Hälfte des Cadmiums auf Deponien abgelagert und die andere Hälfte in Recyclinggütern und Ersatzbrennstoffen für die Zementindustrie ausgetragen. Wie zuvor beinhalten die Sekundärrohstoffe aufgrund der hohen Cadmiumgehalte im Eisenschrott den größten Cadmiumfluss. Welche Senken für dieses Cadmium in Frage kommen und ob diese als geeignet bezeichnet werden können wird im Zuge der Szenariobewertung (siehe Kapitel 4.2) weiter diskutiert.

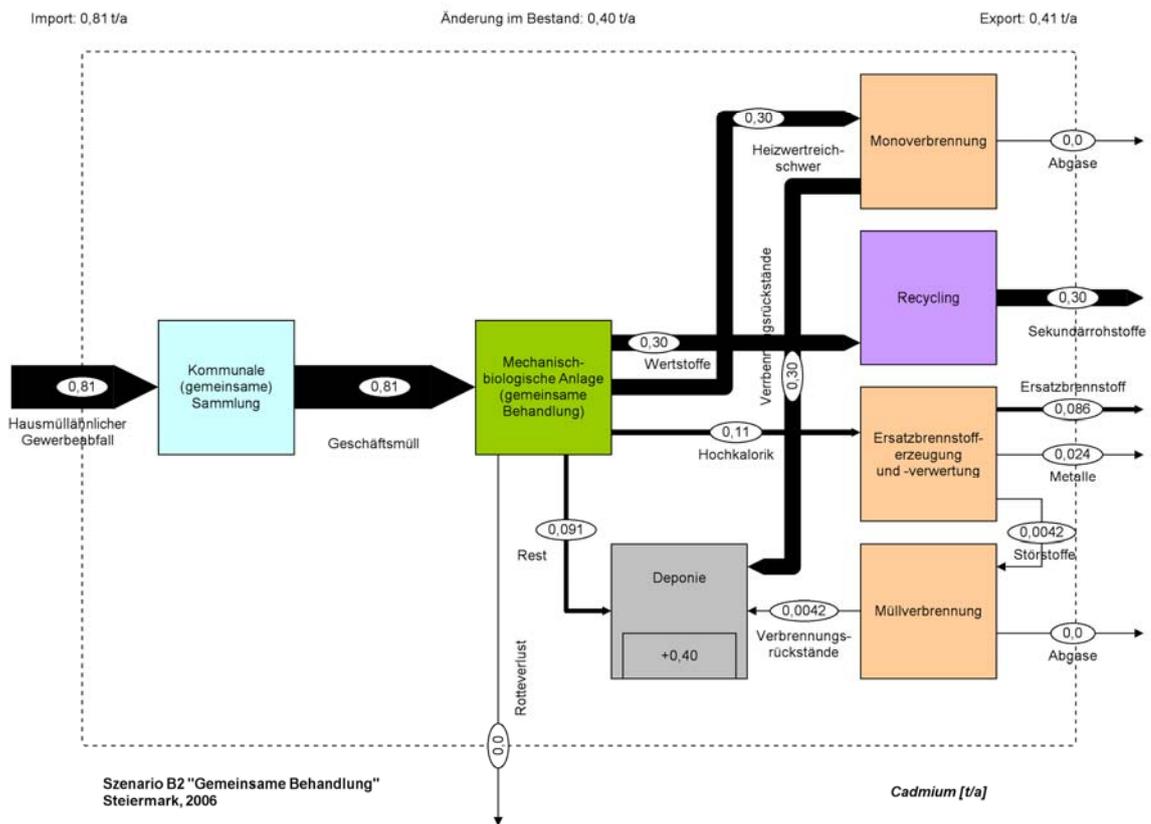


Abbildung 4-15: Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario B2



## 4.2 Bewertung der Szenarien

Die Bewertung der verschiedenen Behandlungsszenarien erfolgt anhand der Kriterien aus Kapitel 3.4 nach der in Abschnitt 3.5.2 beschriebenen Methodik. Die Bewertung mittels des kumulierten Energieaufwandes (KEA) und des Treibhauspotentials (THP) bezieht den gesamten Lebenszyklus der bilanzierten Güter mit ein. Bei der Beurteilung der Treibhausrelevanz der einzelnen Szenarien werden somit zusätzlich zu den direkten, im Zuge der Behandlung freigesetzten, Emissionen auch indirekte Emissionen, die mit der Bereitstellung eines Gutes verbunden sind, berücksichtigt. Außer diesen beiden Kennwerten werden noch das benötigte Deponievolumen und die Steuerung problematischer Stoffe in geeignete Senken (exemplarisch anhand von Cadmium) als Kriterien zur Beurteilung der Erfüllung abfallwirtschaftlicher Ziele heran gezogen.

Obwohl die Stoff- und Güterbilanzen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten aufgrund der Unschärfe in den Abschätzungen zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark erstellt wurden, wird die Bewertung der Szenarien nur für die Mittelwerte der bilanzierten Güter- und Stoffflüsse durchgeführt. Da sich die berechneten Unsicherheiten im Rahmen der Szenariobilanzierungen nicht signifikant voneinander unterscheiden (vgl. Kapitel 4.1) und die Szenarien ohnehin als „Modellsysteme“ zu betrachten sind, erscheint eine Bewertung anhand der berechneten Mittelwerte angebracht. Einerseits liegen die Unsicherheiten der Güterflüsse generell im Bereich von 30 % und andererseits soll für die durchgeführten Bewertungen nicht der Eindruck entstehen, dass Unsicherheiten der Bewertungsergebnisse nur auf die Unschärfe der Eingangsdaten aus den Güter- und Stoffflussanalysen zurückzuführen wären. Außer den Unsicherheiten bei der Ermittlung von Transferkoeffizienten der einzelnen Behandlungsanlagen für unterschiedliche Abfallinputs, die derzeit nicht quantifizierbar sind, sind auch die Indikatorwerte zur Berechnung der Bewertungskriterien, die Annahmen zum Deponieverhalten abgelagerter Güter (Gasbildung, Schwermetallmobilität usw.) und andere Abschätzungen im Zuge der Szenariobewertung mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet. Im Hinblick auf die Funktion der entwickelten Szenarien, nämlich einen modellhaften Vergleich unterschiedlicher Behandlungsoptionen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zu ermöglichen, erscheint eine aufwendige, quantitative Analyse der letztendlichen Bewertungsunsicherheit nicht notwendig. Die Unsicherheiten der Bewertungsergebnisse und die Zuverlässigkeit der daraus abgeleiteten Aussagen werden dagegen im Rahmen von Kapitel 4.4 anhand einer qualitativen Diskussion dargestellt.

Die Indikatorwerte verschiedener Güter für den KEA und das THP finden sich im Anhang in Tabelle 7-13. Die Bilanzierung des KEA beruht einerseits auf diesen Werten und den Massenflüssen der entsprechenden Güter sowie andererseits auf den Aufwendungen für die Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle. Die Gutschriften für die thermische Verwertung werden anhand der jeweiligen Anlagenwirkungsgrade, gemessener Heizwerte für die erzeugten Brennmaterialien und unter der Annahme, dass durch die Nutzung der Sekundärbrennstoffe Steinkohle ersetzt wird, ermittelt. Die Datengrundlage zur Bilanzierung der thermischen Verwertung ist im Anhang in Tabelle 7-14 zusammengefasst. Die angeführten Heizwerte der ausgetragenen heizwertreichen Fraktionen basieren auf Literaturdaten, sie decken sich aber auch mit den Heizwerten, die aufgrund der bilanzierten Kohlenstoffgehalte dieser Güter zu erwarten wären (siehe dazu Abschnitt 4.1.2.1).

Für die Ermittlung der freigesetzten Menge treibhausrelevanter Gase stellen die Indikatorwerte aus Tabelle 7-13 die Grundlage zur Bilanzierung der indirekten Emissionen im Zuge der einzelnen Behandlungsszenarien dar. Die direkten Emissionen werden für jedes Szenario basierend auf den ermittelten Güter- und Kohlenstoffflüssen abgeschätzt. Die freigesetzten Kohlenstoffverbindungen aus den verschiedenen Behandlungsprozessen sind in Tabelle 4-16 angeführt. Nachdem CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund des biologischen Abbaues organischen Materials und aus der Verbrennung biogener Kohlenstoffanteile in Brennstoffen nicht als treibhauswirksam eingestuft werden (vergleiche IPCC, 2007), wird deren Anteil im Rahmen der nachfolgenden Bewertung entsprechend berücksichtigt. Basierend auf den quantitativen Kohlenstoffflüssen, deren biogenen oder fossilen Ursprung, und den Annahmen zu den ausgetragenen Verbindungen aus Tabelle 4-16 wird die Treibhausrelevanz der direkten Emissionen ermittelt. Die Abschätzung der produzierten Deponiegasmenge des Rottereststoffes erfolgt bezogen auf die abgelagerte Trockensubstanz anhand von Literaturwerten aus Kettern et al. (1999) und Brunner et al. (2001). Als Mittelwert aus den Literaturwerten wird ein Deponiegaspotential von 35 l Deponiegas pro kg Trockensubstanz für die Rotterestfraktion aus der biologischen Behandlung angesetzt. Für den Nachrotterest aus der Gewerbeabfallsplittinganlage wird, basierend auf dem durchschnittlichen Kohlenstoffverhältnis der beiden Rottereststoffe (siehe Abschnitt 4.1.2.1), eine Deponiegasspende von 50 l Deponiegas pro kg Trockensubstanz angenommen. Die Zusammensetzung des Deponiegases entspricht für beide Reststoffe den Angaben in Tabelle 4-16, wobei die CO<sub>2</sub>-Anteile als treibhausneutral anzusehen sind und somit nicht in die Ermittlung des Treibhauspotentials eingehen.



Tabelle 4-16: *Emittierte Kohlenstoffverbindungen für verschiedene Behandlungsprozesse*

Prozess	Beschreibung
Verbrennung	Kohlenstoff wird vollständig als CO <sub>2</sub> ausgetragen
Rotte	Kohlenstoff wird vollständig als CO <sub>2</sub> ausgetragen
Deponie (Massenabfall)	Kohlenstoff wird zu 50 Vol% als CO <sub>2</sub> und 50 Vol% als CH <sub>4</sub> ausgetragen (vgl. Ketter et al., 1999)*
* Die Deponiegasspende wird basierend auf Literaturwerten in Abhängigkeit der abgelagerten Reststoffmengen abgeschätzt. Entsprechend den Kohlenstoffgehalten der Reststoffe, wird für MBA-Reststoffe eine Gassumme 35 l pro kg TS und für die Splitting-Feinfraktion eine Gassumme von 50 l pro kg TS angenommen.	

Das benötigte Deponievolumen wird für die einzelnen Szenarien anhand der deponierten Güterflüsse und anhand von Angaben zur Lagerungsdichte der verschiedenen Deponietypen (aus Brunner et al., 2001) berechnet. Für Massenabfalldeponien beträgt die Lagerungsdichte  $\rho = 1,3$  Tonnen pro m<sup>3</sup>, für Untertage-, Reststoff- und Baurestmassendeponien  $\rho = 1,5$  Tonnen pro m<sup>3</sup>.

Die Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken wird am Beispiel von Cadmium, basierend auf den Bilanzen aus Abschnitt 4.1.2.2, diskutiert. Die Senken des Cadmiums, welches aus dem Betrachtungssystem exportiert wird, werden anhand typischer Verwertungswege für die entsprechenden Güter beurteilt. Eisenschrott und das darin enthaltene Cadmium wird in der Stahlindustrie verwertet, wobei sich das Cadmium in den Filterstäuben der Abluftreinigung akkumuliert. Cadmium in den Ersatzbrennstoffen zur Zementindustrie wird in den Klinker und in weiterer Folge in den produzierten Zement eingetragen<sup>7</sup>. Eine Diskussion der unterschiedlichen Cadmiumpfade und der einzelnen Verwertungswege erfolgt im Rahmen der Szenariobewertungen. Die Eignung der Senken für Cadmium wird dabei in erster Linie im Hinblick auf einen langfristigen (zehntausende Jahre) Aufenthalt in definierten Umweltkompartimenten beurteilt, daneben wird aber auch der Aspekt einer Aufkonzentrierung und späteren Rückgewinnung aus den Senken diskutiert.

Transportaufwendungen im Zuge der verschiedenen Behandlungsszenarien werden nicht mitbilanziert. Es wird dagegen versucht, anhand eines Vergleiches der Bilanzierungsergebnisse mit den Aufwendungen für einen Tonnenkilometer LKW-Transport, Aussagen über die potentielle Bedeutung der logistischen Verhältnisse für einzelne Szenarien zu machen. Diese generische Berücksichtigung von Transportleistungen erleichtert eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Gebiete bzw. Systeme mit unterschiedlichen logistischen Rahmenbedingungen.

<sup>7</sup> Ca. 95 % des Cadmiums im Brennstoff werden bei der Zementproduktion in das Produkt eingetragen (siehe Fehring et al., 1997)

#### 4.2.1 „Status Quo“ (A0)

Die Bewertung wird für den „Status Quo“ ausführlich anhand der Berechnungstabellen zu den verschiedenen Kriterien dargestellt. Die Bewertungsergebnisse für die anderen Szenarien werden gekürzt in Form von Ergebnistabellen präsentiert, sie folgen aber dem Berechnungsschema, das im Rahmen dieses Szenarios beschrieben und dargestellt wird.

Die Ergebnisse der Bilanzierung des kumulierten Energieaufwandes sind in Tabelle 4-17 angeführt. Gutschriften werden für die Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe erteilt<sup>8</sup> und für die Substitution von Primärenergieträgern (Steinkohle) durch die erzeugten Abfallbrennstoffe. Als Abzüge in der Bilanzierung werden die Energieaufwendungen zur Behandlung der Abfälle berücksichtigt, wobei Transportaufwendungen für die Sammlung der Abfälle und zwischen Aufbereitungs- und Verwertungsschritten in der Bilanzierung nicht inkludiert sind. Da die logistischen Rahmenbedingungen im Zuge der Szenarien nicht untersucht werden, werden die Aufwendungen generisch für einen Tonnenkilometer LKW-Transport erhoben und dem Ergebnis der Bilanzierung gegenüber gestellt. Der Primärenergiebedarf für den Transport einer Tonne Material mit einem LKW (mit Anhänger) beträgt 1,6 MJ (siehe Tabelle 7-13 im Anhang). Mit der berechneten Gutschrift aus Tabelle 4-17 könnte man den gesamten hausmüllähnlichen Gewerbeabfall der Steiermark somit 5.900 km transportieren.

Die Berechnung des Treibhauspotentials für den „Status Quo“ ist in Tabelle 4-18 dargestellt und ergibt sich einerseits aus den Gutschriften für die stoffliche und thermische Verwertung von Outputgütern aus der Abfallbehandlung und andererseits aus den direkten und indirekten Emissionen die mit der Abfallaufbereitung bzw. Verwertung verbunden sind. Die Gutschriften werden nach dem gleichen Schema wie für den kumulierten Energieaufwand berechnet. Die direkten Emissionen im Zuge des „Status Quo“ beruhen im Prinzip auf den Kohlenstoffbilanzen aus Abschnitt 4.1.2.1, ausgenommen davon sind die Abschätzungen zum produzierten Deponiegas aus dem Rottereststoff, welche auf der abgelagerten Trockenmasse basieren. Die Berechnung des Treibhauspotentials erfolgt für klimarelevante Anteile der Kohlenstoffemissionen. Laut IPCC ist das jener Teil, der nicht aus dem biologischen Abbau organischer Substanz<sup>9</sup> bzw. aus der Verbrennung biogener Brennstofffraktio-

---

<sup>8</sup> Die Gutschrift (G) ergibt sich aus dem Aufwand zur Erzeugung der Sekundärrohstoffe ( $A_S$ ) gegenüber dem Aufwand zur Erzeugung des substituierten Primärrohstoffes ( $A_P$ )  $\rightarrow (G = A_P - A_S)$ .

<sup>9</sup> Sofern  $CO_2$  erzeugt wird (aerober Abbau) wird dieses als klimaneutral angesehen, produziertes  $CH_4$  (anaerober Abbau) wird aufgrund seiner 21-fachen Wirkung zur Berechnung des Treibhauspotentials heran gezogen.



nen stammt. Die Ermittlung der indirekten Emissionen erfolgt in gleicher Weise wie bereits für den KEA. Transportaufwendungen sind nicht in den Bilanzen berücksichtigt sondern können wiederum dem Bilanzierungsergebnis gegenüber gestellt werden. Der Transport einer Tonne Material durch einen LKW mit Anhänger (inklusive der Vorkette zur Bereitstellung dieser Leistung) ist mit einem Ausstoß klimarelevanter Gase von 0,1191 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten verbunden (siehe Tabelle 7-13 im Anhang). Die erzielten Entlastungen im Rahmen von AO würden also ausreichen um den gesamten hausmüllähnlichen Gewerbeabfall der Steiermark 3.500 km weit zu transportieren.

Tabelle 4-17: Berechnungstabelle für den „Status Quo“ (AO) zur Bilanzierung des KEA

<b>Kumulierter Energieaufwand</b>				
<b>Gutschriften – stoffliche Verwertung</b>				
<b>Güter</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Ersatzprodukt</b>	<b>Gutschrift [GJ / 10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>KEA [GJ]</b>
Aluminiumschrott	193	Primäraluminium	169,45	32.619
Kupferschrott	168	Primärkupfer	43,70	7.342
Eisenschrott	3856	Oxygenstahl	10,01	38.577
Altholz	5249	Holz (Roh)	0,30	1.596
<b>Gutschriften – energetische Verwertung</b>				
<b>Anlage</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Nutzbare Energie* [GJ]</b>	<b>Ersetzte Steinkohle [10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>KEA [GJ]</b>
Wirbelschichtofen	56062	609949	24325	747.582
Zementwerk	13201	264025	8950	275.061
Müllverbrennung	3769	11871	473,43	14.550
* Daten zur Bilanzierung der thermischen Verwertung finden sich in Tabelle 7-14.				
<b>Aufwendungen – Abfallaufbereitung</b>				
<b>Behandlung</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Energieaufwand [GJ]</b>	<b>Energieform</b>	<b>KEA [GJ]</b>
Splitting	70000	8820	el. Strom	14.941
MBA	45000	8910	el. Strom	15.094
EBS-Aufbereitung	14415	1816	el. Strom	3.077
<b>KEA-Gutschrift</b>				<b>1.084.216</b>

Tabelle 4-18: Berechnungstabelle für den „Status Quo“ (AO) zur Bilanzierung der Treibhausgase

<b>Treibhauspotential</b>				
<b>Gutschriften – stoffliche Verwertung</b>				
<b>Güter</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Ersatzprodukt</b>	<b>Gutschrift [kg CO<sub>2</sub>-Äq./ kg]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Aluminiumschrott	193	Primäraluminium	10,79	2.077
Kupferschrott	168	Primärkupfer	3,68	618
Eisenschrott	3856	Oxygenstahl	1,09	4.187
Altholz	5249	Holz (Roh)	0,02	122
<b>Gutschriften – energetische Verwertung</b>				
<b>Anlage</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Nutzbare Energie* [GJ]</b>	<b>Ersetzte Steinkohle [t]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Wirbelschichtofen	56062	609949	24325	67.884
Zementwerk	13201	264025	8950	24.977
Müllverbrennung	3769	11871	473,43	1.321
* Daten zur Bilanzierung der thermischen Verwertung finden sich in Tabelle 7-14.				
<b>Direkte Emissionen – Verbrennung</b>				
<b>Anlage</b>	<b>Kohlenstofffluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Massenfaktor [-]</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß [10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Wirbelschichtofen	19321	3,67	70844	32.636
Zementwerk	5415	3,67	19855	12.278
Müllverbrennung	621	3,67	2276	1.432
<b>Direkte Emissionen – Rotte</b>				
<b>Anlage</b>	<b>Kohlenstofffluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Massenfaktor [-]</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß [10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Rotteverlust (MBA)	1669	3,67	6119	0
Rotteverlust (SA)	538	3,67	1974	0
<b>Direkte Emissionen – Deponien</b>				
	<b>Massenfluss - TS [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß* [10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>CH<sub>4</sub>-Ausstoß** [10<sup>3</sup> kg]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Rotterest (MBA)	8840	300	109	2.294
Rotterest (SA)	8255	400	146	3.062
* CO <sub>2</sub> -Menge (klimaneutral) MBA-Rotterest: 33,9 g CO <sub>2</sub> / kg TS, Gasmenge SA-Rotterest: 48,4 g CO <sub>2</sub> / kg TS				
** CH <sub>4</sub> -Menge MBA-Rotterest: 12,4 g CH <sub>4</sub> / kg TS, Gaspemde SA-Rotterest: 17,7 g CH <sub>4</sub> / kg TS				
<b>Indirekte Emissionen – Behandlungsaufwand</b>				
<b>Behandlung</b>	<b>Massenfluss [10<sup>3</sup> kg pro Jahr]</b>	<b>Energieaufwand* [GJ]</b>	<b>Stromerzeugung [kg CO<sub>2</sub>-Äq./ MJ]</b>	<b>THP [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>
Splitting	70000	8820	0,07	582
MBA	45000	8910	0,07	588
EBS-Aufbereitung	14415	1816	0,07	120
<b>THP-Entlastung</b>				<b>48.194</b>



Das verbrauchte Deponievolumen von ca. 25.000 m<sup>3</sup> wurde anhand der deponierten Güterflüsse und der Lagerungsdichten der verschiedenen Deponietypen für dieses Szenario ermittelt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 4-19 angeführt, wobei im Rahmen der Szenarioeinschätzung davon ausgegangen wird, dass der Bauschutt aus der Vorsortierung auf einer Baurestmassendeponie zur Ablagerung kommt und nicht als Baumaterial weitere Verwendung findet.

Tabelle 4-19: Verbrauch an Deponievolumen im Zuge von AD

<b>Benötigtes Deponievolumen</b>				
Güter	Deponietyp	Massenfluss [10 <sup>3</sup> kg pro Jahr]	Lagerungsdichte [10 <sup>3</sup> kg / m <sup>3</sup> ]	Deponievolumen [m <sup>3</sup> ]
Nachrotterest (SA)	Massenabfalldeponie	10.220	1,30	7.862
Rotterest (MBA)	Massenabfalldeponie	12.429	1,30	9.561
Aschen & Schlacken	Reststoffdeponie	10.024	1,50	6.683
Filterasche (MVA)	Untertagedeponie	176	1,50	118
Bauschutt (VS - Rest)*	Baurestmassendep.	1.190	1,50	793
* Annahme: Bauschutt aus der Vorsortierung wird deponiert.				
<b>Verbrauch an Deponievolumen</b>				<b>25.016</b>

Tabelle 4-20: Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für den „Status Quo“

<b>Cadmiumflüsse</b>			
Deponierung	Massenfluss	Deponietyp	Eignung der Senke
Schlacke (MVA) <sup>1</sup>	1,4 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Filteraschen (MVA) <sup>1</sup>	16,6 kg/a	Untertagedeponie	geeignet
Wirbelschichtaschen <sup>2</sup>	233 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Rottereststoffe	60 kg/a	Massenabfalldeponie	?
Bauschutt	2,2 kg/a	Baurestmassendeponie	?
<sup>1</sup> Der Transferkoeffizient für Cadmium in Schlacke und Filterstaub wird aus Fehring et al. (1997) übernommen.			
<sup>2</sup> Sämtliche Verbrennungsrückstände der Modell-Wirbelschichtanlage werden auf Reststoffdeponien abgelagert (siehe Böhmer et al., 2007).			
Verwertung (Export)	Massenfluss	Anreicherung	Eignung der Senke
EBS (Zementindustrie)	87 kg/a	Produkt: Zement	ungeeignet
Eisenschrott (Sekundärrohstoff)	133 kg/a	Lichtbogenofen → Filterstaub → Deponie	?

Die Zusammenstellung der Cadmiumflüsse und zugehöriger Senken in Tabelle 4-20 beruht auf den Bilanzen aus Abschnitt 4.1.2.2. Von den verschiedenen Deponietypen eignet sich die Untertagedeponie am Besten als Senke für Cadmium, da hier eine Aufkonzentrierung problematischer Stoffe dem eigentlichen Zweck dieses Deponietyps entspricht und das Cadmium über lange Zeiträume festgesetzt ist. Für Reststoffdeponien kann davon ausgegangen werden, dass Cadmium für Jahrtausende immobil ist, eine Abkapselung über zehntausende Jahre ist aber auch hier nicht gegeben. Auch auf anderen Deponien wird Cadmium nur sehr langsam bzw. kaum ausgeglichen, über lange Zeiträume ist ein Verbleib des Cadmiums im Depo-

niekörper aber keinesfalls gesichert. Hinsichtlich der Verwertungsströme lässt sich feststellen, dass für den Eisenschrott kaum Informationen über den Cadmiumpfad zwischen Behandlungsanlage und Stahlwerk vorliegen und auch die Ablagerung bzw. der Verbleib des Filterstaubs aus dem Stahlwerk unbekannt ist. Für eine zuverlässigere Beurteilung wären zu diesem Verwertungspfad weitere Informationen wünschenswert. Das Cadmium in den Ersatzbrennstoffen der Zementindustrie wird überwiegend in das Produkt eingetragen und somit im Zement verdünnt und verteilt (vgl. Fehringer et al., 1997). Diese diffuse Verteilung des Cadmiums ist abzulehnen, da dadurch Hintergrundkonzentrationen in Bauwerken ansteigen und es zu längerfristig jedenfalls zu einer Freisetzung des Cadmiums in die Umwelt kommt. Weil gemessene Cadmiumkonzentrationen im Klinker gering sind (2 mg pro Tonne Klinker) und für die letzten Jahre eine stetige Abnahme zeigen (vgl. Hackl & Mauschitz, 2003), ist zwar nicht klar, ob dieser eine problematische Cadmiumlenkung darstellt, als geeignete Senke für Cadmium wird er jedenfalls nicht eingestuft.

#### **4.2.2 Szenario A1 „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“**

Für dieses Szenario erfolgt die Darstellung der Bilanzierungsergebnisse in Kurzform anhand von Tabelle 4-21, wobei das verwendete Berechnungsschema aus den Tabellen für den „Status Quo“ (AO) ersichtlich ist. Die Bilanzierung für den kumulierten Energieaufwand ergibt eine Gutschrift von 1.121 TJ an Primärenergie. Umgerechnet auf die Entfernung, die der hausmüllähnliche Gewerbeabfall der Steiermark anhand von LKWs transportiert werden könnte (1,6 MJ/tkm), ergibt sich daraus eine Distanz von 6.100 km. Für die Einsparung an treibhausrelevanten Emissionen aus Tabelle 4-21 ergibt sich eine Transportentfernung von ca. 3.700 km, die eine Einsparung von 50.472 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgleichen würden.



Tabelle 4-21: Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario A1

<b>Bewertungsergebnisse – KEA, THP, Deponievolumen</b>	
<b>Kumulierter Energieaufwand [GJ]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	80.522
Gutschriften – energetische Verwertung	1.071.635
Aufwendung – Behandlung der Abfälle	30.666
<b>KEA-Gutschrift</b>	<b>1.121.492</b>
<b>Treibhauspotential [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	7.028
Gutschriften – energetische Verwertung	97.309
Direkte Emissionen – Verbrennung	47.444
Direkte Emissionen – Rotte	0
Direkte Emissionen – Deponien	5.227
Indirekte Emissionen – Behandlung der Abfälle	1.195
<b>THP-Entlastung</b>	<b>50.472</b>
<b>Benötigtes Deponievolumen [m<sup>3</sup>]</b>	
Deponietyp „Massenabfalldeponie“	15.693
Deponietyp „Reststoffdeponie“	7.421
Deponietyp „Untertagedeponie“	148
Deponietyp „Baurestmassendeponie“	1.010
<b>Verbrauch an Deponievolumen</b>	<b>24.272</b>

Der Verbrauch an Deponievolumen im Zuge von Szenario A1 liegt bei etwa 24.300 m<sup>3</sup> (siehe Tabelle 4-21), wobei der Großteil der deponierten Güter auf Massenabfalldeponien zur Ablagerung kommt. In Untertagedeponien werden nur Filterrückstände aus der Müllverbrennung abgelagert, alle anderen Verbrennungsrückstände kommen auf Reststoffdeponien zur Ablagerung. Hinsichtlich des aussortierten Bauschutts wird auch in diesem Szenario davon ausgegangen, dass dieser nicht als Baumaterial wiederverwendet, sondern deponiert wird.

Um den Effekt unterschiedlicher Vorsortierungseffizienzen für die beiden Modell-Behandlungsanlagen zu veranschaulichen, werden in einer Variante für beide Anlagen die gleichen Transferkoeffizienten in der Vorsortierung angesetzt (siehe Abschnitt 4.1.1 und Tabelle 4-3). Aus Tabelle 4-22 ist ersichtlich, dass sich durch die Annahme identischer Vorsortierungseffizienzen die Gutschriften für KEA und THP etwas erhöhen und das benötigte Deponievolumen leicht abnimmt. Ersteres ist auf den erhöhten Austrag an NE-Metallen und die damit verbundenen höheren Gutschriften durch die stoffliche Verwertung zurück zu führen, letzteres ergibt sich durch den Wegfall des Bauschuttes aus der Vorsortierung als direkt deponierte Fraktion. Es lässt sich somit feststellen, dass die unterschiedlichen Vorsortierungseffizienzen der Basisvariante nur einen geringen Einfluss auf die Bilanzierungsergebnisse haben und es durch die geänderte Fraktionierung der Metalle (in Eisen und Nicht-Eisen) bei einer identischen Vorsortierung sogar zu höheren Gutschriften

kommen würde. Auf eine Bilanzierung der Cadmiumflüsse für diese Variante wird verzichtet, da sich auch hinsichtlich der Lenkung des Cadmiums keine signifikanten Unterschiede ergeben sollten.

Tabelle 4-22: Bilanzierungsergebnisse für Variante „gleiche Vorsortierung“ von Szenario A1

<b>Variante „Identische Vorsortierung MBA und Splittinganlage“</b>	
KEA-Gutschrift [GJ]	1.143.535
THP-Entlastung [ $10^3$ kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	50.818
Verbrauch an Deponievolumen [m <sup>3</sup> ]	23.938

Tabelle 4-23: Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario A1

<b>Cadmiumflüsse</b>			
<b>Deponierung</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Deponietyp</b>	<b>Eignung der Senke</b>
Schlacke (MVA)	1,8 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Filteraschen (MVA)	20 kg/a	Untertagedeponie	geeignet
Wirbelschichtaschen	239 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Rottereststoffe	52 kg/a	Massenabfalldeponie	?
Bauschutt	3 kg/a	Baurestmassendeponie	?
<b>Verwertung (Export)</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Anreicherung</b>	<b>Eignung der Senke</b>
EBS (Zementindustrie)	87 kg/a	Produkt: Zement	ungeeignet
Eisenschrott (Sekundärrohstoff)	132 kg/a	Lichtbogenofen → Filterstaub → Deponie	?

Die Cadmiumflüsse aus Tabelle 4-23 und die Zuordnung der Senken basieren auf den Grobbilanzen aus Abschnitt 4.1.2.2. Bei der Aufteilung des Cadmiums auf die unterschiedlichen Deponietypen wird die Ablagerung auf Untertagedeponien bevorzugt. Obwohl auch auf anderen Deponietypen von langen Verweildauern auszugehen ist, sind diese nicht in der Lage, über lange Zeiträume den Austrag von Cadmium in die Umwelt zu verhindern. Hinsichtlich der Verwertungsströme wären zusätzliche Informationen zum Verbleib des Cadmiums im Eisenschrott wünschenswert. Die Ersatzbrennstoffe zur Zementindustrie stellen keine geeignete Senke dar, da es hierdurch zu einer diffusen Verteilung des Cadmiums in der Umwelt kommen kann.

### 4.2.3 Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“

Die Bewertungsergebnisse für Szenario A2 werden in Tabelle 4-24 und Tabelle 4-25 zusammengefasst. Die Ermittlung des KEA, des THP und des benötigten Deponievolumens erfolgte in gleicher Weise wie für den „Status Quo“ dargestellt.



Tabelle 4-24: Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario A2

<b>Bewertungsergebnisse – KEA, THP, Deponievolumen</b>	
<b>Kumulierter Energieaufwand [GJ]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	75.366
Gutschriften – energetische Verwertung	913.418
Aufwendung – Behandlung der Abfälle	41.636
<b>KEA-Gutschrift</b>	<b>947.148</b>
<b>Treibhauspotential [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	6.621
Gutschriften – energetische Verwertung	82.942
Direkte Emissionen – Verbrennung	42.375
Direkte Emissionen – Rotte	0
Direkte Emissionen – Deponien	5.808
Indirekte Emissionen – Behandlung der Abfälle	1.622
<b>THP-Entlastung</b>	<b>39.759</b>
<b>Benötigtes Deponievolumen [m<sup>3</sup>]</b>	
Deponietyp „Massenabfalldeponie“	21.905
Deponietyp „Reststoffdeponie“	4.016
Deponietyp „Untertagedeponie“	14
<b>Verbrauch an Deponievolumen</b>	<b>25.934</b>

Die Bilanzierung für den kumulierten Primärenergieaufwand ist in Tabelle 4-24 angeführt und beläuft sich bei diesem Behandlungsszenario auf eine Gutschrift von ca. 950 TJ, was einem Transportweg von 5.150 km für den gesamten hausmüllähnlichen Gewerbeabfall der Steiermark bedeuten würde. Die Ermittlung des Treibhauspotentials resultiert in einer Entlastung durch die Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Höhe von fast 40.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente – umgerechnet in LKW-Transportkilometer für den steirischen hausmüllähnlichen Gewerbeabfall entspricht das einer Distanz von 2.900 km. Den größten Beitrag zu den Gutschriften leistet für beide Bewertungskriterien die thermische Verwertung der erzeugten Brennmaterialien.

Am meisten Deponievolumen wird auch in diesem Szenario auf Massenabfalldeponien benötigt, wobei auf Reststoffdeponien ein relativ kleines und auf Untertagedeponien ein verhältnismäßig sehr kleines Volumen in Anspruch genommen wird.

Eine Analyse der Cadmiumflüsse aus den Grobbilanzen in Abschnitt 4.1.2.2 ergibt die Zusammenstellung in Tabelle 4-25. Am meisten Cadmium wird auf Reststoffdeponien abgelagert und stammt aus der Verbrennung in Wirbelschichtöfen. Im Hinblick auf die Verwertungsströme bleibt auch hier festzuhalten, dass besonders die Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie zu einer Verteilung des Cadmiums in der Umwelt bzw. in Bauwerken führen können. Außerdem wären, in Anbetracht der beträchtlichen Cadmiumfracht, zusätzliche Informationen zum Verbleib des Cadmiums im Zuge der Eisenschrottverwertung wünschenswert.

Tabelle 4-25: Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario A2

<b>Cadmiumflüsse</b>			
<b>Deponierung</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Deponietyp</b>	<b>Eignung der Senke</b>
Schlacke (MVA)	0,4 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Filteraschen (MVA)	4,1 kg/a	Untertagedeponie	geeignet
Wirbelschichtaschen	221 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Rottereststoffe	90 kg/a	Massenabfalldeponie	?
<b>Verwertung (Export)</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Anreicherung</b>	<b>Eignung der Senke</b>
EBS (Zementindustrie)	87 kg/a	Produkt: Zement	ungeeignet
Eisenschrott (Sekundärrohstoff)	133 kg/a	Lichtbogenofen → Filterstaub → Deponie	?

#### 4.2.4 Szenario B1 „Getrennte Behandlung – Abfallcharakteristik“

Die Bewertungsergebnisse für dieses Behandlungsszenario sind in Tabelle 4-26 und Tabelle 4-28 in Kürze angeführt, außerdem sind in Tabelle 4-27 die Auswirkungen einer identischen Vorsortierung bei beiden Modellbehandlungsanlagen auf die Bewertungsergebnisse dargestellt.

Aus Tabelle 4-26 ist ersichtlich, dass sich durch die Behandlung des Abfallinputs im Rahmen dieses Szenarios eine Gutschrift von ca. 951 TJ für die Bewertung anhand des kumulierten Primärenergieaufwandes ergibt. Legt man diese Gutschrift auf die LKW-Transportentfernung für den gesamten hausmüllähnlichen Abfallinput um, so ergibt sich eine Transportlänge von 5.170 km, die diesem Primärenergieaufwand entspricht. Die Bewertung des Szenarios hinsichtlich des Ausstoßes an treibhausrelevanten Emissionen ergibt eine Entlastung von 57.270 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch die Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle. Mit dem LKW könnte man diese ca. 4.180 km transportieren, um die Entlastung durch die Behandlung vollständig zu kompensieren. Das größte Deponievolumen wird auch im Zuge dieses Szenarios auf Massenabfalldeponien benötigt, da dort die Rottereststoffe zur Ablagerung kommen. Insgesamt beträgt der Verbrauch an Deponievolumen für Szenario B1 ca. 27.000 m<sup>3</sup>.



Tabelle 4-26: Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario B1

<b>Bewertungsergebnisse – KEA, THP, Deponievolumen</b>	
<b>Kumulierter Energieaufwand [GJ]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	80.056
Gutschriften – energetische Verwertung	905.405
Aufwendung – Behandlung der Abfälle	34.072
<b>KEA-Gutschrift</b>	<b>951.389</b>
<b>Treibhauspotential [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	7.044
Gutschriften – energetische Verwertung	82.215
Direkte Emissionen – Verbrennung	25.008
Direkte Emissionen – Rotte	0
Direkte Emissionen – Deponien	5.653
Indirekte Emissionen – Behandlung der Abfälle	1.327
<b>THP-Entlastung</b>	<b>57.270</b>
<b>Benötigtes Deponievolumen [m<sup>3</sup>]</b>	
Deponietyp „Massenabfalldeponie“	20.682
Deponietyp „Reststoffdeponie“	5.924
Deponietyp „Untertagedeponie“	79
Deponietyp „Baurestmassendeponie“	383
<b>Verbrauch an Deponievolumen</b>	<b>27.068</b>

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Transferkoeffizienten bei der Vorsortierung der beiden Modellbehandlungsanlagen abzuschätzen, sind in Tabelle 4-27 die Bewertungsergebnisse für eine Variante mit identischer Vorsortierungseffizienz bei beiden Anlagen dargestellt (siehe Abschnitt 4.1.1 und Tabelle 4-6). Für die Variante ergeben sich etwas höhere Gutschriften an Primärenergie und an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten als für das Basisszenario, außerdem nimmt das benötigte Deponievolumen geringfügig ab. Der Grund dafür liegt einerseits in der geänderten Fraktionierung des Metallinputs (höherer NE-Metallanteil führt zu gesteigerten Gutschriften für die stoffliche Verwertung) und andererseits im Wegfall des direkt deponierten Bauschutts. Daher kann davon ausgegangen werden, dass es durch die unterschiedlichen Sortiereffizienzen im Basisszenario nicht zu einer übermäßigen Bevorzugung einer bestimmten Behandlungsoption kommt. Auf eine Bilanzierung der Cadmiumflüsse für die Variante wird auch im Rahmen dieses Szenarios verzichtet.

Tabelle 4-27: Bilanzierungsergebnisse für Variante „gleiche Vorsortierung“ von Szenario B1

<b>Variante „Identische Vorsortierung MBA und Splittinganlage“</b>	
KEA-Gutschrift [GJ]	962.844
THP-Entlastung [10 <sup>3</sup> kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	57.523
Verbrauch an Deponievolumen [m <sup>3</sup> ]	26.948

Die Lenkung der Cadmiumflüsse in geeignete Senken wird basierend auf Tabelle 4-28, welche auf den Grobbilanzen aus Abschnitt 4.1.2.2 beruht, diskutiert. Wiederum wird das Cadmium auf vier Deponietypen verteilt, wobei der größte Massenstrom auf die Reststoffdeponie geht. Hinsichtlich der Eignung der Deponietypen zur Aufnahme von Cadmium gilt wie zuvor: am besten eignen sich Untertagedeponien als Cadmiumsenke, in den anderen Deponien ist eine Abkapselung des Cadmium über tausende Jahre nicht sichergestellt. Im Hinblick auf die Güterströme zur Verwertung ist sowohl das Cadmium in den Ersatzbrennstoffen zur Zementindustrie als auch der Verbleib des Cadmiums im Eisenschrott überwachungsbedürftig. Aufgrund der hohen Cadmiumkonzentration im Eisenschrott wäre eine genauere Betrachtung des Cadmiumpfades von der Behandlungsanlage bis zum Stahlwerk und danach aber jedenfalls wünschenswert.

Tabelle 4-28: Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario B1

<b>Cadmiumflüsse</b>			
<b>Deponierung</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Deponietyp</b>	<b>Eignung der Senke</b>
Schlacke (MVA)	1,1 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Filteraschen (MVA)	12 kg/a	Untertagedeponie	geeignet
Wirbelschichtaschen	315 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Rottereststoffe	71 kg/a	Massenabfalldeponie	?
Bauschutt	1 kg/a	Baurestmassendeponie	?
<b>Verwertung (Export)</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Anreicherung</b>	<b>Eignung der Senke</b>
EBS (Zementindustrie)	86 kg/a	Produkt: Zement	ungeeignet
Eisenschrott (Sekundärrohstoff)	324 kg/a	Lichtbogenofen → Filterstaub → Deponie	?

#### 4.2.5 Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung“

Die Ergebnisse der Bewertung dieses Behandlungsszenarios sind für den kumulierten Energieaufwand, das Treibhauspotential und das benötigte Deponievolumen in Tabelle 4-29 angeführt. Die ermittelte Gutschrift an Primärenergie beträgt bei der gemeinsamen Behandlung des gesamten Abfallinputs ca. 852 TJ, was einer LKW-Transportentfernung von ca. 4.600 km für alle hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle der Steiermark entspricht. Die Bewertung der Treibhausrelevanz dieses Behandlungsszenarios ergibt eine Entlastung von ca. 50.100 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, was einem LKW-Transport des Abfallinputs über eine Distanz von 3.660 km äquivalent ist. Der größte Beitrag zu den errechneten Gutschriften stammt, wie in den Szenarien zuvor, von der thermischen Verwertung der aufbereiteten Brennmaterialien. Deren relativer Beitrag zur Treibhausbilanzgutschrift im Rahmen der B-Szenarien ist besonders groß, da der Abfallinput einen hohen Anteil an biogenem Kohlenstoff besitzt und somit ein großer Teil der Emissionen im Rahmen der thermischen Verwertung der Brennmaterialien als klimaneutral zu betrachten ist.



Der größte Bedarf an Deponievolumen besteht auch für dieses Szenario auf Massenabfalldeponien, auf die fast 80 % des benötigten Gesamtvolumens entfallen.

Tabelle 4-29: Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario B2

<b>Bewertungsergebnisse – KEA, THP, Deponievolumen</b>	
<b>Kumulierter Energieaufwand [GJ]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	76.375
Gutschriften – energetische Verwertung	817.150
Aufwendung – Behandlung der Abfälle	41.075
<b>KEA-Gutschrift</b>	<b>852.449</b>
<b>Treibhauspotential [10<sup>3</sup> kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente]</b>	
Gutschriften – stoffliche Verwertung	6.753
Gutschriften – energetische Verwertung	74.201
Direkte Emissionen – Verbrennung	23.315
Direkte Emissionen – Rotte	0
Direkte Emissionen – Deponien	5.908
Indirekte Emissionen – Behandlung der Abfälle	1.600
<b>THP-Entlastung</b>	<b>50.131</b>
<b>Benötigtes Deponievolumen [m<sup>3</sup>]</b>	
Deponietyp „Massenabfalldeponie“	20.842
Deponietyp „Reststoffdeponie“	6.021
Deponietyp „Untertagedeponie“	85
<b>Verbrauch an Deponievolumen</b>	<b>26.948</b>

Die Cadmiumflüsse und die zugehörigen Senken sind in Tabelle 4-30 basierend auf den Stoffflussanalysen aus Abschnitt 4.1.2.2 angeführt. Der größte Teil des Cadmiums wird auf Reststoffdeponien abgelagert oder über den Eisenschrott ausgetragen und im Stahlerzeugungsprozess abgeschieden (zusammen ca. 80 %). Im Hinblick auf die Zuordnung des Cadmiums zu geeigneten Senken kommt die größte Bedeutung auch hier dem Cadmium im Eisenschrott (große Menge) und dessen Verbleib zu. Wie zuvor ist aber auch die Cadmiumverteilung über den Zement abzulehnen, da es dadurch zu einer diffusen Verteilung des Cadmiums in der Umwelt kommt.

Tabelle 4-30: Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario B2

<b>Cadmiumflüsse</b>			
<b>Deponierung</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Deponietyp</b>	<b>Eignung der Senke</b>
Schlacke (MVA)	0,3 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Filteraschen (MVA)	3,9 kg/a	Untertagedeponie	geeignet
Wirbelschichtaschen	304 kg/a	Reststoffdeponie	mäßig geeignet
Rottereststoffe	91 kg/a	Massenabfalldeponie	?
<b>Verwertung (Export)</b>	<b>Massenfluss</b>	<b>Anreicherung</b>	<b>Eignung der Senke</b>
EBS (Zementindustrie)	86 kg/a	Produkt: Zement	ungeeignet
Eisenschrott (Sekundärrohstoff)	326 kg/a	Lichtbogenofen → Filterstaub → Deponie	?

### 4.3 Vergleich der Szenarien

Die Bilanzierungs- und Bewertungsergebnisse der einzelnen Szenarien aus Kapitel 4.1 und 4.2 werden in diesem Abschnitt einander gegenüber gestellt. Die Varianten der Szenarien A1 und B1 werden nicht in den Vergleich miteinbezogen, da sie den Effekt einer identischen Vorsortierung bei MBA und Splittinganlage veranschaulichen sollten. Von diesen Varianten sind aber keine Rückschlüsse hinsichtlich der Zuordnung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu bestimmten Behandlungsverfahren zu erwarten.

Tabelle 4-31: Zusammenfassende Darstellung relevanter Güter- und Stoffflüsse

Güter	EBS	Mittelkalorik	Fe-Schrott	NE-Metalle	Deponierung
„Status Quo“	13.201 t/a	56.062 t/a	3.856 t/a	361 t/a	32.850 t/a
Szenario A1	13.174 t/a	58.444 t/a	3.847 t/a	365 t/a	31.755 t/a
Szenario A2	13.147 t/a	47.688 t/a	3.719 t/a	328 t/a	34.520 t/a
Szenario B1	10.613 t/a	50.540 t/a	3.982 t/a	355 t/a	36.466 t/a
Szenario B2	10.579 t/a	44.500 t/a	3.889 t/a	328 t/a	38.082 t/a
Kohlenstoff	EBS	Mittelkalorik	Rotteverlust	Deponierung	
„Status Quo“	5.415 t/a	19.321 t/a	2.207 t/a	3.327 t/a	
Szenario A1	5.414 t/a	19.811 t/a	1.651 t/a	3.260 t/a	
Szenario A2	5.420 t/a	17.568 t/a	4.191 t/a	3.563 t/a	
Szenario B1	3.847 t/a	15.523 t/a	2.999 t/a	3.501 t/a	
Szenario B2	3.848 t/a	14.250 t/a	4.336 t/a	3.685 t/a	
Cadmium	EBS	Fe-Schrott	Untertagedep.	Reststoffdep.	Sonstige Dep.
„Status Quo“	87 kg/a	133 kg/a	17 kg/a	234 kg/a	62 kg/a
Szenario A1	87 kg/a	132 kg/a	20 kg/a	241 kg/a	55 kg/a
Szenario A2	87 kg/a	133 kg/a	4 kg/a	221 kg/a	90 kg/a
Szenario B1	86 kg/a	324 kg/a	12 kg/a	316 kg/a	72 kg/a
Szenario B2	86 kg/a	326 kg/a	4 kg/a	304 kg/a	91 kg/a

Die Bilanzierungsergebnisse auf Güter- und Stoffebene bilden die Basis zur Bewertung der einzelnen Szenarien. Eine Gegenüberstellung relevanter Flüsse erfolgt in Tabelle 4-31. Ein Vergleich hinsichtlich der Auswirkungen der Behandlungskonzepte auf die Massenflüsse ist dabei nur innerhalb der jeweiligen Serie (A oder B) sinnvoll, da sich die A- und B-Szenarien hinsichtlich ihres Inputs unterscheiden. Die Bedeutung der Bilanzierungsergebnisse für die Beurteilung der Szenarien wird im Anschluss anhand der gewählten Kriterien diskutiert.

#### 4.3.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

In Abbildung 4-16 sind die Bewertungsergebnisse der einzelnen Szenarien für den kumulierten Energieaufwand dargestellt. Die Szenarien der A-Serie erzielen etwas höhere Primärenergiegutschriften als die B-Szenarien, was auf die unterschiedliche Zusammensetzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle im Rahmen dieser Serien zurückzuführen ist (vgl. Kapitel 3.5). Das bessere Abschneiden der Szenarienserie



A ist durch den höheren Anteil trockener, heizwertreicher Fraktionen im Abfallinput bedingt und somit als Teil der Rahmenbedingungen für die Szenarien vorgegeben.

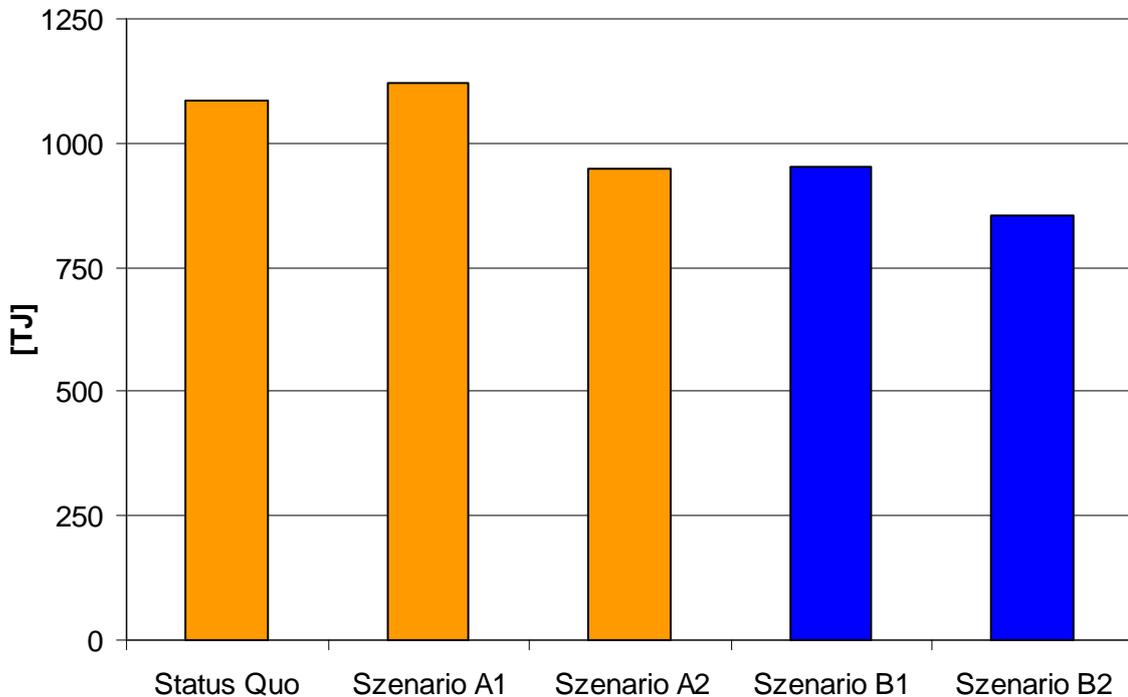


Abbildung 4-16: Erzielte Gutschriften an kumuliertem Energieaufwand der einzelnen Behandlungsszenarien

Im Rahmen der A-Serie ergibt sich die größte Gutschrift an kumuliertem Energieaufwand für Szenario A1 (siehe Abbildung 4-16). Durch eine konsequente Auftrennung von Geschäftsmüll und Gewerbemüll auf spezialisierte Anlagen lässt sich demnach eine maximale Einsparung an Primärenergie erzielen. In erster Linie ist das auf die gesteigerte Produktion heizwertreicher Aufbereitungsgüter aus dem behandelten Gewerbemüll zurückzuführen. Erwartungsgemäß ergibt sich für den „Status Quo“ eine etwas geringere Einsparung (um 37 Tj) als für Szenario A1, schließlich wird auch hier der Großteil des Gewerbemülls einer spezialisierten Aufbereitungsanlage zugewiesen. Die geringste Einsparung an kumuliertem Energieaufwand erzielt Szenario A2, das eine gemeinsame Behandlung aller gesammelten Abfälle betrachtet. Den größten Unterschied zu Szenario A1 stellen die Gutschriften aus der thermischen Verwertung dar, wobei aber auch im Rahmen der stofflichen Sortierung geringere Gutschriften sowie höhere Abzüge beim Behandlungsaufwand ermittelt werden. Die Unterschiede bei der stofflichen Verwertung ergeben sich vorwiegend durch die unterschiedliche Vorsortiereffizienz und die etwas effektivere Metallabscheidung im Rahmen des Gewerbemüllsplittings. Der höhere Behandlungsaufwand für Szenario A2 ergibt sich durch die gesteigerten Inputmengen zur intensiven

biologischen Behandlung. Insgesamt reduziert sich dadurch die KEA-Einsparung für Szenario A2 gegenüber Szenario A1 um ca. 170 TJ. Umgerechnet auf LKW-Transportkilometer für den gesamten hausmüllähnlichen Gewerbeabfall der Steiermark ergibt das eine Distanz von 950 km. Die gesteigerte Einsparung an Primärenergie durch eine getrennte Behandlung von Gewerbe- und Geschäftsmüll gegenüber einer gemeinsamen Behandlung, würde im Rahmen der A-Szenarien somit für jede Tonne hausmüllähnlichen Gewerbeabfall einen Transportaufwand von 950 km rechtfertigen.

Die Rückschlüsse aus dem Vergleich der beiden B-Szenarien entsprechen im Wesentlichen jenen aus der Gegenüberstellung der A-Szenarien. Wieder führt die getrennte Behandlung des trockeneren, heizwertreicheren Teiles der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zu den größten Einsparungen an kumulierten Primärenergieaufwand. Aus Abbildung 4-16 ist ersichtlich, dass für die B-Szenarien der Unterschied zwischen getrennter (B1) und gemeinsamer (B2) Behandlung etwas geringer ist als für die Szenarien der Serie A. Einerseits liegt das an der geänderten Zusammensetzung des Abfallinputs und andererseits an der Aufteilung der Mengenströme zu den Modellbehandlungsanlagen. Insgesamt beträgt der Unterschied zwischen Szenario B1 und B2 fast 100 TJ, was einer LKW-Transportentfernung für die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle der Steiermark von ca. 540 km entsprechen würde. Bei einer Auftrennung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle nach branchentypischen Abfallcharakteristika und einer Zuordnung zu entsprechenden Behandlungsverfahren, wie es bei Szenario B1 der Fall ist, ergeben sich auch für einen insgesamt heizwertärmeren Abfall deutliche Vorteile für die getrennte Aufbereitung in spezialisierten Behandlungsanlagen.

#### **4.3.2 Treibhauspotential (THP)**

Die Ergebnisse der Bewertung treibhausrelevanter Emissionen im Zuge der Behandlungsszenarien für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark sind in Abbildung 4-17 dargestellt und zeigen für alle betrachteten Systeme eine Verringerung des Treibhauspotentials um mindestens 39.759 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Die Szenarien der Serie A und B beziehen sich auf jeweils unterschiedliche Abfallzusammensetzungen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, was sich auch in den erzielten THP-Einsparungen der Szenarien abbildet. Aufgrund des deutlich höheren biogenen Anteils des Abfallinputs im Rahmen der B-Szenarien wird ein Großteil der Emissionen aus der thermischen Verwertung als klimaneutral angesehen und daher nicht in der Bilanzierung klimarelevanter Emissionen inkludiert. Das führt, trotz geringerer Gutschriften aus der Verwertung, für die B-Szenarien zu höheren THP-Entlastungen als für die A-Szenarien.

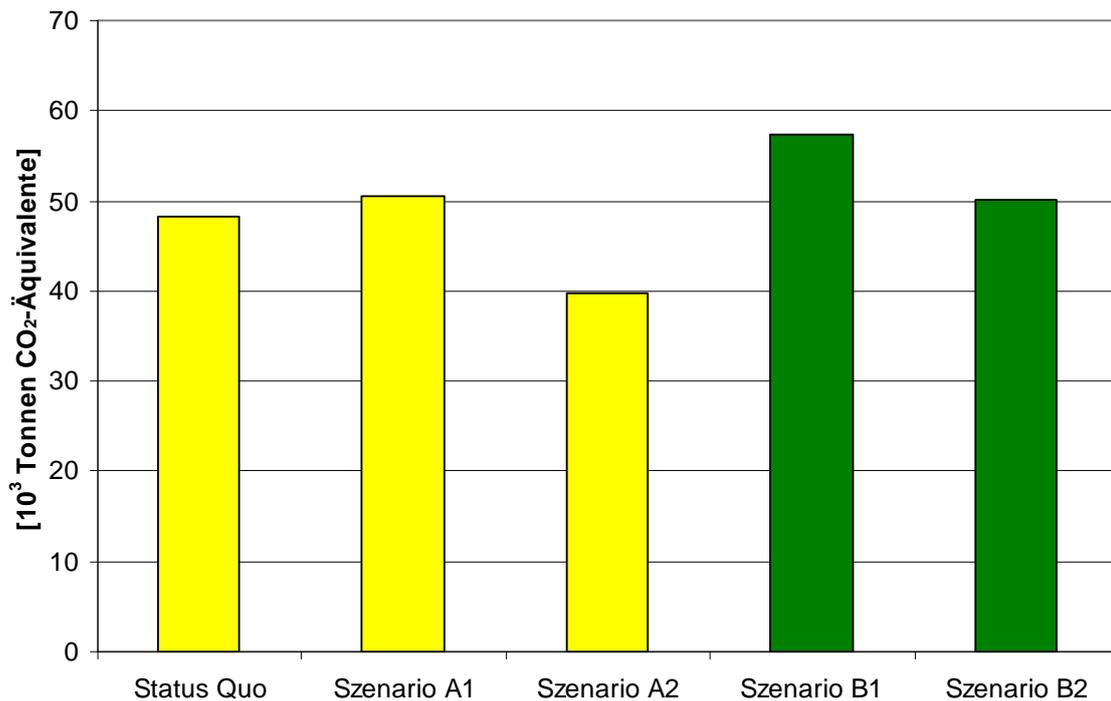


Abbildung 4-17: Einsparung an Treibhauspotential durch die bewerteten Behandlungsszenarien

Aus Abbildung 4-17 ist ersichtlich, dass sich für die A-Szenarien im Hinblick auf das Treibhauspotential die gleiche Reihenfolge wie schon beim KEA ergibt. Die höchste Entlastung erzielt wieder das Szenario A1, das eine konsequente Zuordnung getrennt gesammelter Abfälle auf spezialisierte Anlagen betrachtet. Eine um 2.300 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente geringere Einsparung wird im Rahmen des „Status Quo“ erzielt, in welchem ein Teil des Gewerbemülls (ca. 22 %) gemeinsam mit dem Geschäftsmüll und kommunalem Restmüll behandelt wird. Für die gemeinsame Behandlung aller hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle mit kommunalem Restmüll ergibt sich eine Verringerung der erzielten Einsparung um 10.700 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Wie zuvor liegt das schlechtere Abschneiden dieser Variante vor allem an den verminderten Gutschriften für die thermische Verwertung heizwertreicher Fraktionen, außerdem kommt es aber auch zu geringfügig reduzierten Gutschriften für die stoffliche Verwertung und etwas größeren Abzügen durch den gesteigerten Behandlungsaufwand. Eine Umrechnung der Einsparungen an THP auf die äquivalente LKW-Transportdistanz der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle ergibt für den Unterschied zwischen Szenario A1 und A2 eine Entfernung von 780 km. Bezieht man den Unterschied nur auf den Aufwand für den Transport des Gewerbemülls, so wäre ein Transportweg von 1000 km notwendig, um die zusätzliche Einsparung durch eine getrennte Behandlung dieser Fraktion der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle zu begleichen.

Die Charakteristik der ermittelten THP-Entlastung für die Szenarien der Serie B stellt sich ähnlich wie für die A-Szenarien dar (vgl. Abbildung 4-17). Die Aufteilung des hausmüllähnlichen Abfalls nach branchentypischen Zusammensetzungen und die Zuordnung zu bestimmten Behandlungsanlagen führen zur höchsten Einsparung an Treibhauspotential. Die getrennte Behandlung führt zu einer um 7.100 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente höheren Einsparung, als dies bei einer gemeinsamen Behandlung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls mit dem kommunalen Restmüll der Fall wäre. Dieser Unterschied an treibhauswirksamen Emissionen entspricht einer LKW-Transportentfernung für den gesamten hausmüllähnlichen Abfall der Steiermark von 520 km. Im Bezug auf den separat gesammelten hausmüllähnlichen Gewerbeabfall (=Gewerbemüll) wäre ein LKW-Transport über eine Distanz von 1.040 km notwendig, um die Vorteile der getrennten Behandlung des Gewerbemülls zu kompensieren.

### 4.3.3 Verbrauch an Deponievolumen

Im Rahmen der betrachteten Behandlungsszenarien kommen insgesamt in vier verschiedenen Deponietypen Güter zur Ablagerung (vgl. Abbildung 4-18). Der etwas geringere Verbrauch an Deponievolumen für die Szenarien der Serie A gegenüber jenen der Serie B ergibt sich auch hier wieder durch die unterschiedliche Zusammensetzung der jeweiligen Abfallinputs. Den entscheidenden Unterschied in diesem Zusammenhang stellen der höhere Transferkoeffizient für den Abfallinput in die biologische Behandlung und die damit verbundene Ablagerung des Rotterests auf Massenabfalldeponien dar.

Wie aus Abbildung 4-18 ersichtlich, wird bei allen Szenarien das größte Volumen auf Massenabfalldeponien beansprucht (zwischen 15.000 und 25.000 m<sup>3</sup>). Als nächstes folgen Reststoffdeponien, auf denen zwischen 4.000 und 7.500 m<sup>3</sup> an Deponievolumen benötigt werden. Bei den derzeitigen freien Deponievolumina dieser Deponietypen in der Steiermark wäre auf Massenabfalldeponien eine Ablagerung noch für 144 – 240 Jahre und auf Reststoffdeponien noch für 183 – 343 Jahre möglich<sup>10</sup> (vgl. Land Steiermark, 2008a). Auf den anderen beiden Deponietypen werden kaum mehr als 1.000 m<sup>3</sup> an Deponievolumen pro Jahr verbraucht, im Bezug auf das benötigte Volumen auf Untertagedeponien sei angemerkt, dass dieses in der Steiermark derzeit nicht zur Verfügung steht und diese Abfälle daher exportiert werden müssen.

---

<sup>10</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass auf diesen Deponietypen noch zahlreiche andere Abfälle zur Ablagerung kommen und die Abschätzungen somit nur zur Veranschaulichung dienen.

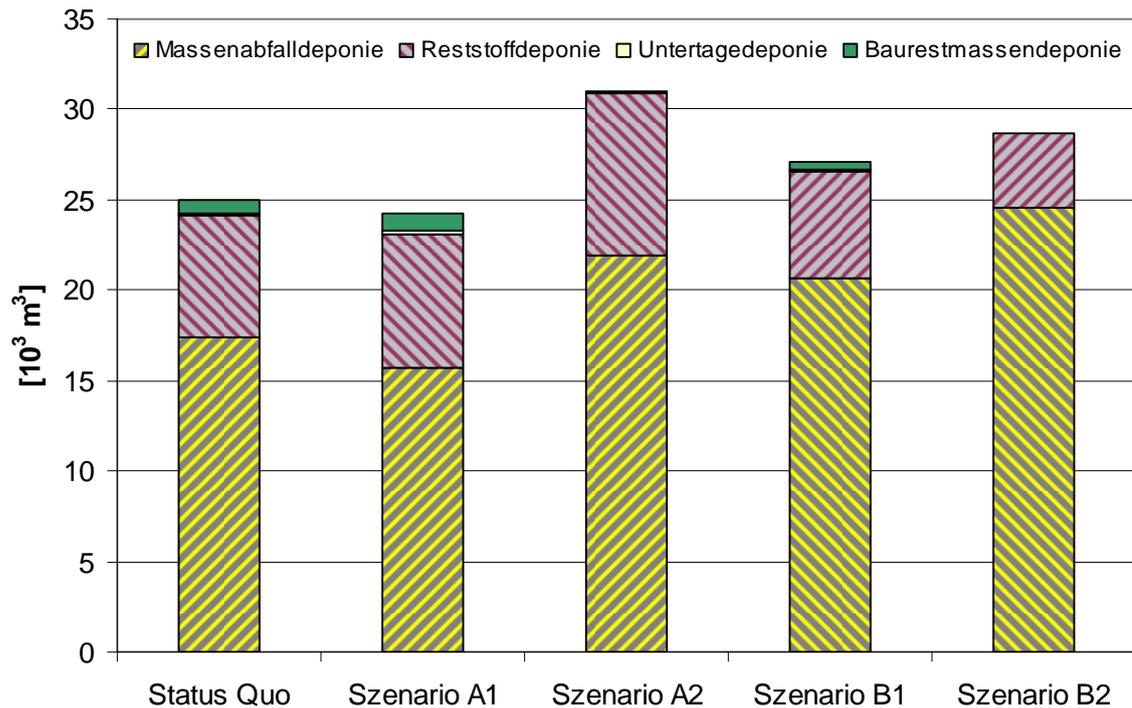


Abbildung 4-18: Verbraachte Deponievolumina für die betrachteten Behandlungsszenarien

Den geringsten Verbrauch an Deponievolumen weist Szenario A1 auf, wobei anzumerken ist, dass dieses Szenario auch mit dem größten Bedarf an Untertagedeponievolumen einher geht. Das benötigte Deponievolumen im Rahmen des „Status Quo“ ähnelt jenem für Szenario A1, mit etwas höheren Volumina auf Massenabfalldeponien und etwas geringeren Volumina auf Reststoffdeponien. Der größte Verbrauch an Deponievolumen unter den A-Szenarien ergibt sich für Szenario A2 durch das große Ablagerungsvolumen auf Massenabfalldeponien, dagegen ist der Verbrauch an Volumen auf Untertagedeponien für dieses Szenario eine Größenordnung kleiner als für Szenario A1. Ganz ähnlich verhält es sich für die Szenarien der Serie B. Szenario B1 ist zwar mit einem geringeren Gesamtverbrauch an Deponievolumen verbunden als Szenario B2 (Differenz: 1.600 m<sup>3</sup>), geht aber auch mit einem höheren Verbrauch an Untertagedeponievolumen von 79 m<sup>3</sup> im Vergleich zu 12 m<sup>3</sup> für Szenario B2 einher.

Letztendlich schwanken die benötigten Deponievolumina der einzelnen Szenarien in einer relativ engen Bandbreite (je nach Szenarienserie 6-7 %) und ergeben somit keine klaren Präferenzen für ein bestimmtes Behandlungsszenario. Zusätzlich wird die Bedeutung dieses Kriteriums als Entscheidungsgrundlage für eine zielorientierte Abfallwirtschaft auch durch einen Vergleich der benötigten und der verfügbaren Deponievolumina relativiert.

#### 4.3.4 Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken

Anhand der Cadmiumflüsse im Rahmen der verschiedenen Szenarien wird exemplarisch beurteilt, welche Flüsse in geeignete Senken gelangen und welche Flüsse als problematisch zu sehen sind.

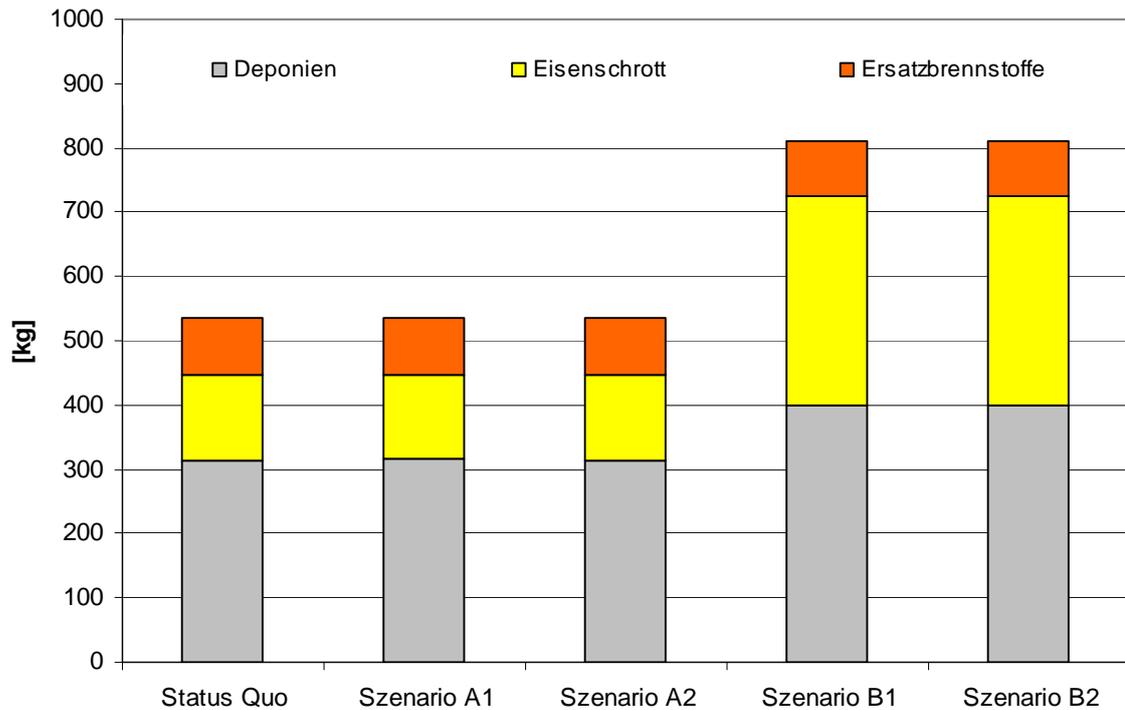


Abbildung 4-19: Vergleich der Cadmiumflüsse zu ausgewählten Zielprozessen

In Abbildung 4-19 lässt sich der Unterschied in den angenommenen Cadmiumgehalten der diversen Güterflüsse zwischen den A- und B-Szenarien deutlich erkennen. Für die Szenarien der Serie A wurde von einem etwas niedrigeren Cadmiumgehalt (v.a. im Eisenschrott) ausgegangen als dies in kommunalem Restmüll beobachtet wurde, wohingegen für die B-Szenarien ein Cadmiumgehalt angesetzt wurde, wie er auch in kommunalem Restmüll beobachtet werden kann. Die beiden unterschiedlichen Wertebereiche für die Cadmiumkonzentrationen der Güterflüsse wurden gewählt, um die Robustheit der Aussagen hinsichtlich der Cadmiumflüsse und ihrer Zielprozesse zu veranschaulichen. Aus Abbildung 4-19 ist ersichtlich, dass die Cadmiumfracht im Eisenschrott den maßgeblichen Unterschied zwischen den beiden Szenarioserien bildet, wohingegen es sich mit den Anteilen, die den anderen Zielprozessen zugeordnet werden, ähnlich verhält.

Die Lenkung der Cadmiumflüsse im Rahmen der A-Szenarien unterscheidet sich nicht maßgeblich für die einzelnen Szenarien im Rahmen dieser Serie. Rund 16 %



des Inputs gelangen als Ersatzbrennstoffe in die Zementindustrie und werden dort thermisch verwertet – dieser Fluss bedarf spezieller Aufmerksamkeit, da es durch den Transfer des Cadmiums in das Produkt zu einer Verteilung in der Umwelt und dadurch zu einem gesteigerten Expositionsrisiko für Menschen kommen kann. Da sich die Cadmiumfrachten in den Ersatzbrennstoffen für die einzelnen Szenarien aber nicht unterscheiden, kommt es hier zu keinen Präferenzen eines Szenarios gegenüber anderen dieser Serie. Was die anderen Senken betrifft, so gibt es keine gravierenden Unterschiede innerhalb der Szenarienserie. Etwa 59 % des Cadmiums werden deponiert, wobei bei getrennter Sammlung und Behandlung etwas mehr Cadmium auf Untertagedeponien oder Reststoffdeponien abgelagert wird, als bei einem gemeinsamen Behandlungskonzept. Die restlichen ca. 25 % des Cadmiums werden über den Eisenschrott zur Stahlerzeugung abgegeben. Hier besteht zwar mengenmäßig kein relevanter Unterschied zwischen den Behandlungskonzepten, es besteht jedoch Informationsbedarf was den endgültigen Verbleib des Cadmiums angeht.

Für die beiden B-Szenarien ergibt sich im Bezug auf die Lenkung der Cadmiumflüsse ein ganz ähnliches Bild, abgesehen davon, dass mehr Cadmium in den Eisenschrott transferiert wird, was auf den höheren Cadmiuminput dieser Szenarienserie zurückzuführen ist. Knapp die Hälfte des Cadmiums wird deponiert, mit größeren Mengenanteilen von Untertage- und Reststoffdeponien bei der getrennten Behandlung (B1). Etwa 40 % werden im Eisenschrott transportiert und die restlichen ca. 11 % werden über die Ersatzbrennstoffe zur Zementindustrie verbracht. Somit gilt auch für die Szenarien B1 und B2, dass aus den Bewertungsergebnissen keine eindeutige Bevorzugung eines Behandlungskonzeptes im Hinblick auf die Steuerung der Cadmiumflüsse abzuleiten ist. Allerdings wird im Vergleich mit der A-Serie deutlich, dass der Cadmiumgehalt des Abfallinputs eine wesentliche Bedeutung für die Cadmiumfracht in den Recyclinggütern (v.a. Eisenschrott) hat.

Generell ergeben sich aus der Analyse der Cadmiumlenkung im Rahmen der Aufbereitung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle v.a. zwei Forderungen. Zum einen ist die Lenkung von Cadmium in den Zement nicht als geeignete Senke anzusehen und daher eine übermäßige Verteilung von Cadmium über diesen Pfad zu verhindern. Zum anderen wären Informationen zum Pfad und dem Verbleib des Cadmiums zur Stahlindustrie für eine Beurteilung der entsprechenden Senke notwendig. Außerdem bleibt festzuhalten, dass auch die Mobilität und der Austrag von Cadmium aus Deponien von großer Bedeutung für die Frage geeigneter Cadmiumsenken ist, schließlich wird im Rahmen beider Szenarioserien mehr als die Hälfte des Cadmiums auf Deponien abgelagert, wobei nur ein sehr geringer Anteil auf „geeignete“ Untertagedeponien verbracht wird.

#### 4.4 Einschränkungen und Zuverlässigkeit der Ergebnisse

Die konsequente Diskussion der Unsicherheiten und Einschränkungen im Hinblick auf die Ergebnisse dieser Arbeit ermöglicht eine Abschätzung der Zuverlässigkeit darauf basierender Aussagen. Die Darstellung dieser Einschränkungen soll in weiterer Folge eine verbesserte Basis zur Ableitung von Handlungsempfehlungen basierend auf den Ergebnissen der Szenariobeurteilung liefern. Außerdem wird durch die Analyse der Unsicherheiten deutlich, in welchen Bereichen Forschungsanstrengungen notwendig sind, damit entscheidungsrelevante Fragestellungen im Bezug auf die Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle besser beantwortet werden können.

Die Diskussion der Unsicherheiten erfolgt getrennt für Datenunsicherheiten, sie beschreiben die Unsicherheit der Inputdaten, methodische Unsicherheiten, welche sich auf den gewählten Berechnungsmodellansatz beziehen und Szenariounsicherheiten, die sich aufgrund von Annahmen im Rahmen der Szenarioentwicklung ergeben. Diese Gliederung erfolgt in Anlehnung an Huijbregts et al. (2003) und stellt die Basis für eine strukturierte, wenn auch im Wesentlichen qualitative, Diskussion der vorhanden Einschränkungen und Unsicherheiten dar.

##### 4.4.1 Datenunschärfe und Unsicherheiten

Zur Ermittlung der Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark wurden die Ergebnisse verschiedener Schätzmethode miteinander verglichen und ein plausibler Wert für die Abfallmenge bestimmt (siehe dazu Kapitel 3.2). Diese Abschätzungen sind jeweils mit relativ großen Unsicherheiten behaftet, da die Literaturdaten nur sehr bedingt als auf die Steiermark übertragbar anzusehen sind und die Hochrechnung anhand branchenspezifischer Abfallmengen mit vielen Einschränkungen verbunden ist (vgl. Kapitel 3.2.2.2). Die beste Schätzgüte wird für die angelieferten Gewerbemüllmengen bei steirischen Abfallbehandlungsanlagen angenommen, da diese am ehesten die abfallwirtschaftliche Situation in der Gesamt-Steiermark reflektieren. Basierend auf den gemachten Abschätzungen wurden schließlich die Mengen an Geschäftsmüll und Gewerbemüll festgelegt und mit einer Unschärfe von insgesamt ca. 26 % belegt. Die zugewiesene Unschärfe begründet sich dadurch, dass letztendlich alle herangezogenen Schätzmethode Ergebnisse in diesem Schwankungsbereich lieferten und somit die „reale“ Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen innerhalb dieser Bandbreite anzunehmen ist.



Die Zusammensetzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle wurde anhand verschiedener Literaturquellen ermittelt. Inwieweit die tatsächlichen Abfälle, wie sie bei steirischen Betrieben anfallen, den definierten Modellabfällen entsprechen, kann anhand bestehender Informationen nicht beurteilt werden. Allerdings deuten Untersuchungen in der Steiermark darauf hin (vgl. Kapitel 3.2.2.2), dass die Branchenabhängigkeit der Restmüllzusammensetzung aus Betrieben (siehe Kern et al., 2002; Kranert, 2004) eine Übertragung von Literaturdaten auch auf steirische Betriebe zulässt. Die Abfallzusammensetzungen einzelner Betriebe können zwar teilweise stark schwanken, letztendlich stellt in vielen Branchen aber die Geschäftstätigkeit und somit die Aktivität eines Betriebes den maßgeblichen Einflussfaktor für die Abfallzusammensetzung dar. Die entwickelten Modellabfälle basieren auf solchen branchenspezifischen Unterschieden der Abfallzusammensetzung und stellen somit Abfalltypen dar, denen Abfälle eines bestimmten Betriebes aufgrund ihrer Beschaffenheit zugeordnet werden können.

Die bilanzierten Cadmiumflüsse wurden durch die Verwendung von Literaturangaben zu Cadmiumkonzentrationen bezogen auf die Trockensubstanz ermittelt. Durch die Annahme unterschiedlicher Cadmiumgehalte für die A- und B-Szenarien wurden die Auswirkungen im Hinblick auf die Zuordnung des Cadmiums zu geeigneten Senken betrachtet. Im Vergleich der einzelnen Szenarien innerhalb der beiden Serien wurden keine wesentlichen Unterschiede im Hinblick auf die Lenkung der Cadmiumflüsse festgestellt, was die tatsächliche Höhe der Cadmiumkonzentrationen für den Vergleich eines getrennten mit einem gemeinsamen Behandlungskonzept in den Hintergrund rückt. Die verwendeten Cadmiumkonzentrationen der Güterflüsse sind daher zwar für die Bewertung verschiedener Behandlungsoptionen nicht von primärer Bedeutung, sehr wohl haben sie aber einen wesentlichen Einfluss auf die Cadmiumfracht in den verschiedenen Outputgütern (siehe Eisenschrott).

#### **4.4.2 Methodische Einschränkungen und Unsicherheiten**

Die Methodik der Stoffflussanalyse stellt ein geeignetes Werkzeug zur Erstellung der Güter- und Stoffbilanzen dar. Für die eigentliche Bilanzierung der Aufteilung des Abfallinputs in die Outputgüter wurde allerdings eine Zwischenebene für die einzelnen Sortierfraktionen eingezogen. Die Implementierung einer solchen Zwischenebene ermöglicht einen Aufbau der Güterströme aus „gleichartigen“ Einzelströmen, die aber als Teil des Güterstroms anzusehen sind (im Rahmen dieser Arbeit sind das die Sortierfraktionen), die aber jeweils unterschiedliche Charakteristika (wie z.B. Kohlenstoffgehalte, mechanische Eigenschaften usw.) aufweisen. Eine methodische Erweiterung dieser Art erscheint im Licht dieser Arbeit jedenfalls auch für bestehende Softwareprodukte sinnvoll.

Die Ermittlung sortierfraktionsbezogener Transferkoeffizienten anhand typischer Aufbereitungsanlagen basiert im Wesentlichen auf charakteristischen Anlageninputs. Das heißt, wenn sich der Abfallinput in seiner Zusammensetzung ändert, so ändert sich wahrscheinlich auch das Aufbereitungsverhalten des gesamten Abfallgemisches und somit die Transferkoeffizienten der einzelnen Sortierfraktionen. Der Einfluss dieser Vermischung von Abfällen im Anlageninput kann nur anhand der beiden „typischen Modellanlagen“ betrachtet werden, eine Abstufung für geänderte Abfallzusammensetzungen im Rahmen der Szenarien ist anhand bestehender Untersuchungen nicht möglich. Der Einfluss der Vermischung von Abfallströmen im Anlageninput ist daher derzeit nicht quantifizierbar.

Die verwendeten Bewertungskriterien beruhen teilweise auf Indikatorwerten, die aus der Literatur übernommen wurden. Die Werte zur Bilanzierung des kumulierten Energieaufwandes und des Treibhauspotentials beziehen sich zum Großteil auf Deutschland und gehen auf ähnliche Datenquellen zurück. Die Daten werden als weitgehend konsistent angesehen und wurden auf ihre Plausibilität anhand anderer Literaturdaten überprüft. Die Literaturdaten zu den Heizwerten der thermisch verwerteten Güterströme stimmen sehr gut mit Wertebereichen überein, die aufgrund der bilanzierten Kohlenstoffgehalte abgeleitet werden können (vgl. Kapitel 4.1.2.1), und werden daher als plausibel angesehen.

Die Klimarelevanz der emittierten Kohlenstoffverbindungen wurde anhand von Bilanzen des Kohlenstoffs und seines biogenen Anteils (auf Sortierfraktionsebene) sowie anhand von Abschätzungen zur Zusammensetzung des Deponiegases und des Gasbildungspotentials (massenbezogen) bestimmt.

Für die Kohlendioxidemissionen der A-Szenarien aus der thermischen Verwertung von heizwertreichen Fraktionen ergibt ein Vergleich mit Berechnungen anhand von Emissionsfaktoren für verschiedene Brennstofffraktionen aus Hackl & Mauschitz (2003) eine Übereinstimmung der Werte mit Abweichungen von weniger als 10 %. Für die B-Szenarien liegen die Abweichungen im Bereich von 10 – 20 %, was mit dem generell heizwertärmeren Abfallinput im Rahmen dieser Szenarien erklärt werden kann. Insgesamt belegt der Vergleich der Ergebnisse aus den Kohlenstoffbilanzen für heizwertreiche Fraktionen mit Emissionsfaktoren aus der Literatur die Güte der Kohlenstoffbilanzierung und somit auch der ermittelten Emissionen.

Die Annahmen zur Zusammensetzung des Deponiegases und zum Gasbildungspotential von Rottereststoffen wurden aus der Literatur übernommen (siehe Kapitel 4.2). Änderungen dieser Annahmen im Schwankungsbereich vorhandener Literaturangaben bewirken eine Änderung der Bewertungsergebnisse für das Treibhauspotential von weniger als 5 % und werden daher nicht als sensitiv eingestuft.



Die Umrechnung der emittierten Verbindungen auf ihre Treibhauswirksamkeit erfolgte anhand von Charakterisierungsfaktoren des IPCC (IPCC, 2007) für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Die Modellunsicherheiten im Rahmen dieser Bewertung werden insgesamt als vergleichsweise gering angesehen.

Unsicherheiten in Bezug auf die Senken für Cadmium bestehen vor allem im Hinblick auf die langfristige Freisetzung von Cadmium aus verschiedenen Deponietypen, die Wirkung einer Verteilung von Cadmium in Bauwerken als Zementinhaltsstoff sowie den letztendlichen Verbleib von Cadmiumträgern (z.B. NiCd-Batterien) im Eisen-schrott.

#### **4.4.3 Szenarioabhängige Einschränkungen und Unsicherheiten**

Zunächst sei nochmals erwähnt, dass die entwickelten Szenarien nicht die realen Verhältnisse in der Steiermark wider spiegeln (auch der „Status Quo“ ist mit schwer quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet) sondern primär einen Vergleich verschiedener Behandlungsoptionen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark ermöglichen sollen.

Die Festlegung sortierfraktionsbezogener Transferkoeffizienten erfolgte unter anderem für eine typische Gewerbemüllsplittanlage und eine typische mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage. Die beiden Modellanlagen basieren auf der Annahme einer funktionalen Trennung bei der Abfallaufbereitung: je nach Input kann die Anlagenspezifikation besser an diesen angepasst werden und dadurch können jeweils unterschiedliche Transferkoeffizienten erzielt werden. Die Verwendung dieser beiden Modellanlagentypen wird durch die Wissenslücken in Bezug auf die Effekte einer Vermischung von Abfallströmen mit unterschiedlichen Aufbereitungseigenschaften bedingt.

Transportvorgänge im Zuge der Sammlung und Behandlung der betrachteten Abfälle wurden in der Bilanzierung der einzelnen Szenarien nicht berücksichtigt. Da für eine korrekte Berücksichtigung von Transportleistungen aufwendige Abschätzungen zu den logistischen Anforderungen im Rahmen der Szenarien erforderlich wären, wurden in dieser Arbeit die Transportaufwendungen in generischer Art und Weise in die Bewertung der Szenarien miteinbezogen. Die Darstellung des Transportaufwandes, der durch die Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle kompensiert werden kann, erlaubt eine Umlegung der Ergebnisse auf unterschiedliche Rahmenbedingungen und Regionen. Diese Vorgehensweise ermöglicht somit einen Vergleich der Behandlungsszenarien im Hinblick auf den Effekt eventuell gesteigerter Transportaufwendungen. Die tatsächlichen Änderungen der Transportleistungen bei der Entwicklung eines bestimmten Behandlungskonzeptes für hausmüllähnliche Ge-

werbeabfälle müssen schließlich ohnehin für den konkreten Fall anhand von Logistikkonzepten ermittelt und beurteilt werden.

Die Verwertungswege der Outputgüter im Rahmen der Szenarien wurden entsprechend den Rahmenbedingungen der steirischen Abfallwirtschaft angesetzt. Sie stellen somit modellhaft die Verwertungsoptionen für Outputgüter aus Behandlungsanlagen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle dar. Für einige Outputströme existieren noch andere Verwertungsoptionen, einige davon werden in der Folge kurz diskutiert:

Die Verwertung der mittelkalorischen Fraktion aus der Aufbereitung in der Zementindustrie im Rahmen des Hot-Disk-Verfahrens wurde von Pomberger (2008) bereits beschrieben, stellt aber noch keinen typischen Verwertungsweg für diese Fraktion dar. Die KEA- und THP-Gutschriften würden sich für diesen Verwertungsweg erhöhen, wobei die Szenarien mit größeren Mengen mittelkalorischer Outputgüter (im Wesentlichen die Szenarien mit getrennten Behandlungslösungen) im Vergleich die stärkste Erhöhung verzeichnen würden. Diese Verwertungslösung unterstützt somit die Tendenz zu einer getrennten Sammlung und Behandlung der Abfälle.

Für das Altholz aus der Vorsortierung wird im Zuge der Szenarien von einer stofflichen Verwertung ausgegangen. Bezieht man bei der Bilanzierung der Holzverwertung auch die thermische Verwertung des Recyclingprodukts mit ein, so steigen die Gutschriften an KEA und THP für alle Szenarien an. Die Berücksichtigung im Rahmen der A-Szenarien führt zu einer Steigerung der KEA-Gutschrift um ca. 5 % und der THP-Gutschrift um ca. 9 %. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die B-Szenarien, die KEA-Einsparung steigt um ca. 3 % und die Einsparungen an THP erhöhen sich um ca. 4 %. Im Hinblick auf den Vergleich der einzelnen Behandlungsszenarien ergeben sich durch diese Mitberücksichtigung aber keine wesentlichen Änderungen. Trotz alternativer Verwertungsmöglichkeiten für einige Outputgüter kann einerseits davon ausgegangen werden, dass diese das Ergebnis tendenziell nicht verändern würden, andererseits entspricht die Verwendung typischer Verwertungswege dem modellhaften Charakter der Szenarien. Letztlich wird durch die gewählten Verwertungswege die Verwertungssituation für Fraktionen aus der Aufbereitung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark am Besten dargestellt.

Zur Beschreibung der Ziele der Abfallwirtschaft wurden vier Bewertungskriterien heran gezogen und die Szenarien nach diesen Kriterien beurteilt. Sie stellen kein vollständiges Abbild der abfallwirtschaftlichen Ziele dar, sollen aber in ihrer Zusammenschau eine Beurteilung der verschiedenen Behandlungsszenarien hinsichtlich ihrer jeweiligen Zielerfüllung erlauben. Ökonomische Kriterien wurden in die Betrachtungen nicht miteinbezogen, da die Berechnung von Kosten (betriebs- und volkswirtschaftlich) für verschiedene Behandlungsoptionen nicht Teil dieser Studie war.



#### 4.4.4 Zuverlässigkeit der Ergebnisse und Forschungsbedarf

Generell sind die entwickelten Szenarien und die daraus abgeleiteten Bewertungsergebnisse als Modellsysteme zur Beurteilung verschiedener Behandlungsoptionen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zu sehen. Die tatsächliche Menge der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Steiermark spielt in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle, sie hat aber einen Einfluss darauf, wie deutlich der Unterschied zwischen den Bewertungsergebnisse der einzelnen Behandlungsszenarien ausfällt. Was die Repräsentativität der entwickelten Modellabfallzusammensetzungen betrifft, so kann festgestellt werden, dass diese aufgrund der guten Übereinstimmungen von Kohlenstoffgehalten, unteren Heizwerten und Wassergehalten zwischen Literaturdaten und den Bilanzierungsergebnissen (vgl. Kapitel 4.1) als plausibel anzusehen sind.

Methodische Einschränkungen ergeben sich vor allem aufgrund der begrenzten Übertragbarkeit von sortierfraktionsbezogenen Transferkoeffizienten, die für bestimmte Abfallinputs der Modellanlagen ermittelt wurden. Die Definition von „Modellanlagentypen“ mit bestimmten Aufbereitungsleistungen ist eine Näherung, die durch Erkenntnisse aus Behandlungsversuchen für verschiedene Abfälle und deren Mischungen verbessert werden sollte. Die Unsicherheiten für die verschiedenen Bewertungskriterien bzw. deren Auswirkungen auf den Szenarienvergleich liegen in Relation zu den Unsicherheiten hinsichtlich der Datengrundlage zu hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in der Steiermark in einem akzeptablen Bereich.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Bilanzierung, Bewertung und Diskussion der entwickelten Szenarien eine Grundlage für Aussagen hinsichtlich des Effektes bzw. der Zielorientierung verschiedener Behandlungsoptionen darstellt. Die Szenarien erlauben eine robuste Beurteilung der Auswirkungen genereller Behandlungswege für bestimmte hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, maßgeschneiderte Konzepte für die steirische Abfallwirtschaft können aber v.a. aufgrund der schlechten Datenlage nicht abgeleitet werden. Daher wäre es im Interesse der Entwicklung spezifischer Lösungsansätze zur Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle, vorhandene Daten- und Wissenslücken im Hinblick auf diesen Abfallstrom zu schließen. Wissensdefizite und Forschungsbedarf im Bezug auf die Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle bestehen in erster Linie für die folgenden beiden Punkte:

- Einerseits werden Methoden für eine konsequente Erfassung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in Abhängigkeit von Strukturgebieten und Branchen (in der Steiermark) sowie Bestimmungen der spezifischen Abfallzusammensetzungen benötigt.
- Andererseits sind Untersuchungen zu veränderten Aufbereitungseigenschaften von Abfallteilströmen (z.B. Sortierfraktionen) aufgrund der Ver-

mischung von Abfällen mit unterschiedlichen Charakteristika (z.B. Wassergehalt oder Anteil an nativer Organik) und darauf aufbauend die Analyse geänderter Transferkoeffizienten aufgrund veränderter Abfallgemische im Anlageninput notwendig.

Zusätzlich zu diesen beiden Hauptaspekten sind auch Erkenntnisse zum Langzeitverhalten von Schwermetallen in Deponien und der Verfügbarkeit bzw. Nicht-Verfügbarkeit von Kohlenstoff in Deponien für die behandelten Fragestellungen von Bedeutung. Außerdem wären Untersuchungen abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen in Betrieben und Regionen im Hinblick auf deren Einfluss auf die Zusammensetzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle und deren Behandlungswege eine wichtige Ergänzung zur Ableitung und Umsetzung von Sammlungs- und Behandlungskonzepten für die Steiermark.



## 5 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieser Arbeit werden Grundlagen zur Beurteilung verschiedener Behandlungskonzepte für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle geschaffen. Darauf aufbauend wird die abfallwirtschaftliche Zielorientierung verschiedener Behandlungskonzepte bewertet und daraus Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark abgeleitet.

### 5.1 Schlussfolgerungen

Aufgrund der unscharfen Definition des Begriffs „hausmüllähnliche Gewerbeabfälle“ wird eine operative, entsorgungsorientierte Unterteilung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, basierend auf dem jeweiligen Sammelsystem, vorgenommen. Dabei bezeichnet „Geschäftsmüll“ den Teil des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, der über die Systemabfuhr gemeinsam mit dem Hausmüll gesammelt wird. „Gewerbemüll“ beschreibt hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, die getrennt vom Hausmüll durch private Entsorger gesammelt werden. Anhand von Daten der Steiermärkischen Landesregierung, der SDAG und von Literaturangaben werden Mengenschätzungen und Modellabfallzusammensetzungen für diese beiden Teilfraktionen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle entwickelt. Die schlechte Datenlage im Bezug auf diese Abfallströme bedingt eine relativ hohe Unsicherheit der Mengenschätzungen. Durch den Vergleich verschiedener Schätzmethode wird die Unschärfe der Abfallmengenmittlung für Gewerbemüll mit 30 % und für Geschäftsmüll mit 50 % angenommen. Aus Mangel an konkreten Angaben über die effektiv anfallenden Abfälle wurden mögliche Modellabfallzusammensetzungen definiert; sie beschreiben typische Abfallarten des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, die teilweise aus branchenspezifischen Abfallzusammensetzungen verschiedener Gewerbebezüge errechnet wurden. Betriebliche Abfälle können schließlich im konkreten Fall anhand bestimmter Kriterien (z.B. Anteil nativer Organik, Wassergehalt, Heizwert) diesen Modellabfällen zugeordnet werden und in weiterer Folge, entsprechend den Ergebnissen dieser Studie, geeigneten Behandlungsverfahren zugewiesen werden.

Die zur Verfügung stehenden Anlagen zur Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Steiermark wurden hinsichtlich der eingesetzten Verfahren und der vorhandenen Kapazitäten beschrieben. Der gesammelte Abfall wird entweder bei einer Gewerbemüllsplittanlage zur „getrennten“ Behandlung oder bei einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage zur „gemeinsamen“ Behandlung mit Hausmüll angeliefert. Die Transferkoeffizienten auf Massen-, Sortierfraktions- und Stoffebene werden, basierend auf Messwerten bestehender Anlagen, für die

Modellanlagen bestimmt. Durch die Verknüpfung der beschriebenen Modellanlagen erfolgt die Herleitung von Behandlungsszenarien anhand derer der Effekt unterschiedlicher Behandlungskonzepte für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle untersucht wird. Es werden zwei verschiedene Szenarienserien entwickelt, um den Effekt unterschiedlicher Abfallinputs auf die Eignung der Behandlungskonzepte zur Behandlung des jeweiligen hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls zu überprüfen (vgl. Tabelle 5-1). Diese Änderung der Randbedingungen ist aufgrund fehlender Informationen zur tatsächlichen Zusammensetzung der Abfälle notwendig und dient dazu, trotz der schlechten Datenlage, robuste Aussagen hinsichtlich optimaler Behandlungsverfahren für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zu ermöglichen. Die Szenarien der Serie A bestehen aus dem „Status-Quo“ (AO), einem Szenario zur Betrachtung der getrennten Sammlung und Behandlung von Gewerbemüll (A1) und einem Szenario zur Untersuchung einer gemeinsamen Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle mit kommunalem Restmüll (A2). Da in diesen Szenarien wahrscheinlich der Anteil an trockenen, heizwertreichen Abfallfraktionen im Input überschätzt wird, wurde ein zweiter Satz von Szenarien definiert: Die Szenarien der Serie B unterschätzen tendenziell den Anteil des heizwertreichen, gut aufbereitbaren Anteils der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle. Auch in den beiden B-Szenarien werden einerseits eine getrennte Sammlung und Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle basierend auf branchentypischen Abfallzusammensetzungen (B1) und andererseits eine gemeinsame Behandlung des gesamten Abfallstroms mit kommunalem Restmüll (B2) betrachtet. Insgesamt sollen die Szenarien dazu dienen den Effekt einer getrennten Behandlung betrieblichen Restmülls in verschiedenen Anlagen, aufgrund bestimmter Trennkriterien, mit den Auswirkungen einer gemeinsamen Behandlung mit kommunalen Restmüll zu vergleichen. Die Szenarien sind modellhaft zu sehen. Sie stellen nicht die reale Situation in der Steiermark dar, sondern eine Bandbreite in der sich diese bewegen könnte. In Tabelle 5-1 sind die wesentlichen Charakteristika der Szenarien nochmals kurz dargestellt.

Tabelle 5-1: Charakteristika der untersuchten Szenarien

Untersuchte Szenarien	Abfallinput	Behandlungskonzept
„Status Quo“ (AO)	Serie A (heizwertreich)	Derzeitige Situation (Schätzung)
Szenario A1	Serie A (heizwertreich)	Getrennte Behandlung
Szenario A2	Serie A (heizwertreich)	Gemeinsame Behandlung (mit Systemmüll)
Szenario B1	Serie B (heizwertarm)	Getrennte Behandlung (branchenspezifisch)
Szenario B2	Serie B (heizwertarm)	Gemeinsame Behandlung (mit Systemmüll)

Die Szenarien wurden gemäß der Methode der Stoffflussanalyse auf Güterebene sowie für Kohlenstoff und Cadmium auf Stoffebene bilanziert. Anhand von Transferkoeffizienten für die einzelnen Sortierfraktionen des Abfallinputs werden die jeweiligen Outputgüter und deren Zusammensetzung (sortierfraktionsbezogen) ermittelt.



Die Ergebnisse der Güter- und Stoffbilanzen stellen schließlich die Grundlage für die Bewertung der verschiedenen Szenarien dar.

Die Bewertung der entwickelten Szenarien hinsichtlich der Erfüllung abfallwirtschaftlicher Ziele erfolgt anhand von vier Kriterien. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist ein quantitatives Maß für den Primärenergiebedarf zur Bereitstellung eines bestimmten Gutes. Die Emissionen klimarelevanter Gase werden anhand des Treibhauspotentials (THP) bewertet. Das verbrauchte Deponievolumen wird durch eine Betrachtung der jeweils deponierten Abfallfraktionen beurteilt. Als viertes Kriterium wird die Lenkung von Schadstoffen in geeignete Senken im Rahmen der Behandlungsszenarien exemplarisch anhand einer Betrachtung der Cadmiumflüsse evaluiert. In ihrer Zusammenschau sollen diese Indikatoren sowohl eine Bewertung im Hinblick auf die Schonung von Ressourcen als auch im Bezug auf den Schutz von Mensch und Umwelt ermöglichen und somit eine exemplarische, quantitative Beschreibung abfallwirtschaftlicher Ziele ermöglichen.

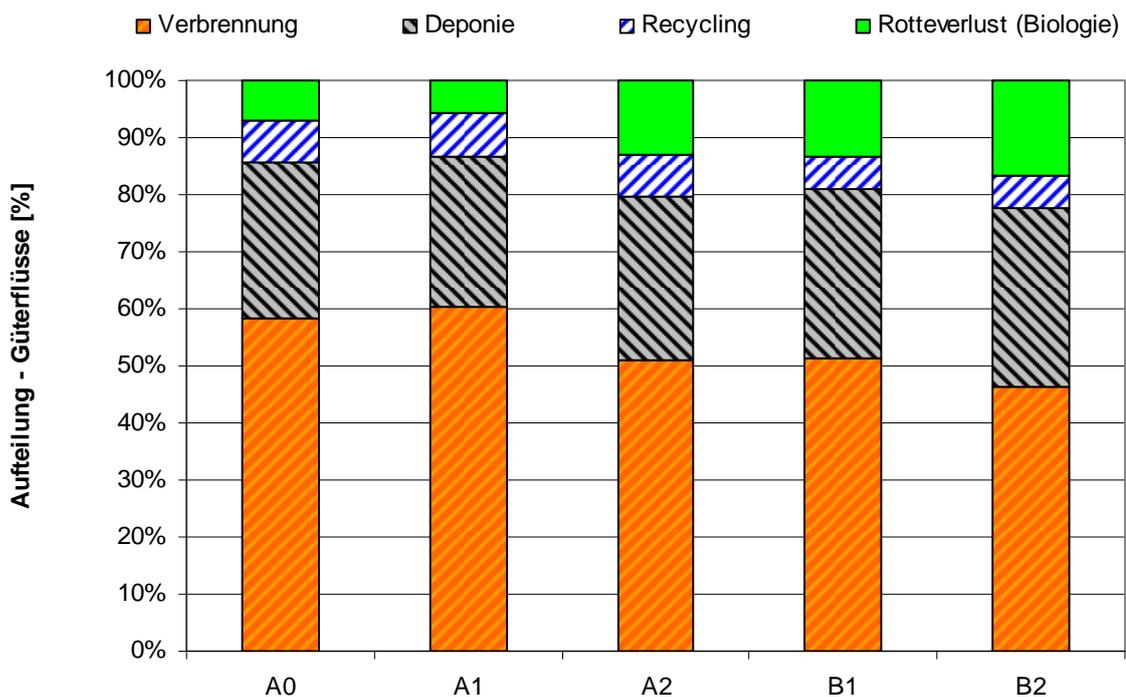


Abbildung 5-1: Aufteilung der bilanzierten Güterflüsse auf ausgewählte Prozesse

Die Ergebnisse der Güterbilanzierung der Behandlungsszenarien sind in Abbildung 5-1 für ausgewählte Prozesse dargestellt. Im Rahmen der A-Szenarien werden zwischen 50 % und 66 % des Abfallinputs thermisch verwertet, wobei bei getrennter Sammlung die größten Mengen an heizwertreichen Fraktionen erzeugt werden. Bei der gemeinsamen Sammlung und Behandlung des hausmüllähnlichen Abfalls mit kommunalem Restmüll wird der Abfallinput verstärkt im Zuge der Rotte ausge-

tragen oder auf Deponien abgelagert. Auch für die Szenarien der Serie B ergibt sich ein ähnliches Bild. Wiederum weist das Szenario mit einer getrennten Sammlung und Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (Trennung basierend auf branchenspezifischen Abfallcharakteristika) die größte Menge an heizwertreichen Outputgütern zur thermischen Verwertung auf. Die gemeinsame Behandlung führt auch hier zu einem verstärkten Austrag von Abfallinhaltsstoffen als Rotteverluste und in etwas mehr deponierten Abfällen.

Wie beschrieben bilden die Stoffflussanalysen für Kohlenstoff und Cadmium die Basis für die Bewertung treibhausrelevanter Emissionen einerseits sowie für die Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken andererseits. Der Großteil des Kohlenstoffs im Abfallinput wird in den hochkalorischen Fraktionen angereichert, bei getrennter Behandlung des Gewerbemülls stärker als bei Szenarien mit gemeinsamen Behandlungswegen für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und kommunalen Restmüll. Zur Diskussion der Steuerung problematischer Stoffe wird exemplarisch Cadmium heran gezogen, es stellt einen Vertreter aus einer Gruppe von Stoffen, wie z.B. Blei oder Quecksilber, dar. Im Rahmen der Szenarien wird Cadmium vorwiegend auf Deponien, unterschiedlicher Klassen, abgelagert, ansonsten wird ein wesentlicher Anteil über den Eisenschrott ausgetragen und in Ersatzbrennstoffen an die Zementindustrie abgegeben.

Die Bewertung anhand des kumulierten Energieaufwandes (KEA) basiert auf den ermittelten Güterflüssen und Daten zum KEA verschiedener Materialien. Die Bilanzierungsergebnisse ergeben sich aus den Gutschriften für die Verwertung von Abfallfraktionen und den Abzügen für den Aufwand zur Behandlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle. Für alle Szenarien kommt es insgesamt zu Gutschriften aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle. Die KEA-Einsparungen liegen dabei zwischen 850 TJ und 1.120 TJ an Primärenergieaufwand, wobei die höchsten Einsparungen durch die Szenarien mit getrennter Sammlung und Behandlung erzielt werden. Der Unterschied beträgt zwischen Szenario A1 und A2 ca. 15 % und zwischen B1 und B2 ca. 11 %. Umgerechnet in Transportaufwendungen für den hausmüllähnlichen Gewerbeabfall der Steiermark entspricht dies einer zusätzlichen Entfernung von 950 bzw. 540 km für jede Tonne Abfall, die durch eine getrennte Behandlung kompensiert werden kann.

Die Ermittlung treibhausrelevanter Emissionen erfolgt basierend auf den bilanzierten Kohlenstoffflüssen, ihrer biogenen Anteile, Annahmen zu den ausgetragenen Verbindungen und Informationen zu Treibhausgasen, die bei der Bereitstellung bestimmter Güter freigesetzt werden. Die Ermittlung der direkten und indirekten klimarelevanten Emissionen ergab für alle Szenarien Einsparungen an Treibhauspotential zwischen 40.000 und 57.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Trotz der geringe-



ren Gutschriften für die verwerteten Fraktionen, erzielten die B-Szenarien die höchsten Einsparungen an THP. Der Grund dafür liegt in den hohen biogenen Kohlenstoffanteilen im Abfallinput, da diese Kohlenstoffanteile bei der Emission (außer in CH<sub>4</sub>) nicht als klimarelevant angesehen werden. Ansonsten gilt aber auch für die Bewertung anhand des THP, dass die Szenarien mit getrennten Behandlungsstrategien die höheren Einsparungen erzielen. Die Unterschiede zwischen den Szenarien mit getrennter und gemeinsamer Behandlung betragen, umgerechnet in Transportkilometer für die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle der Steiermark, 780 km pro Tonne Abfall für die A-Szenarien und 520 km pro Tonne Abfall für die B-Szenarien.

Die Berechnung des benötigten Deponievolumens für die einzelnen Behandlungsszenarien ergibt verbrauchte Gesamtvolumina im Bereich von 24.000 bis 27.000 m<sup>3</sup>. Im Zuge aller Szenarien werden mehr als 95 % des Volumens auf Massenabfalldeponien und Reststoffdeponien benötigt, wobei der größte Volumenbedarf auf Massenabfalldeponien besteht. Die Szenarien mit getrennter Behandlung benötigen zwar insgesamt das geringste Deponievolumen, weisen aber dafür einen höheren Bedarf an Untertagedeponievolumen auf, welches in der Steiermark nicht zur Verfügung steht.

Der Großteil des Cadmiums wird deponiert und verbleibt über lange Zeiträume in diesen Deponien. Als geeignete Senke wird die Untertagedeponie, bei der eine langfristige Abkapselung des Cadmiums von der Umwelt gegeben ist, betrachtet. Die anderen Deponietypen eignen sich nur bedingt als Senken für Cadmium, da Cadmium dort nicht von der Umwelt abgeschlossen werden kann und deren langfristiges Schwermetallemissionsverhalten nicht vollständig verstanden ist. Hinsichtlich des zweitgrößten Cadmiumflusses, Eisenschrott zur Verwertung in der Stahlindustrie, besteht erhöhter Informationsbedarf was den letztendlichen Verbleib des abgeschiedenen sowie des rezirkulierten Cadmiums betrifft. Die Cadmiumflüsse zur Zementindustrie über die Ersatzbrennstoffe führen zu einem Eintrag des Cadmiums in den Zement und in weiterer Folge zu einer Verteilung in der Umwelt. Dieser Cadmiumpfad ist daher als ungeeignete Senke für Cadmium anzusehen. Die Lenkung der Cadmiumflüsse in geeignete Senken unterscheidet sich zwar für die beiden Szenarioserien (aufgrund der unterschiedlichen Inputs), wird aber hinsichtlich verschiedener Behandlungskonzepte innerhalb einer Serie ähnlich beurteilt. Durch die relativ geringen Unterschiede zwischen den Cadmiumflüssen im Rahmen einer Serie, ergibt sich keine eindeutige Präferenz für eine Behandlungsoption im Bezug auf die Cadmiumlenkung.

Die Ergebnisse dieser Arbeit beruhen auf einer Reihe von Annahmen und Datenunsicherheiten. Diese Einschränkungen betreffen unter anderem die Mengen und Zusammensetzungen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle in der Steiermark sowie das Aufbereitungsverhalten verschiedener Abfallgemische. Letztendlich sind anhand

der entwickelten Szenarien und ihrer Bewertung Aussagen über die Eignung von Behandlungsstrategien für bestimmte hausmüllähnliche Gewerbeabfälle möglich, eine Beurteilung der aktuellen Bewirtschaftung dieser Abfälle in der Steiermark ist aber aufgrund der schlechten Datenlage nicht zulässig. Zur Entwicklung spezifischer Behandlungsansätze für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark ist es daher unerlässlich, vorhandene Daten- und Wissenslücken im Hinblick auf diese Abfälle zu schließen.

Die Erkenntnisse dieser Studie ermöglichen eine Zuordnung von Abfällen anhand bestimmter Kriterien, wie dem Heizwert, dem Anteil trockener Wertstofffraktionen, dem Anteil an nativer Organik oder dem Wassergehalt zu geeigneten Behandlungsverfahren. Je nachdem welchem Modellabfalltyp der Restmüll eines bestimmten Betriebes zuzuordnen ist, kann dieser Abfall entsprechenden Behandlungsverfahren zugeordnet werden. Der Unterschied zwischen den Aufbereitungsverfahren im Zuge der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle ergibt sich dabei primär aufgrund der Zuweisung verschiedener Abfallströme zu den jeweiligen Anlagentypen. Letztendlich werden die Behandlungsanlagen für einen „typischen“ Anlageninput konfiguriert, was bei einer konsequenten Auftrennung von Abfällen mit unterschiedlichen Aufbereitungseigenschaften zu einer optimalen Behandlung für diese Abfälle führt. Die Zuordnung bestimmter Abfälle zu geeigneten Behandlungsverfahren erfolgt in der Regel nach Maßgabe der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung öffentlicher Interessen. Die vorliegende Arbeit weist darauf hin, dass, wie beim Hausmüll, eine getrennte Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen mit unterschiedlichen Aufbereitungseigenschaften vorteilhaft bezüglich der Erreichung der Ziele des AWG ist.



## 5.2 Beantwortung der Fragestellungen

*Wie kann die Menge an gewerblichem Restmüll „gemessen“ werden?*

Aufgrund des großen Einflusses abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen und der schlechten Datenlage im Bezug auf gewerblichen Restmüll ist eine Übertragung von Literaturdaten aus anderen Gebieten mit großen Unsicherheiten behaftet. Zuverlässigere Schätzungen (für den getrennt gesammelten Anteil) lassen sich anhand angelieferter Gewerbemüllmengen bei diversen Behandlungsanlagen ableiten. Für eine genügend genaue Erhebung der Menge an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen sind jedenfalls Untersuchungen zum Abfallaufkommen auf betrieblicher Ebene in unterschiedlichen Branchen und mit unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Bedingungen notwendig. Eine Messung der Menge an gewerblichem Restmüll ist nur möglich wenn auch die anderen Abfallströme bekannt sind, daher sind zuverlässige Aussagen zu diesen Abfällen letztlich nur anhand von vollständigen Güterbilanzen der Betriebe ableitbar.

*Wie kann die Zusammensetzung dieser Abfälle bestimmt werden und welche branchenspezifischen Unterschiede lassen sich feststellen?*

Die Zusammensetzung der Abfälle muss beim Abfallerzeuger (z.B. anhand von Sortieranalysen) erhoben und über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Auch der Einfluss verfügbarer Sammelbehälter und ihrer Volumina auf die Abfallzusammensetzung ist zu berücksichtigen. Aus der Literatur ist bereits bekannt, dass die Zusammensetzung des betrieblichen Restmülls stark von der jeweiligen Geschäftstätigkeit des Betriebes (= Branchenzugehörigkeit) beeinflusst wird. Anhand von, teilweise bereits vorhandenen, Daten der Abfallsammler und -behandler können branchenspezifische Abfallzusammensetzungen auch für steiermärkische Verhältnisse quantifiziert werden.

*Welches sind die Massenflüsse und die Zusammensetzungen des gewerblichen Restmülls in der Steiermark im Jahre 2006?*

Für das Jahr 2006 wird eine Menge hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark von 115.000 Tonnen abgeschätzt, wobei diese Schätzung mit einer nicht quantifizierbaren Unschärfe behaftet ist. Die Zusammensetzungen der Abfälle wurden anhand von Modellabfällen (basierend auf Literaturdaten zu branchenspezifischen Restmüllzusammensetzungen) für eine Bandbreite möglicher Abfallzusammensetzungen diskutiert.

*Welche Behandlungsanlagen kommen für diese Abfälle in Frage? Wie groß sind deren Behandlungskapazitäten?*

In der Steiermark stehen für die Behandlung von Restmüll mechanisch-biologische Anlagen (MBA) und Splittinganlagen (SA) zur Verfügung. Diese Anlagen weisen eine Kapazität von 190.000 Tonnen (MBA) bzw. 307.000 Tonnen (SA) pro Jahr auf. Im

Rahmen dieser Arbeit werden zwei Modellanlagen entworfen anhand derer die untersuchten Behandlungskonzepte betrachtet werden. Einerseits ein Anlage zur „sortenreinen“ Behandlung von Gewerbemüll (=Gewerbemüllsplitting) und andererseits eine Anlage zur Behandlung von kommunalem Restmüll (=mechanisch-biologische Abfallbehandlung).

*Mit welchen Kriterien können diese Anlagen im Hinblick auf die Erfüllung der Ziele des AWG bewertet werden?*

Die Erfüllung der Ziele des AWG („Schutz von Mensch und Umwelt“, „Schonung von Ressourcen“ und „nachsorgefreie Abfallwirtschaft“) werden anhand des kumulierten Energieaufwandes, des Treibhauspotentials, des verbrauchten Deponievolumens sowie hinsichtlich der Lenkung problematischer Stoffe in geeignete Senken beurteilt. Diese Kriterien ermöglichen zwar für sich keine umfassende Erfassung abfallwirtschaftlicher Ziele, sie beschreiben allerdings wesentliche Aspekte dieser Ziele und ermöglichen in ihrer Zusammenschau eine entsprechende Beurteilung.

*Welche Szenarien lassen sich für die Behandlung und Verwertung des gewerblichen Restmülls in der Steiermark bilden?*

Aufgrund der vorhandenen Datenunschärfe wurden zwei Serien von Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Abfallinputs entwickelt. Diese Änderung der Randbedingungen ist notwendig, um robuste Aussagen auch im Hinblick auf unterschiedliche Zusammensetzungen hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu treffen. Die Szenarioanalyse erfolgt somit für den Status Quo (AO) und vier Szenarien (jeweils zwei mit identischen Abfallinputs) zur Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Behandlungskonzepte für den betrieblichen Restmüll der Steiermark.

*Welches sind die Resultate der Bewertung der Szenarien anhand der Kriterien?*

In der vorhergehenden Zusammenfassung (siehe Kapitel 5.1) werden die Ergebnisse aus der Bewertung der Szenarien ausführlich diskutiert. Die Betrachtungen ergeben, dass eine getrennte Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen mit unterschiedlichen Aufbereitungseigenschaften vorteilhaft bezüglich der Erreichung der Ziele des AWG ist, ein bestimmtes Behandlungskonzept aber immer in Abhängigkeit abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen zu beurteilen ist.

*Welche Kriterien sind robust und eignen sich für die Zuordnung von Abfällen zu Behandlungsanlagen?*

Für die Zuordnung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle zu einer getrennten Sammlung und Behandlung eignen sich Kriterien wie der Anteil trockener Wertstoffe (z.B. Papier & Pappe, Kunststoffe) im Abfall, der Heizwert oder der Anteil nativer Organik im Abfall. Das heißt, um eine Zuordnung für bestimmte Abfälle durchführen zu können, sind Kenntnisse zu deren Zusammensetzung eine Voraussetzung.



### 5.3 Handlungsempfehlungen

Basierend auf den Aussagen dieser Studie, in der Kostenaspekte nicht berücksichtigt wurden, können folgende Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark abgeleitet werden:

- Eine möglichst getrennte Erfassung homogener Abfälle (z.B. Altstoffe, produktionsspezifische Abfälle) bei der Abfallentstehung, liegt auch im wirtschaftlichen Interesse der Betriebe und sollte unterstützt werden.
- Für verschiedene Abfallströme aus Betrieben sind einheitliche Begriffsdefinitionen sowie eine Beschreibung der branchenspezifischen Abfallzusammensetzungen (inklusive einer Betrachtung bestimmender Einflussfaktoren auf diese) anzustreben.
- Untersuchungen zur Menge und Zusammensetzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark (v. a. im Hinblick auf eine branchenbezogene Unterscheidung betrieblichen Restmülls) sind als Grundlage für die Zuordnung der Abfälle zu bestimmten Behandlungsverfahren notwendig.
- Eine getrennte Sammlung und Behandlung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen mit unterschiedlichen Aufbereitungseigenschaften ist im Sinne einer zielorientierten Abfallwirtschaft zu bevorzugen.
  - o Trockene, heizwertreichere Abfälle sollten getrennt von kommunalem Restmüll gesammelt und in speziellen Aufbereitungsanlagen (Gewerbemüllsplittinganlagen) behandelt werden.
- Eine getrennte Sammlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle ist nur dann zu rechtfertigen, wenn die Zusammensetzung der entsprechenden Abfälle bekannt ist.
- Konkrete Bewirtschaftungskonzepte sind im Kontext abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen zu sehen. Generell ist die Datenlage im Bezug auf hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und deren Zusammensetzung schlecht, sie ist zu verbessern.





## 6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abbildung 3-1:	Schematische Illustration der Abfälle aus Industrie und Gewerbe unterteilt nach Art der Sammlung und deren Bezug zu Haushaltsabfällen.....	5
Abbildung 3-2:	Durchschnittliche Zusammensetzung des Geschäftsmülls in Wolfenbüttel 1997 (nach Kranert, 2004).....	7
Abbildung 3-3:	Gewerbemüll verschiedener Betriebe im Raum Graz (links oben: Kfz-Werkstätte und Tankstelle, rechts oben: Industrieabfälle (Maschinenbau), links unten: Baugewerbe (Flachdachbau), rechts unten: gemischter Gewerbemüll verschiedener Kleinbetriebe).....	21
Abbildung 3-4:	Restmüll nach der Anlieferung bei einer Abfallbehandlungsanlage (links: Gewerbemüll, rechts: kommunaler Restmüll) .....	21
Abbildung 3-5:	Modellsystem für eine Restmüllsplittinganlage mit Gewerbemüll (Abfall C) als Input .....	27
Abbildung 3-6:	Modellsystem für eine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage mit kommunalem Restmüll und Sperrmüll als Input .....	30
Abbildung 3-7:	Modellanlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die Zementindustrie aus heizwertreichen Fraktionen .....	32
Abbildung 3-8:	Teilbereich der steirischen Abfallwirtschaft der durch die Szenarien abgebildet wird. ....	38
Abbildung 3-9:	Qualitative Darstellung des „Status Quo“ (AO).....	41
Abbildung 3-10:	Qualitative Darstellung von Szenario A1: Getrennte Behandlung .....	42
Abbildung 3-11:	Qualitative Darstellung von Szenario A2: Gemeinsame Behandlung.....	43
Abbildung 3-12:	Qualitative Darstellung von Szenario B1: Trennung nach Abfallzusammensetzungen.....	44
Abbildung 3-13:	Qualitative Darstellung von Szenario B2: Gemeinsame Behandlung.....	45
Abbildung 4-1:	Güterflussanalyse für den Status Quo (AO) .....	50
Abbildung 4-2:	Güterflussanalyse für Szenario A1 "Getrennt gesammelt, getrennt behandelt" .....	51
Abbildung 4-3:	Güterflussanalyse für Szenario A2 "Gemeinsame Behandlung" .....	53
Abbildung 4-4:	Güterflussanalyse für Szenario B1 "Trennung aufgrund der Abfallcharakteristik" .....	55
Abbildung 4-5:	Güterflussanalyse für Szenario B2 "Gemeinsame Behandlung - Geschäftsmüll".....	57
Abbildung 4-6:	Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in AO (Status Quo) .....	60
Abbildung 4-7:	Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario A1 .....	62
Abbildung 4-8:	Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario A2 .....	63
Abbildung 4-9:	Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario B1 .....	65

Abbildung 4-10:	Stoffflussdiagramm für Kohlenstoff in Szenario B2.....	67
Abbildung 4-11:	Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für den „Status Quo“ (AO).....	70
Abbildung 4-12:	Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario A1 .....	71
Abbildung 4-13:	Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario A2 .....	72
Abbildung 4-14:	Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario B1 .....	73
Abbildung 4-15:	Stoffflussdiagramm der Cd-Bilanzierung für Szenario B2 .....	74
Abbildung 4-16:	Erzielte Gutschriften an kumulierten Energieaufwand der einzelnen Behandlungsszenarien .....	91
Abbildung 4-17:	Einsparung an Treibhauspotential durch die bewerteten Behandlungsszenarien .....	93
Abbildung 4-18:	Verbrauchte Deponievolumina für die betrachteten Behandlungsszenarien .....	95
Abbildung 4-19:	Vergleich der Cadmiumflüsse zu ausgewählten Zielprozessen .....	96
Abbildung 5-1:	Aufteilung der bilanzierten Güterflüsse auf ausgewählte Prozesse.....	107
Abbildung 7-1:	Behandlungsanlagen hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark.....	131
Abbildung 7-2:	Güterbilanz für die Trockensubstanz in AO.....	146
Abbildung 7-3:	Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario A1 .....	146
Abbildung 7-4:	Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario A2 .....	147
Abbildung 7-5:	Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario B1 .....	147
Abbildung 7-6:	Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario B2 .....	148



## Tabellen

Tabelle 3-1:	Durchschnittliche Geschäftsmüllzusammensetzung verschiedener Studien in g/100 g .....	9
Tabelle 3-2:	Beschreibung der Stichprobe an Betrieben aus dem Raum Graz, die Gewerbemüll an die SDAG abgeben.....	19
Tabelle 3-3:	Durchschnittlicher Geschäftsmüll aus Branchen mit eher trockenen, heizwertreichen Abfällen.....	23
Tabelle 3-4:	Durchschnittlicher Geschäftsmüll aus Branchen mit höherem Organikanteil .....	23
Tabelle 3-5:	Typischer Gewerbemüll als Input einer Splitting Anlage (Daten aus Menapce et al. (2006) und Pomberger (2008)).....	24
Tabelle 3-6:	Durchschnittlicher Geschäftsmüll basierend auf Tabelle 3-1 .....	24
Tabelle 3-7:	Restmüllzusammensetzung in der Steiermark (Land Steiermark, 2005).....	25
Tabelle 3-8:	Sortierfraktionsbezogene Transferkoeffizienten der Modell-Gewerbemüllsplittanlage (Eigene Berechnungen basierend auf Menapce et al. (2006) und Pomberger (2008)).....	28
Tabelle 3-9:	Transferkoeffizienten für Sortierfraktionen in der 1. Stufe einer mechanisch-biologischen Behandlung (Eigene Berechnung basierend auf Skutan & Brunner (2006)) .....	31
Tabelle 3-10:	Sortierfraktionsbezogene Transferkoeffizienten für die EBS-Aufbereitung .....	32
Tabelle 3-11:	Übersicht zu den verschiedenen Behandlungsszenarien für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Steiermark .....	38
Tabelle 3-12:	Zusammensetzung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle im Rahmen der A-Szenarien .....	40
Tabelle 3-13:	Mengenabschätzung für gemischte Siedlungsabfälle aus Industrie und Gewerbe in der Steiermark.....	46
Tabelle 4-1:	Ergebnisse der Güterflussanalysen des „Status Quo“ für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter.....	50
Tabelle 4-2:	Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario A1 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter.....	52
Tabelle 4-3:	Güterflüsse für die Variante von Szenario A1 mit identischer Vorsortierung für MBA und Splittinganlage.....	52
Tabelle 4-4:	Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario A2 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter.....	54
Tabelle 4-5:	Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario B1 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter.....	56
Tabelle 4-6:	Güterflüsse für die Variante von Szenario B1 mit identischer Vorsortierung für MBA und Splittinganlage.....	56
Tabelle 4-7:	Ergebnisse der Güterflussanalysen aus Szenario B2 für verwertbare Fraktionen und zu deponierende Güter.....	58

Tabelle 4-8:	Daten zum Wasser- und Kohlenstoffgehalt der Sortierfraktionen im Abfallinput der Behandlungsszenarien .....	58
Tabelle 4-9:	Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für AO (Status Quo) .....	61
Tabelle 4-10:	Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario A1.....	62
Tabelle 4-11:	Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario A2.....	63
Tabelle 4-12:	Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario B1.....	65
Tabelle 4-13:	Berechnete Kohlenstoffflüsse und Kohlenstoffgehalte für Szenario B2.....	67
Tabelle 4-14:	Cadmiumgehalte der Güterströme im Rahmen der A-Szenarien (geringer als in kommunalem Restmüll) .....	69
Tabelle 4-15:	Cadmiumgehalte der Güterströme im Rahmen der B-Szenarien (ähnlich zu kommunalem Restmüll).....	73
Tabelle 4-16:	Emittierte Kohlenstoffverbindungen für verschiedene Behandlungsprozesse .....	77
Tabelle 4-17:	Berechnungstabelle für den „Status Quo“ (AO) zur Bilanzierung des KEA .....	79
Tabelle 4-18:	Berechnungstabelle für den „Status Quo“ (AO) zur Bilanzierung der Treibhausgase .....	80
Tabelle 4-19:	Verbrauch an Deponievolumen im Zuge von AO.....	81
Tabelle 4-20:	Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für den „Status Quo“ .....	81
Tabelle 4-21:	Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario A1 .....	83
Tabelle 4-22:	Bilanzierungsergebnisse für Variante „gleiche Vorsortierung“ von Szenario A1 .....	84
Tabelle 4-23:	Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario A1 .....	84
Tabelle 4-24:	Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario A2 .....	85
Tabelle 4-25:	Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario A2 .....	86
Tabelle 4-26:	Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario B1 .....	87
Tabelle 4-27:	Bilanzierungsergebnisse für Variante „gleiche Vorsortierung“ von Szenario B1 .....	87
Tabelle 4-28:	Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario B1 .....	88
Tabelle 4-29:	Ergebnisse zum KEA, THP und verbrauchten Deponievolumen für Szenario B2 .....	89



Tabelle 4-30:	Quantitative Darstellung der Cadmiumflüsse und ihrer Senken für Szenario B2 .....	89
Tabelle 4-31:	Zusammenfassende Darstellung relevanter Güter- und Stoffflüsse.....	90
Tabelle 5-1:	Charakteristika der untersuchten Szenarien .....	106
Tabelle 7-1:	Branchenspezifische Zusammensetzung des Geschäftsmülls in Behältern (nach Kranert, 2004).....	128
Tabelle 7-2:	Geschäftsmüllmenge in der Steiermark basierend auf beschäftigungsspezifischen Angaben von Kranert (2004) .....	129
Tabelle 7-3:	Geschäftsmüllmenge in der Steiermark basierend auf beschäftigungsspezifischen Angaben von Salhofer et al. (1996).....	130
Tabelle 7-4:	Schätzung der steirischen hausmüllähnlichen Gewerbeabfallmengen auf Bezirksebene durch Abfallexperten der SDAG .....	130
Tabelle 7-5:	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen in der Steiermark (Quelle: Land Steiermark, 2007) .....	131
Tabelle 7-6:	Restmüllsplittingsanlagen in der Steiermark (Quelle: Land Steiermark, 2007).....	131
Tabelle 7-7:	Bilanzierungsdaten zum „Status Quo“ (AO).....	132
Tabelle 7-8:	Bilanzierungsdaten zu Szenario A1 „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“ .....	135
Tabelle 7-9:	Bilanzierungsdaten zu Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“ .....	138
Tabelle 7-10:	Bilanzierungsdaten zu Szenario B1 „Abfallcharakteristik“ .....	140
Tabelle 7-11:	Bilanzierungsdaten zu Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung“ .....	143
Tabelle 7-12:	Biogene und fossile C-Anteile der einzelnen Sortierfraktionen.....	145
Tabelle 7-13:	Indikatorwerte für die Bewertung anhand von KEA und THP .....	149
Tabelle 7-14:	Daten zu den Brennmaterialien für die Bilanzierung der thermischen Verwertung.....	149





## 7 Literatur

AWG (2002): Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002). BGBl. I Nr. 102 zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 34/2006.

Belevi, H. & Baccini, P. (1989): Long-Term Behaviour of Municipal Solid Waste Landfills. *Waste Management & Research*, 7, 43 - 56.

Böhmer, S., Kügler, I., Stoiber, H., Walter, B. (2007): Abfallverbrennung in Österreich - Statusbericht 2006. Publikation des Umweltbundesamtes im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Boie, W. (1957): Vom Brennstoff zum Rauchgas. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig.

Brunner, P.H. & Rechberger, H. (2004): Practical Handbook of Material Flow Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton.

Brunner, P.H., Döberl, G., Eder, M., Frühwirth, W., Huber, R., Hutterer, H., Pierard, R., Schönback, W., Wöglinger, H. (2001): Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND). Monographie des Umweltbundesamtes, Band 149, Wien.

BUWAL/UBA (1999): Bilanzdaten zu LKW-Transport mit Anhänger aus dem Globalen Emissions Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Download unter: <http://www.gemis.de>

Cencic, O. (2008): STAN – Software zur Durchführung von Güter- und Stoffflussanalysen gemäß ÖNORM S2096: <http://www.iwa.tuwien.ac.at/iwa226/stan.html>

Fehringer, R., Rechberger, H., Pesonen, H.-L., Brunner, P.H. (1997): Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (Projekt: ASTRA). Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft - Abteilung Abfallwirtschaft, TU Wien.

Frühwirth, W., Stark, W., Pilz, H., Schweighofer, J. (2005): Vermeidung und Verwertung von getrennt gesammelten Abfällen und hausmüllähnlichen Abfällen aus

Gewerbe und Industrie in Österreich. Endbericht zur Studie im Auftrag des BMLFUW, Wien.

Gruber, W. (2007): Untersuchungsbericht Sortieranalyse von: Siedlungsabfällen und ähnlichen Gewerbeabfällen. Oberwaltersdorf.

Gungl, E. (2008): E-Mail vom 13.05.2008 zur Sekundärbrennstoffproduktion in der Steiermark aus gemischten Gewerbeabfällen – Daten zu verarbeiteten Gewerbemüllmengen.

Hackl, A. & Mauschitz, G. (1997): Klimarelevanz der Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

Hackl, A. & Mauschitz, G. (2003): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV. Jahresreihe 2000-2002, Weitra/Wien.

Hauer (2002): Gutachten über Art und Zusammensetzung der eingesetzten Brennstoffe, des biogenen Anteils und des Anteils an „Abfall mit hohem biogenen Anteil“ für die Abfallverbrennungsanlage „Welser Abfallverwertung WAV“, Korneuburg.

Huijbregts, M. A. J., Gilijamse, W., Ragas, A. M. J., and Reijnders, L. (2003) Evaluating Uncertainty in Environmental Life-Cycle Assessment. A Case Study Comparing Two Insulation Options for a Dutch One-Family Dwelling. *Environmental Science and Technology* 37(2003): 2600-2608.

Huijbregts, M. A. J., Rombouts, L. J. A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A. J., Van de Meent, D., Ragas, M. J., Reijnders, L., Struij, J. (2006): Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? *Environmental Science & Technology* 40 (3): 641-648.

Hutterer, H. (2008): Andienungspflicht: Aspekte einer sinnvollen Eingrenzung - praktischer, wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich von Andienungspflicht und freier Entsorgung. Endbericht der Fa. Denkstatt im Auftrag der Wirtschaftskammer Österreichs, Wien.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



Kern, M., Siepenkothen, H.J., Schwilling, Th. (2002): Geschäftsmülluntersuchung Berlin 2000/01, Müll & Abfall 5, 2002.

Kettern, J., Billmaier, K., Drees, K.T. (1999): Rotte- und Emissionsverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restmüll und Keim- und Staubbelastungen im Handsortierbereich. Abschlußbericht zum Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Bonn.

Kost, Th. (2001): Brennstofftechnische Charakterisierung von Haushaltsabfällen. Beiträge zur Abfallwirtschaft, Band 16, Technische Universität Dresden.

Kranert, M. (2004): Geschäftsmüll – Abfallwirtschaftliche Bedeutung, Menge, Zusammensetzung und Einflussgrößen. Band 6 aus der Reihe Manuskripte der Abfallwirtschaft herausgegeben von Bidlingmaier, W., Weimar.

Kranert, M. (2006): Gewerbeabfall – das unbekannte Wesen, Müll & Abfall 10, 2006.

Land Steiermark (2004): Gesetz vom 6. Juli 2004 über eine nachhaltige Abfall- und Stoffflusswirtschaft in der Steiermark (Steiermärkisches Abfallwirtschaftsgesetz 2004). Landesgesetzblatt, Stück 24, Nr. 65.

Land Steiermark (2005): Landes-Abfallwirtschaftsplan – Steiermark 2005. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft, Graz.

Land Steiermark (2007): Umweltschutz in der Steiermark, 21. Umweltschutzbericht 2005/2006 – Kapitel „Abfall und Stoffflüsse“. Fachabteilung 17A und Fachabteilung 19D, Graz.

Land Steiermark (2008a): Informationen zur thermischen Abfallbehandlung in der Steiermark auf der Internetseite der Fachabteilung 19D (Abfall- und Stoffflusswirtschaft): <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/>

Land Steiermark (2008b): Informationsplattform der Fachabteilung 19D (Abfall- und Stoffflusswirtschaft) zur betrieblichen Abfallwirtschaft: [www.betriebe.steiermark.at](http://www.betriebe.steiermark.at)

Landesstatistik Steiermark (2008): Informationen des Landes Steiermark auf Gemeinde- und Bezirksebene. Internetportal des Landes Steiermark, besucht am 21. Juli 2008: <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/1520864/DE/>

Menapace, H., Staber, W., Kienzl, N. (2006): Stoffstrombilanzierung der Splittinganlage Wien-Oberlaa. Endbericht zur Studie im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs-AG, Graz.

Neubauer, C. & Öhlinger, A. (2006): Ist-Stand der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich - Zustandsbericht 2006. Umweltbundesamt, Wien.

Neubauer, C. & Öhlinger, A. (2008): Mechanische Abfallbehandlung (MA) in Österreich – Anlagenstandorte 2007. Endbericht zur Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Ökoinstitut (2000): Bilanzdaten aus der Datenbank ProBas (Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente) des Umweltbundesamtes: <http://www.probas.umweltbundesamt.de>

ÖNORM (2005): ÖNORM S 2096-2: Stoffflussanalyse – Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM S 2100 (2005): Abfallkatalog. Stand 1. Juni 2005. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

Pomberger, R. (2008): Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC-Verfahren und Analyse der abfallwirtschaftlichen Relevanz. Dissertation erstelle am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik an der Montanuniversität Leoben, Leoben.

Pretz, T. (2005): Brennstoffproduktion aus Gewerbeabfällen. Müll & Abfall 2, 2005.

Prochaska, M., Maier, J., Lorber, K.-E. (2005) : Entwicklung neuer Brennstoffqualitäten aus Abfall. Projektbericht zur Studie im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG, Graz.

Quantum (1998): Gebührenveränderung bei Wegfall von hausabfallähnlichen Gewerbemengen (= Hausabfälle aus Betrieben) aus der kommunalen Müllentsorgung



im Land Salzburg. Quantum Institut für betriebswirtschaftliche Beratung, Klagenfurt.

Quicker, P., Fojtik, F., Faulstich, M. (2006): Verfahren zur Quantifizierung von Geschäftsmüll. Müll & Abfall 10, 2006.

Ringhofer, J. (2000): Fortschreibung des NÖ Abfallwirtschaftskonzeptes, Amt der NÖ Landesregierung, St. Pölten.

Salhofer, S., Gabriel, R., Rauscher, B. (1996): Modellierung des regionalen Abfallaufkommens aus Betrieben am Beispiel Wiens. Bericht zur Projektphase I der Studie im Auftrag der Magistratsabteilung 22 der Stadt Wien.

Schonert, M., Motz, G., Meckel, H., Detzel, A., Giegrich, J., Ostermayer, A., Schorb, A., Schmitz, S. (2002): Ökobilanz für Getränkeverpackungen II – Phase 2. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.

Skutan, S. & Brunner, P.H. (2006): Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (Projekt SEMBA). Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien i.A. des Lebensministerium, Wien.

Statistik Austria (2008): Informationsseite der Statistik Austria zur Arbeitsstättenzählung 2001 – Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Klassen der ÖNACE 1995 und groben Beschäftigtengrößengruppen. Besucht am 1. Juli 2008: <http://www.statistik.at/az/>

Svensson, N., Roth, L., Eklund, M., Martensson, A. (2006): Environmental relevance and use of energy indicators in environmental management and research. Journal of Cleaner Production 14: 134-145.

VDI (1997): Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden (VDI Richtlinie 4600). Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf.

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2007): Zement weckt Emotionen. Nachhaltigkeitsbericht 2006/2007 der österreichischen Zementindustrie.

WCED - UN World Commission on Environment and Development (1987): Our Common Future, Oxford University Press, Oxford.

Wieczorek, M., Blaurock, M., Gallenkemper, B., Gellenbeck, K., Breer, J. (2002):  
Rahmenstrukturen der Überlassung von haushaltsabfallähnlichen Gewerbeabfällen –  
Teil 1: Mengenabschätzung zu haushaltsabfallähnlichen Gewerbeabfällen. Müll & Ab-  
fall 8, 2002.



# Anhang

**A-1: Abfallzusammensetzung**

Tabelle 7-1: Branchenspezifische Zusammensetzung des Geschäftsmülls in Behältern (nach Kranert, 2004)

Branche	Fraktion < 8 mm	native Organik	Papier	Pappe	Glas	Kunst- stoffe	Metalle	Verbund	Holz	Bau, mineral.	Sonstiges	Problem- stoffe
Gartenbau & Tierh.	19,8	45	12,8	4,2	4,5	5,6	0,8	0,8	1	1,1	4,1	0,1
EH - Fleisch	2,5	33	15,7	3,6	7,9	21,2	3,6	3	1,2	1,4	6,8	-
EH - Backwaren	9,1	33,2	21,4	11,7	10,5	5	4	3,3	0,4	-	1,5	-
Verlags- & Druckgew.	2,3	6,3	53,7	6,7	7,1	9,9	2,2	3,9	3,1	1	3,8	-
EH - Bücher	4,9	2,1	59,5	10,5	7,2	10,6	1,5	2,5	0,6	-	0,2	0,2
Metallerzeugung	-	7,4	5,5	11,8	1,6	21,2	39,2	1,4	8,9	-	3,1	-
Energie & Abfall	1,5	6,8	79,2	2,7	1,5	4,7	0,5	0,4	-	-	2,7	-
Bauinstallationen	-	2,9	31,1	5,8	1,5	20,2	18,9	9,3	-	9,1	0,8	0,4
Bau - sonstiges	19,6	17,7	6,9	4	7,4	10,6	3,7	1,7	1,7	23,9	2,6	-
Kfz-Gewerbe	1	1,2	14,8	18,5	1,5	7,6	2,6	2,9	-	13,1	36,8	-
Supermarkt	2,1	22,3	7	2	2,7	6,8	0,3	0,2	0,2	-	55,2	1,1
EH - Lebensmittel	2,5	29,2	31	1,4	3,8	2,7	0,7	1,7	0,1	0,3	26,6	-
Warenhaus	15,3	44,2	17	1,2	1,3	13,9	0,4	5,8	0,3	-	0,6	-
EH - Apotheken	2,6	5,1	46,2	11,5	8,7	9,6	1,6	3,7	0,1	0,3	10,5	-
EH - Schuhe & Textil.	0,7	3,7	43,6	12,5	6	13,9	1	4	-	-	10,7	4
EH - Möbel	-	-	3,1	12,9	0,5	6	0,6	-	5,8	-	71,1	-
EH - Elektrog.	5,7	3	48,8	29,8	1	6,3	1	2,9	-	-	1,5	-
EH - Heimwerkerbed.	2,3	9,1	20,8	27,4	2,1	14,9	13	-	0,1	-	10,2	-
EH - Foto	1,2	4,1	66,1	11,9	0,7	5,9	0,9	2,1	-	0,4	6,8	-
EH - Spielwaren	-	-	5,1	12,7	-	5,8	12	51,9	-	12,7	-	-
Gastgewerbe	0,1	41,9	20,2	14	4	9,8	2,7	1,2	0,8	-	5,2	-
Kredit & Versicherung	5,9	3,1	63,4	2,1	17,1	2,2	0,9	4,7	-	-	0,5	-
Verwaltung	0,5	5,2	74	8,5	1	5,7	2,2	1,2	-	1	0,8	-
Verein & Unterhaltung	0,9	44,4	12,2	2,9	5,1	5,6	0,9	3,3	1,3	21,8	1,7	-
Datenverarbeitung	7,3	19,7	39,8	9,2	-	12,7	2,5	5,4	-	-	3,4	-
Erziehung & Unterricht	0,8	7,1	30,6	8,6	8,3	11,3	5,6	7,2	-	-	20,6	-
Krankenhäuser	0,9	17,7	37,1	31,7	5,4	2,4	0,5	1,4	-	-	2,9	-
Arzt (allgemein)	0,3	1,5	64,2	1,6	5,8	9,4	0,3	3	-	0,4	13,5	-
Alten- & Pflegeheime	0,6	12,2	9,6	0,1	-	3,6	0,1	0,1	0,1	0,4	73,2	-
Sozialwesen	1,9	4,1	68	12,8	8	1,9	1,1	2,2	-	-	-	-
Sonstige	0,7	0,9	65,2	1,9	5,1	2,6	0,3	3,1	-	-	20,2	-



## A-2: Abfallmengen

Tabelle 7-2: Geschäftsmüllmenge in der Steiermark basierend auf beschäftigungsspezifischen Angaben von Kranert (2004)

Branche	ÖNACE 1995	Beschäftigte	Abfall [kg/Be. a]	GM [Tonnen]
Einzelhandel mit Fleischwaren, Geflügel u. Wild	5222, 5223	929	368	342
Einzelhandel mit Backwaren	5224	296	661	196
Be- und Verarbeitung von Holz	20, 21	12907		
Verlags- & Druckgewerbe	22	2999	1817	5449
EH mit Büchern, Zeitschriften & Schreibwaren	5247	1080	174	188
Herstellung von Metallerzeugnissen	27, 28	22309	174	3882
Chemische Industrie und Kunststoffprod.	23, 24, 25	3812	262	999
Energieversorgung, Abwasser und Abfall	37, 40, 41, 90	8151	548	4467
Hoch- und Tiefbau	4521, 4523, 4524, 4525	16616	117	1944
Dachdeckerei, Abdichtung und Zimmerei	4522	4627	379	1754
Bauinstallationen	453	9929	237	2353
Sonstiges Baugewerbe	451, 454, 455	9317	530	4938
Kfz-Handel, Instandhaltung und Reparatur	50	13326	499	6650
Einzelhandel (EH) - Sonstiger	5225, 5248, 526, 527	10032	192	1926
Supermärkte und Lebensmitteleinzelhandel	521, 5221, 5225, 5227	13261	589	7811
Warenhaus	51	20128	262	5274
EH - Apotheken, Kosmetika	523	4015	160	642
EH mit Textilien, Schuhen und Lederwaren	5241, 5242, 5243	7481	250	1870
EH m. Wohnmöbeln, Beleuchtungsart. usw.	5244	3612	43	155
EH mit Elektrogeräten	5245	1729	125	216
EH - Metallwaren, Bau- und Heimwerkerbedarf	5246	4018	922	3705
EH m. Kunstgegenständen, Bildern usw.	?		90	
EH mit Foto, Uhren & Schmuck	?		328	
EH mit Spielwaren & Fahrrädern	?		161	
EH mit Antiquitäten & Gebrauchtwaren	525	236	126	30
Gastgewerbe	55	29000	833	24157
Landverkehr, Transport, Rohrfernleitungen	60, 61, 62, 63	23443	153	3587
Nachrichtenübermittlung, Kreditgewerbe, Versicherungsgewerbe	64, 65, 66, 67	22101	104	2299
Grundstücks- und Wohnungswesen, Dienstleistungsunternehmen, Öffentliche Verwaltung	70, 71, 73, 74, 75	64430	75	4832
Vereine, Kultur, Sport, Unterhaltung	91, 92	8992	101	908
Datenverarbeitung und Datenbanken	72	4556	62	282
Erziehung und Unterricht	80	32361	133	4304
Krankenhäuser	8511	20264	462	9362
Arztpraxen (Allgemein, Zahnarzt, Tierarzt)	8512, 8513, 852	9209	295	2717
Sonstiges Gesundheitswesen	8514	2403	196	471
Altenheime, Pflegeheime	8531	4598	991	4557
Sozialwesen	8532	4533	172	780
Erbringung sonstiger Dienstleistungen	93	8027	174	1397
<b>Gesamt</b>				<b>114.441</b>

*Tabelle 7-3: Geschäftsmüllmenge in der Steiermark basierend auf beschäftigungsspezifischen Angaben von Salhofer et al. (1996)*

Branche	ÖNACE 1995	Beschäftigte	Abfall [kg/Be.a]	GM [Tonnen]
Energie und Wasserversorgung	40, 41	5162	42	217
Bauwesen	45	40489	147	5952
Erzeugung v. Nahrungsmitteln	15	9737	602	5862
Erzeugung Textilwaren, Bekleidung	17, 18	3163	112	354
Be- und Verarbeitung von Holz	20	7570	123	931
Druckerei, Verarbeitung von Papier	21, 22	8336	106	884
Erzeugung und Bearbeitung von Metallen, Elektrotechnik	27 - 35	63530	98	6226
Körperpflege, Reinigung, Bestattung	?		61	
Erdöl, chem. Industrie, Kunststoffproduktion	24, 25	3793	235	891
Handel	50, 51, 52	80143	115	9216
Dienstleistungsbüros	65 - 74	54249	49	2658
Transport und Verkehr	60 - 64	31556	164	5175
Tourismus und Gastronomie	55	29000	314	9106
Soziale und öffentliche Dienste, Institutionen	75, 80, 85	102093	156	15927
Verwertung und Entsorgung	90	2787	25	70
<b>Gesamt</b>				<b>63.500</b>

*Tabelle 7-4: Schätzung der steirischen hausmüllähnlichen Gewerbeabfallmengen auf Bezirksebene durch Abfallxperten der SDAG*

Bezirk	Bandbreite der Mengenschätzung [Tonnen / Jahr]	
Graz Stadt	16500	18150
Graz Umgebung	13200	14520
Deutschlandsberg	3850	4235
Feldbach	3850	4235
Fürstenfeld	1100	1210
Leibnitz	4950	5445
Hartberg	3300	3630
Radkersburg	1100	1210
Voitsberg	5500	6050
Weiz	3300	3630
Liezen	4950	5445
Murau	1100	1210
Judenburg	3300	3630
Knittelfeld	2200	2420
Leoben	3850	4235
Bruck an der Mur	5500	6050
Mürzzuschlag	2200	2420
<b>Gesamtmenge 80.000 – 88.000 Tonnen</b>		

### A-3: Abfallbehandlungsanlagen

Tabelle 7-5: Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen in der Steiermark (Quelle: Land Steiermark, 2007)

Standort	Kapazität [Tonnen pro Jahr]	Betreiber
Allerheiligen	17.000	AWV Mürzverband
Halbenrain	70.000	A.S.A. Abfallservice Halbenrain GmbH & Co Nfg KG
Frohnleiten*	76.000	Servus Abfall – biologische Stufe
Liezen	25.000	AWV Liezen
<b>Gesamt:</b>	<b>188.000 (112.000)</b>	

\*Die Anlage in Frohnleiten beinhaltet nur die 2. Stufe einer MBA, die biologische Behandlung.

Tabelle 7-6: Restmüllsplittingsanlagen in der Steiermark (Quelle: Land Steiermark, 2007)

Standort	Kapazität [Tonnen pro Jahr]	Betreiber
Aich-Assach	10.000	AWV Schladming
Frojach-Katsch	14.000	AWV Murau
Hartberg	10.000	AWV Hartberg
St. Michael in Obersteiermark	65.000	Fa. Mayer / Säumel
Graz - Sturzgasse	75.000	Fa. AEVG
Graz – Puchstraße*	13.000	Fa. Saubermacher
Peggau	40.000	Fa. Zuser
St. Margarethen an der Raab	45.000	Fa. Müllex
Fisching	34.900	Fa. Trügler
<b>Gesamt:</b>	<b>306.900 (293.900)</b>	

\*Inzwischen wurde die Anlage „Graz-Puchstraße“ zu einer Sortieranlage umgebaut. In der neuen Anlage wird kein gemischter Siedlungsabfall behandelt.

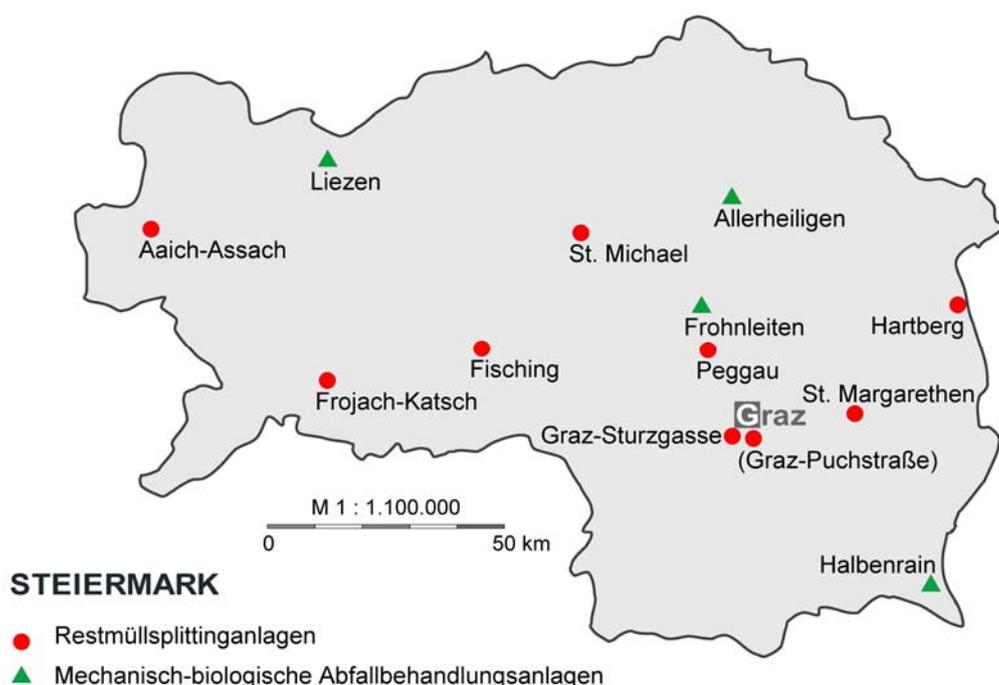


Abbildung 7-1: Behandlungsanlagen hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle in der Steiermark

#### A-4: Bilanzierungstabellen für die Güterflussanalysen der einzelnen Behandlungsszenarien

Tabelle 7-7: Bilanzierungsdaten zum „Status Quo“ (AO)

Input	Abfall C (Gewerbemüll)		Abfall D (Geschäftsmüll)				
	[%]	Menge	[%]	Menge			
<8 bzw. <20 mm	8,9	8037	3	750			
native Organik	9,2	8280	30	7500			
Papier und Pappe	26,8	24120	30	7500			
Glas	2,5	2250	6	1500			
Kunststoffe	20	18000	8	2000			
Metalle	4	3600	4	1000			
Verbund	1	900	4	1000			
Holz	10,5	9477	5	1250			
Bau, mineral	8,4	7574	4,5	1125			
Sonstiges	8,6	7740	5	1250			
Problemstoffe	0,02	22	0,5	125			
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>	<b>90000</b>	<b>100</b>	<b>25000</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
Vorsortierung	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	MBA	Sortierfraktionen			
<8 bzw. <20 mm	5,6%	2536	5,6%	0,0%			
native Organik	20,8%	9340	20,8%	0,0%			
Papier und Pappe	28,6%	12860	28,6%	0,0%			
Glas	4,4%	2000	4,4%	0,0%			
Kunststoffe	13,3%	6000	13,3%	0,0%			
Metalle	4,0%	1800	2,6%	1,4%			
Verbund	2,7%	1200	2,7%	0,0%			
Holz	7,5%	3356	4,1%	3,4%			
Bau, mineral	6,2%	2808	6,2%	0,0%			
Sonstiges	6,6%	2970	6,6%	0,0%			
Problemstoffe	0,3%	130	0,3%	0,0%			
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>45000</b>	<b>95,2%</b>	<b>4,8%</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
MBA – 1. Stufe	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Mittelkalorik	Hochkalorik	Rotte	Fe	NE
<8 bzw. <20 mm	5,6%	2536	0,2%	0,0%	5,4%		
native Organik	20,8%	9340	3,9%	0,2%	16,6%		
Papier und Pappe	28,6%	12860	17,7%	5,1%	5,7%		
Glas	4,4%	2000	0,2%	0,0%	4,2%		
Kunststoffe	13,3%	6000	7,5%	3,8%	2,0%		
Metalle	2,6%	1170	0,3%	0,3%	0,3%	1,6%	0,3%
Verbund	2,7%	1200	1,8%	0,5%	0,4%		
Holz	4,1%	1846	3,3%	0,4%	0,4%		
Bau, mineral	6,2%	2808	0,0%	0,1%	6,1%		
Sonstiges	6,6%	2970	4,3%	1,0%	1,3%		
Problemstoffe	0,3%	130	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	
<b>Gesamt</b>	<b>95,2%</b>	<b>42860</b>	<b>39,3%</b>	<b>11,5%</b>	<b>42,5%</b>	<b>1,7%</b>	<b>0,3%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-7:

<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Rotte – 2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput	
Masse	42,5%	19120	7,44%	7,44%	27,6%	
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Deponierung – 3. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Deponie	Siebung		
Masse	27,6%	12428	26,7%	1,0%		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittinganlage</b>						
<b>Vorsortierung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Splitting	Sortierfraktionen		
<8 bzw. <20 mm	8,9%	6251	8,9%	0,0%		
native Organik	9,2%	6440	9,2%	0,0%		
Papier und Pappe	26,8%	18760	26,8%	0,0%		
Glas	2,5%	1750	2,5%	0,0%		
Kunststoffe	20,0%	14000	20,0%	0,0%		
Metalle	4,0%	2800	2,0%	2,0%		
Verbund	1,0%	700	1,0%	0,0%		
Holz	10,5%	7371	5,3%	5,3%		
Bau, mineral	8,4%	5891	6,7%	1,7%		
Sonstiges	8,6%	6020	8,6%	0,0%		
Problemstoffe	0,0%	17	0,0%	0,0%		
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>70000</b>	<b>91,1%</b>	<b>8,9%</b>		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittinganlage</b>						
<b>1. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	0 - 20 mm	20 - 80 mm	Hochkalorik	Fe
<8 bzw. <20 mm	8,9%	6251	5,4%	3,5%	0,1%	0,0%
native Organik	9,2%	6440	4,1%	4,8%	0,3%	0,0%
Papier und Pappe	26,8%	18760	2,7%	19,3%	4,8%	0,0%
Glas	2,5%	1750	1,5%	1,0%	0,0%	0,0%
Kunststoffe	20,0%	14000	1,0%	13,3%	5,7%	0,0%
Metalle	2,0%	1400	0,1%	0,7%	0,2%	1,0%
Verbund	1,0%	700	0,1%	0,8%	0,2%	0,0%
Holz	5,3%	3686	0,3%	4,5%	0,5%	0,0%
Bau, mineral	6,7%	4713	2,7%	4,0%	0,1%	0,0%
Sonstiges	8,6%	6020	0,4%	6,9%	1,3%	0,0%
Problemstoffe	0,0%	17	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>91,1%</b>	<b>63736</b>	<b>18,2%</b>	<b>58,7%</b>	<b>13,2%</b>	<b>1,0%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-7:

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittingsanlage</b>						
<b>2. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	20-80 mm (ofenfertig)	Störgut	Fe	NE
<8 bzw. <20 mm	3,5%	2450	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%
native Organik	4,8%	3365	3,8%	1,0%	0,0%	0,0%
Papier und Pappe	19,3%	13507	19,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Glas	1,0%	686	0,7%	0,3%	0,0%	0,0%
Kunststoffe	13,3%	9310	12,8%	0,5%	0,0%	0,0%
Metalle	0,7%	490	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%
Verbund	0,8%	532	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Holz	4,5%	3151	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%
Bau, mineral	4,0%	2771	1,8%	2,2%	0,0%	0,0%
Sonstiges	6,9%	4804	6,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Problemstoffe	0,0%	3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>58,7%</b>	<b>41070</b>	<b>54,2%</b>	<b>4,0%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,3%</b>

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittingsanlage</b>					
<b>Nachrotte</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput
Masse	18,2%	12753	1,82%	1,82%	14,6%

<b>Prozess: EBS-Aufbereitung</b>					
<b>EBS-Aufbereitung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	EBS	Störstoffe	Metalle
Fraktion <8 bzw. <20 mm	0,5%	70	0,1%	0,3%	
native Organik	1,9%	271	0,9%	0,9%	
Papier und Pappe	39,6%	5692	37,6%	2,0%	
Glas	0,2%	30	0,0%	0,2%	
Kunststoffe	39,6%	5700	37,7%	2,0%	
Metalle	1,8%	257	0,0%	0,1%	1,7%
Verbund	2,5%	361	2,4%	0,1%	
Holz	3,7%	525	3,7%	0,0%	
Bau, mineral	0,6%	90	0,1%	0,6%	
Sonstiges	9,5%	1366	9,0%	0,5%	
Problemstoffe	0,1%	16	0,1%	0,1%	
<b>Gesamt*</b>	<b>100,0%</b>	<b>14379</b>	<b>91,6%</b>	<b>6,7%</b>	<b>1,7%</b>

\*Der Input bezieht sich auf die hochkalorischen Fraktionen aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle.

<b>Prozess: Thermische Behandlungsanlagen</b>				
	<b>MVA</b>		<b>Wirbelschicht</b>	
	Input	Asche	Input	Asche
	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr
Störgut – Splittingsanlage	2824	1754		
Störgut - EBS	967	218		
Mittelkalorik - MBA			17696	2230
Mittelkalorik - SA			37922	5922
Kunststoffe (Rotterest)			435	61
<b>Summe</b>	<b>3791</b>	<b>1972</b>	<b>56054</b>	<b>8214</b>

Tabelle 7-8: Bilanzierungsdaten zu Szenario A1 „Getrennt gesammelt, getrennt behandelt“

Input	Abfall C (Gewerbemüll)		Abfall D (Geschäftsmüll)				
	[%]	Menge	[%]	Menge			
<8 bzw. <20 mm	8,9	8037	3	750			
native Organik	9,2	8280	30	7500			
Papier und Pappe	26,8	24120	30	7500			
Glas	2,5	2250	6	1500			
Kunststoffe	20	18000	8	2000			
Metalle	4	3600	4	1000			
Verbund	1	900	4	1000			
Holz	10,5	9477	5	1250			
Bau, mineral	8,4	7574	4,5	1125			
Sonstiges	8,6	7740	5	1250			
Problemstoffe	0,02	22	0,5	125			
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>	<b>90000</b>	<b>100</b>	<b>25000</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
Vorsortierung	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	MBA	Sortierfraktionen			
<8 bzw. <20 mm	3,0%	750	3,0%	0,0%			
native Organik	30,0%	7500	30,0%	0,0%			
Papier und Pappe	30,0%	7500	30,0%	0,0%			
Glas	6,0%	1500	6,0%	0,0%			
Kunststoffe	8,0%	2000	8,0%	0,0%			
Metalle	4,0%	1000	2,6%	1,4%			
Verbund	4,0%	1000	4,0%	0,0%			
Holz	5,0%	1250	2,8%	2,3%			
Bau, mineral	4,5%	1125	4,5%	0,0%			
Sonstiges	5,0%	1250	5,0%	0,0%			
Problemstoffe	0,5%	125	0,5%	0,0%			
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>25000</b>	<b>96,4%</b>	<b>3,7%</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
MBA – 1. Stufe	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Mittelkalorik	Hochkalorik	Rotte	Fe	NE
<8 bzw. <20 mm	3,0%	750	0,1%	0,0%	2,9%		
native Organik	30,0%	7500	5,7%	0,3%	24,0%		
Papier und Pappe	30,0%	7500	18,6%	5,4%	6,0%		
Glas	6,0%	1500	0,3%	0,0%	5,7%		
Kunststoffe	8,0%	2000	4,5%	2,3%	1,2%		
Metalle	2,6%	650	0,3%	0,3%	0,3%	1,6%	0,3%
Verbund	4,0%	1000	2,6%	0,8%	0,6%		
Holz	2,8%	688	2,2%	0,3%	0,3%		
Bau, mineral	4,5%	1125	0,0%	0,1%	4,4%		
Sonstiges	5,0%	1250	3,2%	0,8%	1,0%		
Problemstoffe	0,5%	125	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	
<b>Gesamt</b>	<b>96,4%</b>	<b>24088</b>	<b>37,7%</b>	<b>10,2%</b>	<b>46,4%</b>	<b>1,8%</b>	<b>0,3%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-8:

<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Rotte – 2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput	
Masse	46,4%	11611	8,13%	8,13%	30,2%	
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Deponierung – 3. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Deponie	Siebung		
Masse	30,2%	7547	29,1%	1,1%		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittanlage</b>						
<b>Vorsortierung</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Splitting	Sortierfraktionen		
<8 bzw. <20 mm	8,9%	8037	8,9%	0,0%		
native Organik	9,2%	8280	9,2%	0,0%		
Papier und Pappe	26,8%	24120	26,8%	0,0%		
Glas	2,5%	2250	2,5%	0,0%		
Kunststoffe	20,0%	18000	20,0%	0,0%		
Metalle	4,0%	3600	2,0%	2,0%		
Verbund	1,0%	900	1,0%	0,0%		
Holz	10,5%	9477	5,3%	5,3%		
Bau, mineral	8,4%	7574	6,7%	1,7%		
Sonstiges	8,6%	7740	8,6%	0,0%		
Problemstoffe	0,0%	22	0,0%	0,0%		
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>90000</b>	<b>91,1%</b>	<b>8,9%</b>		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittanlage</b>						
<b>1. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	0 - 20 mm	20 - 80 mm	Hochkalorik	Fe
<8 bzw. <20 mm	8,9%	8037	5,4%	3,5%	0,1%	0,0%
native Organik	9,2%	8280	4,1%	4,8%	0,3%	0,0%
Papier und Pappe	26,8%	24120	2,7%	19,3%	4,8%	0,0%
Glas	2,5%	2250	1,5%	1,0%	0,0%	0,0%
Kunststoffe	20,0%	18000	1,0%	13,3%	5,7%	0,0%
Metalle	2,0%	1800	0,1%	0,7%	0,2%	1,0%
Verbund	1,0%	900	0,1%	0,8%	0,2%	0,0%
Holz	5,3%	4739	0,3%	4,5%	0,5%	0,0%
Bau, mineral	6,7%	6060	2,7%	4,0%	0,1%	0,0%
Sonstiges	8,6%	7740	0,4%	6,9%	1,3%	0,0%
Problemstoffe	0,0%	22	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>91,1%</b>	<b>81947</b>	<b>18,2%</b>	<b>58,7%</b>	<b>13,2%</b>	<b>1,0%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-8:

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittinganlage</b>						
<b>2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	20-80 mm (ofenfertig)	Störgut	Fe	NE
<8 bzw. <20 mm	3,5%	3151	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%
native Organik	4,8%	4326	3,8%	1,0%	0,0%	0,0%
Papier und Pappe	19,3%	17366	19,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Glas	1,0%	882	0,7%	0,3%	0,0%	0,0%
Kunststoffe	13,3%	11970	12,8%	0,5%	0,0%	0,0%
Metalle	0,7%	630	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%
Verbund	0,8%	684	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Holz	4,5%	4051	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%
Bau, mineral	4,0%	3563	1,8%	2,2%	0,0%	0,0%
Sonstiges	6,9%	6177	6,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Problemstoffe	0,0%	4	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>58,7%</b>	<b>52804</b>	<b>54,2%</b>	<b>4,0%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,3%</b>

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittinganlage</b>					
<b>Nachrotte</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput
Masse	18,2%	16397	1,82%	1,82%	14,6%

<b>Prozess: EBS-Aufbereitung</b>					
<b>EBS-Aufbereitung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	EBS	Störstoffe	Metalle
Fraktion <8 bzw. <20 mm	0,5%	70	0,1%	0,3%	
native Organik	2,1%	303	1,1%	1,1%	
Papier und Pappe	39,6%	5692	37,6%	2,0%	
Glas	0,2%	30	0,0%	0,2%	
Kunststoffe	39,6%	5700	37,6%	2,0%	
Metalle	1,7%	245	0,0%	0,1%	1,6%
Verbund	2,5%	361	2,4%	0,1%	
Holz	3,6%	515	3,6%	0,0%	
Bau, mineral	0,6%	86	0,1%	0,5%	
Sonstiges	9,5%	1366	9,0%	0,5%	
Problemstoffe	0,1%	17	0,1%	0,1%	
<b>Gesamt *</b>	<b>100,0%</b>	<b>14386</b>	<b>91,6%</b>	<b>6,8%</b>	<b>1,6%</b>

\*Der Input bezieht sich auf die hochkalorischen Fraktionen aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle.

<b>Prozess: Thermische Behandlungsanlagen</b>				
	<b>MVA</b>		<b>Wirbelschicht</b>	
	Input	Asche	Input	Asche
	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr
Störgut – Splittinganlage	3631	2255		
Störgut - EBS	979	215		
Mittelkalorik - MBA			9422	1252
Mittelkalorik - SA			48757	7614
Kunststoffe (Rotterest)			264	37
<b>Summe</b>	<b>4610</b>	<b>2470</b>	<b>58443</b>	<b>8904</b>

Tabelle 7-9: Bilanzierungsdaten zu Szenario A2 „Gemeinsame Behandlung“

Input	Abfall C (Gewerbemüll)		Abfall D (Geschäftsmüll)				
	[%]	Menge	[%]	Menge			
<8 bzw. <20 mm	8,9	8037	3	750			
native Organik	9,2	8280	30	7500			
Papier und Pappe	26,8	24120	30	7500			
Glas	2,5	2250	6	1500			
Kunststoffe	20	18000	8	2000			
Metalle	4	3600	4	1000			
Verbund	1	900	4	1000			
Holz	10,5	9477	5	1250			
Bau, mineral	8,4	7574	4,5	1125			
Sonstiges	8,6	7740	5	1250			
Problemstoffe	0,02	22	0,5	125			
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>	<b>90000</b>	<b>100</b>	<b>25000</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
<b>Vorsortierung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	MBA	Sortierfraktionen			
<8 bzw. <20 mm	7,6%	8787	7,6%	0,0%			
native Organik	13,7%	15780	13,7%	0,0%			
Papier und Pappe	27,5%	31620	27,5%	0,0%			
Glas	3,3%	3750	3,3%	0,0%			
Kunststoffe	17,4%	20000	17,4%	0,0%			
Metalle	4,0%	4600	2,6%	1,4%			
Verbund	1,7%	1900	1,7%	0,0%			
Holz	9,3%	10727	5,1%	4,2%			
Bau, mineral	7,6%	8699	7,6%	0,0%			
Sonstiges	7,8%	8990	7,8%	0,0%			
Problemstoffe	0,1%	147	0,1%	0,0%			
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>115000</b>	<b>94,4%</b>	<b>5,6%</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
<b>MBA – 1. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Mittelkalorik	Hochkalorik	Rotte	Fe	NE
<8 bzw. <20 mm	7,6%	8787	0,3%	0,1%	7,3%		
native Organik	13,7%	15780	2,6%	0,1%	11,0%		
Papier und Pappe	27,5%	31620	17,0%	4,9%	5,5%		
Glas	3,3%	3750	0,1%	0,0%	3,1%		
Kunststoffe	17,4%	20000	9,8%	5,0%	2,6%		
Metalle	2,6%	2990	0,3%	0,3%	0,3%	1,6%	0,3%
Verbund	1,7%	1900	1,1%	0,3%	0,2%		
Holz	5,1%	5900	4,1%	0,5%	0,5%		
Bau, mineral	7,6%	8699	0,1%	0,1%	7,4%		
Sonstiges	7,8%	8990	5,1%	1,2%	1,6%		
Problemstoffe	0,1%	147	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	
<b>Gesamt</b>	<b>94,4%</b>	<b>108563</b>	<b>40,6%</b>	<b>12,5%</b>	<b>39,5%</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,3%</b>



Fortsetzung – Tabelle 7-9:

<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>					
<b>Rotte – 2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput
Masse	39,5%	45400	6,91%	6,91%	25,7%
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>					
<b>Deponierung – 3. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	Deponie	Siebung	
Masse	25,7%	29510	24,8%	0,9%	
<b>Prozess: EBS-Aufbereitung</b>					
<b>EBS-Aufbereitung</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	EBS	Störstoffe	Metalle
Fraktion <8 bzw. <20 mm	0,5%	70	0,1%	0,3%	
native Organik	1,1%	158	0,5%	0,5%	
Papier und Pappe	39,6%	5692	37,7%	2,0%	
Glas	0,2%	30	0,0%	0,2%	
Kunststoffe	39,7%	5700	37,7%	2,0%	
Metalle	2,1%	299	0,0%	0,1%	2,0%
Verbund	2,5%	361	2,4%	0,1%	
Holz	3,9%	560	3,9%	0,0%	
Bau, mineral	0,7%	104	0,1%	0,7%	
Sonstiges	9,5%	1366	9,0%	0,5%	
Problemstoffe	0,1%	15	0,1%	0,1%	
<b>Gesamt*</b>	100,0%	14356	91,6%	6,4%	2,0%
*Der Input bezieht sich auf die hochkalorischen Fraktionen aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle.					
<b>Prozess: Thermische Behandlungsanlagen</b>					
	<b>MVA</b>		<b>Wirbelschicht</b>		
	Input	Asche	Input	Asche	
	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	
Störgut - EBS	924	227			
Mittelkalorik - MBA			46656	5654	
Kunststoffe (Rotterest)			1033	145	
<b>Summe</b>	<b>924</b>	<b>227</b>	<b>47689</b>	<b>5799</b>	

Tabelle 7-10: Bilanzierungsdaten zu Szenario B1 „Abfallcharakteristik“

Input	Abfall A		Abfall B		Rest	
Fraktionen	[%]	Menge	[%]	Menge	[%]	Menge
< 8 mm	2	1150	6	1725	2	575
native Organik	8	4600	50	14375	54	15525
Papier und Pappe	48	27600	18	5175	6	1725
Glas	5	2875	5	1437,5	9	2588
Kunststoffe	10	5750	6	1725	6	1725
Metalle	4,5	2587,5	2	575	5	1438
Verbund	5	2875	2	575	4	1150
Holz	7	4025	3	862,5	3	863
Bau, mineral	5	2875	3	862,5	5	1438
Sonstiges	5	2875	4,5	1293,75	5,5	1581
Problemstoffe	0,5	287,5	0,5	143,75	0,5	144
<b>Gesamt</b>	<b>100</b>	<b>57500</b>	<b>100</b>	<b>28750</b>	<b>100</b>	<b>28750</b>

Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung				
Vorsortierung	Input		Output	
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	MBA	Sortierfraktionen
<8 mm	4,0%	2300	4,0%	0,0%
native Organik	52,0%	29900	52,0%	0,0%
Papier und Pappe	12,0%	6900	12,0%	0,0%
Glas	7,0%	4025	7,0%	0,0%
Kunststoffe	6,0%	3450	6,0%	0,0%
Metalle	3,5%	2013	2,3%	1,2%
Verbund	3,0%	1725	3,0%	0,0%
Holz	3,0%	1725	1,7%	1,4%
Bau, mineral	4,0%	2300	4,0%	0,0%
Sonstiges	5,0%	2875	5,0%	0,0%
Problemstoffe	0,5%	288	0,5%	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>57500</b>	<b>97,4%</b>	<b>2,6%</b>

Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung							
MBA – 1. Stufe	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Mittelkalorik	Hochkalorik	Rotte	Fe	NE
<8 mm	4,0%	2300	0,2%	0,0%	3,8%		
native Organik	52,0%	29900	9,9%	0,5%	41,6%		
Papier und Pappe	12,0%	6900	7,4%	2,2%	2,4%		
Glas	7,0%	4025	0,3%	0,1%	6,7%		
Kunststoffe	6,0%	3450	3,4%	1,7%	0,9%		
Metalle	2,3%	1308	0,2%	0,2%	0,2%	1,4%	0,2%
Verbund	3,0%	1725	2,0%	0,6%	0,5%		
Holz	1,7%	949	1,3%	0,2%	0,2%		
Bau, mineral	4,0%	2300	0,0%	0,0%	3,9%		
Sonstiges	5,0%	2875	3,2%	0,8%	1,0%		
Problemstoffe	0,5%	288	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	
<b>Gesamt</b>	<b>97,4%</b>	<b>29130</b>	<b>28,1%</b>	<b>6,3%</b>	<b>61,3%</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,2%</b>



Fortsetzung – Tabelle 7-10:

<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Rotte – 2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput	
Masse	61,3%	35226	15,0%	10,7%	35,5%	
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>						
<b>Deponierung – 3. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Deponie	Siebung		
Masse	35,5%	20431	34,3%	1,2%		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittanlage</b>						
<b>Vorsortierung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Splitting	Sortierfraktionen		
<8 mm	2,0%	1150	2,0%	0,0%		
native Organik	8,0%	4600	8,0%	0,0%		
Papier und Pappe	48,0%	27600	48,0%	0,0%		
Glas	5,0%	2875	5,0%	0,0%		
Kunststoffe	10,0%	5750	10,0%	0,0%		
Metalle	4,5%	2588	2,3%	2,3%		
Verbund	5,0%	2875	5,0%	0,0%		
Holz	7,0%	4025	3,5%	3,5%		
Bau, mineral	5,0%	2875	4,0%	1,0%		
Sonstiges	5,0%	2875	5,0%	0,0%		
Problemstoffe	0,5%	288	0,5%	0,0%		
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>57500</b>	<b>93,3%</b>	<b>6,8%</b>		
<b>Prozess: Gewerbemüllsplittanlage</b>						
<b>1. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	0 - 20 mm	20 - 80 mm	Hochkalorik	Fe
<8 mm	2,0%	1150	1,2%	0,8%	0,0%	
native Organik	8,0%	4600	3,6%	4,2%	0,2%	
Papier und Pappe	48,0%	27600	4,8%	34,6%	8,6%	
Glas	5,0%	2875	3,0%	2,0%	0,0%	
Kunststoffe	10,0%	5750	0,5%	6,7%	2,9%	
Metalle	2,3%	1294	0,1%	0,8%	0,2%	1,1%
Verbund	5,0%	2875	0,3%	3,8%	1,0%	
Holz	3,5%	2013	0,2%	3,0%	0,3%	
Bau, mineral	4,0%	2300	1,6%	2,4%	0,0%	
Sonstiges	5,0%	2875	0,3%	4,0%	0,8%	
Problemstoffe	0,5%	288	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%
<b>Gesamt</b>	<b>93,3%</b>	<b>53619</b>	<b>15,6%</b>	<b>62,2%</b>	<b>14,2%</b>	<b>1,3%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-10:

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittingsanlage</b>						
<b>2. Stufe</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	20-80 mm (ofenfertig)	Störgut	Fe	NE
<8 mm	0,8%	451	0,8%			
native Organik	4,2%	2404	3,3%	0,8%		
Papier und Pappe	34,6%	19872	34,6%			
Glas	2,0%	1127	1,4%	0,6%		
Kunststoffe	6,7%	3824	6,4%	0,3%		
Metalle	0,8%	453	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%
Verbund	3,8%	2185	3,8%			
Holz	3,0%	1721	3,0%			
Bau, mineral	2,4%	1352	1,1%	1,3%		
Sonstiges	4,0%	2294	4,0%			
Problemstoffe	0,1%	58	0,1%			
<b>Gesamt</b>	<b>62,2%</b>	<b>35740</b>	<b>58,6%</b>	<b>3,1%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,3%</b>

<b>Prozess: Gewerbemüllsplittingsanlage</b>					
<b>Nachrotte</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput
Masse	15,6%	8963	1,56%	1,56%	12,5%

<b>Prozess: EBS-Aufbereitung</b>					
<b>EBS-Aufbereitung</b>	<b>Input</b>		<b>Output</b>		
	[%]	[Tonnen]	EBS	Störstoffe	Metalle
Fraktion <8 mm	0,2%	28	0,1%	0,2%	
native Organik	3,6%	426	1,8%	1,8%	
Papier und Pappe	52,8%	6210	50,1%	2,6%	
Glas	0,5%	55	0,1%	0,4%	
Kunststoffe	22,3%	2622	21,2%	1,1%	
Metalle	2,2%	260	0,0%	0,1%	2,1%
Verbund	7,4%	874	7,1%	0,4%	
Holz	2,4%	281	2,4%	0,0%	
Bau, mineral	0,5%	55	0,0%	0,4%	
Sonstiges	7,4%	874	7,1%	0,4%	
Problemstoffe	0,7%	86	0,4%	0,4%	
<b>Gesamt*</b>	<b>100,0%</b>	<b>11771</b>	<b>90,2%</b>	<b>7,7%</b>	<b>2,1%</b>

\*Der Input bezieht sich auf die hochkalorischen Fraktionen aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle.

<b>Prozess: Thermische Behandlungsanlagen</b>				
	<b>MVA</b>		<b>Wirbelschicht</b>	
	Input	Asche	Input	Asche
	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr
Störgut – Splittingsanlage	1761	1117		
Störgut - EBS	911	207		
Mittelkalorik - MBA			16146	2110
Mittelkalorik - SA			33680	5461
Kunststoffe (Rotterest)			715	100
<b>Summe</b>	<b>2672</b>	<b>1324</b>	<b>50541</b>	<b>7672</b>

Tabelle 7-11: Bilanzierungsdaten zu Szenario B2 „Gemeinsame Behandlung“

Input		Abfall D (Geschäftsmüll)					
		[%]		Menge			
<8 mm		3		3450			
native Organik		30		34500			
Papier und Pappe		30		34500			
Glas		6		6900			
Kunststoffe		8		9200			
Metalle		4		4600			
Verbund		4		4600			
Holz		5		5750			
Bau, mineral		4,5		5175			
Sonstiges		5		5750			
Problemstoffe		0,5		575			
<b>Gesamt</b>		<b>100</b>		<b>115000</b>			
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
Vorsortierung	Input			Output			
Fraktionen	[%]	[Tonnen]		MBA	Sortierfraktionen		
<8 mm	3,0%	3450		3,0%	0,0%		
native Organik	30,0%	34500		30,0%	0,0%		
Papier und Pappe	30,0%	34500		30,0%	0,0%		
Glas	6,0%	6900		6,0%	0,0%		
Kunststoffe	8,0%	9200		8,0%	0,0%		
Metalle	4,0%	4600		2,6%	1,4%		
Verbund	4,0%	4600		4,0%	0,0%		
Holz	5,0%	5750		2,8%	2,3%		
Bau, mineral	4,5%	5175		4,5%	0,0%		
Sonstiges	5,0%	5750		5,0%	0,0%		
Problemstoffe	0,5%	575		0,5%	0,0%		
<b>Gesamt</b>	<b>100,0%</b>	<b>115000</b>		<b>96,4%</b>	<b>3,7%</b>		
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>							
MBA – 1. Stufe	Input		Output				
Fraktionen	[%]	[Tonnen]	Mittelkalorik	Hochkalorik	Rotte	Fe	NE
<8 mm	3,0%	3450	0,1%	0,0%	2,9%		
native Organik	30,0%	34500	5,7%	0,3%	24,0%		
Papier und Pappe	30,0%	34500	18,6%	5,4%	6,0%		
Glas	6,0%	6900	0,3%	0,0%	5,7%		
Kunststoffe	8,0%	9200	4,5%	2,3%	1,2%		
Metalle	2,6%	2990	0,3%	0,3%	0,3%	1,6%	0,3%
Verbund	4,0%	4600	2,6%	0,8%	0,6%		
Holz	2,8%	3163	2,2%	0,3%	0,3%		
Bau, mineral	4,5%	5175	0,0%	0,1%	4,4%		
Sonstiges	5,0%	5750	3,2%	0,8%	1,0%		
Problemstoffe	0,5%	575	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	
<b>Gesamt</b>	<b>96,4%</b>	<b>110803</b>	<b>37,7%</b>	<b>10,2%</b>	<b>46,4%</b>	<b>1,8%</b>	<b>0,3%</b>

Fortsetzung – Tabelle 7-11:

<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>					
<b>Rotte – 2. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	Wasserdampf	Rotteverlust (Abbau)	Rotteoutput
Masse	46,4%	53412	9,5%	8,1%	28,8%
<b>Prozess: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung</b>					
<b>Deponierung – 3. Stufe</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	Deponie	Siebung	
Masse	28,8%	33115	27,8%	1,0%	
<b>Prozess: EBS-Aufbereitung</b>					
<b>EBS-Aufbereitung</b>	<b>Input</b>			<b>Output</b>	
	[%]	[Tonnen]	EBS	Störstoffe	Metalle
Fraktion <8 mm	0,2%	28	0,1%	0,2%	
native Organik	2,9%	345	1,5%	1,5%	
Papier und Pappe	53,0%	6210	50,3%	2,6%	
Glas	0,5%	55	0,1%	0,4%	
Kunststoffe	22,4%	2622	21,2%	1,1%	
Metalle	2,5%	299	0,0%	0,1%	2,4%
Verbund	7,5%	874	7,1%	0,4%	
Holz	2,6%	300	2,6%	0,0%	
Bau, mineral	0,5%	62	0,1%	0,5%	
Sonstiges	7,5%	874	7,1%	0,4%	
Problemstoffe	0,5%	58	0,2%	0,2%	
<b>Gesamt*</b>	<b>100,0%</b>	<b>11727</b>	<b>90,2%</b>	<b>7,4%</b>	<b>2,4%</b>
*Der Input bezieht sich auf die hochkalorischen Fraktionen aus der Behandlung hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle.					
<b>Prozess: Thermische Behandlungsanlagen</b>					
	<b>MVA</b>		<b>Wirbelschicht</b>		
	Input	Asche	Input	Asche	
	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	Tonnen pro Jahr	
Störgut - EBS	865	207			
Mittelkalorik - MBA			43341	5760	
Kunststoffe (Rotterest)			1159	163	
<b>Summe</b>	<b>865</b>	<b>207</b>	<b>44500</b>	<b>5923</b>	



### A-5: Daten für die Grob-Stoffflussanalysen der Behandlungsszenarien

Anhand der Angaben aus Tabelle 4-8 können die Input-Zusammensetzungen der verschiedenen Szenarien berechnet werden. Die Bilanzierung der Stoffflüsse der einzelnen Szenarien erfolgte gemäß dem Schema, das für die Güterbilanzen im Anhang dargestellt ist (Tabelle 7-7 bis Tabelle 7-11).

Die biogenen und fossilen C-Anteile der verschiedenen Sortierfraktionen in Tabelle 7-12 stammen aus eigenen Berechnungen (basierend auf Hauer, 2002) und werden für die Ermittlung des biogenen C-Anteiles in den verschiedenen Kohlenstoffflüssen heran gezogen.

Tabelle 7-12: Biogene und fossile C-Anteile der einzelnen Sortierfraktionen

Fraktionen	C <sub>biogen</sub>	C <sub>fossil</sub>
Fraktion <8 bzw. <20 mm	40%	60%
native Organik	100%	0%
Papier und Pappe	100%	0%
Glas	0%	0%
Kunststoffe	0%	100%
Metalle	0%	0%
Verbund	25%	75%
Holz	100%	0%
Bau, mineral	0%	0%
Sonstiges	40%	60%
Problemstoffe	0%	0%

Unterschiedliche Transferkoeffizienten (sortierfraktionsbezogen) werden für die Rotteprozesse angesetzt, da sich hier die Massenbilanzen nur auf die Trockensubstanz bzw. den Kohlenstoffgehalt beziehen. Die entsprechenden Werte der Transferkoeffizienten für TS und C wurden aus Arbeiten von Skutan & Brunner (2006, S.176 ff.) übernommen. In der Folge sind die Güterflussdiagramme für die Trockensubstanz dargestellt, da diese die Basis für die Bilanzierung der Cadmiumflüsse in Abschnitt 4.1.2.2 bilden.

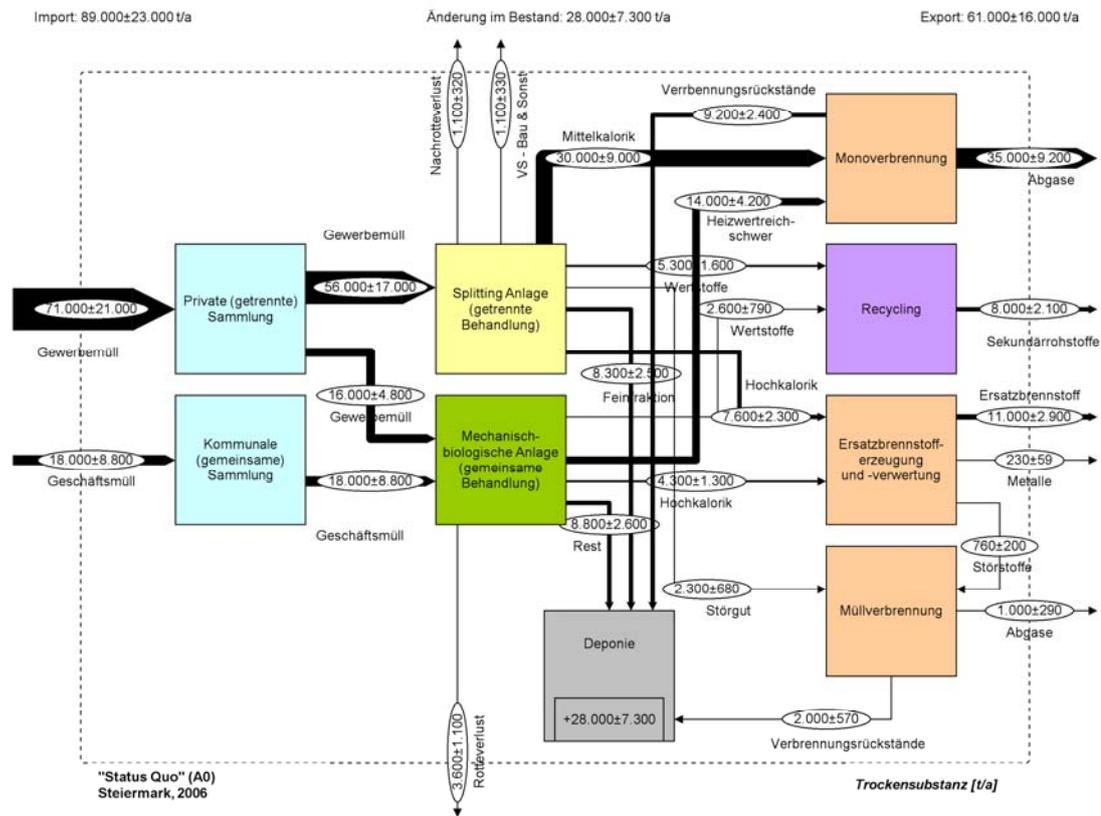


Abbildung 7-2: Güterbilanz für die Trockensubstanz in AO

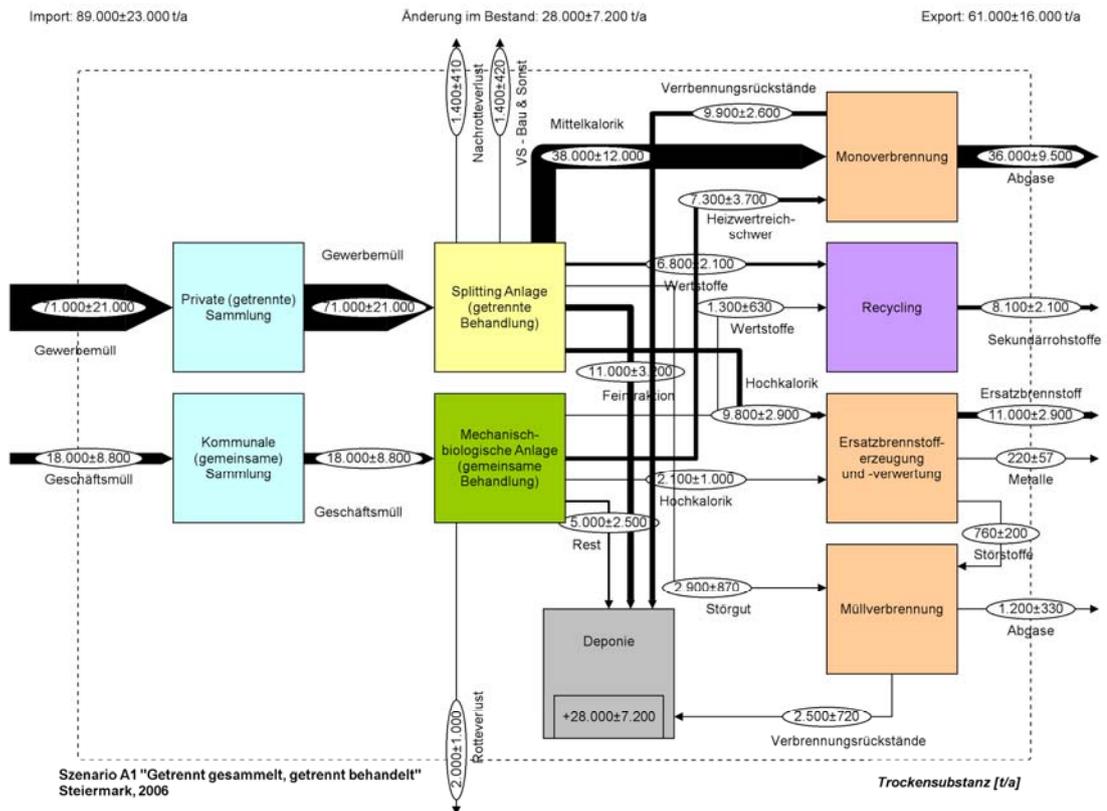


Abbildung 7-3: Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario A1

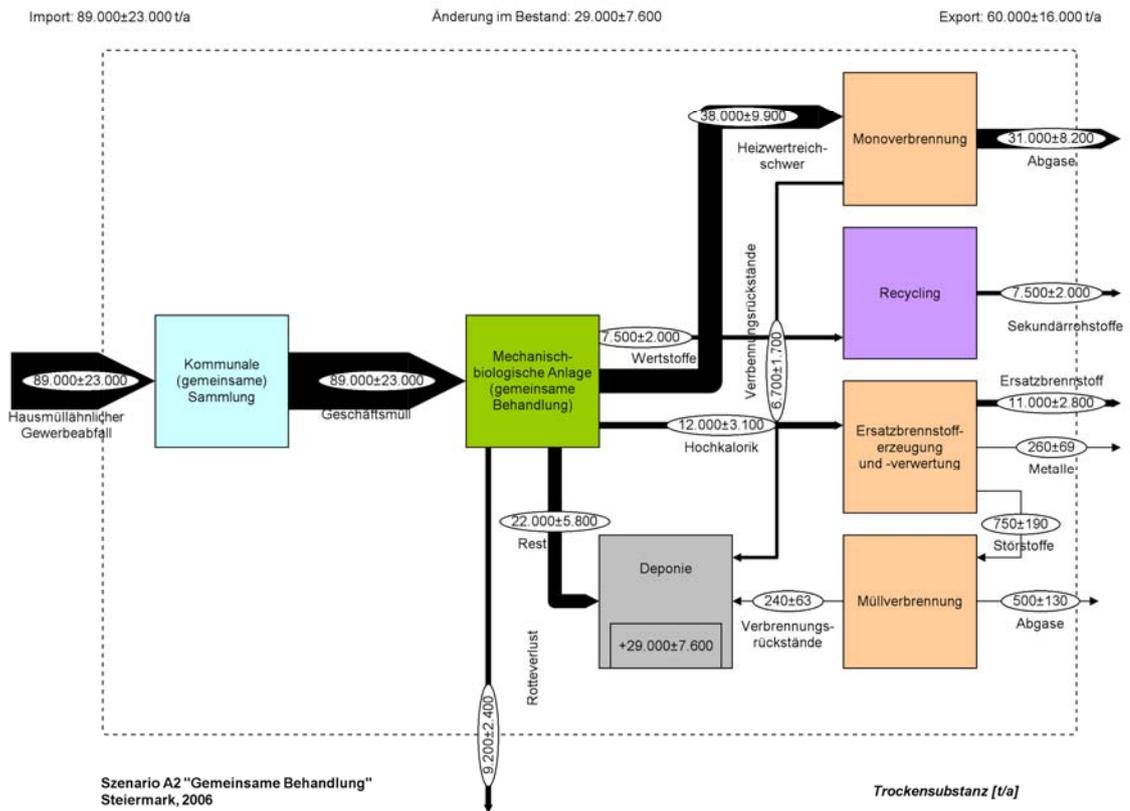


Abbildung 7-4: Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario A2

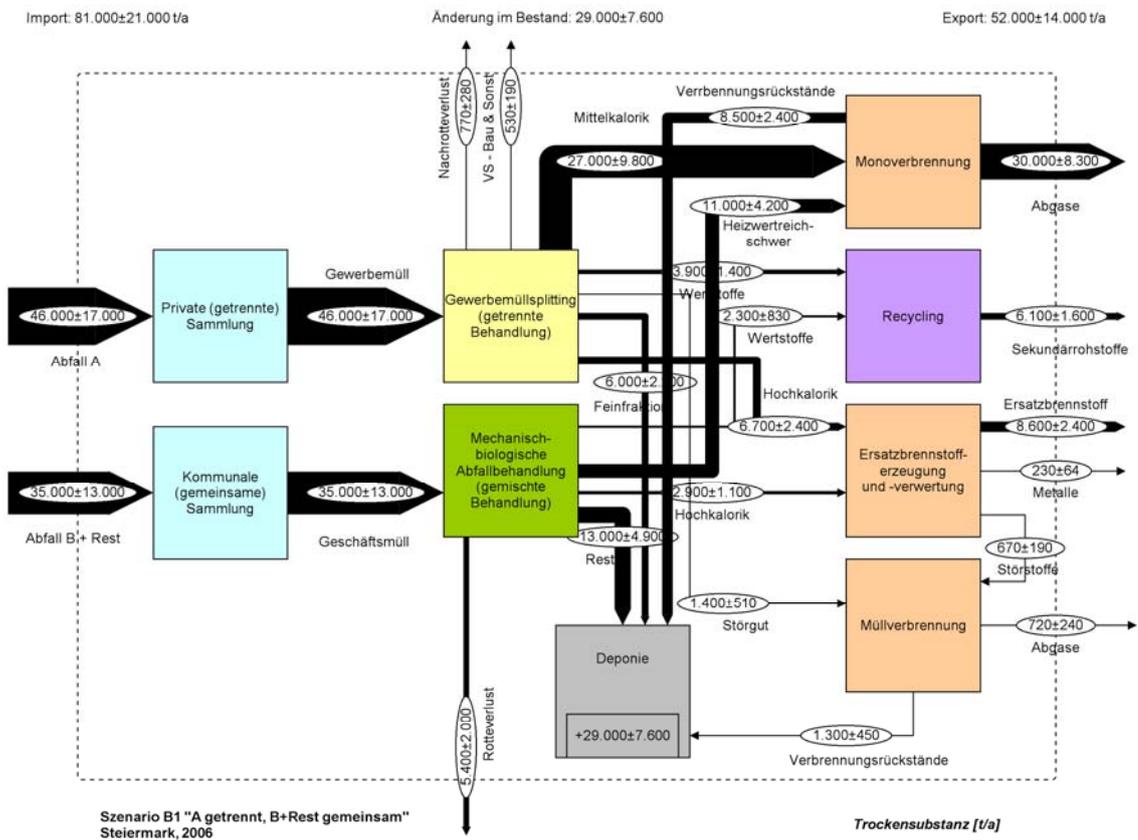


Abbildung 7-5: Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario B1

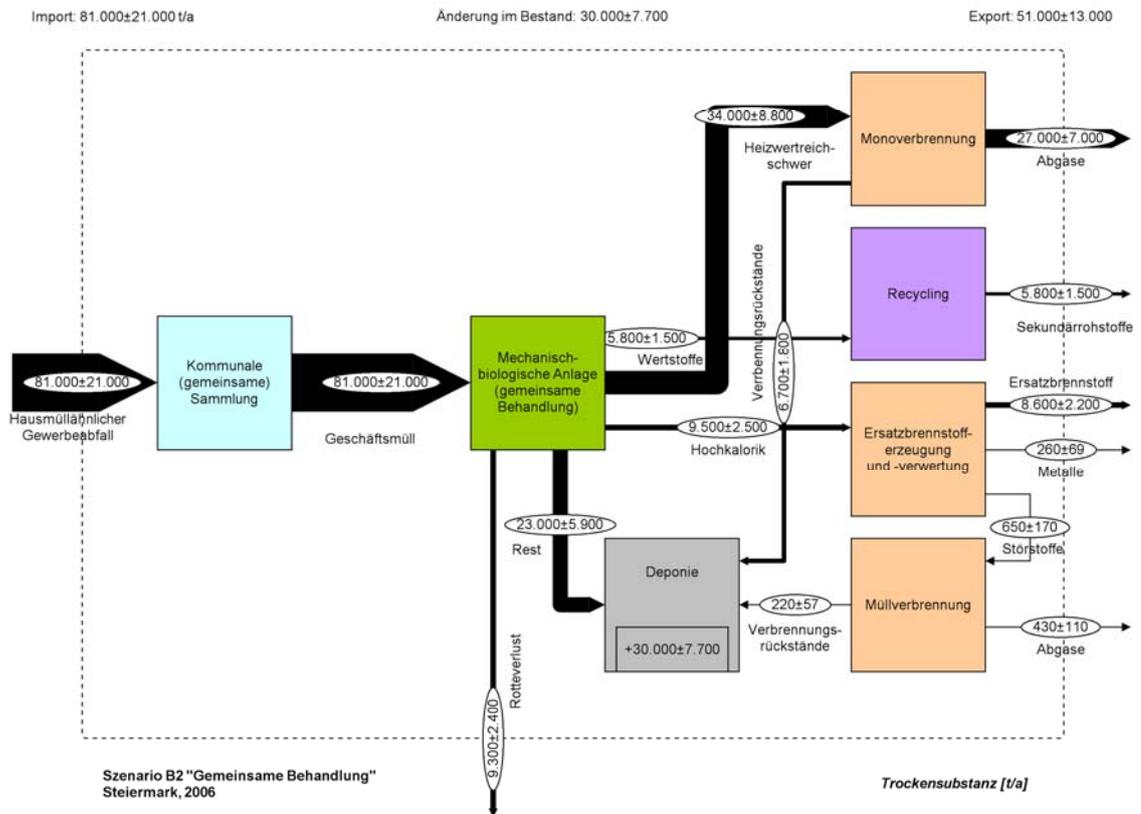


Abbildung 7-6: Güterbilanz für die Trockensubstanz in Szenario B2



## A-5: Bilanzierungsdaten für die Szenariobewertung

Tabelle 7-13: Indikatorwerte für die Bewertung anhand von KEA und THP

Indikatorwerte - KEA und THP				
Gut	KEA [MJ/kg]	CO <sub>2</sub> -Äq. [kg/kg]	Quelle	Anmerkung
Primär-Aluminium	197,0	12,4	[1]	Bezug: DE
Sekundär-Aluminium	27,5	1,6	[1]	Bezug: DE
Oxygenstahl	18,7	1,6	[1]	Bezug: DE
Elektrostahl	8,7	0,5	[1]	Bezug: DE
Primär-Kupfer	71,5	5,6	[1]	Bezug: DE
Sekundär-Kupfer	27,8	1,9	[1]	Bezug: DE
Holz (Rohstoff)	0,3	0,02	[1]	Bezug: SWE
	KEA [MJ/MJ]	CO <sub>2</sub> -Äq. [kg/MJ]	Quelle	Anmerkung
Strom el. (AT)	1,694	0,0666	[1]	Bezug: AT
Steinkohle	1,042	0,0946	[1], [2]	Bezug: AT
	[MJ/tkm]	CO <sub>2</sub> -Äq. [kg/tkm]		
Transport: LKW+Anh (2000)	1,6	0,1191	[3]	Bezug: DE
[1] Ökoinstitut, 2000; [2] Hackl & Mauschitz, 2003; [3] UBA/BUWAL, 1999				

Tabelle 7-14: Daten zu den Brennstoffmaterialien für die Bilanzierung der thermischen Verwertung

Brennstoffdaten				
Brennstoff	Heizwert [MJ/kg]	Quelle	Anlage	Wirkungsgrad [-]
Ersatzbrennstoffe (EBS)	20	[1]	Zementwerk	Primärbrennstoff direkt ersetzt
Mittelkalorik	13,6	[1] & [2]	Wirbelschicht	0,8
Störgut/Störstoffe	4,5	[3]	MVA	0,7
Steinkohle	29,5	[4]	Kohlekraftwerk	0,85
Steinkohle	29,5	[4]	Zementwerk	-
[1] Prochaska et al., 2005; [2] Pomberger, 2008; [3] Menapace et al., 2006 ; [4] Hackl & Mauschitz, 2003				

# www.abfallwirtschaft.steiermark.at

Medieninhaber und Herausgeber:  
Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung 19D  
Abfall- und Stoffflusswirtschaft  
Fachabteilungsleiter:  
Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Himmel  
Nachhaltigkeitskoordinator Steiermark  
Projektbetreuung: Dipl.-Ing. Erich Gungl  
Bürgergasse 5a, 8010 Graz.

Telefon: (0316) 877-4328  
Fax: (0316) 877-2416  
E-Mail: fa19d@stmk.gv.at

Druck: FA19D intern  
Version: 1  
Datum: 10.02.2009  
GZ: FA19D 49.03-012/07-005-2



WIRTSCHAFTSINITIATIVE  
NACHHALTIGKEIT



[www.abfallwirtschaft.steiermark.at](http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at)  
[www.awv.steiermark.at](http://www.awv.steiermark.at)  
[www.nachhaltigkeit.steiermark.at](http://www.nachhaltigkeit.steiermark.at)  
[www.win.steiermark.at](http://www.win.steiermark.at)  
[www.gscheitfeiern.at](http://www.gscheitfeiern.at)