



Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

# **Masterarbeit**

**Energetische Bewertung und Betrachtung  
klimarelevanter Emissionen moderner,  
recyclingoptimierter Systeme für  
Siedlungsabfälle**

Stefan Ott, BSc.

September 2020



## EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 03.09.2020

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by several smaller loops and a horizontal stroke.

Unterschrift Verfasser/in

Stefan Ott

m01435289

## **DANKSAGUNG**

Allen voran bedanke ich mich sehr herzlich bei meinem Betreuer DI Dr. mont. Renato Sarc, der durch seine intensive und fachlich exzellente Betreuung einen maßgeblichen Teil zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen hat. Sein offenes Ohr für meine Anliegen, die schnellen Korrekturzeiten und der freundschaftliche Umgang haben mir den Weg zum Abschluss dieser Arbeit und einiger vorangegangener Projekte am Lehrstuhl sehr erleichtert. Bei Univ.-Prof. DI Dr. mont. Roland Pomberger darf ich mich für die hilfreichen Tipps und interessanten Gespräche während des Studiums und meiner Zeit am Lehrstuhl ganz herzlich bedanken.

Ganz besonderer Dank gilt an dieser Stelle meinen Eltern, die mir dieses Studium erst ermöglicht und mich immer und in allen Belangen unterstützt und gefördert haben.

Ich möchte mich auch bei meiner ganzen Familie für die langjährige Unterstützung während des Studiums bedanken.

Darüber hinaus danke ich all meinen Freunden und Wegbegleitern für die schöne, lernreiche und interessante Zeit in Leoben.

Die gegenständliche Arbeit ist im Rahmen des ReWaste 4.0 Projektes entstanden, das unter der Gesamtleitung von Dr. Sarc am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben richtungsweisende Forschung im Bereich der Abfallwirtschaft betreibt.

Das Kompetenzzentrum Recycling and Recovery of Waste 4.0 - ReWaste4.0 - (860 884) wird im Rahmen von COMET – Competence Centers for Excellent Technologies durch BMVIT, BMWFW und Land Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt.

## **Kurzfassung**

### **Energetische Bewertung und Betrachtung klimarelevanter Emissionen moderner, recyclingoptimierter Systeme für Siedlungsabfälle**

Diese Arbeit untersucht die Unterschiede verschiedener Entsorgungsmodelle für Siedlungsabfälle im Hinblick auf deren kumulierten Energieaufwand, sowie Treibhausgasemissionen nach den Grundsätzen der Ökobilanzierung. Das Hauptaugenmerk der Arbeit lag auf der Entwicklung eines umfangreichen und dynamischen Excel-Modells, welches die Massen-, Energie- und fossilen Kohlenstoffflüsse der Entsorgung von Siedlungsabfällen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen simulieren kann. In der Sachbilanz der Arbeit erfolgt eine Bestimmung der österreichischen Durchschnittswerte für die getrennte Sammlung von Metallen, Leichtverpackungen, Altpapier, Glas und biologische Abfälle sowie deren Behandlung anhand von Literaturwerten. Zusätzlich werden die Ergebnisse einer im Rahmen der Arbeit durchgeführten Datenerhebung bei einem österreichischen Abfallwirtschaftsverband in der Auswertung miteingebunden. Dieser verfolgt die Strategie eines zwei-Tonnen Systems mit einer Trockentonne für Recyclingmaterial und einer Nassmülltonne für Restmüll. Nur Papier, Glas und Bioabfall werden separat gesammelt. Als mögliche Entsorgungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle wurden die direkte thermische Verwertung oder verschiedene Anlagenkombinationen der mechanisch-biologischen Behandlung, mit bzw. ohne Trocknung, mit anschließender Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Zementwerken modelliert. Ein weiteres Vergleichsmodell ist die unbehandelte Deponierung der Abfälle.

Nach Ermittlung des Ist-Standes der Sammelsysteme sowie der Entsorgungsanlagen werden die Auswirkungen, die eine Erreichung der EU-Recyclingziele für Siedlungsabfälle zur Folge hätten, in Szenarien simuliert. Die Ziele werden durch eine verbesserte Erfassung von Abfällen in der getrennten Sammlung und durch Aufrüstung der Sortiertechnologie erreicht.

Abschließend werden die Ergebnisse der beschriebenen Sammel- und Entsorgungssysteme für Siedlungsabfälle einander gegenübergestellt und verglichen.

## **Abstract**

### **Energetic Evaluation and Assessment of Greenhouse Gas Emissions of Modern, Recycling-Optimised Waste Management Systems for Municipal Solid Waste (MSW)**

Present Master Thesis investigates the cumulative energy demand and greenhouse gas emissions of common waste management systems in Austria. The main task was to develop a dynamic Excel-based file that is capable of modelling the mass, energy and fossil carbon flows under different framework conditions. The determination of status quo in Austria was conducted for the separately collected recycling-fractions of metals, lightweight packaging/plastics, paper and cardboard, glass and biogenic waste. Residual waste is the mixed municipal solid waste fraction whose treatment is simulated as untreated landfilling, direct mono-incineration and different types of mechanical biological treatment followed by the co-incineration of high calorific fractions in cement plants. Furthermore, within the creation of this thesis data of an Austrian waste management association with a different collection system of only wet-residual waste, dry or recyclable waste, paper, glass and organic waste has been analysed.

After determination of status quo for all systems, effects on cumulative energy demand and greenhouse gas emissions when meeting the EU-recycling targets are calculated. In different scenarios targets are met through a higher amount of separately collected waste and improved technology in sorting plants. Finally, the performance of the described waste collection and treatment strategies is compared and evaluated.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>11</b>
1.1	Ausgangslage .....	11
1.2	Problemstellung.....	12
1.3	Zielsetzung.....	13
1.4	Abgrenzung – Nicht-Ziele.....	13
1.5	Methodik beim Aufbau des Excel-Modells.....	13
<b>2</b>	<b>RECHTLICHE UND NORMATIVE BASIS .....</b>	<b>15</b>
2.1	Rechtlicher Rahmen .....	15
2.1.1	EU-Kreislaufwirtschaftspakete 2014/2015/2018 .....	15
2.1.2	EU-Kunststoffstrategie .....	18
2.1.3	EU-Kreislaufwirtschaftspaket 2020.....	19
2.2	Theoretische Grundlagen für die Erstellung von Ökobilanzen .....	21
2.3	Anwendung der Methodik der Ökobilanz für diese Arbeit .....	22
<b>3</b>	<b>FESTLEGUNG DES UNTERSUCHUNGSRAHMENS – SYSTEMGRENZEN UND SYSTEMBETRACHTUNG .....</b>	<b>23</b>
3.1	Allgemeines .....	23
3.1.1	Last- und Gutschriften .....	23
3.2	Funktionelle Einheit.....	23
3.3	Systemgrenzen.....	24
3.4	Übersicht betrachteter Behandlungsanlagen .....	25
3.5	Festlegung der Modelle .....	26
3.5.1	Vorgangsweise bei der Auswertung .....	28
<b>4</b>	<b>SACHBILANZ – ÜBERSICHT ÜBER VORHANDENE LITERATUR.....</b>	<b>29</b>
4.1	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	29
4.2	CO <sub>2</sub> Äquivalente – Klimawirksamkeit .....	30
4.3	Verbrennungsfaktor C → CO <sub>2</sub> .....	31
4.4	KEA und THG-Emissionen fossiler Brennstoffe .....	31
4.5	Österreichischer Strom- und Fernwärme-Mix .....	34
4.6	Übersicht Energieträger in Österreich.....	36

<b>4.7</b>	<b>Stoffstromdefinition</b> .....	<b>37</b>
4.7.1	Zusammensetzung Restmüll in Österreich .....	37
4.7.2	Literaturrecherche von weiteren benötigten Stoffströmen.....	38
4.7.3	Verzeichnis Stoffströme .....	41
<b>4.8</b>	<b>Sammlung</b> .....	<b>43</b>
<b>4.9</b>	<b>Transporte</b> .....	<b>45</b>
<b>4.10</b>	<b>Deponie</b> .....	<b>47</b>
4.10.1	Deponie für unbehandelte Siedlungsabfälle (Dep-Hm) .....	47
4.10.2	Massenabfalldeponie (Dep-Ma) .....	50
4.10.3	Reststoffdeponie (Dep-Rs) .....	50
<b>4.11</b>	<b>Thermische Verwertung</b> .....	<b>51</b>
4.11.1	Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen .....	52
4.11.2	Rostfeuerungsanlage – klassische Müllverbrennungsanlage (AV-R) .....	56
4.11.3	Wirbelschichtverbrennungsanlage (AV-W).....	59
4.11.4	Abfallmitverbrennungsanlage Zementwerk (Zem) .....	61
<b>4.12</b>	<b>Mechanisch-biologische Vorbehandlungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle</b> .....	<b>71</b>
4.12.1	Mechanisch-biologische Anlagen aerob (MBA) .....	72
4.12.2	Mechanisch-biologische Anlagen mit Trockenstabilisierung (MBA-tr).....	80
4.12.3	Vergleich der unterschiedlichen MBA-Modellierungen.....	85
4.12.4	EBS-Produktionsanlagen (EBS-P) .....	88
<b>4.13</b>	<b>Einsparungen durch Recycling</b> .....	<b>93</b>
4.13.1	Metallrecycling .....	93
4.13.2	Leichtverpackungsrecycling.....	94
4.13.3	Papierrecycling .....	96
4.13.4	Glasrecycling.....	96
4.13.5	Bioabfallkompostierung .....	97
4.13.6	Gegenüberstellung der spezifischen Einsparungen der unterschiedlichen Recyclingprozesse.....	99
<b>4.14</b>	<b>Einsparungen durch die getrennte Sammlung</b> .....	<b>100</b>
4.14.1	Getrennte Sammlung von Metallen .....	101
4.14.2	Getrennte Sammlung von Leichtverpackungen .....	103
4.14.3	Getrennte Sammlung von Papier .....	105
4.14.4	Getrennte Sammlung von Glas.....	106
4.14.5	Getrennte Sammlung von biogenen Abfällen .....	107
4.14.6	Zusammenfassung der getrennten Sammlung .....	108
<b>4.15</b>	<b>Modell eines 2-Tonnen Systems – „Trocken- und Nassmüll“</b> .....	<b>111</b>
4.15.1	Sammelsystem und Abfallbehandlung.....	111
4.15.2	Detailbeschreibung des Modells GS-2T.....	112
4.15.3	Definition der Stoffströme des Modells GS-2T.....	115



<b>5</b>	<b>ENTWICKLUNG UND BESCHREIBUNG DER SZENARIEN ALS TEIL EINER SENSITIVITÄTSANALYSE .....</b>	<b>116</b>
<b>5.1</b>	<b>Veränderbare Parameter der Excel-Modellierung .....</b>	<b>116</b>
<b>5.2</b>	<b>Szenario: „Status quo“ .....</b>	<b>117</b>
5.2.1	Szenario „Status quo“ für 2-Tonnen Modell .....	118
5.2.2	Mengenflussdiagramme pro 100.000 t Input nach „Status quo“ der unterschiedlichen Modelle ....	119
<b>5.3</b>	<b>Szenario: „sam+“ .....</b>	<b>126</b>
5.3.1	Szenario „sam+“ für 2-Tonnen Modell .....	126
5.3.1	Mengenflussdiagramme pro 100.000 t Input nach „sam+“ der unterschiedlichen Modelle .....	127
<b>5.4</b>	<b>Szenario: „tec+“ .....</b>	<b>133</b>
5.4.1	Szenario „tec+“ für 2-Tonnen Modell .....	133
<b>5.5</b>	<b>Szenario: „samtec+“ .....</b>	<b>135</b>
5.5.1	Szenario „samtec+“ für Modell GS-2T .....	135
<b>6</b>	<b>BERECHNUNG UND AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>136</b>
<b>6.1</b>	<b>Auswertung des Szenarios „Status quo“ – Ist-Stand .....</b>	<b>137</b>
6.1.1	Recyclingquote „Status quo“ .....	137
6.1.2	KEA und CO <sub>2</sub> äq-Emissionen – „Status quo“ .....	138
<b>6.2</b>	<b>Auswertung des Szenarios „sam+“ – mehr getrennte Sammlung .....</b>	<b>139</b>
6.2.1	Recyclingquote „sam+“ .....	139
6.2.2	KEA und CO <sub>2</sub> äq-Emissionen „sam+“ .....	140
<b>6.3</b>	<b>Auswertung des Szenarios „tec+“ – höhere Sortiertiefe, Wirkungs- und Substitutionsgrade .....</b>	<b>141</b>
6.3.1	Recyclingquote „tec+“ .....	141
6.3.2	KEA und CO <sub>2</sub> äq-Emissionen „tec+“ .....	142
<b>6.4</b>	<b>Auswertung des Szenarios „samtec+“ – Kombination aus „sam+“ und „tec+“ .....</b>	<b>143</b>
6.4.1	Recyclingquote „samtec+“ .....	143
6.4.2	KEA und CO <sub>2</sub> äq-Emissionen „samtec+“ .....	144
<b>7</b>	<b>VERGLEICH DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>145</b>
<b>7.1</b>	<b>Modellvergleich der Recyclingquote.....</b>	<b>145</b>
<b>7.2</b>	<b>Modellvergleich der Ergebnisse für KEA .....</b>	<b>146</b>
7.2.1	Modellvergleich – KEA „Status quo“ .....	146
7.2.2	Modellvergleich – KEA im Szenario „sam+“ .....	146
7.2.3	Modellvergleich – KEA im Szenario „tec+“ .....	147
7.2.4	Modellvergleich – KEA im Szenario „samtec+“ .....	147
<b>7.3</b>	<b>Modellvergleich der Ergebnisse für CO<sub>2</sub>äq .....</b>	<b>147</b>
7.3.1	Modellvergleich – CO <sub>2</sub> äq im Szenario „Status quo“ .....	148
7.3.2	Modellvergleich – CO <sub>2</sub> äq im Szenario „sam+“ .....	148
7.3.3	Modellvergleich – CO <sub>2</sub> äq im Szenario „tec+“ .....	148

---

7.3.4	Modellvergleich im – CO <sub>2</sub> äq im Szenario „samtec+“ .....	148
<b>7.4</b>	<b>Szenarienvergleich der Ergebnisse .....</b>	<b>149</b>
7.4.1	Szenario „sam+“ relativ zu „Status quo“ .....	150
7.4.2	Szenario „tec+“ relativ zu „Status quo“ und „sam+“ .....	150
7.4.3	Szenario „samtec+“ relativ zu „Status quo“, „sam+“ und „tec+“ .....	151
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSEND BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN .....</b>	<b>152</b>
<b>9</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>155</b>
<b>10</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>156</b>
<b>10.1</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>156</b>
<b>10.2</b>	<b>Tabellen.....</b>	<b>162</b>
<b>10.3</b>	<b>Abbildungen .....</b>	<b>168</b>
<b>10.4</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>173</b>
<b>ANHANG</b>	<b>.....</b>	<b>I</b>

# 1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit unterschiedlichen Entsorgungsmodellen von Siedlungsabfällen, die in Österreich Anwendung finden bzw. in Zukunft Anwendung finden könnten. Der Fokus ist auf den kumulierten Energieverbrauch (KEA), Treibhausgasemissionen (THG) bzw. Ressourcenpotentiale gelegt, die durch eine detaillierte Sachbilanz (aufgebaut als ein „Excel-Modell“) bestimmt werden, das die Datengrundlage für alle in der Arbeit vorkommenden Zahlen bietet.

## 1.1 Ausgangslage

In den letzten Jahrzehnten hat die österreichische Abfallwirtschaft stetige Weiterentwicklungen und Innovationen erlebt. Seit Mitte der 90er Jahre sind bis 2015 die Emissionen von Treibhausgasen der Abfallwirtschaft in Österreich insgesamt betrachtet auf etwas über drei Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent zurückgegangen. (siehe Abbildung 1) Die Vorgaben aus dem Klimaschutzgesetz erfordern eine weitere Senkung der Emissionen aus diesem Sektor auf 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, um die Klimaziele einhalten zu können. (KSG, 2011)

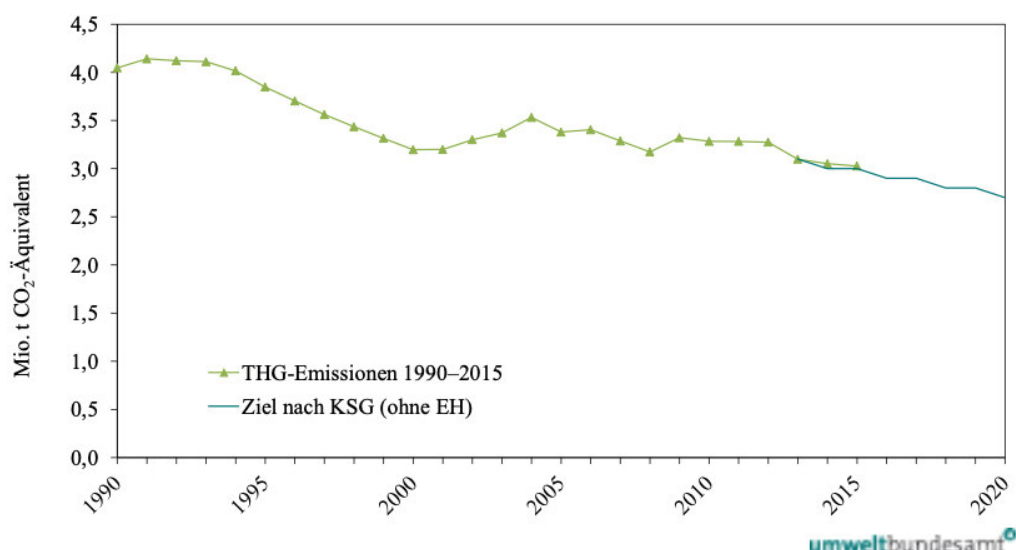


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen aus dem Sektor der Abfallwirtschaft, 1990-2015 (BAWPL, 2017)

Ein Teil der Reduktion wird durch die Verringerung der biologisch aktiven Komponente in abgelagerten Abfällen von selbst erreicht, der restliche Teil durch vermehrtes Recycling und optimierte Verwertungssysteme. Die EU-Kommission hat, durch die Vorschläge in den Kreislaufwirtschaftspaketen 2014 und 2015 (Europäische Kommission, 2014, 2015), sowie dem beschlossene Paket in 2018 (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018a) die Ziele bezüglich Recyclingraten sehr ambitioniert festgelegt. Auch Österreich kann sich nicht auf den Errungenschaften der letzten Jahre ausruhen. Es herrscht Bedarf, insbesondere die Entsorgungssysteme für gemischte Siedlungsabfälle weiter zu optimieren, um einerseits die Recyclingziele zu erreichen und andererseits das noch vorhandene Potential zur Ressourcenschonung, sowie einer Verminderung des Energieverbrauchs und der

Treibhausgasemissionen zu erforschen. Genau hierzu soll diese Arbeit einen Beitrag leisten, in dem der kumulierte Energieaufwand und Treibhausgaspotential als relevante Parameter berechnet und quantifiziert werden, die wiederum einen Einfluss auf die Gesamtbewertung haben.

## 1.2 Problemstellung

Die getrennte Sammlung in Österreich ist sehr gut entwickelt. Jedoch gibt es große regionale Unterschiede.

Österreich hat im Bereich der gemischten Siedlungsabfälle ein sehr ausdifferenziertes Entsorgungsmodell, das je nach Region unterschiedliche Wege für gemischten Siedlungsabfall, sprich Restmüll, vorsieht. Die unterschiedlichen Bundesländer setzen auf verschiedene Strategien bei der Restmüllentsorgung. Im Großraum Wien, Niederösterreich, Oberösterreich und Kärnten liegt der Schwerpunkt auf der direkten Verbrennung in klassischen Rostmüllverbrennungsanlagen. In den Bundesländern Steiermark, Salzburg, Burgenland, Tirol und Vorarlberg sind eher Splitting- und/oder mechanisch-biologische Anlagen zur Restmüllbehandlung im Einsatz, die eine nachfolgende thermische Verwertung der heizwertreichen Fraktion in Zementwerken oder Müllverbrennungsanlagen mit Wirbelschichttechnologie vorsehen. (Pomberger, 2018). Alle österreichischen Entsorgungsmodelle für Restmüll haben gemein, dass die stoffliche Verwertung von Restmüll sich überwiegend auf die darin befindlichen Metalle begrenzt, d.h. äußerst gering ist.

Die Bemühungen, die Ressourceneffizienz zu erhöhen bzw. den Energieverbrauch und damit die Emissionen bei der Restmüllentsorgung zu senken, führen zu einem Bedarf der Evaluierung der bestehenden Systeme und Modellierung möglicher, künftiger Verbesserungen. Eine Gesamtbewertung zu diesem Thema hat es in 2015 gegeben und diese wurde im Rahmen einer „Benchmarking-Studie“ veröffentlicht (Brunner u. a., 2015). Die gegenständliche Arbeit unterscheidet sich von der angeführten Studie durch die intensivere und detailliertere Bewertung sowie durch den Aufbau von optimierten Szenarien wie z.B. das „samtec“-Szenario für die Zukunft. Momentan ist wenig bekannt, wie die unterschiedlichen Arten der Restmüllbehandlung im energetischen- und CO<sub>2</sub>-Emissionsvergleich abschneiden.

Konkrete Problemstellung der gegenständlichen Arbeit ist, welche und wie große Unterschiede im Hinblick auf kumulierten Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen es zwischen den unterschiedlichen Bewirtschaftungsmodellen von Restmüll bzw. Siedlungsabfällen generell gibt und wie sich smarte und optimierte Anlagentechnik und eine vermehrte getrennte Sammlung auf die Performance des Siedlungsabfallbewirtschaftungssystems auswirkt. Dazu ergeben sich folgende konkrete Fragestellungen, die im Rahmen der Arbeit beantwortet werden.

- Wie hoch ist die auf den Output aus dem Recyclingprozess bezogene Recyclingquote mit aktueller Verteilung zwischen Restmüll und gewählten Fraktionen der getrennten Sammlung in Österreich?
- Wie verhalten sich gängige Bewirtschaftungssysteme für Siedlungsabfälle im Vergleich von kumuliertem Energieaufwand und Klimawirksamkeit?

- Wie verändert eine Mengenerhöhung von Abfällen in der getrennten Sammlung bzw. die Aufrüstung im Bereich der Sortiertechnologie zur Erreichung der EU-Recyclingziele den KEA und die THG-Emissionen der einzelnen Systeme?
- Wie schneidet das Modell eines zwei Tonnen Sammelsystems eines österreichischen Abfallwirtschaftsverbands im Vergleich zur klassischen getrennten Sammlung in Bezug auf Recyclingquote, kumulierten Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen ab?

### **1.3 Zielsetzung**

Ziel der Arbeit ist die Ermittlung, Darstellung und Bewertung des kumulierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für die aktuellen, in der österreichischen Abfallpraxis unterschiedlich ausgeführten, unterschiedlichen Restmüllentsorgungssysteme. Diese Systeme sollen durch Modelle basierend auf den Daten und Interviews mit Experten möglichst realitätsgetreu nachgebildet werden. Anschließend soll eine Bewertung nach gleichen Kriterien für drei recyclingoptimierte Szenarien unter dem Motto „Erfüllung der zukünftigen Kreislaufwirtschaftsvorgaben“ geschehen, die einerseits durch eine Mengenerhöhung der Erfassung in getrennter Sammlung, sowie durch eine Verbesserung der Sortiertechnologie, d.h. technischem „up-grade“ erfolgt.

Durch die Definition von Szenarien im Rahmen der sog. „Sensitivitätsanalyse“ für die jeweiligen Modelle, die eine Änderung bestimmter Parameter wie zum Beispiel den Wirkungsgrad in Verbrennungsanlagen darstellen, sollen die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen berechnet, analysiert und ausgewertet werden. Diese unterschiedlichen Modelle sollen anhand angenommener Entwicklungsszenarien miteinander verglichen werden und daraus Empfehlungen für eine energieeffizientere und klimaschonendere Entsorgung von gemischten Siedlungsabfällen abgeleitet werden.

### **1.4 Abgrenzung – Nicht-Ziele**

Es ist nicht Ziel dieser Arbeit, die ökonomischen und schadstofflichen Gesichtspunkte der verschiedenen Modelle und Szenarien zu betrachten. Sollten Handlungsempfehlungen abgegeben werden beziehen sich diese auf Auswirkungen im Bereich des KEA und der THG-Emissionen in Bezug auf ökologische und rechtliche Aspekte.

Durch diese Eingrenzung der ökologischen Bewertung werden sonst bei Ökobilanzen häufig betrachtete Wirkungskategorien wie Versauerungspotential, Eutrophierungspotential oder Toxizitäten nicht recherchiert und berechnet.

### **1.5 Methodik beim Aufbau des Excel-Modells**

In der gegenständlichen Arbeit wurde aufgrund der Vielzahl an Anlagen und Stoffströmen eine einheitliche Struktur bezüglich der Benennung geschaffen. Die verwendeten Abkürzungen der Anlagen findet sich im Kapitel 3.4 Übersicht betrachteter Behandlungsanlagen, jene für Stoffströme im Stoffstromverzeichnis 4.7.3. Es wurde dabei, soweit möglich, in Reihenfolge der tatsächlichen Abfallbehandlungsschritte vorgegangen.

Um Ergebnisse mit dem Excel-Modell zu erhalten, werden die Mengenangaben der Fraktionen Restmüll, Metalle, LVP, Papier, Glas und Bio gemeinsam mit der Nummer des zu modellierenden Modells im Tabellenblatt „EINGABE Modell+Masse“ eingegeben. Die Eingabe der Daten erfolgt immer und ausschließlich in einheitlich-grün formatierten Zellen. Das Excel-Modell ist so aufgebaut, dass es im Tabellenblatt „Berechnung“, das als Bindeglied zwischen den einzelnen Anlagen bzw. Prozessen dient, alle Anlagendaten der Restmüllbehandlungssysteme, d.h. Sammlung, Transporte und Prozesse, zusammenführt. Daher werden die Anlagen für Restmüll in der Sachbilanz ohne Transporte zwischen den Anlagen angegeben. Die getrennte Sammlung erfolgt separat zu den Restmüllmodellen und im Blatt „Berechnung“ wird nur die Summe der für die Fraktion zutreffenden Gut- und Lastschriften wiedergegeben, da diese bereits im Blatt „Recycling-Einsparungen und GS“ detailliert aufgelistet wurden. Sortierreste der getrennten Sammlung werden direkt den Verbrennungsanlagen für Restmüll zugerechnet, was zu einer Berücksichtigung der Summe im Tabellenblatt „Berechnung“ führt. Parameter wie Stoffstromeigenschaften ( $H_u$ ,  $C_{\text{fossil}}$ ), Wirkungs- und Substitutionsgrade können über die jeweiligen Tabellenblätter „Übersicht Stoffströme“ (nur Restmüll), „Verbrennung R+WS+Zem“ und „MBA+EBS“ verändert werden. In der Sachbilanz der gegenständlichen Arbeit werden die Anlagen im Excel-Modell mit einer Tonne des für die jeweilige Anlage vorgesehenen Inputs beschickt. Die einzelnen, spezifischen Werte sind nicht direkt vergleichbar, da der Input oft eine zusätzliche Vorbehandlung benötigt, die in den Einzelbetrachtungen der Sachbilanz nicht berücksichtigt ist. Vergleichbare Ergebnisse liefert die Auswertung der gesamten Modelle, da hier alle notwendigen Vorbehandlungen eingerechnet sind.

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden für Tabellen zwei unterschiedliche Farben eingeführt. Grundsätzlich werden Tabellen mit grauer Schattierung verwendet. Für Tabellen, die KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen von Prozessen enthalten wurde eine gelbe Farbe gewählt.

## 2 Rechtliche und normative Basis

In diesem Kapitel sollen die Entwicklungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen dargestellt werden, die für diese Arbeit relevant sind.

Weiter werden die Vorgaben aus verschiedener Literatur zum Ablauf einer Lebenszyklusanalyse in Form von Normen und Handbüchern diskutiert.

### 2.1 Rechtlicher Rahmen

Für Mitgliedsstaaten (MS) in der europäischen Union ist das Sekundärrecht (Verordnungen (VO) bzw. Richtlinien) in nationale Gesetze bzw. VO umzusetzen. Richtlinien geben meist einen Rahmen und allgemeine Ziele mit dazugehörigen Fristen vor, die von den MS nach einer Übergangsfrist (üblicherweise 2 Jahre) für die Anpassung an das nationale Rechtssystem mit unterschiedlichen Methoden erreicht werden können. Nachdem das Unionsrecht Vorrang vor nationalen Regelungen hat und für die zukünftige Abfallbewirtschaftung in Österreich maßgeblich ist, liegt in dieser Arbeit der Fokus auf europäischen Entwicklungen.

#### 2.1.1 EU-Kreislaufwirtschaftspakete 2014/2015/2018

Das EU Kreislaufwirtschaftspaket, welches 2014 erstmals publiziert und 2015 überarbeitet wurde sowie abschließend 2018 in Kraft getreten ist, enthält den Aktionsplan für eine Kreislaufwirtschaft, einen Anhang mit einer Liste von rund 50 Maßnahmen und sechs Vorschläge zur Änderung von Richtlinien, hauptsächlich die Bewirtschaftung von Abfällen betreffend. Unter anderem die Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL, 2008/98/EG), die Richtlinie über die Deponierung (DepRL, 1999/31/EG) von Abfällen und die Verpackungsrichtlinie (VerpackungsRL), die in Österreich in Form des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG), der Deponieverordnung (DepVO) und der Verpackungsverordnung (VerpackungsVO) umgesetzt werden.

Folgende gesetzliche Neuerungen sind für die Siedlungsabfallwirtschaft von besonderer Bedeutung:

##### 2.1.1.1 Begriffsdefinition „Siedlungsabfall“

Detailliertere Begriffsbestimmungen, insbesondere des Begriffs „Siedlungsabfall“ der nun europaweit genauer definiert ist. Siedlungsabfälle (SA) sind laut aktualisierter EU-Abfallrahmenrichtlinie: „

- a) gemischte Abfälle und getrennt gesammelte Abfälle aus Haushalten, einschließlich Papier und Karton, Glas, Metall, Kunststoff, Bioabfälle, Holz, Textilien, Verpackungen, Elektro- und Elektronik-Altgeräte, Altbatterien und Altakkumulatoren sowie Sperrmüll, einschließlich Matratzen und Möbel;
- b) gemischte Abfälle und getrennt gesammelte Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen, sofern diese Abfälle in ihrer Beschaffenheit und Zusammensetzung Abfällen aus Haushalten ähnlich sind;

Siedlungsabfall umfasst keine Abfälle aus Produktion, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei, Klärgruben, Kanalisation und Kläranlagen, einschließlich Klärschlämme, Altfahrzeuge und aus Bau- und Abbruch.

Diese Definition gilt unbeschadet der Verteilung der Verantwortlichkeiten für die Abfallbewirtschaftung auf öffentliche und private Akteure“ (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018a)

### 2.1.1.2 Recyclingquoten und ihre Berechnung

Das Ziel der EU in eine nachhaltigere, also ressourcen- und klimaschonende Kreislaufwirtschaft wird im Aktionsplan formuliert und es werden hohe Recyclingziele vorgegeben, die allgemein für Siedlungsabfälle (SA) in Tabelle 1 und speziell für Verpackungsabfälle in Tabelle 2 dargestellt werden. Laut VerpackungsRL der EU müssen alle MS bis 31.12.2024 Regime der erweiterten Herstellerverantwortung gem. Art. 8 und 8a der AbfRRL für alle Verpackungen einführen. (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018b) In Österreich ist dies durch Sammel- und Verwertungssysteme, wie zB. das Altstoff Recycling Austria (ARA), gelöst.

Tabelle 1: Ziele für die Abfallwirtschaft der EU gem. AbfRRL Art11, Absatz 2 c) bis e) in Gewichtsprozent. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018a; Rat der Europäischen Union, 2018)

Jahr	2025	2030	2035
<b>Recycling von SA</b>	55 %	60 %	65 %
<b>Deponierung von unbehandeltem SA</b>	-	-	< 10 %

Tabelle 2: Recyclingziele für Verpackungen in der EU gem. VerpackungsRL Art6, Absatz 1 f) bis i) in Gewichtsprozent. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018b)

Jahr	2008	2025	2030
<b>Kunststoffe</b>	22,5 %	50 %	55 %
<b>Holz</b>	15 %	25 %	30 %
<b>Eisenmetalle</b>	50 % (alle Metalle)	70 %	80 %
<b>Aluminium</b>	-	50 %	60 %
<b>Glas</b>	60 %	70 %	75 %
<b>Papier und Karton</b>	60 %	75 %	85 %
<b>GESAMT Wertstoffe</b>	<b>mind. 55 %</b>	<b>mind. 65 %</b>	<b>mind. 70 %</b>



Bisher konnte bei der Quotenberechnung aus vier Berechnungsmethoden gewählt werden, was zu großen Schwankungsbreiten führte. Zusätzlich war der Punkt zur Berechnung der Recyclingquote nicht eindeutig definiert und es wurden teilweise getrennt gesammelte Abfälle bereits als „recycelt“ der Quote hinzugerechnet. (Europäische Kommission, 2011)

Über die zukünftig einheitliche Berechnung der Recyclingquote von Siedlungsabfällen in der EU hat die Kommission den bereits bei Novellierung der AbfRRL angekündigten Durchführungsbeschluss 2019/1004 (Europäische Kommission, 2019a) erlassen, der in Anhang I die genauen Berechnungspunkte der als recycelbar anrechenbare Siedlungsabfälle definiert. Diese sind nun so gewählt, dass nur die Menge die tatsächlich in den Recyclingprozess eingebracht wurde auch als „recycelt“ angerechnet wird. In manchen Fällen kann auch der Output aus Sortieranlagen herangezogen werden, wobei hier dementsprechende Verlustfaktoren berücksichtigt werden müssen.

### Umsetzung der neuen Berechnungsmethode für Recyclingquoten

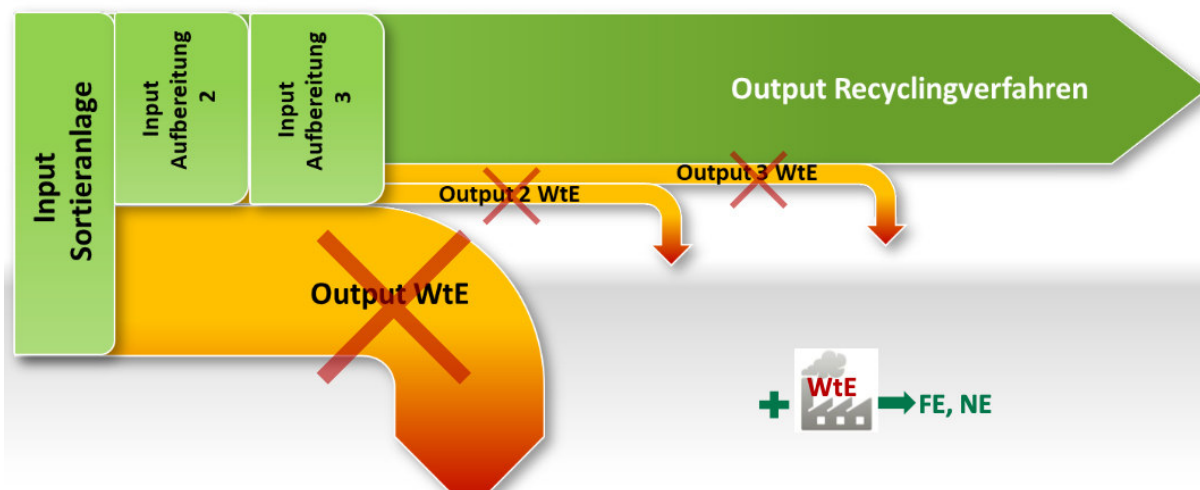


Abbildung 2: Visualisierung des neuen Zählers bei der Recyclingquotenberechnung von SA. Output aus R2-R13 Verfahren, der nicht recycelt wird, muss abgezogen werden. Aussortierte Metalle aus Waste-to-Energy (WtE)-Prozessen dürfen angerechnet werden (Obermeier und Lehmann, 2019a)

Die Überprüfung der Einhaltung der Vorgaben zur Recyclingquote der Siedlungsabfälle lt. AbfRRL Art.11, aber auch der Recyclingquote für Verpackungen nach VerpackungsRL (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018b) und zugehörigem Durchführungsbeschluss (Europäische Kommission, 2019b) dürfen ab 2020 nur mehr nach der einheitlichen Methode erfolgen.

Nach Anwendung der Neuerungen errechnen sich für Österreich und Deutschland folgende Recyclingquoten für Siedlungsabfälle:

Tabelle 3: Recyclingquoten für Siedlungsabfälle im Bezugsjahr 2016 in m% (Obermeier und Lehmann, 2019b)

	Recyclingquote SA Berechnung <b>ALT</b>	Recyclingquote SA Berechnung <b>NEU ab 2020</b>
Österreich	<b>59 %</b>	<b>53 %</b>
Deutschland	<b>67 %</b>	<b>49 %</b>

Diese Neuberechnung hat Folgen für die Recyclingzahlen in vielen europäischen Ländern, allen voran Deutschland, das seine Recyclingquote sehr großzügig berechnet hat und als Grundlage für die Quote den Input in Behandlungsverfahren R2-R13 herangezogen hat. Deutschland steht daher eine deutliche Reduktion der Recyclingquote bevor. (Obermeier und Lehmann, 2019b)

Österreich bezieht seine Recyclingquoten auf den Output nach mechanischer Sortierung, was den Quotenverfall, bezogen auf Haushaltsabfälle, verkleinert. Sonstige Siedlungsabfälle sind in diesem Beispiel nur für Deutschland eingerechnet, wo sie mengenmäßig ca. 8% ausmachen und eine geringe outputbezogene Recyclingquote von 26% vorweisen. (Obermeier und Lehmann, 2019b)

Nach vorliegenden Daten aus 2016 erreichten weder Deutschland noch Österreich die Mindestquote für 2025 von 55 m% und von den darauffolgenden 60 bzw. 65 m% ist man noch weit entfernt.

### 2.1.1.3 Getrennte Sammlung und Herstellerverantwortung

Zusätzlich zur bereits geltenden Verpflichtung zur getrennten Sammlung von Papier, Metall, Kunststoffen und Glas werden

- gefährliche Haushaltsabfälle ab 2022
- Bioabfall ab 2023
- Textilien ab 2025

ebenfalls verpflichtend getrennt gesammelt.

Außerdem müssen Systeme für die erweiterte Herstellerverantwortung bis 2024 verpflichtend in allen MS eingeführt werden, um die Qualität der Sekundärrohstoffe anzuheben. (Europäische Kommission, 2018a)

## 2.1.2 EU-Kunststoffstrategie

Am 16.1.2018 veröffentlichte die Kommission eine Strategie für „Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft“, die einen Aktionsplan, eine Liste künftig geplanter Maßnahmen mit Fokus auf Behörden und Industrie und eine Selbstverpflichtungskampagne enthält. (Europäische Kommission, 2018b) Das Ziel ist, den Umgang mit Kunststoffen in allen Aspekten nachhaltiger zu gestalten. Der Anhang besteht aus drei Teilen. Anhang I ist eine Liste der Maßnahmen der

EU zur Umsetzung der Strategie, Anhang II eine Liste mit Maßnahmeempfehlungen für Industrie und Behörden. Dabei wird ein Fokus auf folgende Themenbereiche gelegt:

- Maßnahmen zur Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der Qualität des Kunststoffrecyclings,
- Maßnahmen zur Eindämmung des Aufkommens von Kunststoffabfällen und der Vermüllung,
- Maßnahmen zur Mobilisierung von Investitionen und Innovationen für kreislaforientierte Lösungen und
- Maßnahmen zur Unterstützung von Maßnahmen auf globaler Ebene.

Im dritten Teil des Anhangs wird zur Selbstverpflichtung der Interessensträger aufgerufen, um 2025 das Ziel zehn Millionen Tonnen Kunststoffrecyclate zu neuen Produkten zu verarbeiten, zu erreichen. Weitere Ziele sind die Wiederverwendbarkeit bzw. kosteneffiziente Rezyklierbarkeit von allen Kunststoffverpackungen bis 2030 sowie eine Beschränkung des Mikroplastiks in Kosmetikprodukten. (Europäische Kommission, 2018b)

#### **2.1.2.1 Richtlinie 2019/904 über Umweltauswirkungen von Einwegkunststoffen**

Konkrete legislative Maßnahmen wurden durch die Richtlinie 2019/904 vom 5.6.2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt umgesetzt. Als Folge werden die Einwegkunststoffartikel Wattestäbchen, Besteck, Teller, Trinkhalme, Rührstäbchen, Luftballonstäbe, Lebensmittelverpackungen sowie Getränkebecher aus expandiertem Polystyrol verboten. Außerdem werden weitere Auflagen für die getrennte Sammlung von Einwegkunststoffartikel (gem. Anhang F) erteilt. Bis 2025 sollen 77 Gewichtsprozent und bis 2029 90%, gemessen an den in Verkehr gebrachten Einwegkunststoffartikel, getrennt gesammelt werden.

Sanktionen bei Nichteinhaltung sind vorgesehen, können aber von jedem Mitgliedsstaat einzeln festgesetzt und entschieden werden. (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2019)

#### **2.1.3 EU-Kreislaufwirtschaftspaket 2020**

Am 11.3.2020 wurde von der neuen EU-Kommission ein neuer Aktionsplan „Green Deal“ für die Kreislaufwirtschaft und ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa veröffentlicht.

Im Anhang werden, in sieben Bereichen gegliedert, die politischen Maßnahmen der nächsten Jahre aufgelistet, die die Revision einiger gesetzlicher Regelungen, sowie neue Legislativvorschläge vorsehen. (Europäische Kommission, 2020a, 2020b)

Unter anderem soll Wert auf länger haltende Produkte gelegt werden und das „Recht auf Reparatur“ legislativ verankert werden. Überprüfungen der Richtlinie über Industrieemissionen auf die Einbeziehung von Verfahren der Kreislaufwirtschaft in die BREF-Dokumente, sowie der Richtlinien über Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, der gesetzlichen Rahmen für Batterien, Altfahrzeuge oder Altöle sollen überprüft und ggf. angepasst werden.

Neu im Plan sind ein Legislativvorschlag zur „Stärkung der Position der Verbraucher beim grünen Wandel“ und ein verpflichtender Nachweis von Umweltaussagen von Unternehmen, zB. über den Umweltfußabdruck.

Um einen EU-weit funktionierenden Markt für Sekundärrohstoffe zu schaffen sollen für Kunststoffe in Verpackungen, Baustoffen oder Fahrzeugen verpflichtende Anforderungen an den Anteil an Recyclingkunststoff eingeführt werden, sowie die Entwicklung EU-weiter Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft und für Nebenprodukte vorangetrieben werden. Abfallwirtschaftlich relevant sind auch ein EU-weit harmonisiertes Modell für die getrennte Sammlung von Abfällen und die Kennzeichnung zur Erleichterung der getrennten Sammlung, sowie eine EU-Strategie für Textilien und eine nachhaltige bauliche Umwelt.

Außerdem soll ein Politikrahmen für biobasierte bzw. biologisch abbaubare Kunststoffe entwickelt und der Einsatz von Mikroplastik beschränkt und Vorschriften über die Abfallverbringung überarbeitet werden. (Europäische Kommission, 2020a, 2020b)

## 2.2 Theoretische Grundlagen für die Erstellung von Ökobilanzen

Als allgemeine Grundlage für die in dieser Arbeit durchgeführte Analyse dienen die vier Normen der Ökobilanzierung, ÖNORM EN ISO 14040-14044. Die Norm 14044 (Austrian Standards, 2018) enthält konkrete Anweisungen zur Durchführung von Ökobilanzen.

Grundsätzlich durchläuft man bei der Erstellung einer Lebenszyklusanalyse die vier Schritte:

1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung und
4. Auswertung,

die untereinander in Beziehung stehen. Die Arbeit wurde ab dem Kapitel 3 an die Struktur der ÖNORM EN ISO 14044 angelehnt.

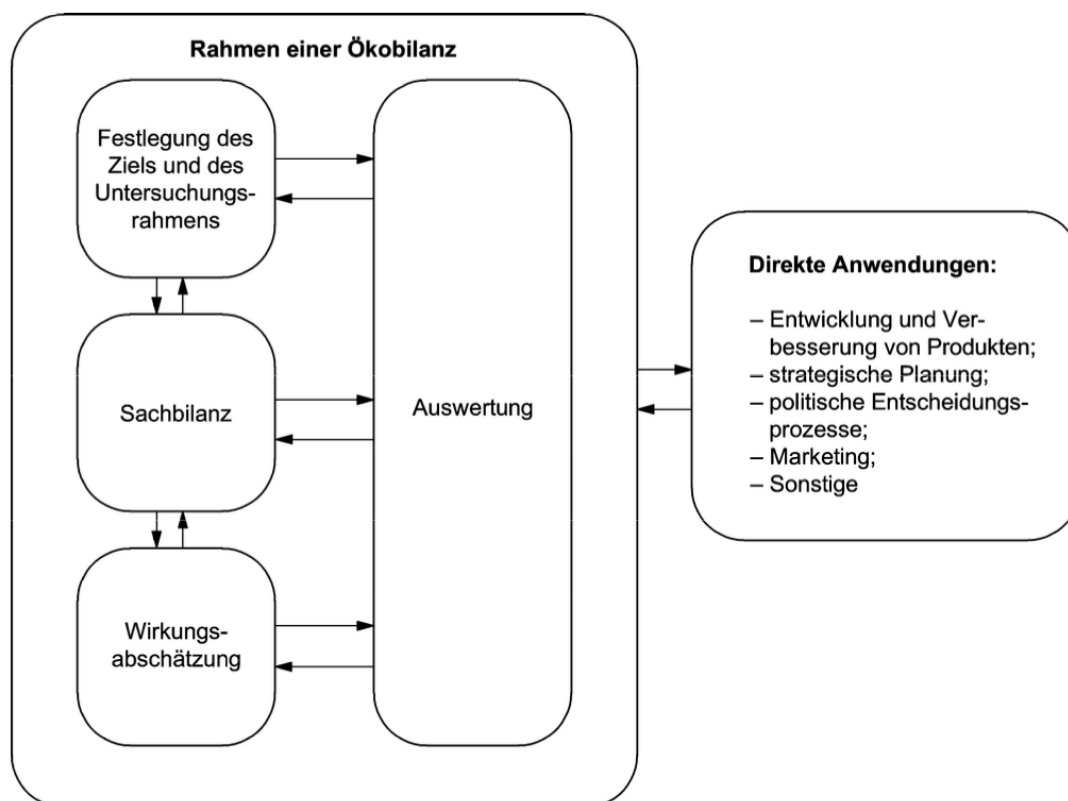


Abbildung 3: Der Rahmen einer Ökobilanz laut Norm 14040 (Austrian Standards, 2006)

Im Folgenden werden diese Schritte der Reihe nach durchgeführt, wobei die ökologische Bewertung in der Wirkungsabschätzung durch die Vorgabe des kumulierten Energieaufwands und des Treibhausgaspotentials bereits eingeschränkt und vorgegeben ist. Anschließend erfolgt eine Sensitivitätsanalyse, die durch die Anwendung unterschiedlicher Szenarien durchgeführt wird, um so die gesamte Bandbreite der Ergebnisse wiederzugeben.

Über die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft existiert das ÖWAV-Regelblatt 514, das zum Einlesen in das Thema und allgemeine Informationen ebenfalls verwendet wurde. (ÖWAV, 2003)

## 2.3 Anwendung der Methodik der Ökobilanz für diese Arbeit

Die detaillierte Ausarbeitung der folgenden Schritte erfolgte in zahlreichen Microsoft Excel Tabellenblättern, die anschließend erläutert werden. Eine grundlegende Übersicht über den Ablauf bei der Erstellung dieser Arbeit bietet folgende Abbildung 4.

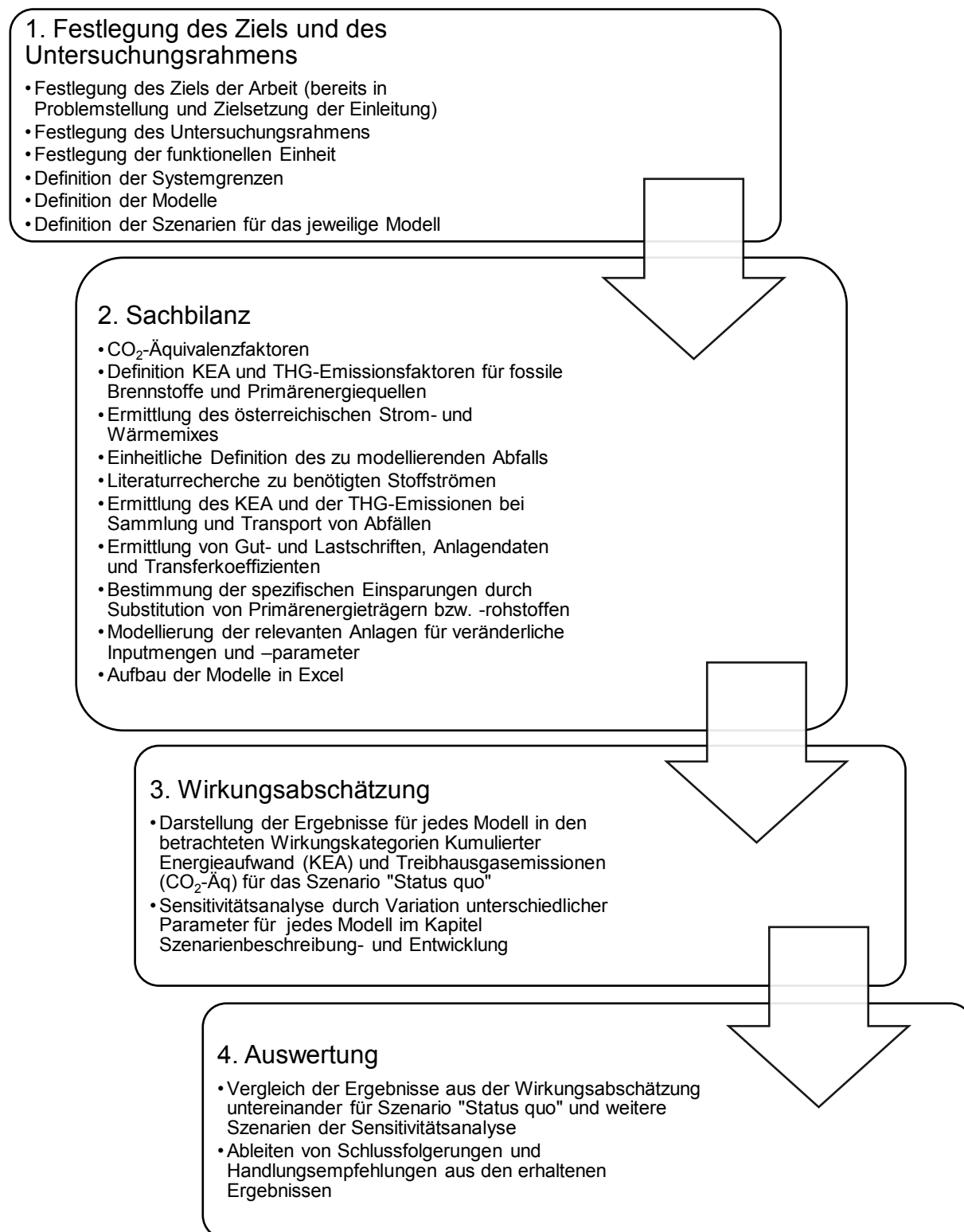


Abbildung 4: Vorgangsweise beim Erstellen dieser Arbeit unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schritte einer Ökobilanz

## **3 Festlegung des Untersuchungsrahmens – Systemgrenzen und Systembetrachtung**

In diesem Kapitel beginnt die eigentliche Durchführung der Ökobilanz. Es werden vorerst die Systemgrenzen und Rahmenbedingungen festgelegt, bevor die Literaturdatensammlung- und -auswertung in der Sachbilanz beginnt.

### **3.1 Allgemeines**

Bei dem zu untersuchenden Produktsystem handelt es sich um die bereits erwähnten Systeme zur Entsorgung von gemischten Siedlungsabfällen.

Allgemein galten bei der Erstellung dieser Arbeit höchste Ansprüche an die Datenqualität und es wurden ausschließlich Daten aus wissenschaftlichen Publikationen oder aus Studien bekannter, renommierter Forschungsinstitute verwendet. Werte wurden mit mehreren Literaturquellen verglichen, um dem wissenschaftlichen Anspruch Genüge zu tun.

Da eine solch umfassende Arbeit ohne Annahmen jedoch nicht auskommt und Literaturwerte nicht immer gegeben sind, wurden Annahmen nur unter Ableitung von plausiblen Werten aus der Literatur oder in Abstimmung mit Experten getroffen. Eine Übersicht aller Annahmen von Stoffströmen und die Art ihrer Bestimmung findet sich im Verzeichnis Stoffströme (4.7.3).

In der Sachbilanz werden die angenommenen, realitätsgetreuen Transferkoeffizienten, Wirkungsgrade oder Stoffströme wiedergegeben, die mit Hilfe von Literatur bestimmt wurden und die In- und Outputs der einzelnen Prozesse festlegen. Alle weiteren Annahmen werden im Kapitel 4.15 – Szenarienentwicklung definiert.

Bei der Erstellung dieser Arbeit bestanden keinerlei Interessenskonflikte und die Werthaltung des Autors ist als neutral einzustufen, da diese Studie im Zuge einer Masterarbeit im Forschungsprojekt „ReWaste 4.0“ am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft frei von auf Ergebnissen basierenden Interessen entstand.

#### **3.1.1 Last- und Gutschriften**

In der Studie wird mit der Last- und Gutschriften-Methode gerechnet, wobei Lastschriften alle Energieaufwände bzw. tatsächlich emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen darstellen. Gutschriften entsprechen dem eingesparten Energieaufwand oder der verhinderten CO<sub>2</sub>-Äquivalentemission. Um diese Gutschrift bestimmen zu können, muss ein Referenzsystem definiert werden, das zur Anwendung kommen würde, wenn die durch den beschriebenen Prozess erbrachte Leistung konventionell erbracht werden müsste. Bezogen auf einen Anwendungsfall in dieser Arbeit wäre das eine kWh Strom, die anstatt in einer Abfallverbrennungsanlage durch den österreichischen Energiemix hergestellt werden müsste. Diese Referenzsysteme werden in der Sachbilanz genauer definiert.

### **3.2 Funktionelle Einheit**

Als funktionelle Einheit dient eine Gewichtseinheit entsorgter Abfall. Für die Sachbilanz wurden alle Daten auf eine Tonne Abfall bezogen, was bei der Berechnung der Modelle nicht sinnvoll

ist, da die Werte hier für die gewählten Einheiten zu klein werden. In Anlehnung an (Altendorfer, 2018) wird daher für die Analyse der Ergebnisse die funktionelle Einheit von **100.000 Tonnen entsorgtem Restmüll** bzw. **100.000 Tonnen entsorgtem Siedlungsabfall** gewählt, wobei sich alle Massenangaben auf die Originalsubstanz (OS) beziehen. Siedlungsabfall beinhaltet in diesem Fall jedoch nur ausgewählte Fraktionen, wie in 4.14 definiert ist.

Die Vergleichbarkeit ist für die Modelle mit ausschließlich Restmüll gegeben, nicht jedoch für die Modelle bei denen die getrennte Sammlung (GS) berücksichtigt wird, da durch Allokation von Stoffströmen aus der GS die Restmüllergebnisse verfälscht werden würden. Es werden daher die **Modellkategorien X und GS-X** unterschieden, da die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur innerhalb einer Kategorie für alle Modelle gegeben ist.

### 3.3 Systemgrenzen

Die in dieser Arbeit betrachteten Systeme sollen Vorgänge in der Abfallwirtschaft möglichst detailgenau abbilden. Daher wird die Systemgrenze beim Input in die Sammlung gesetzt, wobei hier je nach Modell nur Restmüll oder Siedlungsabfall allgemein betrachtet wird. Im zweiten Fall, der Betrachtung von Siedlungsabfall allgemein, spricht Restmüll inklusive der getrennten Sammlung, wird die Systemgrenze um die Fraktionen Metalle, Leichtverpackungen, Altpapier, Glas und Bioabfall erweitert. Weitere Siedlungsabfallfraktionen der getrennten Sammlung, wie Elektroaltgeräte, Sperrmüll, Problemstoffe, Haushaltsschrott sowie Alttextilien und Altholz werden in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Eingegrenzt wird der Untersuchungsrahmen durch die bereits vorhandenen Modelle von Altendorfer (2018), die in dieser Arbeit leicht angepasst angewendet oder erweitert werden. Dabei werden pro Modell jeweils 100.000 t Abfallinput angenommen, wobei diese zur Gänze in Österreich behandelt werden und keine Importe oder Exporte stattfinden.

Weitere Einschränkungen sind durch die Vernachlässigung von regionalen Besonderheiten gegeben. Die berechneten Modelle sollen den Durchschnitt für Österreich liefern, um Aussagen über die gesamte österreichische Abfallwirtschaft treffen zu können. Bei Bedarf können diverse Parameter im Excel-Dokument jedoch auch individuell angepasst werden und so regionale Gegebenheiten abbilden. Siehe dazu Kapitel 5.1.

Da es kaum verlässliche bzw. vergleichbare Literaturdaten zur ökologischen Bewertung des Baus oder der Entsorgung von Abfallwirtschaftsanlagen gibt und die Betriebsdauer solcher Anlagen meist mehrere Jahrzehnte beträgt, wird der Bedarf des kumulierten Energieaufwands und die Emission von Treibhausgasen, die beim Bau und der Entsorgung oder Wartung von Behandlungsanlagen anfallen vernachlässigt, da diese im Vergleich zur Nutzungsphase sehr gering ausfallen. Gleiches gilt für Transport- und Sammelfahrzeuge, deren Vorketten aus Produktion und Entsorgung ebenfalls nicht berücksichtigt werden.

Die Referenzsysteme Strom vernachlässigen Importe und Exporte von Strom und berücksichtigen rein den in Österreich hergestellten Strommix, der im Stromkennzeichnungsbericht (E-Control, 2019) jährlich veröffentlicht wird.



### 3.4 Übersicht betrachteter Behandlungsanlagen

Um den kumulierten Energieverbrauch und die kumulierten THG-Emissionen eines Modells mit unterschiedlichen Anlagenkombinationen berechnen zu können, werden die abfallwirtschaftlichen Prozesse in Subsysteme unterteilt, die jeweils einzeln betrachtet werden können. Im folgenden Kapitel 4 werden alle Anlagen im Detail betrachtet. Zur besseren Übersicht sind die in der Arbeit relevanten Anlagen hier aufgelistet.

In dieser Arbeit betrachtete Subsysteme sind:

#### 1) Deponie:

- a) Hausmülldeponie (Dep-Hm),
- b) Massenabfalldeponie (Dep-Ma) und
- c) Reststoffdeponie (Dep-Rs).

#### 2) Thermische Behandlung:

- a) Rostfeuerungsanlage – klassische Müllverbrennungsanlage (AV-R),
- b) Wirbelschichtverbrennungsanlage (AV-W) und
- c) Abfallmitverbrennungsanlage Zementwerk (ZW).

#### 3) Mechanisch-biologische Vorbehandlungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle:

- a) Mechanisch-biologische Anlagen (MBA),
- b) Mechanisch-biologische Anlagen mit Trockenstabilisierung (MBA-tr) und
- c) Ersatzbrennstoffproduktionsanlagen (EBS-P).

#### 4) Einsparungen durch Recyclingprozesse:

- a) Recycling der Metalle: Eisen, Aluminium und Kupfer,
- b) Kunststoffrecyclinganlagen (Kst-R),
- c) Papierfabrik (Pap-F),
- d) Glashütte und
- e) Kompostierungsanlagen (Bio-K).

#### 5) Sortier- und Aufbereitungsanlagen:

- a) Metall-Sortieranlagen (Groß-Shredder (Gr-Sh) und Post-Shredder (Po-Sh) Anlagen),
- b) LVP-Sortieranlagen (LVP-S),
- c) Altpapier-Sortieranlagen (Pap-S),
- d) Altglas-Sortieranlagen (GI-S) und
- e) Trockenmüll-Sortieranlage des 2-Tonnen-Modells (TM-S).

#### 6) Umladestationen für getrennt gesammelte Abfälle:

- a) Metall-Umladestation (Met-Um) und
- b) Glas-Umladestation (GI-Um)

### 3.5 Festlegung der Modelle

Als Modelle werden in dieser Arbeit unterschiedliche Verkettungen bestimmter, in der Sachbilanz beschriebenen Anlagen verstanden. Ein Modell stellt also eine Abfolge ausgewählter Subsysteme (Abfallbehandlungs- oder Verwertungsanlagen) dar. Jedem Modell wird dabei eine Nummer zugewiesen, welche stellvertretend für die Art der Abfallbehandlung und damit die verwendeten Abfallbehandlungsanlagen steht. In dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Excel-Dokument können die Modelle und deren Verkettung und Berechnung im Tabellenblatt „BERECHNUNG“ nachvollzogen werden.

Die Modelle wurden nach folgender Nomenklatur in zwei Kategorien eingeteilt:

- Kategorie X: „X“ steht für die Zahl, die ein bestimmtes Modell für die Entsorgung von Restmüll definiert. In dieser Kategorie von Modellen wird ausschließlich Restmüll betrachtet und Einsparungen nur durch Aussortierung von Wertstoffen in den Restmüllbehandlungsanlagen in die Berechnung miteinbezogen.
- Kategorie GS-X: „GS“ definiert, dass sich nun auch die getrennte Altstoffsammlung ausgewählter Fraktionen innerhalb der Systemgrenzen befindet und deren Gutschriften durch Einsparungen sowie Lastschriften durch Sortierreste in die Berechnungen miteinbezogen werden. Das „X“ steht weiterhin für das Modell der Entsorgung des Restmüllanteils und ist äquivalent zu diesen.

Tabelle 4: Einteilung und Festlegung der Modelle Kategorie X

Modell Bezeichnung	Modelle für Restmüll: Kategorie X
<b>System Deponie</b>	
1	Unbehandelte Deponierung von Restmüll ohne Deponiegasfassung.
11	Unbehandelte Deponierung von Restmüll mit Deponiegasfassung
<b>System MVA</b>	
2	Direkte, thermische Verwertung des Restmülls in einer Rost-Müllverbrennungsanlage.
<b>System MBA</b>	
31	Mechanisch-biologische Vorbehandlung mit anschließender thermischer Verwertung in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage.
32	Mechanisch-biologische Vorbehandlung mit Aufbereitung einer heizwertreichen Fraktion zu Ersatzbrennstoff mit anschließender Verwertung im Zementwerk, sowie einer mittelkalorischen Fraktion, die in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage verwertet wird.

33	Mechanisch-biologische Vorbehandlung, wobei sowohl die heizwertreiche Fraktion nach Aufbereitung in einer Ersatzbrennstoffproduktionsanlage als auch die mittelkalorische Fraktion, im Zementwerk thermisch genutzt werden.
34	Dieses Modell ist gleich wie 32, jedoch wird nur eine hochkalorische, heizwertreiche Fraktion in der mechanischen Aufbereitung produziert. Der restliche Anteil wird getrocknet und anschließend in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage thermisch verwertet.
<b>System mit 2-Tonnen-Sammlung</b>	
2T	Der Restmüll dieses Systems wird in der Nassmülltonne erfasst. Außerdem wird eine Sortierung von gemischten, trockenen Abfällen für das Recycling vorgenommen, die eine hochkalorische und eine mittelkalorische Restmüllfraktion produziert. Die mittelkalorische Fraktion sowie die Nassmüllmenge werden direkt einer Rostverbrennung zugeführt. Die hochkalorische Fraktion wird zu Ersatzbrennstoff aufbereitet und im Zementwerk eingesetzt.

Da die Problemstellung auch die Mitbetrachtung der getrennten Sammlung verlangt, werden die bereits definierten Modelle nun um diese erweitert. Wichtig hierbei sind vor allem die Allokation der Nebenprodukte und Sortierreste des Recyclings der Altstoffe, das in der Restmüllentsorgung Auswirkungen auf die Last- und Gutschriften hat, da diese ebenfalls entsorgt oder behandelt werden müssen.

Für diese Arbeit wird angenommen, dass alle Sortierreste aus der getrennten Sammlung in die thermische Verwertung gehen, je nach Modell in die Rost- oder Wirbelschichtverbrennung. Eine Ausnahme stellt der heizwertreiche Sortierrest aus der Leichtverpackungssortierung dar, der bei den Modellen „2“ und „31“ zwar ebenfalls direkt thermisch verwertet wird, jedoch in den Modellen „32“, „33“ und „34“ der Ersatzbrennstoffproduktion zugerechnet wird.

Das betrachtete 2-Tonnen-System wird von einem Abfallwirtschaftsverband in Österreich angewendet, der auch die Informationen und Daten für diese Arbeit bereitstellte. (Abfallwirtschaftsverband, 2020)

Dieses Modell soll zum Vergleich nach denselben Kriterien wie die anderen Modelle berechnet und ausgewertet werden.

Die Nomenklatur der Modelle inklusive getrennter Sammlung ist in nachfolgender Tabelle gegeben und deren Mengenflussdiagramme für den Ist-Stand „Status quo“ sind in Kapitel 5.2.2 abgebildet.

Tabelle 5: Erweiterung der Modelle um die getrennte Sammlung ausgewählter Altstoffe. Die jeweilige Abbildung führt zum Mengenflussdiagramm nach „Status quo“ des Modells

Modell Bezeichnung	Modelle inklusive der getrennten Sammlung: Kategorie GS-X
<p><b>GS-2</b> (Abbildung 53)</p> <p><b>GS-31</b> (Abbildung 54)</p> <p><b>GS-32</b> (Abbildung 55)</p> <p><b>GS-33</b> (Abbildung 56)</p> <p><b>GS-34</b> (Abbildung 57)</p>	<p>Verteilung zwischen gesammelter Menge in getrennter Sammlung und der Menge Restmüll können variiert werden. Diese Modelle beschreiben das vereinfachte Gesamtsystem der Bewirtschaftung von Siedlungsabfällen, wobei die Ziffern nach GS- das jeweilige Restmüllentsorgungssystem definieren. Die Sammlung erfolgt in den Fraktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almetalle,</li> <li>• Leichtverpackungen (LVP),</li> <li>• Altpapier,</li> <li>• Glas,</li> <li>• Bioabfall und</li> <li>• Restmüll.</li> </ul>
<b>System mit 2-Tonnen-Sammlung</b>	
<p><b>GS-2T</b> (Abbildung 58)</p>	<p>Dieses System mit Trocken- und Nassmülltonne unterscheidet sich vom klassischen getrennten Sammelsystem in Österreich. Es werden insgesamt nur folgende Fraktionen getrennt gesammelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trockenmüll,</li> <li>• Altpapier,</li> <li>• Glas,</li> <li>• Bioabfall und</li> <li>• Nassmüll.</li> </ul> <p>In der Trockenmülltonne werden Metalle, verschiedene Kunststoffarten inklusive Nichtverpackungen, kleine Elektroaltgeräte und teilweise Altpapier und Glas in derselben Tonne gesammelt. Nicht alle Haushalte sind auch an die Papiersammlung angeschlossen und Glas wird nur über Bring-Stationen zusätzlich zur Trockenmülltonne gesammelt.</p>

### 3.5.1 Vorgangsweise bei der Auswertung

Die Auswertung erfolgt über den Vergleich der Ergebnisse aus der Wirkungsabschätzung. Diese müsste getrennt für die Systeme, die nur Restmüll behandeln und jene die auch die getrennte Sammlung (GS) berücksichtigen erfolgen, da sich die funktionelle Einheit verändert. Da die Ergebnisse inklusive der getrennten Sammlung relevanter sind, werden die Systeme nur inklusive der getrennten Sammlung ausgewertet und in unterschiedlichen Szenarien verglichen.

Bei der Auswertung, also der ökologischen Bewertung der Ergebnisse findet keine Akkumulation der berechneten Wirkungskategorien, wie etwa in Umweltbelastungspunkten statt, da die Ergebnisse für sich und einzeln betrachtet über mehr Aussagekraft verfügen. Der Fokus liegt auf dem Gesamtsystem inklusive der getrennten Altstoffsammlung, welches optimiert werden soll.

## 4 Sachbilanz – Übersicht über vorhandene Literatur

In folgendem Kapitel werden die recherchierten Daten für die weitere Analyse zusammengeführt und aufgelistet. Da ein großer Teil der Daten auf Literaturdaten basiert, werden diese zusammengeführt und unterschiedliche Quellen verglichen, wobei anschließend der plausibelste Wert oder der Mittelwert für die weitere Berechnung angenommen wird. Weiters werden die Daten in die richtige Einheit umgerechnet und weitere Werte durch Berechnungen und Annahmen abgeleitet.

Quellenangaben werden für die in den Tabellen berechneten Werte immer unter der jeweiligen Tabelle gemacht. Eine Quelle mit Stern (\*Quelle) bezieht sich auf alle Werte mit (Wert\*). Quellen ohne Stern beziehen sich auf alle Werte ohne Stern.

### 4.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der kumulierte Energieaufwand ist ein vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) entwickeltes Konzept (VDI 4600, 2012, 2015), das die Summe der aufgewendeten Primärenergie eines Produkts, Prozesses oder einer Dienstleistung angibt. Er wird in drei Teile gegliedert, die der Herstellung, Nutzung und Entsorgung entsprechen. Der gesamt KEA berechnet sich aus der Summe der einzelnen Teile.

$$KEA_{gesamt} = KEA_{Herstellung} + KEA_{Nutzung} + KEA_{Entsorgung}$$

Der kumulierte Energieaufwand der Herstellung schließt jegliche Energieaufwendungen bei der Herstellung selbst, sowie jene bei der Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung von Fertigungs-, Hilfs-, und Betriebsstoffen mit ein.

In der Nutzungsphase werden der Betriebsenergieverbrauch, der Energiebedarf für die Herstellung und Entsorgung von Ersatzteilen, Betriebsstoffen sowie der Wartung miteinbezogen.

Bei der Entsorgung müssen energetische Beiträge der Bereitstellung der Entsorgungseinrichtungen, der eigentlichen Entsorgung des Produkts, sowie die Entsorgung der produkt- oder prozessbedingten Hilfs- und Betriebsstoffe berücksichtigt werden. (ÖWAV, 2003)

GEMIS (2019) weicht hier in zwei Punkten von der VDI-Richtlinie ab und unterscheidet zusätzlich  $KEA_{nichterneuerbar}$ ,  $KEA_{erneuerbar}$  und  $KEA_{andere}$  die aufsummiert  $KEA_{Summe}$  ergeben, wobei bei den tabellierten Datenbankwerten die Herstellung und Entsorgung bereits in die Untergruppen erneuerbar und nicht erneuerbar bzw. andere eingerechnet ist. (GEMIS, 2019) Diese Definition bezieht also zusätzlich die Herkunft der aufgewendeten Energie mit ein und unterscheidet dabei zwischen erneuerbarer und fossiler Energie.  $KEA_{andere}$  berücksichtigt sekundäre Ressourcen, wie etwa die Energieträger Abfall oder Restholz in Form der Energieträger Hackschnitzel, Holzpellets oder Brennholz.

Außerdem rechnet GEMIS für die Ebene der Energiegewinnung mit der „100% Regelung“, die im Gegensatz zur VDI-RL 4600 keinen Wirkungsgrad für die Entnahme aus der Quelle regenerativer Energien (z.B. 25-30% bei Windturbinen) vorsieht. Da dies den kumulierten Energieaufwand von erneuerbaren im Vergleich zu fossilen Energien, welche mit 100% Wirkungsgrad angenommen werden, drastisch erhöhen würde, wird in erneuerbaren Kraftwerken produzierte Energie als 100% Primärenergie angenommen. (IWU, 2009)

Die 100%-Regelung für regenerative Energien wird auch in dieser Arbeit angewendet. Wie bereits in den Systemgrenzen definiert, wird bei abfallwirtschaftlichen Anlagen und Fahrzeugen in dieser Arbeit nur der KEA der Nutzung berücksichtigt, da der Aufwand für Herstellung und Entsorgung dieser, im Vergleich zum Aufwand während der Nutzungsdauer als vernachlässigbar angesehen werden.

Beim KEA der Nutzungsphase werden jedoch schon die benötigten Rohstoffe oder Energieträger, z.B. Diesel oder Strom inklusive ihres KEA-Rucksacks sowohl bei Last- als auch bei Gutschriften miteinberechnet, der KEA jedoch immer als gesamter KEA verstanden. Er wird also nicht in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil unterschieden, da der Gesamtenergieaufwand von größerem Interesse bei dieser Fragestellung ist. Außerdem wird die Klimaeinwirkung durch die parallel berechneten fossilen Kohlenstoffäquivalentemissionen wiedergegeben. Unterschiedliche Wertigkeiten von Energie (z.B. elektrisch oder thermisch) werden nicht unterschieden.

## 4.2 CO<sub>2</sub> Äquivalente – Klimawirksamkeit

Treibhausgasemissionen sind die zweite betrachtete Wirkungskategorie in dieser Studie. Um die Klimawirksamkeit unterschiedlicher Treibhausgase (THG) vergleichen und mithilfe von nur einem Wert wiedergeben zu können wird mit CO<sub>2</sub>-Äquivalenten gerechnet. Dabei werden alle Treibhausgase mit der Klimawirksamkeit von CO<sub>2</sub> in Bezug gesetzt, wodurch die Klimawirksamkeit je funktioneller Einheit auch bei Emission verschiedener Treibhausgase in einem Wert zusammengefasst und vergleichbar wird.

Die CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren werden durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) festgelegt und entsprechen nach der aktuellsten Publikation von 2013 den in folgender Tabelle dargestellten Werten, wobei die Werte für GWP100 (Global Warming Potential, 100 years) verwendet wurden, die das Verhältnis der Klimawirksamkeit der unterschiedlichen Treibhausgase über hundert Jahre beschreiben sollen.

Tabelle 6: CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren bei der Berechnung von THG-Emissionen (IPCC, 2013)

Treibhausgas	Äquivalenzfaktor
Kohlendioxid – CO <sub>2</sub>	1
Methan – CH <sub>4</sub>	28
Lachgas – N <sub>2</sub> O	265

Bezogen auf 1 t Kohlendioxid weist Methan also eine Klimawirksamkeit wie bei einer Emission von 28 t CO<sub>2</sub> und Lachgas sogar eine Klimawirksamkeit von 265 t CO<sub>2</sub> auf.

### 4.3 Verbrennungsfaktor C → CO<sub>2</sub>

Da in den folgenden Modellen hauptsächlich mit fossilen Kohlenstoffgehalten in Stoffströmen gerechnet wird, wird hier der Faktor definiert, mit dem multipliziert werden muss, wenn Kohlenstoff unter Anwesenheit von genügend Sauerstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> verbrennt. Bei thermischen Verwertungsanlagen wird hier mit zusätzlichen Transferkoeffizienten von 99% des fossilen Kohlenstoffs im Abgas und 1% Verbleib in der Schlacke oder dem Zementklinker, was zu einer leichten Reduktion des Faktors führt.

Tabelle 7: Die Bestimmung des Verbrennungsfaktors mithilfe der unterschiedlichen Molmassen

Verbrennungsfaktor	C	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		Faktor C → CO <sub>2</sub>
	kg/kmol	kg/kmol	kg/kmol		
<b>Molmasse</b>	12,01	32,00	44,01		<b>3,6644</b>

### 4.4 KEA und THG-Emissionen fossiler Brennstoffe

In diesem Kapitel der Sachbilanz wird der KEA und Klimawirksamkeit der fossilen Brennstoffe, die in dieser Arbeit zur Anwendung kommen, anhand von Literaturangaben erhoben.

Tabelle 8: Heizwerte und Dichte ausgewählter fossiler Brennstoffe

Fossile Brennstoffe	Dichte	Heizwert H <sub>u</sub>		
		MJ/kg <sub>os</sub> GJ/t <sub>os</sub> (MJ/m <sub>3</sub> )	kWh/kg <sub>os</sub>	kWh/l (Diesel) kWh/m <sub>3</sub> (Erdgas)
Einheit	kg/l (Diesel) kg/m <sub>3</sub> (Erdgas)			
Diesel	0,832*	42,62*	11,84	9,85
Erdgas	0,7112	51,04 (36,3)	14,18	10,08
Steinkohle		28,50	7,92	
Braunkohle		22,00	6,11	
Heizöl leicht (0,2 m% S)		41,70	11,58	
Heizöl schwer (1-3,5 m% S)		39,50	10,97	
Petrolkoks		30,40	8,44	
Quellen: (Mauschitz, 2019), *(GEMIS, 2019)				

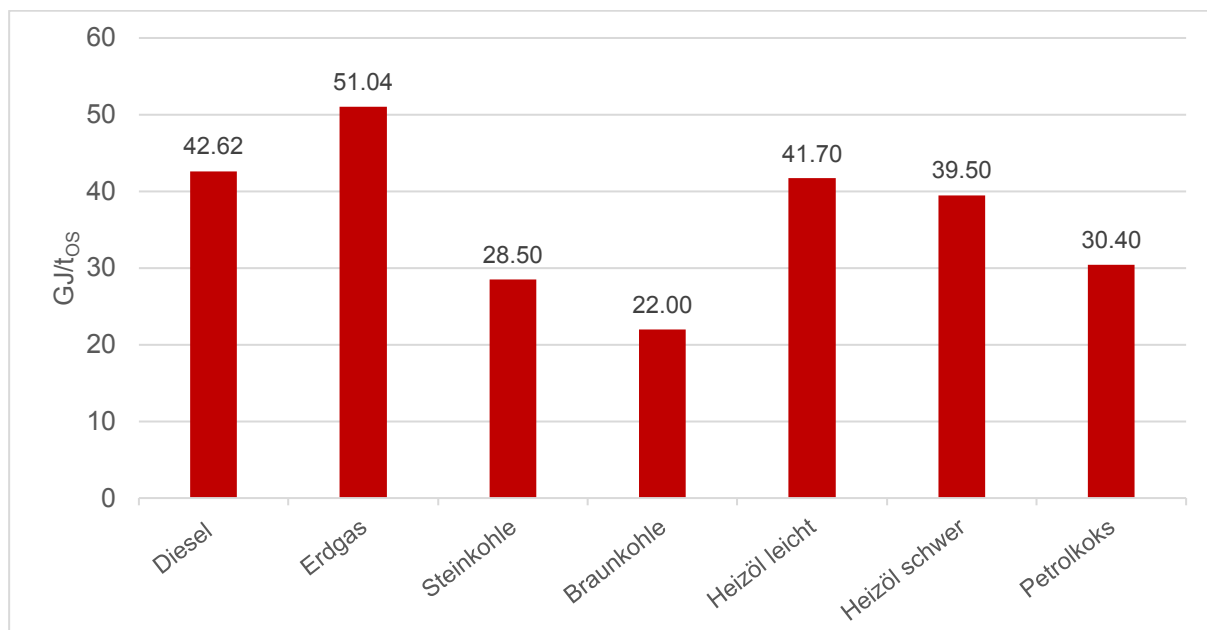


Abbildung 5: Unterschiedliche Heizwerte fossiler Brennstoffe in GJ/ton

Nach obiger Abbildung hat Erdgas im Vergleich den höchsten durchschnittlichen Heizwert, gefolgt von Diesel und Heizöl leicht.

Nun werden der KEA, sowie die CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen dargestellt.

Tabelle 9: Kumulierter Energieaufwand (KEA) ausgewählter fossiler Brennstoffe

Fossile Brennstoffe	KEA gesamt	GEMIS Bezeichnung
Einheit	GJ <sub>prim</sub> /GJBrennstoff kWh <sub>prim</sub> /kWhBrennstoff	
Diesel	1,137	Tankstelle\Diesel-EU-2020
Erdgas	1,178	Gas-mix-AT-2020
Steinkohle	1,142	Fabrik\Steinkohle-Brikett-EU-2020
Braunkohle	1,056	Fabrik\Braunkohle-Brikett-DE-Lausitz-2020
Heizöl leicht (0,2 m% S)	1,162	Raffinerie\Öl-leicht-AT-2015
Heizöl schwer (1-3,5 m% S)	1,135	Raffinerie\Öl-schwer-AT-2020
Petrolkoks	1	Annahme, da Rückstand
Quelle: (GEMIS, 2019)		

Die GEMIS-Datenbank enthält mittlerweile sehr viele Einträge und Prozesse, daher wurden die jeweils passendsten ausgewählt und ihr Name für die eindeutige Zuordnung vermerkt. Da Petrolkoks ein Rückstand ist, der zwar im Zementwerk als Brennstoff eingesetzt wird, seine Herstellung jedoch keine zusätzliche Energie erfordert wurde sein KEA-Wert mit 1 GJ<sub>Primärenergie</sub>/GJBrennstoff angenommen.

Als Grundlage für die THG-Emissionen der fossilen Brennstoffe dient das Verzeichnis des (IPCC, 2006a). Eine Studie des deutschen Umweltbundesamtes „CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe“ berücksichtigt weitere Faktoren, wie die genaue Herkunft des Brennstoffs



und beruht auf chemischen Analysen. Die Mittelwerte weichen nur äußerst gering von den IPCC-Werten ab und sind teilweise sogar wertgleich. (D.UBA, 2016)

Tabelle 10: CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen ausgewählter fossiler Brennstoffe und deren Umrechnung

Fossile Brennstoffe	CO <sub>2</sub> -Äq pro Energie			CO <sub>2</sub> -Äq pro Masse/Volumen		
	kg CO <sub>2</sub> Äq/TJ Hu	kg CO <sub>2</sub> Äq/MJ t CO <sub>2</sub> Äq/GJ	kg CO <sub>2</sub> Äq/kWh	kg CO <sub>2</sub> Äq/kg t CO <sub>2</sub> Äq/t	kg CO <sub>2</sub> Äq/l	kg CO <sub>2</sub> Äq/m <sup>3</sup>
Diesel	74.343	0,074	0,268	3,168	2,64	
Erdgas	56.155	0,056	0,202	2,866		2,04
Steinkohle	98.726	0,099	0,355	2,814		
Braunkohle	97.926	0,098	0,353	2,154		
Heizöl leicht (0,2 m% S)	74.343	0,074	0,268	3,100		
Heizöl schwer (1-3,5 m% S)	81.300*	0,081	0,293	3,211		
Petrolkoks	97.743	0,098	0,352	2,971		

Quellen: (IPCC, 2006a), \*(D.UBA, 2016)

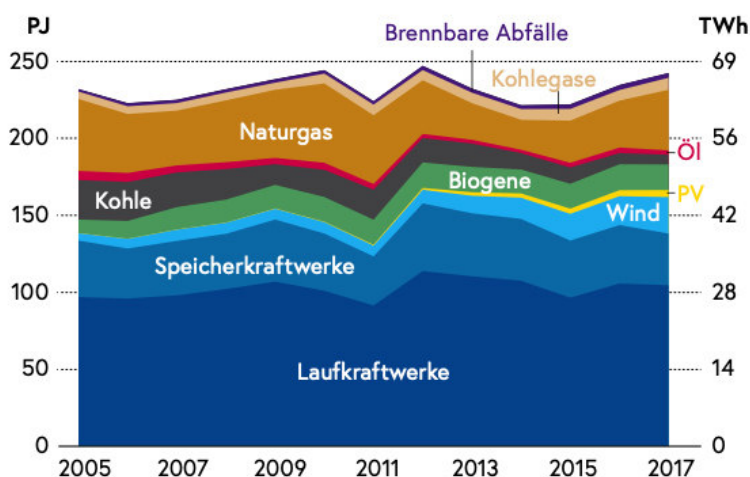
### 4.5 Österreichischer Strom- und Fernwärme-Mix

Als grundlegendes Referenzsystem der thermischen Verwertung und in Prozessen fast immer benötigte Energie ist der Strommix zu bestimmen. Durch die Eingrenzung des Systems auf Österreich wird auch nur der in Österreich produzierte Strom für die Berechnung herangezogen.

Der Gesamtmenge und Verteilung der Bruttostromerzeugung über die letzten Jahre ist in folgender Abbildung der nationalen Energiebilanz für 2019 abzulesen.

#### Bruttostromerzeugung in Österreich

in PJ (linke Skala) und TWh (rechte Skala) 2005–2017\*



Quelle: Statistik Austria und eigene Berechnungen

#### Struktur

der Bruttostromerzeugung 2017\*

in Prozent	in PJ
43,0%	Laufkraftwerke ..... 104,4
13,9%	Speicherkraftwerke ..... 33,7
9,8%	Wind ..... 23,7
1,9%	Photovoltaik ..... 4,6
6,9%	Biogene Energien ..... 16,7
2,6%	Kohle ..... 6,3
1,2%	Öl ..... 2,9
16,3%	Naturgas ..... 39,5
3,2%	Kohlegase ..... 7,8
1,3%	Brennbare Abfälle ..... 3,1
100%	<b>Gesamt ..... 242,8</b>

**+0,1% p. a.**

Stromerzeugung 2005–2018

Abbildung 6: Die Verteilung der österreichischen Bruttostromerzeugung, die zur Berechnung mit den Faktoren der E-Control herangezogen wurde (BMNT, 2019a)

E-Control (2019) empfiehlt im jährlichen Stromkennzeichnungsbericht Emissionsfaktoren für die jeweiligen Produktionsarten von Strom. (E-Control, 2019) Errechnet mit der Verteilung von 2018 aus der Energiebilanz (BMNT, 2019a) ergibt sich ein Emissionsfaktor von 131,4 g CO<sub>2</sub>äq/kWh Strom. E-Control selbst gibt aber 100,3g CO<sub>2</sub>äq/kWh an. Gemeinsam mit dem Wert aus (GEMIS, 2019) wurde der Mittelwert bestimmt.

KEA-Angaben zum Strommix konnten nur in der GEMIS-Datenbank gefunden werden.

Tabelle 11: Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen des österreichischen Strommix gemittelt anhand mehrerer Quellen

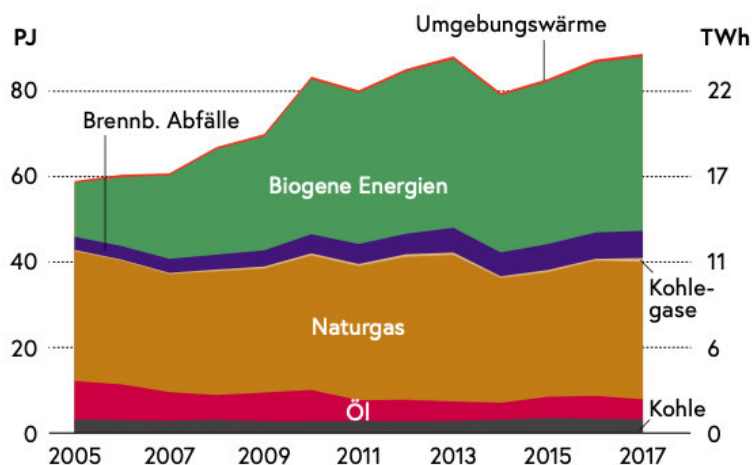
Strom-Mix Ö	Quelle	KEA	GEMIS-Bezeichnung	CO <sub>2</sub> -Äq	
				t CO <sub>2</sub> äq/GJ	kg CO <sub>2</sub> äq/kWh
Einheit		GJ <sub>prim</sub> /GJBrennstoff			
Strom	(GEMIS, 2019)	1,6076	El-mix-AT-2015	0,0397	0,1429
Strom	(E-Control, 2019)			0,0279	0,1003
Strom	berechnet nach (BMNT, 2019a; E-Control, 2019)			0,0365	0,1314
<b>Strom-Mix Ö</b>		<b>1,6076</b>		<b>0,0347</b>	<b>0,1248</b>

Mit 124,8 g CO<sub>2</sub>äq/kWh ist österreichischer Strom sehr emissionsarm. THG-Emissionen für Strom in Deutschland lagen 2013 vergleichsweise bei rund 600 g CO<sub>2</sub>äq/kWh, also einem Vielfachen des österreichischen Strommixes. (UEC/Ökoinstitut, 2015)

Ebenso wie für den Strommix kann auch für Fernwärme ein durchschnittlicher Emissionsfaktor berechnet werden. In folgender Abbildung lässt sich die Gesamtmenge und Verteilung der Fernwärme in Österreich bestimmen.

**Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern**

in PJ (linke Skala) und TWh (rechte Skala) 2005–2017\*



**Struktur**

der Fernwärmeerzeugung 2017\*

in Prozent	in PJ
3,4%	Kohle ..... 3,1
5,3%	Öl ..... 4,7
36,4%	Naturgas ..... 32,3
1,0%	Kohlegase ..... 0,9
7,2%	Brennbare Abfälle ..... 6,4
46,0%	Biogene Energien ..... 40,9
0,7%	Umgebungswärme ..... 0,7
100%	<b>Gesamt ..... 88,9</b>

**+2,6% p. a.**  
Fernwärmeerzeugung 2005–2018

Abbildung 7: Die Verteilung der Fernwärmeerzeugung in Österreich nach (BMNT, 2019a)

Wie auch beim Strommix konnten Daten zum KEA nur in der GEMIS-Datenbank gefunden werden und werden daher für die weitere Arbeit übernommen.

Tabelle 12: Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen des österreichischen Fernwärmemix gemittelt anhand mehrerer Quellen

Fernwärme-Mix Ö	Quelle	KEA	GEMIS-Bezeichnung	CO <sub>2</sub> -Äq	
				t CO <sub>2</sub> äq/GJ	kg CO <sub>2</sub> äq/kWh
Einheit		GJ <sub>prim</sub> /GJBrennstoff			
Fernwärme	(GEMIS, 2019)	1,0886	Fernwärme-mix-AT-2015	0,0434	0,1564
Fernwärme	(UBA, 2013)			0,0342	0,1231
Fernwärme	(UBA, 2007)			0,0369	0,1329
Fernwärme	(UBA, 2007), inkl. Vorketten			0,0548	0,1971
<b>Fernwärme-Mix Ö</b>		<b>1,0886</b>		<b>0,0423</b>	<b>0,1524</b>

Nach Vergleich mehrere Literaturquellen für den Fernwärmemix in Österreich ergibt sich also ein mittlerer Emissionsfaktor von 152,4 g CO<sub>2</sub>äq/kWh Fernwärme.

## 4.6 Übersicht Energieträger in Österreich

Vergleicht man nun alle ausgewählten Energieträger miteinander, ergibt sich folgende Verteilung für den kumulierten Energieaufwand.

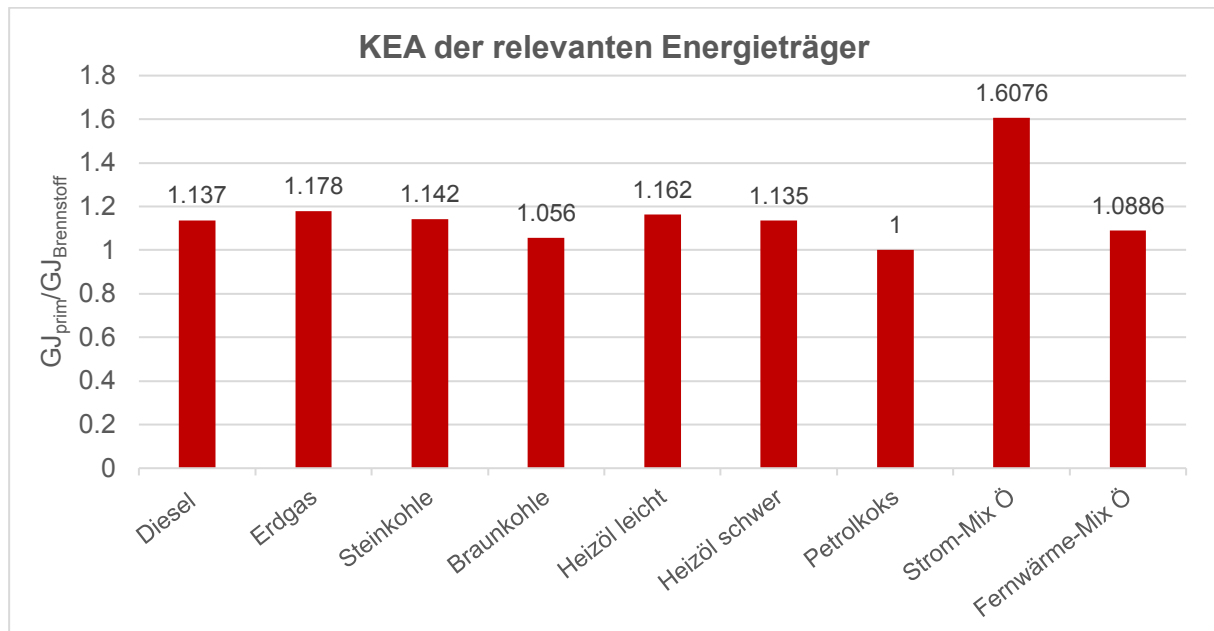


Abbildung 8: Vergleich des kumulierten Energieaufwands ausgewählter fossiler Brennstoffe

In folgender Abbildung werden nun die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren bezogen auf ein Gigajoule vergleichend dargestellt.

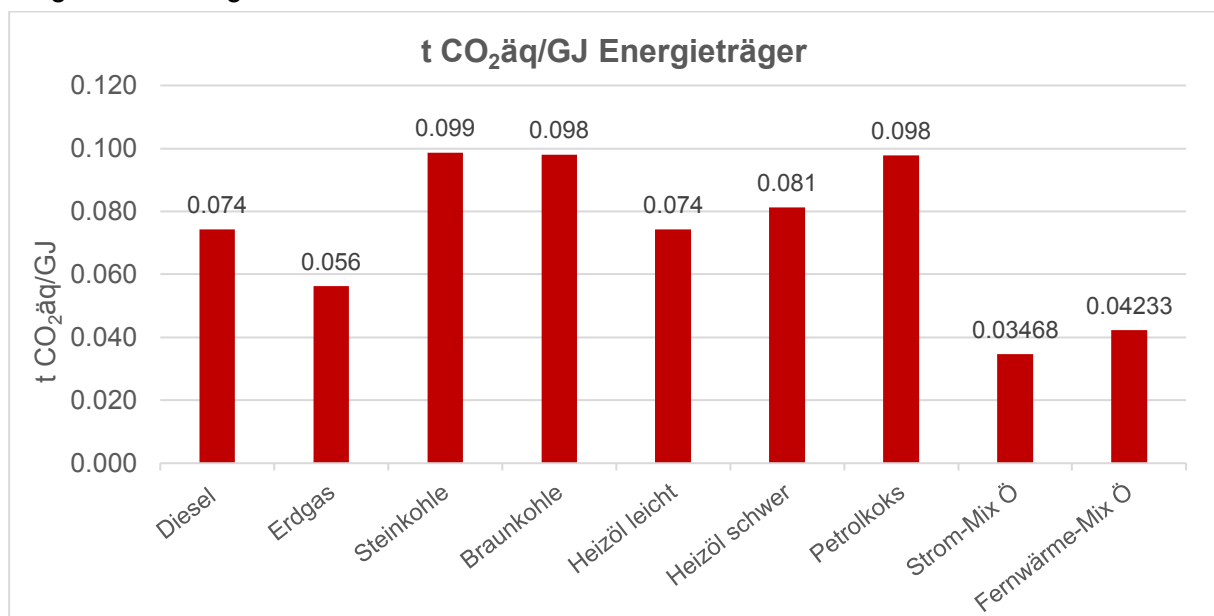


Abbildung 9: Vergleich der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen unterschiedlicher Energieträger bezogen auf ihren Energieeinsatz in GJ

## 4.7 Stoffstromdefinition

In diesem Kapitel werden sowohl die Bestimmung der benötigten Stoffströme in den Anlagen als auch ein Verzeichnis aller in der Arbeit vorkommenden Stoffströme dargestellt.

Jeder Stoffstrom in der Arbeit hat eine einheitliche Bezeichnung und eine zugeordnete Nummer (S-Nr). Jeder Stoff wurde hinsichtlich seines Energiegehalts in Form des unteren Heizwertes, sowie seines fossilen Kohlenstoffgehaltes durch Vergleichswerte in der Literatur bestimmt und nach Vergleich mehrerer Literaturquellen angenommen. Im Verzeichnis wurden die Stoffströme auch, wenn zutreffend, einem bestimmten Transport zugeordnet. Auch Transporte sind durch eine eindeutige Nummer (T-Nr) definiert und haben einheitliche Kurzbezeichnungen. (für Transport siehe Kapitel 4.9)

Gewichtsangaben von Stoffströmen beziehen sich immer auf die Originalsubstanz (OS).

### 4.7.1 Zusammensetzung Restmüll in Österreich

Um die Vergleichbarkeit sicherzustellen, wird für alle Modelle ein einheitlicher, für Österreich repräsentativer Restmüll ermittelt. Dazu wurde einerseits der untere Heizwert, sowie der fossile Kohlenstoffgehalt von Restmüll nach seiner Zusammensetzung, nach Altendorfer (2018) und BMNT (2019) ermittelt. (Altendorfer, 2018; BMNT, 2019b) Für Ströme, die über die Zusammensetzung bestimmt wurden, errechneten sich  $H_u$  und  $C_{fossil}$  anhand der Richtlinie VDI (2014), wobei nach Sarc (2020) die Werte für fossilen Kohlenstoff in Textilien auf 50%  $t C_{fossil}/t C$  und Hygieneartikel auf 100%  $t C_{fossil}/t C$  erhöht wurden. (Sarc, 2020; VDI 3460, 2014) (Berechnung siehe Anhang) Weiters wurden Restmüllwerte von ähnlichen Arbeiten übernommen, die größtenteils Österreich als Bezugsland haben. Mauschitz (2009) untersucht die Klimawirksamkeit der österreichischen Abfallwirtschaft und verwendete hierfür den in der Tabelle 13 definierten Wert. (Mauschitz, 2009) Die Studie IFEU (2007) beschäftigt sich mit der Ökobilanz thermischer Entsorgungssysteme in Nordrhein-Westfalen, ist demnach auch ein guter Vergleich für diese Arbeit und unter diesen Quellen der einzige Wert ohne österreichischen Bezug. (IFEU, 2007) Der Heizwert fällt niedriger aus, da diese Studie zwischen häuslichem Restmüll (Hausmüll) und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen unterscheidet. In der Tabelle wird der häusliche Restmüll als Vergleichswert herangezogen. Schwarzböck (2015) untersucht die Emissionen der österreichischen Abfallverbrennungsanlagen. (Schwarzböck, 2015)

Tabelle 13: Restmüllparameter gemittelt nach mehreren Literaturquellen. Diese Parameter definieren den Abfall Restmüll für alle Modelle

Quelle	Land	$H_u$ OS	$C_{fossil}$ OS	$CO_2$ -Äq OS	
		GJ/tos	$t C_{fossil}/tos$	$t CO_2\ddot{a}q/tos$	$t CO_2\ddot{a}q/GJ$
Berechnung nach (BMNT, 2019b)	Ö	10,701	0,122	0,445	0,042
Berechnet nach (Altendorfer, 2018)	Ö	10,179	0,093	0,342	0,034
(Mauschitz, 2009)	Ö	11,000	0,119	0,436	0,040
(IFEU, 2007)	D	9,400	0,090	0,330	0,035
(Schwarzböck, 2015)	Ö	10,400	0,120	0,440	0,042
<b>MITTELWERT</b>		<b>10,336</b>	<b>0,113</b>	<b>0,414</b>	<b>0,040</b>

Für alle weiteren Berechnungen wird „Restmüll“ mit 10,34 GJ/t mit einem Emissionsfaktor von 0,414 t CO<sub>2</sub>äq/t bzw. 0,04 t CO<sub>2</sub>äq/GJ angenommen.

#### 4.7.2 Literaturrecherche von weiteren benötigten Stoffströmen

Da beim Erstellen dieser Arbeit Durchschnittswerte benötigt werden, müssen verschiedene Analyse- und Literaturdaten verglichen werden. Für die Ergebnisse der Ökobilanz äußerst relevant sind Ströme, die anschließend verbrannt werden und dadurch CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Recherchiert wurden also vor allem der mittelkalorische Output aus mechanisch-biologischen Anlagen (MBA Output MK) sowie der hochkalorische Input in Zementwerke (Zem-HK EBS, Zem-MK EBS), der sich wiederum aus dem hochkalorischen Output von LVP-Sortieranlagen (SR-LVP HWR) und dem hochkalorischen Output von MBA-Anlagen (MBA Output HK) zusammensetzt.

Für die Bestimmung der unterschiedlichen MBA Output MK-Werte ist vorausgesetzt, dass der Energie- und fossile Kohlenstoffoutput aus den MBA-Anlagen der unterschiedlichen Modelle insgesamt gleich ist, da ja nur ein gewisser Energie-, bzw. fossiler Kohlenstoffgehalt im Inputabfall vorliegt. Als Referenz dafür wurde der in Tabelle 13 gemittelte Restmüllinput herangezogen.

Da vor allem die Literaturwerte der für den mittelkalorischen Output der MBA-Anlagen, aufgrund unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen stark schwanken kann und auch die zweite mögliche Stelle der Berechnung des heizwertreichen MBA-Outputs beim Input in die Wirbelschichtverbrennungsanlage durch den Einfluss von anderen, ebenfalls in die Anlage eingebrachten Abfälle die Werte der MBA-Outputs nicht fehlerfrei wiedergeben, musste hier mit plausiblen Annahmen gearbeitet werden.

Diese wurden durch iterative Annahmen getroffen, sodass bei gleichem Energieoutput aller MBA-Modellierungen die Abweichungen vom Literaturmittelwert so gering wie möglich ausfallen. Eine genauere Beschreibung der MBA-Anlagen und deren Eigenschaften findet sich in Kapitel 4.12.

Da für das 2-Tonnen-Modell nur Sortieranalysen und keine chemischen Analysen vorliegen, stützen sich getroffene Annahmen überwiegend auf die in diesem Kapitel recherchierten Werte. Die Bestimmung der Stoffströme erfolgt im dafür vorgesehenen Kapitel 0.

In folgender Tabelle sind die recherchierten Literaturdaten für die relevantesten Ströme aufgelistet, wobei die gebildeten Mittelwerte jeweils *Kursiv* formatiert sind. Die tatsächlich in den Modellen verwendeten Annahmen sind ebenfalls darunter dargestellt und werden stellvertretend für die ermittelten Literaturwerte angenommen.

Tabelle 14: Literaturvergleich zur Bestimmung benötigter Stoffströme. Die Strom-Nummer (S-Nr) dient der Zuordnung im Stoffstromverzeichnis

S-Nr	Modell	Stoffstrom	Quelle	H <sub>u</sub> OS	C fossil OS	CO <sub>2</sub> -Äq OS		Zielanlage	T-Nr	T Start - Ziel
				GJ/tos	t C <sub>fossil</sub> /tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos	t CO <sub>2</sub> äq/GJ			
		<b>It. Literatur</b>								
		EBS aus aerober MBA (23% WG)	(TU Dresden, 2011)	13,20	0,1670	0,6120	0,0464			
		HWR Fraktion MBA	(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	13,20	0,2043	0,7488	0,0567			
		<i>MBA mit 1 HWR-Fraktion als Output</i>	<i>Mittelwerte Literatur HWR</i>	<i>13,20</i>	<i>0,1857</i>	<i>0,6804</i>	<i>0,0515</i>			
<b>10</b>	<b>31</b>	<b>MBA Output MK</b>	<b>Annahme für Modell 31</b>	<b>12,61</b>	<b>0,1671</b>	<b>0,6125</b>	<b>0,0486</b>	<b>AV-W</b>	<b>4</b>	<b>MBA – AV-W</b>
		MBA-EBS-Sortierreste	(TU Dresden, 2011)	8,24	0,1289	0,4723	0,0573			
		EBS-Schwerfraktion	(UEC/Ökoinstitut, 2015)	10,78	0,1248	0,4574	0,0424			
		Mittelkalorik MBA	(Laner und Brunner, 2008)	13,20	0,1392	0,5101	0,0386			
		Mittelwert AV-W Input ofenfertig	berechnet nach (Sarc und Lorber, 2013)	9,73	0,1169	0,4282	0,0440			
		<i>MBA mit 2 HWR-Fraktionen als Output: MK</i>	<i>Mittelwerte Literatur MK</i>	<i>10,49</i>	<i>0,1274</i>	<i>0,4670</i>	<i>0,0445</i>			
<b>11</b>	<b>32</b>	<b>MBA Output MK</b>	<b>Annahme für Modell 32</b>	<b>11,50</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,5497</b>	<b>0,0478</b>	<b>AV-W</b>	<b>4</b>	<b>MBA – AV-W</b>
<b>12</b>	<b>33</b>	<b>MBA Output MK</b>	<b>Annahme für Modell 33</b>	<b>11,50</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,5497</b>	<b>0,0478</b>	<b>Zem</b>	<b>6</b>	<b>MBA – Zem</b>
		SBS	(BayLfU, 2007)	18,00	0,2275	0,8337	0,0463			
		EBS Premium Quality	(Sarc u. a., 2014)	19,30	0,2550	0,9344	0,0484			
		EBS Premium Quality	(Sarc u. a., 2019)	17,20	0,2337	0,8565	0,0498			
		EBS Premium Quality	(Sarc u. a., 2019)	17,70	0,2599	0,9522	0,0538			
		Ersatzbrennstoff	(Laner und Brunner, 2008)	20,00	0,2542	0,9315	0,0466			
		SBS zur Mitverbrennung	(UEC/Ökoinstitut, 2015)	18,96	0,2526	0,9256	0,0488			
		<i>EBS-HK ofenfertig</i>	<i>Mittelwerte Literatur</i>	<i>18,53</i>	<i>0,2471</i>	<i>0,9056</i>	<i>0,0489</i>			
<b>15</b>	<b>32, 33, 34</b>	<b>MBA Output HK* (vor EBS-P)</b>	<b>Annahme für Modelle 32, 33, 34</b>	<b>17,00</b>	<b>0,2350</b>	<b>0,861</b>	<b>0,051</b>	<b>Zem</b>	<b>7</b>	<b>EBS-P – Zem</b>

		LVP-EBS-Sortierreste	(TU Dresden, 2011)	18,10	0,2433	0,8915	0,0493			
		SR-LVP HWR	(IFEU, 2007)	18,40	0,2840	1,0407	0,0566			
		Kunststoffabfälle/ Heizwertreiche Fraktion	(Mauschitz, 2019; ÖWAV, 2004)	19,38	0,3175	1,1635	0,0600			
		<i>Heizwertreicher Sortierrest der LVP-Sortierung</i>	<i>Mittelwerte Literatur</i>	<i>18,63</i>	<i>0,2816</i>	<i>1,0319</i>	<i>0,0554</i>			
<b>18</b>	<b>GS-LVP</b>	<b>SR-LVP HWR</b>	<b>Annahme für Modell</b>	<b>18,63</b>	<b>0,2816</b>	<b>1,0319</b>	<b>0,0554</b>	<b>EBS-P/AV</b>	<b>9</b>	<b>LVP-S – EBS-P</b>

\* Hochkalorischer Output der MBA: Bestimmung über ofenfertigen EBS (Zem-HK EBS) aus EBS-P, da MBA Output HK mit SR-LVP HWR bei Input in EBS-P vermischt wird. Je nach Anteil LVP in getrennter Sammlung, steigt oder sinkt  $H_u$  bzw.  $C_{fossil}$  von Zem-HK EBS (siehe 4.7.3 Verzeichnis Stoffströme)



### 4.7.3 Verzeichnis Stoffströme

In folgender Tabelle 15 findet sich ein Verzeichnis der in der Arbeit verwendeten Stoffströme, ihrer Stoffstromnummer (S-Nr), den Parametern wie Heizwert der Originalsubstanz, des fossilen Kohlenstoffgehalts, sowie Informationen zu deren Zielanlage und Transport. Außerdem ist vermerkt, ob es sich um einen Literaturwert oder eine Annahme handelt.

Tabelle 15: Stoffstromverzeichnis für alle verwendeten Stoffströme

S-Nr	Modell	Stoffstrom	Quelle	H <sub>u</sub> OS	C fossil OS	CO <sub>2</sub> äq OS		Zielanlage	Transport	
				GJ/tos	t C <sub>fossil</sub> /tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos	t CO <sub>2</sub> äq/GJ		T-Nr	T Start - Ziel
1	Sammlung	GS-Metalle	Literatur	-	-			Gr-Sh	-	Abfallerzeuger - 1. Behandlungsanlage
2	Sammlung	GS-LVP	Literatur	-	-			LVP-S	-	
3	Sammlung	GS-Papier	Literatur	-	-			Pap-S	-	
4	Sammlung	GS-Glas	Literatur	-	-			GI-S	-	
5	Sammlung	GS-Biomüll	Literatur	-	-			Bio-K	-	
6	alle	Restmüll	Literatur	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-R/ AV-W/ MBA/ MBA-tr	-	abh. von Modell
7	2	AV-Schlacke	Annahme	0,00	berechnet: 1 m-% von C <sub>fossil</sub> im Input			Dep-Rs	1	AV-R – Dep-Rs
8	31, 32, 33, 34	AV-Schlacke	Annahme	0,00	berechnet: 1 m-% von C <sub>fossil</sub> im Input			Dep-Rs	2	AV-W – Dep-Rs
9	31, 32, 33	Dep-Ma	Literatur*	5,24	berechnet, je nach Modell			Dep-Ma	3	MBA – Dep-Ma
10	31	MBA Output MK	Annahme**	12,61	0,1671	0,612	0,049	AV-W	4	MBA – AV-W
11	32	MBA Output MK	Annahme**	11,50	0,1500	0,550	0,048	AV-W	4	MBA – AV-W
12	33	MBA Output MK	Annahme**	11,50	0,1500	0,550	0,048	Zem	6	MBA – Zem
13	32, 33, 34	MBA Output HK	Annahme***	17,00	0,2350	0,861	0,051	EBS-P	5	MBA – EBS-P
14	34	MBA-tr Output Trocknung	Annahme	11,00	berechnet, je nach Modell			AV-W	4	MBA – AV-W
15	32, 33, 34	Zem-HK EBS	berechnet****	17,0-19,7	0,235-0,303	0,990-1,10	abh. v. Input	Zem	7	EBS-P – Zem
16	32, 33, 34	SR-EBS-P	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	vernachlässigt	EBS-P – AV-W

S-Nr	Modell	Stoffstrom	Quelle	GJ/tos	t C <sub>fossil</sub> /tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos	t CO <sub>2</sub> äq/GJ	Zielanlage	T-Nr	T Start - Ziel
17	GS-LVP	SR-LVP	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	8	LVP-S – AV-W
18	GS-LVP	SR-LVP HWR	Literatur	18,63	0,2816	1,032	0,055	EBS-P/AV	9	LVP-S – EBS-P
19	GS-LVP	Kst-R	Literatur	nur Transport				Kst-R	10	LVP-S – Kst-R
20	GS-LVP	E-Kst-Rec	Literatur	Einsparung						
21	GS-LVP	SR-Kst-R	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	11	Kst-R – AV-W
22	GS-Bio	E-Bio	Literatur	Einsparung						
23	GS-Bio	SR-Bio	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	12	Bio-K – AV-W
24	GS-Pap	E-Pap-Rec	Literatur	Einsparung				Pap-F	13	Pap-S – Pap-F
25	GS-Pap	SR-Pap	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	14	Pap-S – AV-W
26	GS-GI	GS-Glas	Literatur	nur Transport				GI-S	15	GI-Um – GI-S
27	GS-GI	E-Glas-Rec	Literatur	Einsparung						
28	GS-GI	SR-GI	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	16	GI-S – AV-W
29	GS-Me	NE+SR-NE	Literatur	nur Transport				Po-Sh	17	Gr-Sh – Po-Sh
30	GS-Me	E-Fe-Rec	Literatur	Einsparung				Fe-Ind	18	Gr-Sh – Fe-Ind
31	GS-Me	E-NE-Rec	Literatur	Einsparung				NE-Ind	19	Po-Sh – NE-Ind
32	GS-Me	GS-Metalle	Literatur	nur Transport				Gr-Sh	20	Met-Um – Gr-Sh
33	GS-Me	SR-Me	Annahme RM	10,34	0,1129	0,414	0,040	AV-W	21	Po-Sh - AV-W
34	32, 33, 34 (EBS-P)	E-PET-Rec	Literatur	Einsparung						
35	32, 33, 34 (EBS-P)	E-FKN-Rec	Literatur	Einsparung						
36	2, 31, 32, 33, 34	E-Me-Mix	Literatur	Einsparung						

\*Maximalwert begrenzt durch Deponieverordnung mit 6,6 GJ/t Hu TS (BMLFUW, 2008), Annahme von 15% Wassergehalt im Deponiematerial

\*\*basierend auf Literaturwerten. Annahme, dass Modell 31, 32 und 33 gleichen Energie- und C<sub>fossil</sub>-Output haben. Werte für 31 berechnet aus Annahmen von 32, 33

\*\*\*Annahme anhand der Literaturwerte für SR-LVP-HWR und dem Spielraum der Literaturwerte zu Zem-HK EBS

\*\*\*\*je nach Modell und Input in getrennte Sammlung, berechnet sich aus Mittelwert des MBA-Output HK und SR-LVP-HWR

## 4.8 Sammlung

In diesem Kapitel werden die Literaturdaten der Sammlung berechnet. Die Daten für die Sammlung stammen aus (Brunner et al., 2015), da dort insbesondere die zurückgelegten Distanzen mit Bezug zu ganz Österreich erhoben wurden und dies sich für die Bildung von Durchschnittswerten besonders gut eignet. Über die Tonnen pro Transporteinheit (eine Transporteinheit entspricht einem Sammelfahrzeug) und die durchschnittlichen Transportdistanzen können die Gesamtkilometer für den österreichischen Sammlungsmix berechnet werden, woraufhin dann über die gesamt gesammelte Menge ein spezifischer Wert für eine bestimmte Fraktion berechnet werden kann.

Tabelle 16: Aufstellung der gesammelten Abfallmengen in Österreich gesamt, der durchschnittlichen Menge pro Transporteinheit (TE) und deren durchschnittlicher Transportdistanz bis zur 1. Behandlungsanlage

Sammlung	Gesammelte Abfallmenge Ö			Transportdistanz bis zur 1. Behandlungsanlage		
	t	t/TE	Anzahl TE	ländlich (62%) km	städtisch (38%) km	km/TE mix
Metalle	117.000	2	58.500	150	60	115,80
LVP	154.000	4	38.500	130	80	111,00
Papier	638.000	9	70.889	120	60	97,20
Glas	217.000	8	27.125	200	75	152,50
Biomüll	876.000	6	146.000	120	40	89,60
Restmüll	1.965.000	9	218.333	120	40	89,60

Quelle: (Brunner u. a., 2015)

Tabelle 17: Durch die Abfallsammlung in Österreich gefahrenen Kilometer, der dadurch entstandene Gesamtdieserverbrauch und weitere Berechnungen

Sammlung	Gesamtkilometerzahl	Gesamtdieserverbrauch		
		l	l/kmTE	l/tkm
Metalle	6.791.000	4.692.000	0,691	0,345
LVP	4.264.000	2.305.000	0,541	0,135
Papier	6.890.000	4.253.000	0,617	0,069
Glas	4.134.000	2.440.000	0,590	0,074
Biomüll	13.085.000	8.762.000	0,670	0,112
Restmüll	19.558.000	13.097.000	0,670	0,074

Quelle: (Brunner u. a., 2015)

Um den fraktionsspezifischen Wert für KEA und CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen zu erhalten wurde anhand der bereits festgelegten Eigenschaften für Diesel eine Einheitenumrechnung durchgeführt und mit den KEA-Werten, bzw. den spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert.

Tabelle 18: Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen durch die Abfallsammlung in Österreich pro Tonne Abfall

Sammlung	KEA		CO <sub>2</sub> äq fossil		
	MJ/t	GJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> äq/tkm	kg CO <sub>2</sub> äq/t Abfall	t CO <sub>2</sub> äq/t Abfall
Metalle	124,45	0,1245	0,91	105,46	0,1055
LVP	46,67	0,0467	0,36	39,55	0,0395
Papier	20,74	0,0207	0,18	17,57	0,0176
Glas	35,00	0,0350	0,19	29,66	0,0297
Biomüll	31,11	0,0311	0,29	26,36	0,0264
Restmüll	20,74	0,0207	0,20	17,57	0,0176

Quelle: eigene Berechnungen nach (Brunner u. a., 2015)

## 4.9 Transporte

Alle Transporte nach dem Transport der Sammlung, werden nun in diesem Kapitel beschrieben. Dazu wurde ein Verzeichnis aller Transporte erstellt und sie wurden den definierten Prozessen der Restmüllentsorgung oder getrennten Sammlung (GS) zugeordnet.

Tabelle 19: Verzeichnis und Zuordnung aller in der Arbeit vorkommenden Transporte. Sie können mithilfe der Transport-Nummer (T-Nr) einheitlich zugeordnet werden

Transportwege			
T-Nr	Abkürzung	Start - Ziel	Zuordnung
1	AV-R – Dep-Rs	AV-Rost – Reststoffdeponie	AV
2	AV-W – Dep-Rs	Schlacke AV-W – Reststoffdeponie	
3	MBA – Dep-Ma	MBA – Massenabfalldeponie	MBA
4	MBA – AV-W	MBA – AV-W	
5	MBA – EBS-P	MBA – EBS-Produktion	
6	MBA – Zem	MBA – Zementwerk	
7	EBS-P – Zem	EBS-Produktion – Zementwerk	EBS-P
8	LVP-S – AV-W	LVP-Sortieranlage – AV-W	GS-LVP
9	LVP-S – EBS-P	LVP-Sortieranlage – EBS-Produktion	
10	LVP-S – Kst-R	LVP-Sortieranlage – Kst-Recyclinganlage	
11	Kst-R – AV-W	Kst-Recyclinganlage – AV-W	GS-Bio
12	Bio-K – AV-W	Kompostierungsanlage – AV-W	
13	Pap-S – Pap-F	Altpapier-Sortieranlage – Papierfabrik	GS-Papier
14	Pap-S – AV-W	Altpapier-Sortieranlage – AV-W	GS-Glas
15	GI-Um – GI-S	Altglas-Umladestation – Altglas-Sortieranlage	
16	GI-S – AV-W	Altglas-Sortieranlage – AV-W	
17	Gr-Sh – Po-Sh	Groß-Shredder-Anlage – Post-Shredder-Anlage	GS-Metalle
18	Gr-Sh – Fe-Ind	Groß-Shredder-Anlage – Fe-Industrie	
19	Po-Sh – NE-Ind	Post-Shredder-Anlage – NE-Industrie	
20	Met-Um – Gr-Sh	Altmittel-Umladestation – Groß-Shredder-Anlage	
21	Po-Sh – AV-W	Post-Shredder-Anlage – AV-W	

Als Transportmittel wurde ein durchschnittlicher 40t-LKW-Zug angenommen, in der Abfallwirtschaft meist als Walking-Floor-LKW verwendet. Hier wird vereinfacht, da auch Transporte mit der Bahn möglich sind. Leere Rückfahrten werden beim Transport nicht berücksichtigt und die Dichten der zu befördernden Abfälle wurden ebenfalls vereinfacht und auf drei unterschiedliche eingegrenzt. Für Transportdistanzen von null wird angenommen, dass sich beide Anlagen auf demselben Standort befinden. (Altendorfer, 2018)

Tabelle 20: CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen und kumulierter Energieaufwand für den Treibstoff Diesel eines durchschnittlichen LKWs für den Abfalltransport

LKW für Transport	CO <sub>2</sub> äq fossil exkl. Vorketten	CO <sub>2</sub> äq	Verbrauch		KEA aus Diesel
Bezeichnung in GEMIS	kg CO <sub>2</sub> äq/tkm	kg CO <sub>2</sub> äq/km	l/km	l/100km	MJ/km
LKW-Diesel-25m-40t- Zug-2020-Basis	0,0469630	0,8893	0,3373	33,73	13,60
CO <sub>2</sub> äq bei Beladung in t	18,936				
Quelle: (GEMIS, 2019)					

Tabelle 21: Berechnung des KEA und der CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen pro Tonne Abfall aus dem Abfalltransport

T-Nr	Abkürzung	max. Lade gew. t/TE*	Distanz km*	MJ/tkm	MJ/t	kg CO <sub>2</sub> äq/ km	kg CO <sub>2</sub> äq/t Abfall	GJ/t Abfall	t CO <sub>2</sub> äq/t Abfall
1	AV-R – Dep-Rs	20	50	0,680	34,00	0,0445	2,2232	0,0340	0,0022
2	AV-W – Dep-Rs	20	50	0,680	34,00	0,0445	2,2232	0,0340	0,0022
3	MBA – Dep-Ma	20	0	0,680	0,00	0,0445	0,0000	0,0000	0,0000
4	MBA – AV-W	11	100	1,236	123,64	0,0808	8,0845	0,1236	0,0081
5	MBA – EBS-P	11	50	1,236	61,82	0,0808	4,0422	0,0618	0,0040
6	MBA – Zem	11	150	1,236	185,47	0,0808	12,1267	0,1855	0,0121
7	EBS-P – Zem	11	150	1,236	185,47	0,0808	12,1267	0,1855	0,0121
8	LVP-S – AV-W	20	100	0,680	68,00	0,0445	4,4465	0,0680	0,0044
9	LVP-S – EBS-P	11	50	1,236	61,82	0,0808	4,0422	0,0618	0,0040
10	LVP-S – Kst-R	11	200	1,236	247,29	0,0808	16,1689	0,2473	0,0162
11	Kst-R – AV-W	11	150	1,236	185,47	0,0808	12,1267	0,1855	0,0121
12	Bio-K – AV-W	20	50	0,680	34,00	0,0445	2,2232	0,0340	0,0022
13	Pap-S – Pap-F	20	50	0,680	34,00	0,0445	2,2232	0,0340	0,0022
14	Pap-S – AV-W	20	150	0,680	102,01	0,0445	6,6697	0,1020	0,0067
15	GI-Um – GI-S	25	200	0,544	108,81	0,0356	7,1143	0,1088	0,0071
16	GI-S – AV-W	20	150	0,680	102,01	0,0445	6,6697	0,1020	0,0067
17	Gr-Sh – Po-Sh	25	0	0,544	0,00	0,0356	0,0000	0,0000	0,0000
18	Gr-Sh – Fe-Ind	25	200	0,544	108,81	0,0356	7,1143	0,1088	0,0071
19	Po-Sh – NE-Ind	25	200	0,544	108,81	0,0356	7,1143	0,1088	0,0071
20	Met-Um – Gr-Sh	25	200	0,544	108,81	0,0356	7,1143	0,1088	0,0071
21	Po-Sh – AV-W	11	100	1,236	123,64	0,0808	8,0845	0,1236	0,0081
*Dichten und Distanzen nach Abschätzungen von (Altendorfer, 2018)									

Transporte werden in der Sachbilanz nur der getrennten Sammlung zugerechnet. Allen anderen Anlagen werden Transporte erst bei der Auswertung der Modelle zugerechnet.

## 4.10 Deponie

### 4.10.1 Deponie für unbehandelte Siedlungsabfälle (Dep-Hm)

Die sogenannte Hausmülldeponie ist in Österreich, dank des Deponierungsverbots von 2004 keine Entsorgungsvariante mehr. Zur besseren Veranschaulichung wird trotzdem ein vereinfachtes Modell der typischen Hausmülldeponie mit den Parametern des österreichischen Restmülls in dieser Arbeit berücksichtigt. Anlagen dieser Art werden nach wie vor in diversen EU-Ländern betrieben.

Tabelle 22: Allgemeine Last- und Gutschriften im Modell „Deponie“

KEA-Bilanz – Deponie	CO <sub>2</sub> -Bilanz – Deponie
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
-	Deponiegasemissionen
(Diesel Einbau)	(Dieselemmissionen Einbau)
(KEA-Strom f. Betrieb)	(Stromemissionen)
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
KEA-Strom Deponiegasmotor	Stromemissionen Deponiegasmotor

Tabelle 23: Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehalts im österreichischen Restmüll anhand verschiedener Literaturquellen

Biogener Kohlenstoffgehalt Restmüll Österreich	Wert
Quelle	t C <sub>biogen</sub> /t RM
(Altendorfer, 2018)	0,1364
(Mauschitz, 2009)	0,2
(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	0,1548
<b>MITTELWERT C biogen/t RM</b>	<b>0,1637</b>

Tabelle 24: Annahmen für die Bildung des Deponiegases auf einer Deponie für unbehandelten Siedlungsabfall mit Deponiegaserfassung

Daten für Berechnungen mit Deponiegas	Quelle	%
Anteil CH <sub>4</sub> im Deponiegas	(Mauschitz, 2009)	55%
Anteil CH <sub>4</sub> , das beim Freisetzen aus Deponie oxidiert wird		20%
Erfassungsgrad Gassammelsystem		50%
Nettowirkungsgrad Deponiegasmotor		38%

Für die Berechnung der gebildeten Methanemissionen für gemischte Siedlungsabfälle wird ein spezifischer Methanbildungsfaktor nach IPCC (2006b) berechnet. Da die Methan-Emissionen im Vergleich zu den einmaligen Emissionen beim Einbau des Abfalls und den laufenden, indirekten Emissionen des Betriebs der Sickerwasserreinigung im Verhältnis deutlich höhere Klimawirksamkeit aufweisen, werden letztere vernachlässigt.

Berechnungsformel und Bestimmung der Formelzeichen für den Methanbildungsfaktor. (IPCC, 2006b)

$$L_0 = MCF * DOC * DOC_F * F * \frac{16}{12} \text{ in } \left[ \frac{t_{CH_4}}{t_{waste}} \right]$$

$L_0$  = Methane generation potential

$MCF$  = Methane correction factor (fraction)

$$DOC = \text{Degradable organic carbon (fraction)} \left[ \frac{t_C}{t_{MSW}} \right]$$

$DOC_F$  = Fraction DOC dissimilated

Fraction by volume of  $CH_4$  in landfill gas

$$R = \text{Recovered } CH_4 \left[ \frac{t}{\text{year}} \right]$$

$OX$  = Oxidation factor (fraction)

Tabelle 25: Berechnung des Methanbildungsfaktors nach (IPCC, 2006b)

Berechnung des Methanbildungsfaktors			Quelle
<b>L0</b>	Methangas Bildungspotential Faktor		
<b>MCF</b>	1	Standard für "managed"	(IPCC, 2006b)
<b>DOC</b>	0,163738	t C <sub>biogen</sub> /t RM	siehe Tabelle 23
<b>DOC<sub>F</sub></b>	0,77	Anteil C biolog. Abbaubar, (IPCC default value)	(IPCC, 2006b)
<b>F</b>	0,55	Anteil CH <sub>4</sub> im Gas	(Mauschitz, 2009)
<b>C → CH<sub>4</sub></b>	1,33	Umrechnungsfaktor von C zu CH <sub>4</sub>	
<b>L0</b>	<b>0,092457635</b>	<b>t CH<sub>4</sub>/t RM</b>	

Standardberechnungsformel für die gebildeten Methanemissionen auf Deponien von unbehandeltem Siedlungsabfall. (IPCC, 2006b)

$$CH_4 \text{ emissions } \left[ \frac{t}{\text{year}} \right] = [MSW_T * MSW_F * L_0] - R * (1 - OX)$$

$$MSW_T = \text{Total MSW generated } \left[ \frac{t}{\text{year}} \right]$$

$$MSW_F = \text{Fraction of MSW disposed at SWDS (Solid Waste Disposal Site)}$$

Die Bilanz des Deponiemodells für eine Tonne Restmüll ohne Deponiegaserfassung mit berechnetem Methanbildungsfaktor ist in folgender Tabelle dargestellt und fällt äußerst klimaschädlich aus.



Tabelle 26: KEA und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Modells „Deponie ohne Deponiegaserfassung“ für eine Tonne Restmüll

Deponie Hausmüll	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
(ohne Deponiegaserfassung)	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Abfall Input Deponie	10,34	-
CH <sub>4</sub> frei	-	2,481
Strom (Deponiegasverwertung)	0,00	0,000
SUMME LASTSCHRIFT	10,34	2,481
SUMME GUTSCHRIFT	0,00	0,00
<b>SUMME</b>	<b>10,34</b>	<b>2,481</b>

Die Bilanz des Modells für eine Tonne Restmüll als Input, dem berechneten Methangasbildungsfaktor und einer angenommenen Deponiegaserfassung mit obig definierten Eigenschaften und Wirkungsgraden berechnet sich wie in folgender Tabelle.

Tabelle 27: KEA und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Modells „Deponie mit Deponiegaserfassung“ für eine Tonne Restmüll

Deponie-Hausmüll	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
(mit Deponiegaserfassung)	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Abfall Input Deponie	10,34	-
CH <sub>4</sub> frei	-	0,992
Strom (Deponiegasverwertung)	-0,68	-0,015
SUMME LASTSCHRIFT	10,34	0,992
SUMME GUTSCHRIFT	-0,68	-0,015
<b>SUMME</b>	<b>9,66</b>	<b>0,977</b>

### **4.10.2 Massenabfalldeponie (Dep-Ma)**

Auf dieser Deponieklasse dürfen noch Abfälle aus der MBA-Vorbehandlung abgelagert werden, die nicht verbrannt wurden. Diese müssen nach Deponieverordnung einen Brennwert  $\leq 6600$  kJ/kg TS aufweisen. (BMLFUW, 2008)

Es wird davon ausgegangen, dass aller Abfall, der auf der MAD deponiert wird, vorher in einer MBA behandelt wurde und daher seine Reaktivität schon deutlich verringert wurde.

Das Deponiegaspotential der Deponiefraktion aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung wurde mit Hilfe mehrerer Literaturquellen ermittelt und ist im Kapitel 4.12.1 bei der Emissionsberechnung der MBA berücksichtigt.

Der Energieaufwand des Einbaus in die Deponie durch eine Kompaktiermaschine und etwaige Energieverbräuche, die zum Beispiel bei einer möglichen Sickerwasserbehandlung oder Beheizung von Deponiegebäuden entstehen, werden aufgrund ihrer geringen Mengen im Vergleich zum Deponiegas vernachlässigt.

### **4.10.3 Reststoffdeponie (Dep-Rs)**

Reststoffdeponien, die als finale Senke für zum Beispiel Aschen und Schlacken aus der thermischen Abfallverwertung dienen weisen aufgrund der Behandlung der Abfälle vor der Deponierung sehr geringe Emissionsniveaus auf. Da in modernen Verbrennungsanlagen der der TOC-Gehalt von Aschen und Schlacken nur bei wenigen Prozent liegt (Grenzwert für TOC gem. Deponieverordnung (2008) liegt bei 5%) und kein anaerober Abbau nachgewiesen werden konnte, wird angenommen, dass kein Methan erzeugt wird. (BMLFUW, 2008; Brunner u. a., 2000)

Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit Energieaufwände und Emissionen der Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen nicht berücksichtigt. Darüber hinaus werden, wie bei der MAD, die Energieaufwände und Emissionen des Einbaus und der Sickerwasserbehandlung vernachlässigt.

## 4.11 Thermische Verwertung

Die thermische Verwertung von Abfällen kann in unterschiedlichen Anlagen erfolgen. Bei der Monoverbrennung werden Rost- und Wirbelschichtfeuerung aus technologischer Brennkammersicht unterschieden. Der größte Unterschied besteht darin, dass in einer Rostverbrennungsanlage unaufbereiteter Abfall und in Wirbelschichtanlagen nur aufbereiteter Abfall verwertet werden kann.

Darüber hinaus gibt es mehrere Möglichkeiten aufbereiteten Abfall in dementsprechend dafür ausgerüsteten Mitverbrennungsanlagen zur Gewinnung von Prozesswärme mitzuverbrennen. In dieser Arbeit wird nur die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken beschrieben, da diese in der österreichischen Bewirtschaftung von gemischten Siedlungsabfällen die größte Rolle spielt.

Da die thermische Verwertung von Abfällen ein äußerst komplexer Prozess ist, dessen detailgenaue den Umfang dieser Arbeit übersteigen würde, werden, wie in allen dieser Arbeit ähnlichen Studien folgende Faktoren vernachlässigt.

- Bau/Errichtung und Rückbau/Entsorgung der Anlage,
- Externe Entsorgung der Flugasche,
- Betriebsmittel wie Kalkmilch in der Abgasreinigung,
- Wartungsenergieaufwand,
- Energieaufwand und die Emissionen durch die Produktion von Ersatzteilen,
- Einbau der Schlacke in die Deponie und
- Aufbereitungsaufwand der Schlacke für die Rückgewinnung der Metalle

In Österreich waren 2017 elf Rostfeuerungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 2,6 Mio. Tonnen pro Jahr in Betrieb. In den sieben Rostfeuerungsanlagen werden hauptsächlich gemischter Siedlungsabfall, Sperrmüll sowie Rückstände aus der mechanischen Aufbereitung eingesetzt. In den vier Wirbelschichtöfen sind die Brennstoffe hauptsächlich Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung und Klärschlamm. (BMNT, 2019b)

Außerdem wurden 2018, neun Zementwerke mit einer kumulierten Klinkerkapazität von 5,32 Mio. Tonnen pro Jahr in die Emissionsinventur von Mauschitz (2019) aufgenommen, die 2018 eine Menge von rund 556.000 Tonnen Ersatzbrennstoffen verbrannten, was einem energetischen Substitutionsgrad von 81,24% entsprach. (Mauschitz, 2019)

Ziel dieses Kapitels ist es, die spezifischen Emissionen und Energieaufwände pro Tonne Input in eine thermische Verwertung für den realen Fall („status quo“) zu bestimmen.

In den Stan-Modellierungen der Kapitel 5.2.2 und 5.3.1 sind die Verbrennungsanlagen AV-R und AV-W vereinfachend ohne Abgasmengen und Aschemengen dargestellt. Die Menge des Outputs entspricht der Gesamtmenge im Input, da abschließend eine Aufteilung in „recycelte“ und „nicht recycelte“ Fraktionen stattfinden soll.

### 4.11.1 Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen

In der Arbeit unterscheidet man zwischen Rost- und Wirbelschichtverbrennungsanlagen, um ihre Wirkungsgrade unabhängig voneinander einstellen zu können. Der einzige Unterschied im Prozess ist die Rückgewinnung von Metallen aus der Schlacke, die nur bei der Rostverbrennungsanlage stattfindet, da in der Wirbelschichtanlage bereits eine Aufbereitung erfolgt ist.

Die relevanten Gut- und Lastschriften einer Rostverbrennung zeigt folgende Abbildung.

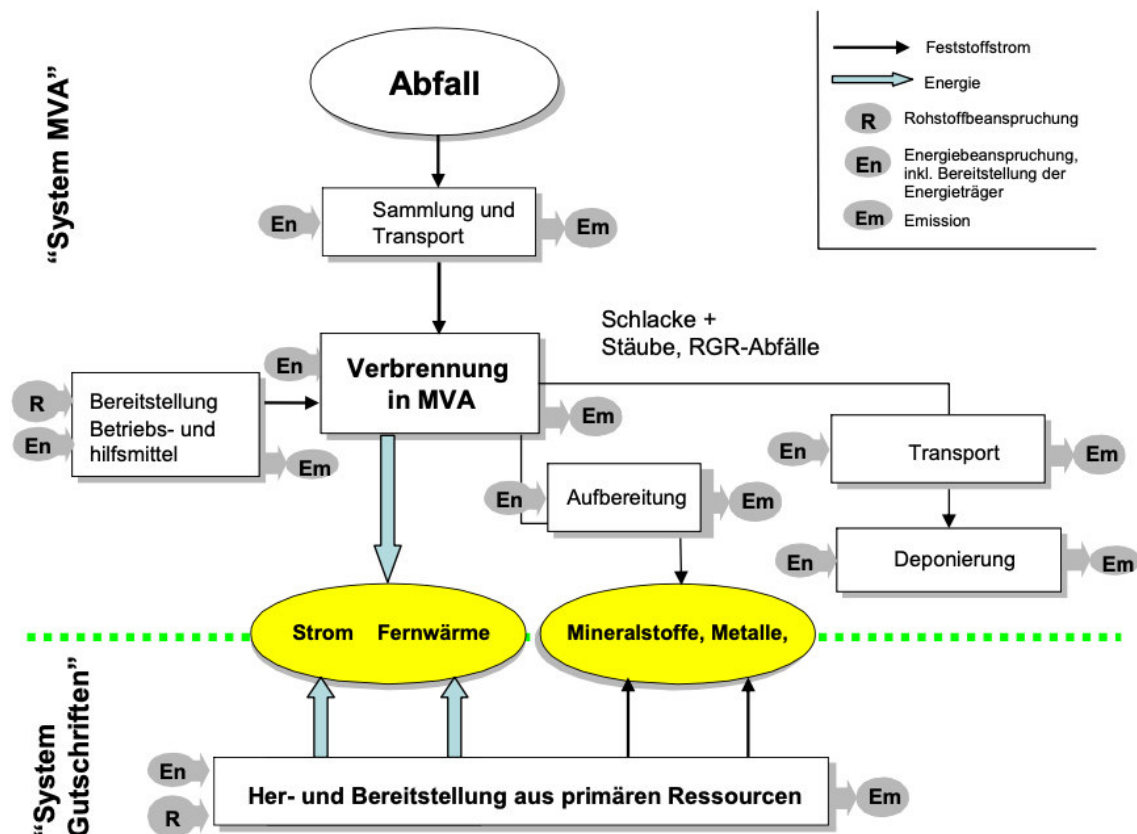


Abbildung 10: Last- und Gutschriften bei der Verbrennung von Abfall in einer AV-R (IFEU/D.UBA, 2007)

Die Referenzsysteme Strom und Wärme wurden bereits definiert, Betriebs- und Hilfsmittel werden vernachlässigt. Sammlung und Transport wurden ebenfalls definiert und kommen im Modell zur Anwendung. Für die aussortierten Metalle wird eine Einsparung berechnet, die der Differenz zwischen Primär- und Sekundärproduktion entspricht. (siehe Kapitel 4.13.1)

Für den Betrieb einer Müllverbrennungsanlage als Kraftwerk ist vor allem der Wirkungsgrad und die Betriebsweise entscheidend. Im Betrieb kann Strom (d.h. Kraft), Dampf, Wärme und auch Kälte, wie z.B. MVA Spittelau (Wien Energie, 2020) abgegeben werden, wobei auch Kombinationen möglich und häufig sind. Die in Österreich meist verwendete Betriebsweise ist die Kraft-Wärme-Kopplung, die hohe Brennstoffnutzungsgrade erreicht. Diese Betriebsart wird als stellvertretend für alle thermischen Verwertungsanlagen in Österreich angenommen.

Da es unterschiedliche Wirkungsgrade gibt, wird nun noch kurz auf die verwendete Art von Wirkungsgraden eingegangen.

Die Brennstoffnutzungsgrade berücksichtigen nicht die unterschiedlichen Wertigkeiten von elektrischer Energie und Wärme, da elektrische Energie zu hundert Prozent in andere Energieformen, z.B. mechanische oder elektrische Energie umwandelbar ist, Wärme jedoch nur zum Teil. Der frei umwandelbare Anteil (= Exergie) bei elektrischer, potentieller, kinetischer oder mechanischer Energie ist also hundert Prozent, während Wärme durch den Carnot-Wirkungsgrad begrenzt ist.

$$\eta_{Carnot} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{Wärme}}\right)$$

$\eta_{Carnot}$ : Carnot-Wirkungsgrad oder Carnotfaktor

$T_0$ : Umgebungstemperatur des Prozesses in K

$T_{Wärme}$ : Temperatur, bei der die thermische Energie verfügbar ist, in K

Dieser gibt den maximalen Anteil an Exergie an, der durch das beschriebene Temperaturniveau der thermischen Energie besteht.

Bei Energieeffizienzbetrachtungen und Vergleichen der Anlagen miteinander wäre eine Exergiebetrachtung sinnvoll, da die Energieform eine wichtige Rolle spielt. (CUTEC, 2016; Raupenstrauch u. a., 2018)

Für die in dieser Arbeit betrachteten Anlagen ist jedoch wichtig, dass die bereitgestellte Energie genutzt wird und dadurch Emissionen an anderer Stelle eingespart werden. Da die Referenzsysteme spezifische Werte pro Energieeinheit liefern und außerdem Daten über die Temperaturniveaus nicht vorliegen, wird eine Exergiebetrachtung nicht weiter durchgeführt. Außerdem ist eine weitere Differenzierung der Energieformen in der Methode des kumulierten Energieaufwandes nicht vorgesehen und es wird für alle weiteren Berechnungen vom Brennstoffnutzungsgrad ausgegangen, bzw. dessen Summanden, dem elektrischen und thermischen Wirkungsgrad.

Der Brennstoffausnutzungsgrad ( $\eta_B$  netto bzw.  $\eta_{ges}$  netto) beschreibt bei der Kraft-Wärme-Kopplung das Verhältnis der elektrischen und thermischen Nutzungsenergie zur Feuerungswärmeleistung. Dieser wird nach folgender Formel bestimmt. (Karl, 2012)

$$\eta_B = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{\dot{Q}_{FWL}} = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{\dot{m}_B * H_u}$$

mit

$\dot{Q}_N$  = erzeugte Nutzwärmeleistung in [kW]

$P_{el}$  = zu – und abgeführte elektrische Leistung in [kW]

$\dot{Q}_{FWL}$  = mit einem Brennstoff zugeführte Feuerwärmeleistung in [kW]

$\dot{m}_B$  = zugeführter Brennstoffmassenstrom in  $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$H_u$  = unterer Heizwert des zugeführten Brennstoffes in  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

Den in obiger Formel beschriebenen Gesamtwirkungsgrad kann man auch in einen elektrischen und einen thermischen Wirkungsgrad aufteilen, die jeweils den gleichen Nenner, jedoch nur die elektrische Leistung bzw. die erzeugte Nutzwärmeleistung im Zähler beinhalten.

Die verschiedenen Anlagenbereiche haben für die jeweiligen Prozesse, wie Kessel, Rohrleitungen, Turbine, Energieumwandlung oder Generator wiederum eigene Wirkungsgrade deren Multiplikation zum Bruttowirkungsgrad führt. Auch über die Messung des gesamt erzeugten Stroms bzw. Wärme/Dampf in der Anlage geteilt durch die Energie der in die Anlage eingebrachten Brennstoffe kann der Bruttowirkungsgrad berechnet werden.

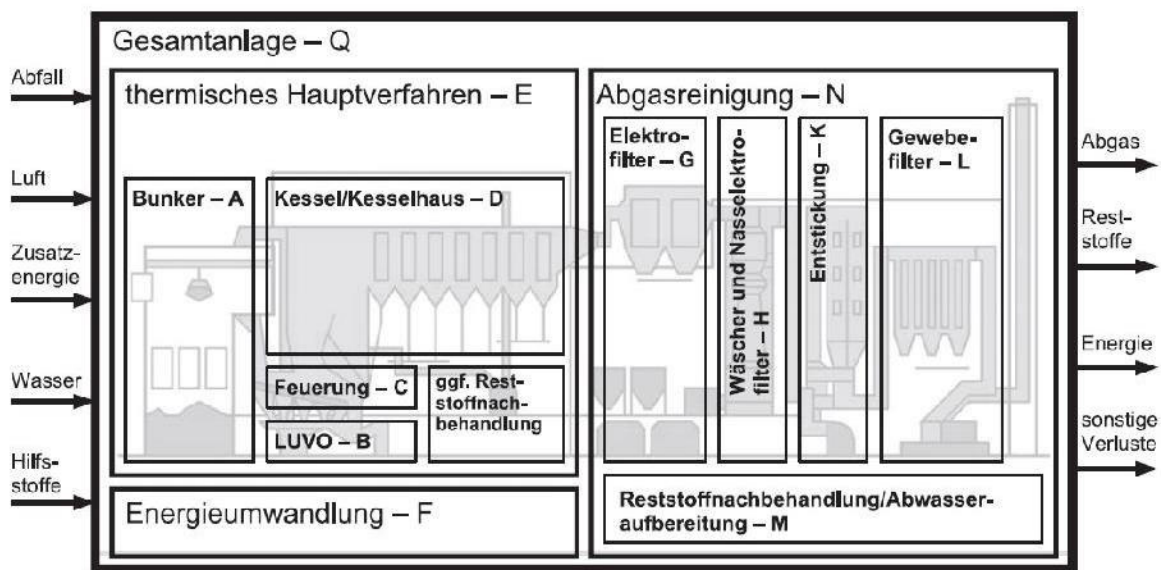


Abbildung 11: Unterschiedliche Bilanzkreise bei Abfallverbrennungsanlagen (VDI 3460, 2014)

Für diese Arbeit relevant ist aber der Nettowirkungsgrad. Dieser berücksichtigt Aggregate, die zum Betrieb der Anlagen notwendig sind und einen eigenen Energiebedarf in Form von Strom, Dampf oder Wärme haben, wie z.B. die Verbrennungsluftzuführung oder Abgasreinigung. Der Nettowirkungsgrad, ist der tatsächliche Output an Energie aus der Anlage in Form von Dampf, Wärme oder Strom dividiert durch die Summe der gesamt aufgewendeten Energie aus Abfällen und der benötigten Eigenenergie. (CUTEC, 2016)

Um typische Wirkungsgrade von österreichischen Verbrennungsanlagen zu recherchieren, wurden die Nettowirkungsgrade mehrerer Literaturquellen verglichen.

Tabelle 28: Vergleich der Literaturwerte zu Nettowirkungsgraden von Abfallverbrennungsanlagen

Quelle	Bezeichnung	Bezugsland	$\eta_{el\ netto}$	$\eta_{th\ netto}$	$\eta_{ges\ netto}$
(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	Szenario für 2006	D	0,10	0,30	0,40
	Szenario für 2020	D	0,14	0,45	0,59

(UBA, 2002)*	V1 reine Wärmeauskopplung	Ö	0,00	0,76	0,76
	V2 Entnahmekondensationsturbine, 50bar, 400°C	Ö	0,15		0,15
	V4 Kraft-Wärme-Kopplung, 50bar, 400°C	Ö	0,08	0,69	0,76
	V5 80bar, 500°C	Ö	0,11	0,65	0,76
(CUTEK, 2016)**	EBS-Kraftwerk, reine Stromauskopplung	D	0,20		0,20
	EBS-Kraftwerk, reine Prozessdampfabgabe	D		0,8	0,8
	EBS-Kraftwerk, Kraft-Wärme- Kopplung (KWK)	D			0,3-0,7
	MVA, reine Stromauskopplung, alt	D	0,12	0	0,12
	MVA, reine Stromauskopplung, neu	D	0,2	0	0,2
	MVA, reine Dampfabgabe	D	0	0,8	0,8
	MVA, KWK	D			0,2-0,7
(Mauschitz, 2009)	gewichteter Mittelwert über österreichische Verbrennungsanlagen***	Ö	0,1918	0,4092	0,601
*Werte berechnet nach Angaben über Strom- und Wärmeauskopplung und einem Heizwert des Abfalls von 10,4 MJ/kgos					
**Deutschland Studie, daher Unterscheidung von EBS-Kraftwerken und MVA-Anlagen					
***Berechnung mit Annahmen für manche Anlagen					

Mauschitz (2009) hat Daten zu österreichischen Müllverbrennungsanlagen erhoben und diese teilweise anonymisiert veröffentlicht. Die Konfiguration der Anlagen entspricht zwar nicht den Anlagen die heute in Betrieb sind, lässt aber am genauesten Abschätzen, in welcher Höhe sich die Nettowirkungsgrade des österreichischen Anlagenparks bewegen. (Mauschitz, 2009)

Tabelle 29: Aufstellung und Prognose der Wirkungsgrade und Kohlenstoffgehalte österreichischer Verbrennungsanlagen für das Jahr 2013 (Mauschitz, 2009)

Bilanz-jahr	Bezeichnung	Standort	Bemerkung	Inbetrieb-nahme	Technik	BWL	Brennstoff	Wirkungsgrad			Strom-anteil	Wärme-anteil	Strom-anteil	Wärme-anteil	TOC	TBC	C abio-gen	
								Minimum	Maximum	Mittelwert								
								[%]	[%]	[%]	vom WG			[m.-%]	[m.-%]	[m.-%]		
2013	MVA Flötzersteig	Flötzersteig	3 Linien	1963	Rost	50	Restmüll	65	70	67								
	MVA Spittelau	Spittelau	2 Linien	1971	Rost	85	Restmüll	70	74	72								
	FWW Pfaffenua	Pfaffenua	2 Linien	Sep.08	Rost	80	Restmüll	70	76	73								
	AVN	Dürrrohr	Linie 1 + 2	2003	Rost	120	Restmüll	40	70	58								
				Sep.09	Rost	90	Restmüll	40	70	58								
	.A.S.A.	Zistersdorf		Mär.09	Rost	45	Restmüll, Klärschlamm	18	25	20								
	WAV (AVE)	Wels	Linie 1	1995	Rost	28,7	Restmüll, Gewerbe	20	60	25								
				Jun.06	Rost	80	Restmüll, Gewerbe	20	60	25								
	RVL (AVE, Lenzing)	Lenzing		1998	WS	110	Kunststoff, Klärschlamm	75	80	79								
	RHKW (Linz AG)	Linz		2011	WS	66	Gewerbe, MBA, Klärschlamm	55	80	59								
	TRV (ENAGES)	Niklasdorf		Dez.03	WS	40	Verpackung, Restmüll	55	80	80								
	MMK (Mayr-Melnhof)	Frohnleiten	2 Linien	2012	WS	160	biogene Ersatz, Gewerbe	55	80	68								
	KRV	Arnoldstein		Sep.04	Rost	30	Restmüll	28	57	42,5								
	RVH (BEGAS)	Heiligenkreuz		2013	WS	99	Restmüll, Klärschlamm	55	80	59								
	<b>Summe</b>						<b>1.083,7</b>											
	<b>gewichteter Mittelwert</b>								<b>60,1</b>	<b>31,92</b>	<b>68,08</b>	<b>19,18</b>	<b>40,92</b>	<b>24,0</b>	<b>12,1</b>	<b>11,9</b>		

Tabelle 5-4: Auflistung der Abfallverbrennungsanlagen, die voraussichtlich 2013 betrieben werden

Die Anlagen RVH(BEGAS) in Heiligenkreuz und die Anlage MMK (Mayr-Melnhof) in Frohnleiten wurden nicht gebaut.

Bei Daten aus Deutschland fällt auf, dass die Wirkungsgrade sehr niedrig ausfallen. CUTEC (2016) begründet das mit dem hohen Alter der meisten Müllverbrennungsanlagen, die hauptsächlich zum Zweck der Hygienisierung erbaut wurden. EBS-Kraftwerke in Deutschland kamen mit Aufkommen des Ablagerungsverbots von gemischten Siedlungsabfällen auf und verbrennen hauptsächlich mittelkalorisch aufbereitete Fraktionen. Die großen Unterschiede entstehen vor allem deshalb, weil die Möglichkeit Wärme an ein Fernwärmenetz oder einen industriellen Prozess abzugeben nicht immer gegeben ist. Bei reiner Stromabgabe fällt der Gesamtwirkungsgrad dann aufgrund der thermodynamischen Begrenzungen des Dampf-Kreisprozesses und der wenig effizienten Stromerzeugung auf 10-30%. Da der Wärmemix in Österreich sogar CO<sub>2</sub>-intensiver und damit seine spezifische Gutschrift größer ist als der ö. Strommix, würde sich eine Reduktion der abgelieferten Wärme besonders stark auf die Emissionsgutschrift von Müllverbrennungsanlagen auswirken. (CUTEC, 2016)

Nach sorgfältiger Abwägung der recherchierten Werte wurden für das Standard Szenario „status quo“ für beide Technologien derselbe Wirkungsgrad nach Tabelle 30 angenommen.

Tabelle 30: Angenommene Nettowirkungsgrade für österreichische Müllverbrennungsanlagen.

	$\eta_{el\ netto}$	$\eta_{th\ netto}$	$\eta_{ges\ netto}$
<b>MVA-Mix Österreich Rost</b>	0,19	0,41	0,60
<b>MVA-Mix Österreich Wirbelschicht</b>	0,19	0,41	0,60

#### 4.11.2 Rostfeuerungsanlage – klassische Müllverbrennungsanlage (AV-R)

Mithilfe dieser Werte kann nun eine Modellierung des Prozesses für Abfallverbrennungsanlagen erfolgen. Folgende Gut- und Lastschriften werden berücksichtigt:

Tabelle 31: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess „Rostverbrennungsanlage“ (AV-R) bezogen auf den Nettowirkungsgrad.

<b>KEA-Bilanz – AV-R (Nettowirkungsgrad)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Bilanz – AV-R (Nettowirkungsgrad)</b>
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Abfall	Abfallemissionen
KEA-Zusatzbrennstoffe	Zusatzbrennstoffemissionen
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
KEA-Strom Auskopplung	Strom Auskopplung
KEA-Wärme Auskopplung	Wärme Auskopplung
Einsparung Metall-mix	Einsparung Metall mix

Die Transferkoeffizienten für Masse wurden von Altendorfer (2018) übernommen und es wurde ein Ausbrandfaktor des fossilen Kohlenstoffs von 99% angenommen. Die Zusatzbrennstoffenergie in Form von Erdgas, die für die Stützfeuerung und den An- bzw. Abfahrbetrieb benötigt wird, wird wie in Ökoinstitut (2002) auf 1% der durch den Abfall eingebrachten Energiemenge festgelegt. (Altendorfer, 2018; Ökoinstitut, 2002)



In der nachfolgenden Tabelle erfolgt eine Auflistung der zusammengefassten Transferkoeffizienten für Masse, Energie und fossilen Kohlenstoff.

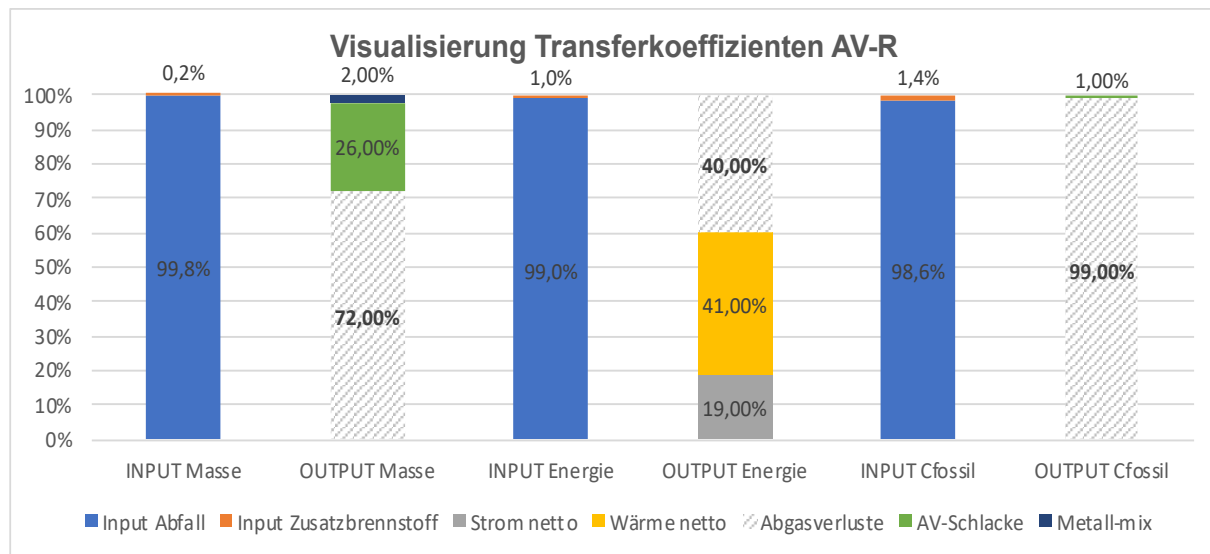


Abbildung 12: Die zusammengefasste Visualisierung der Transferkoeffizienten für die Rostabfallverbrennung mit beschriebenen Annahmen

Abschließend erfolgt die Bilanzierung für eine Tonne Restmüll, die in einer Rostverbrennung mit beschriebenen Eigenschaften verbrannt wird. Als Gutschriften im KEA wird der jeweils produzierte Wert noch mit dem KEA-Wert für die produzierte Einheit Strom oder Wärme multipliziert. Die Einsparungen für Metalle werden in Kapitel 4.13.1 beschrieben.

Tabelle 32: Bilanzierung der Rostverbrennungsanlage mit dem Input von 1 t Restmüll mit den Eigenschaften, die in Tabelle 13 definiert wurden

AV-R/Tonne Abfallinput	KEA /t Abfallinput	CO <sub>2</sub> -Äq/t Abfallinput
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> Äq/tos
Abfall Input AV-R	10,34	0,410
Zusatzbrennstoff	0,12	0,006
Strom	-3,19	-0,069
Wärme	-4,66	-0,181
Metalle-mix	-0,58	-0,053
SUMME LASTSCHRIFT	10,46	0,415
SUMME GUTSCHRIFT	-8,43	-0,303
<b>SUMME gesamt</b>	<b>2,03</b>	<b>0,113</b>

In allen KEA-Bilanzen wurde für Strom und Wärme jeweils der KEA-Wert berechnet, also die produzierte Strom- oder Wärmemenge mit dem KEA-Faktor multipliziert.

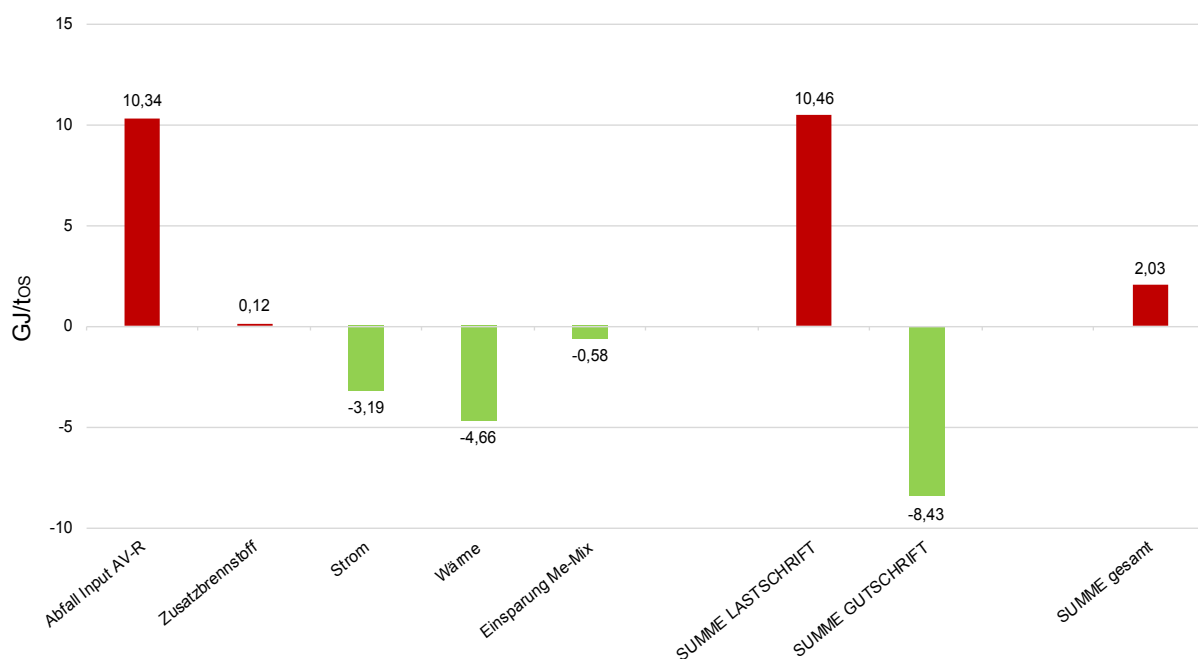


Abbildung 13: Visualisierung der KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer AV-R, die direkt thermisch verwertet wird

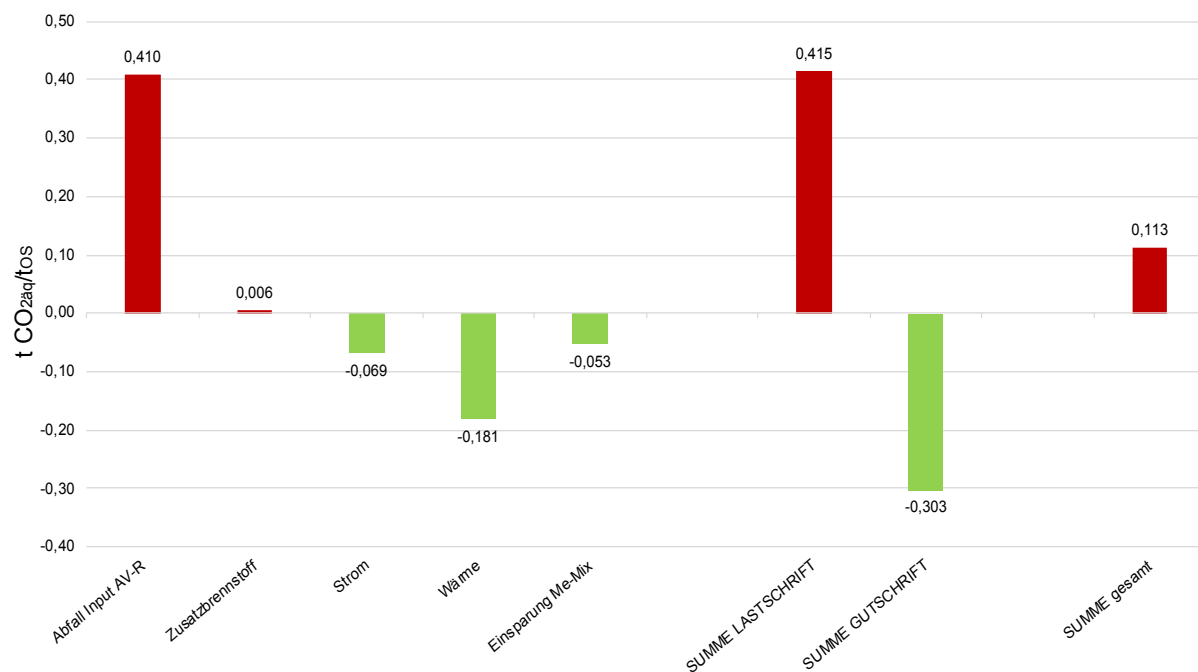


Abbildung 14: Visualisierung CO<sub>2</sub>-Bilanzierung (fossil) für 1t Restmüll in einer AV-R, die direkt thermisch verwertet wird

### 4.11.3 Wirbelschichtverbrennungsanlage (AV-W)

Im Unterschied zur AV-R können bei diesem Anlagentyp nur aufbereitete Abfälle (d.h. in Bezug auf die Korngröße angepasste Abfälle) eingesetzt werden.

Für die Stoffflussanalyse bedeutet das, dass keine Einsparung durch die Aussortierung von Metallen aus der Asche erfolgt, da diese überwiegend bei der Vorbehandlung (in MBA oder sonstige Aufbereitung) entfernt wurden. In der Praxis erfolgt eine Metallabtrennung aus den Bettaschen, aber die Menge der aussortierten Metalle ist sehr gering und aus diesem Grund wird diese Metallmenge nicht nach der MVA berücksichtigt, sondern davor, d.h. der Vorbehandlung dazugerechnet. (Sarc, 2020) Der Wirkungsgrad im Szenario „Status quo“ ist derselbe wie bei AV-R. Ebenso werden Hilfsstoffe und ihre Emissionen vernachlässigt.

Tabelle 33: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess „Wirbelschichtverbrennungsanlage“ (AV-W) bezogen auf den Nettowirkungsgrad

KEA-Bilanz – AV-W (Nettowirkungsgrad)	CO <sub>2</sub> -Bilanz – AV-W (Nettowirkungsgrad)
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Abfall	Abfallemissionen
KEA-Zusatzbrennstoffe	Zusatzbrennstoffemissionen
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
KEA-Strom Auskopplung	Strom Auskopplung
KEA-Wärme Auskopplung	Wärme Auskopplung

Die Transferkoeffizienten für Masse sind ebenfalls übernommen von (Altendorfer, 2018), die restlichen Annahmen entsprechen der Rostverbrennung in 4.11.2.

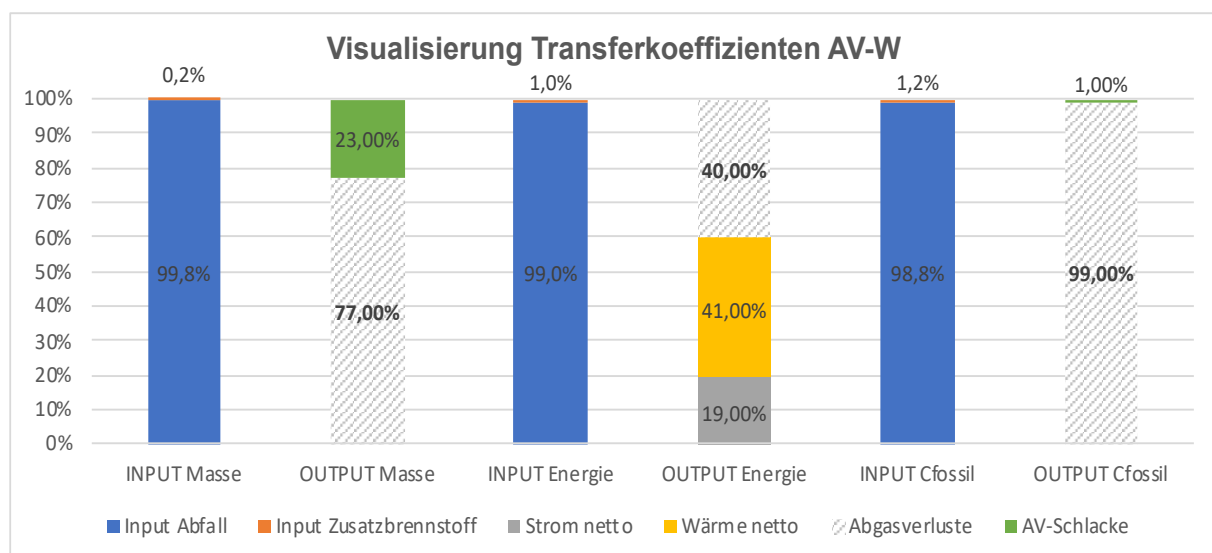


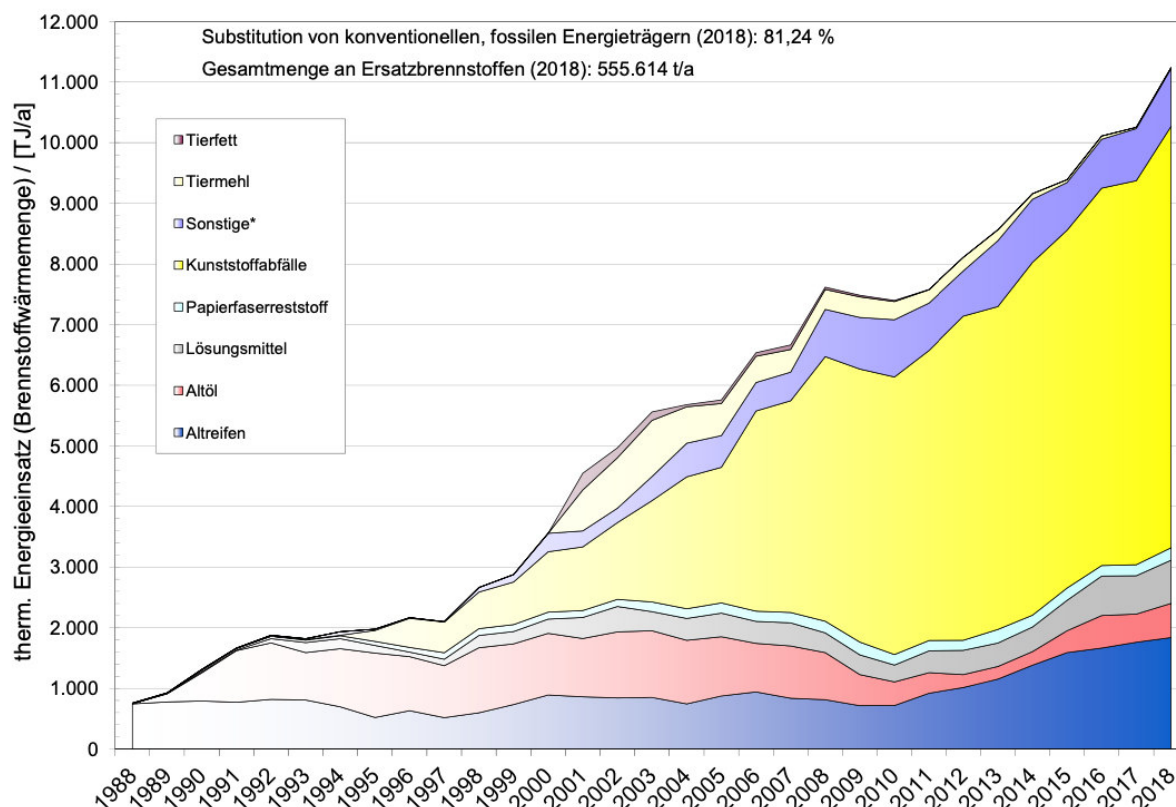
Abbildung 15: Die zusammengefasste Visualisierung der Transferkoeffizienten für die Wirbelschichtverbrennung mit beschriebenen Annahmen, wobei die Masse und der fossile Kohlenstoffinput durch den Zusatzbrennstoff je nach H<sub>u</sub> und C<sub>fossil</sub> Gehalt des Abfallinputs variieren. Angeführte Werte ergeben sich bei einem Input-H<sub>u</sub> von 11,48 GJ/t

Die Inputs von Wirbelschichtanlagen variieren je nach Modell und Art der mechanischen/biologischen Vorbehandlung in ihren Eigenschaften hinsichtlich Heizwert und fossilem Kohlenstoffgehalt. Die Wirkungsgrade von Rost- und Wirbelschichtverbrennung werden als gleich angenommen und die Bilanzierung ist bei der AV-W bis auf die vorher aussortierten Metalle ident.

Die AV-W ist Zielanlage für die mittelkalorischen, mechanisch aufbereiteten Abfälle aus den Modellen 31 (gesamte HWR-Fraktion in AV-W) und 32 (nur MK HWR-Fraktion in AV-W) und der biologisch vorbehandelten Mengen aus Modell 34 (getrocknetes Material in AV-W). Außerdem werden der AV-W alle Sortierreste der getrennten Sammlung sowie der Sortierrest der EBS-Produktion mit Eigenschaften von Restmüll zugerechnet.

#### 4.11.4 Abfallmitverbrennungsanlage Zementwerk (Zem)

Für die Zementproduktion ist in Österreich die Drehrohrofentechnologie von Bedeutung und diese wird auch für die gegenständliche Arbeit angenommen, wenn der Prozess Zementwerk beschrieben wird. In österreichischen Zementwerken substituierten Ersatzbrennstoffe fossile Energieträger zu 81,24% im Jahr 2018. (Mauschitz, 2019) Ein Großteil der Ersatzbrennstoffe wird aus Siedlungsabfällen hergestellt, wie in folgender Grafik der Rubrik „Kunststoffabfälle“ zuzuordnen sind. Zu den genannten Kunststoffabfällen werden aber auch Rückstände aus der Kunststoffproduktion gezählt.



\* Sägemehl, Altholz, Gummiabfälle, heizwertreiche Fraktion, landwirtschaftliche Rückstände...

Abbildung 16: Einsatz der unterschiedlichen Arten von Ersatzbrennstoffen in österreichischen Zementwerken über die letzten Jahre (Mauschitz, 2019)

Es ist möglich Zementwerke auch mit 100% substituierten Brennstoffen zu betreiben. (Sarc, 2015) Eine weitere Erhöhung des durchschnittlichen Substitutionsgrades ist also möglich. Für das Standardszenario „status quo“ wird der aktuelle Substitutionsgrad als Mittelwert über alle österreichischen Zementwerke herangezogen, der auch zur Definition der verwendeten Energie in der Modellierung von Zementwerken verwendet wird.

Es wird dafür ein Energiemix im Zementwerk definiert, der sich aus folgenden Brennstoffen zusammensetzt:

- Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen (Zem HK EBS und MBA Output MK, zusammengefasst EBS/SA) – entspricht dem Anteil der „Kunststoffe“ gem. Abbildung 16,

- Der Energiemix der alternativen Brennstoffe ohne jener von Siedlungsabfällen (Mix Alternativ) und
- Der fossile Energiemix, der zusätzlich zum Ersatzbrennstoff noch verbrannt werden muss. (Mix Fossil)

Je nach Substitutionsgrad verändern sich die Verhältnisse der Ströme, wobei für alle Ersatzbrennstoffe eine Einsparung von fossiler Energie als Gutschrift eingerechnet wird. Alle Last- und Gutschriften im Prozess „Zementwerk“ sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 34: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess „Zementwerk“ (Zem)

KEA-Bilanz Zementwerk	CO <sub>2</sub> -Bilanz – Zementwerk
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Input Zem-HK EBS	Input Zem-HK EBS
Input MBA Output MK	Input MBA Output MK
Mix Alternativ	Mix Alternativ THG-relevante Emissionen
KEA-Strom	Stromemissionen
Mix Fossil nach Substitutionsgrad	Emissionen Mix Fossil nach Substitutionsgrad
<b>Gutschrift (–)</b>	<b>Gutschrift (–)</b>
KEA-Einsparung Mix Fossil durch Zem-HK EBS	Einsparung Mix Fossil durch Zem-HK EBS
KEA-Einsparung Mix Fossil durch MBA Output MK	Einsparung Mix Fossil durch MBA Output MK
KEA-Einsparung Mix Fossil durch Mix Alternativ	Einsparung Mix Fossil durch Mix Alternativ

Da für den Prozess auch Strom benötigt wird, wird dieser ebenfalls den Lastschriften addiert. Aus den Angaben des durchschnittlichen Stromverbrauchs von 0,407 GJ pro Tonne Zement von Mauschitz (2019) kann bei einer Jahresproduktion von 5.241.524t Zement ein Gesamtstromverbrauch von 2.133,3 TJ errechnet werden. Teilt man diesen durch die Menge verbrauchter Brennstoffe ergibt sich ein Wert von 3,238 GJ/t<sub>Brennstoff</sub> bzw. 3,839 GJ/t<sub>EBS/SA</sub>. Die Höhe des Stromverbrauchs in IFEU (2007) wird mit 1,224 GJ/t<sub>EBS/SA</sub> für deutsche Zementwerke angegeben. Aufgrund der aktuelleren Daten von Mauschitz (2019) und die Messwerte aus österreichischen Anlagen wird der Wert dieser Quelle zur weiteren Berechnung verwendet. Die Annahmen für fossilen und alternativen Brennstoffmix (ohne EBS/SA) können Tabelle 35 bis Tabelle 40 entnommen werden. Die entsprechenden Heizwert-, Emissions- sowie KEA-Anteile wurden jeweils nach Energieeinsatzmenge gewichtet. Das Ergebnis für H<sub>u</sub>, KEA und CO<sub>2</sub>äq der letzten Zeile jeder Tabelle gibt dann die durchschnittlichen Eigenschaften der kumulierten Ströme für die in den Modellen verwendeten Werte wieder.

Tabelle 35: Zusammensetzung des fossilen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken und Bestimmung eines durchschnittlichen Heizwertes des „Mix fossil“

BRENNSTOFFMIX FOSSIL Zementwerk	H <sub>u</sub> OS	Gewichtete Mittelwerte	Energieeinsatz/a	Energieanteil
Quelle: (Mauschitz, 2019)	GJ/t	Anteile GJ/t fossil mix	GJ/a	%
Erdgas	51,04	2,10	106.843	4,12%
Steinkohle	28,50	7,36	670.184	25,83%
Braunkohle	22,00	10,73	1.265.143	48,76%
Heizöl leicht (0,2 m% S)	41,70	0,34	21.121	0,81%
Heizöl schwer (1-3,5 m% S)	39,50	0,84	55.000	2,12%
Petrolkoks	30,40	5,44	464.376	17,90%
Sonstige	42,70	0,20	12.143	0,47%
<b>H<sub>u</sub> in GJ/t Mix Fossil (nach Energieanteilen)</b>		<b>27,01</b>	<b>2.594.810</b>	<b>100,00%</b>

Tabelle 36: CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen bezogen auf die eingesetzte Energie aus fossilen Brennstoffen und Berechnung eines durchschnittlichen KEA für den „Mix fossil“

BRENNSTOFFMIX FOSSIL Zementwerk	CO <sub>2</sub> äq fossil		KEA	
Quelle: (IPCC, 2006a; Mauschitz, 2019) *Annahmen	t CO <sub>2</sub> fossil/GJ	Anteile t CO <sub>2</sub> fossil/GJ	GJ <sub>prim</sub> /GJBrennstoff	Anteile KEA
Erdgas	0,0562	0,0023	1,178	0,049
Steinkohle	0,0987	0,0255	1,142	0,295
Braunkohle	0,0979	0,0477	1,056	0,515
Heizöl leicht (0,2 m% S)	0,0743	0,0006	1,162	0,009
Heizöl schwer (1-3,5 m% S)	0,0813	0,0017	1,135	0,024
Petrolkoks	0,0977	0,0175	1,000*	0,179
Sonstige	0,0743	0,0003	1,120*	0,005
<b>t CO<sub>2</sub> fossil/GJ Mix Fossil</b> entspricht t C fossil/GJ Mix Fossil <b>entspricht in t C<sub>fossil</sub>/t Mix Fossil</b>		<b>0,095725</b> 0,02612258 <b>0,705467</b>	<b>KEA Mix Fossil</b>	<b>1,0761</b>

Tabelle 37: Zusammensetzung des alternativen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken ohne Berücksichtigung der Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfall und Bestimmung eines durchschnittlichen Heizwertes des „Mix alternativ“

BRENNSTOFFMIX ALTERNATIV Zementwerk	H <sub>u</sub> OS	Gewichtete Mittelwerte	Energieeinsatz/a	Energieanteil
Quelle: (Mauschitz, 2019) *definiert im Anhang	GJ/tos	Anteile GJ/t alternativ	GJ/a	%
Altreifen	29,8	12,77	1.836.825	42,84%
Altöl	34,6	4,58	567.241	13,23%
Lösungsmittel	27	4,48	712.076	16,61%
Landwirtschaftl. Rückstände	16,91	0,10	24.632	0,57%

Papierfaserreststoff	5,07	0,24	204.159	4,76%
Sonstige biogen*	18,26	3,24	760.097	17,73%
Sonstige fossil*	18,26	0,78	182.741	4,26%
<b>H<sub>u</sub> in GJ/tos Mix Alternativ (nach Energieanteilen)</b>	<b>26,18</b>	<b>4.287.771</b>	<b>100,00%</b>	

Tabelle 38: Bestimmung der spezifischen fossilen Kohlenstoffgehalte der einzelnen alternativen Brennstoffe und Berechnung eines durchschnittlichen fossilen Kohlenstoffgehalts des „Mix alternativ“

<b>BRENNSTOFFMIX ALTERNATIV Zementwerk</b>	<b>Gehalt C fossil</b>		<b>KEA</b>
Quellen: *(ÖWAV, 2004) **(Hackl und Mauschitz, 2007) ***Annahmen	t C <sub>fossil</sub> /tos	t C <sub>fossil</sub> /GJ	GJ <sub>prim</sub> /GJ <sub>Brennstoff</sub>
Altreifen*	0,4709	0,01580	
Altöl*	0,885	0,02558	
Lösungsmittel**	0,5084	0,01883	
Landwirtschaftl. Rückstände***	0	0	
Papierfaserreststoff***	0	0	
Sonstige biogen***	0	0	
Sonstige fossil**	0,45843761	0,025106112	
<b>t C<sub>fossil</sub>/GJ Mix Alternativ (nach Energieanteilen)</b>	<b>0,014349501</b>	<b>0,014349501</b>	<b>1</b>
<b>entspricht in t C<sub>fossil</sub>/tos Mix Alternativ</b>	<b>0,422753749</b>		

Die Modellierung des Prozesses „Zementwerk“ basiert auf der Inputmenge der Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen (EBS/SA) und die Stoffströme Mix Alternativ sowie Mix Fossil werden auf Basis der durch EBS/SA eingebrachten Energiemenge berechnet.

Tabelle 39: Berechnung des Energieverhältnisses von EBS aus Siedlungsabfällen und dem „Mix alternativ“ laut Literatur

<b>VERTEILUNG EBS-SA und MIX ALTERNATIV</b>	<b>EBS-Energie</b>	<b>Anteil EBS-Energie</b>
berechnet nach (Mauschitz, 2019)	GJ/a	%
EBS aus Siedlungsabfällen (EBS-SA)	6.950.669	<b>61,85%</b>
Brennstoffmix Alternativ	4.287.771	<b>38,15%</b>
<b>ENERGIEEINSATZ alternativ, gesamt</b>	<b>11.238.440</b>	<b>100,00%</b>



Tabelle 40: Energieinput in österreichische Zementwerke nach Literatur und dem tatsächlichen energetischen Substitutionsgrad (2018) von 81,24%

ENERGIEINPUT-MIX ZEMENTWERKE GESAMT	$H_u$	Energieeinsatz	Energieanteil	Substitutionsrate
berechnet nach (Mauschitz, 2019)	GJ/t	GJ/a	%	%
Brennstoffmix Fossil	27,01	2.594.810	18,76%	18,76%
Brennstoffmix Alternativ	26,18	4.287.771	31,00%	<b>81,24%</b>
EBS-SA ( $H_u$ variiert mit Modell/Szenario)	17,77935174	6.950.669	50,25%	
<b>Mittelwerte und Summen</b>	<b>22,114</b>	<b>13.833.250</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

In der Modellierung sind zwei veränderliche Parameter vorhanden. Einerseits, der Substitutionsgrad und andererseits das Energieaustauschverhältnis. Letzteres ist zu berücksichtigen, wenn bei Industriefeuerungen ein feststehendes Temperaturniveau benötigt wird, das für den Ablauf einer Reaktion notwendig ist, in diesem Fall die Stoffumwandlung zu Klinker im Zementwerk. Wenn eine bestimmte Temperatur in einem Prozess erreicht werden muss, kann dies zu einem erhöhten Brennstoffbedarf an Brennstoffen mit niedrigerem Heizwert führen. Das Energieaustauschverhältnis beschreibt das Verhältnis der Heizwerte von eingesetztem Ersatzbrennstoff zu eingesetztem Primärbrennstoff bei einem gewissen, zu erreichenden Temperaturniveau. (CUTEC, 2016)

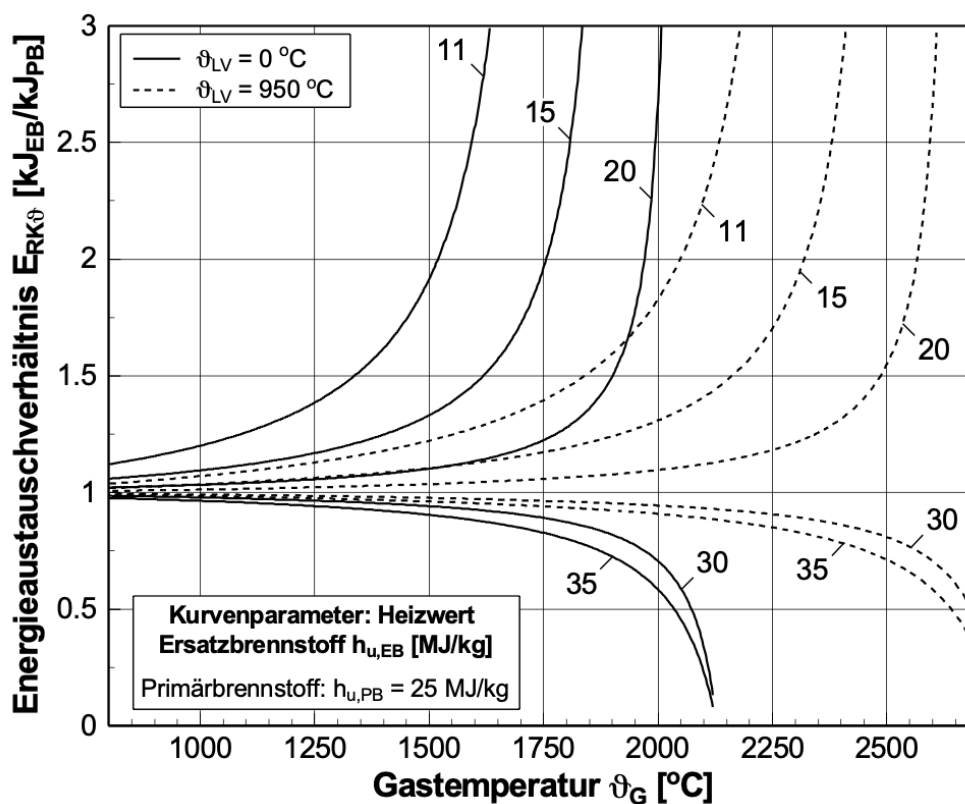


Abbildung 17: Energieaustauschverhältnis als Funktion der Prozesstemperatur, EBS-Heizwert und Luftvorwärmung (Beckmann u. a., 2002)

Für alle österreichischen Zementwerke, wird die Luftvorwärmung auf 950°C angenommen und damit aus Abbildung 17 abgelesen, dass für Temperaturen um 2000°C in der Primärfeuerung, das Energieaustauschverhältnis für hochkalorische EBS/SA (S-Nr. 15 – Zem HK EBS) mit einem Heizwert zwischen 17 und 19 MJ/kg zwischen 1,05 und 1,15 liegt. Daraus wird angenommen, dass das durchschnittliche Energieaustauschverhältnis für Zem HK EBS bei 1,10 liegt.

Die Calcinatorfeuerung (siehe Abbildung 18) kann auch mit niedrigeren Heizwerten arbeiten und dient in den Modellen als Feuerungsoption für den mittelkalorischen MBA-Output. Da hier niedrigere Temperaturen im Bereich 1000°C notwendig sind und durch den Zyklonvorwärmer von einer Erwärmung der Luft ausgegangen werden kann, wird im Bereich der Calcinatorfeuerung ein Energieaustauschverhältnis von 1,00 angenommen.

Im Zementwerk spielt insbesondere der Aufgabeort des Brennstoffs eine wichtige Rolle, da die Ersatzbrennstoffe an unterschiedlichen Aufgabeorten unterschiedliche Anforderungen erfüllen müssen. In Abbildung 18 wird ersichtlich, dass der Gesamtbrennstoffmix für die Primärfeuerung im Drehrohr mindestens einen Heizwert von 22 MJ/kg OS haben muss. Das bedeutet, dass der Mix aus hochkalorischem Anteil aus EBS/SA (S-Nr. 15 – Zem HK EBS), Mix Alternativ und Mix Fossil diesen Wert erreichen oder übersteigen muss, um benötigte Temperaturen für den Ablauf des Kalzinierungsprozesses zu gewährleisten.

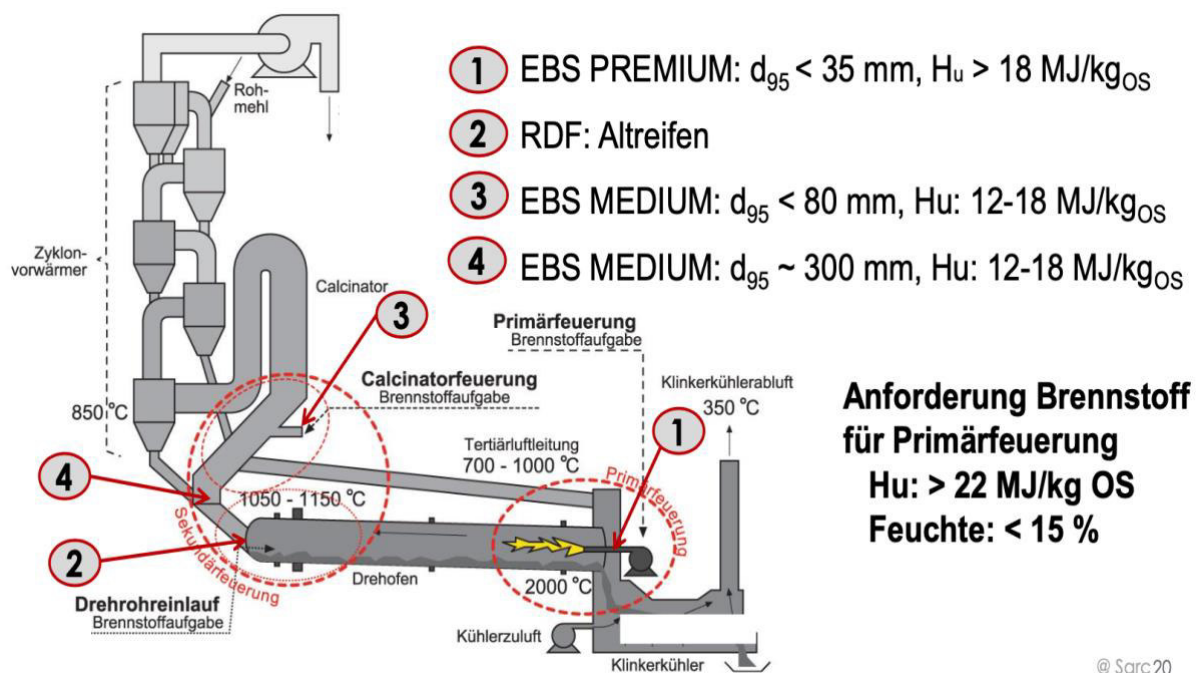


Abbildung 18: Aufgabemöglichkeiten für Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie mit Drehrohrentechnologie und Zyklonvorwärmer (Lorber u. a., 2015)

In Mauschitz (2019) wird leider nicht zwischen den Aufgabeorten unterschieden und aus den Daten lässt sich lediglich die Verteilung zwischen EBS/SA und Mix Alternativ berechnen. Daher wird in der Modellierung des Prozesses die Energieverteilung zwischen EBS/SA (Summe aus Zem HK EBS und MBA MK Output) und Mix Alternativ als statisch angenommen und der Anteil des Mix Fossil ebenso abhängig vom Substitutionsgrad allgemein auf die

Gesamtenergiemenge aus Ersatzbrennstoffen aufgeschlagen. Für die Energie- und CO<sub>2</sub>-Äq-Bilanz macht der unterschiedliche Aufgabeort, abgesehen von den Energieaustauschverhältnissen, wenig Unterschied.

#### 4.11.4.1 Referenzsystem Zementwerk

Die Berechnung eines Referenzsystems für Zementwerke ist notwendig, um zu bestimmen, wie viel Energie bzw. CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen eingespart werden, wenn statt fossiler Brennstoffe im Zementwerk Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden. Hierfür wird der durchschnittliche Mix von fossilen Brennstoffen, die in Zementwerken eingesetzt werden, herangezogen. Dabei wird die durch Ersatzbrennstoffe eingebrachte Energie durch das Energieaustauschverhältnis dividiert, um die Menge an Energie aus Primärbrennstoffen zu erhalten. Anschließend werden der KEA und die CO<sub>2</sub>-Äq Emissionen, die jener Energie aus Primärbrennstoffen entsprechen berechnet und als Gutschrift der KEA-, bzw. CO<sub>2</sub>-Äq Bilanz abgezogen. Bei den Gutschriften wird das Material, das durch Co-Processing des Ersatzbrennstoffs, also der gleichzeitigen stofflichen und thermischen Verwertung eingespart wird, nicht berücksichtigt.

In den Stan-Modellierungen der Kapitel 5.2.2 und 5.3.1 wird die Produktion des Klinkers nicht berücksichtigt, da die Einteilung des Abfalls in eine „recycelte -“ und „nicht recycelte Fraktion“ im Vordergrund steht. Daher wird im Mengenflussdiagramm lediglich die Menge EBS/SA-Input dargestellt, die anschließend zur Gänze der „nicht recycelten“ Fraktion zugerechnet wird.

Tabelle 41: Beispiel für die Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne hochkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

Zem/Tonne „Zem HK EBS“	KEA /t Zem-HK EBSos	CO <sub>2</sub> -Äq/t Zem-HK EBSos
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> -Äq/tos
Input Zem-HK EBS	17,78	0,910
Strom	6,17	0,133
Einsparung fossil HK	-17,39	-1,532
Mix Alternativ	10,97	0,642
Einsparung Mix Alternativ	-11,80	-1,039
Mix Fossil	7,14	0,629
SUMME LASTSCHRIFT	42,05	2,313
SUMME GUTSCHRIFT	-29,18	-2,570
<b>SUMME</b>	<b>12,87</b>	<b>-0,257</b>

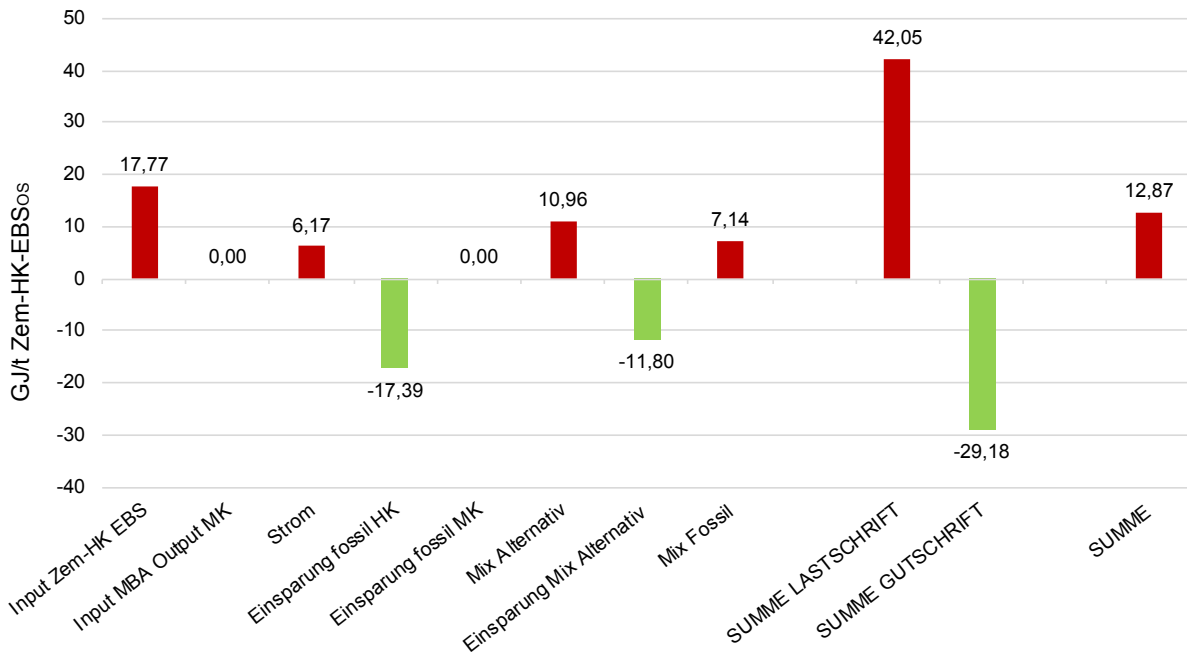


Abbildung 19: Visualisierung der KEA-Bilanzierung für 1t hochkalorischen Ersatzbrennstoff aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

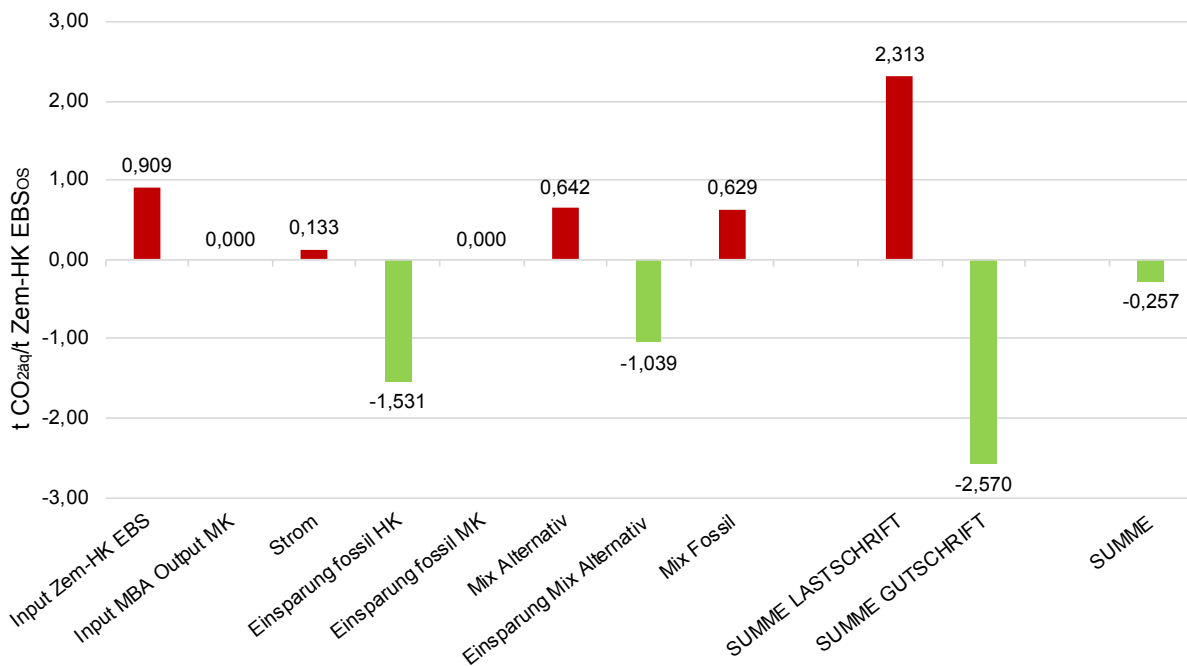


Abbildung 20: Visualisierung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung für 1t hochkalorischen Ersatzbrennstoff aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

Die Bilanzierung für eine Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs in der Zementindustrie ist theoretisch, da in keinem der Modelle ausschließlich mittelkalorische Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden. Dies hätte eine Veränderung der Substitutionsrate zur Folge und wäre mit den angenommenen Parametern technisch, bei gleicher Substitutionsrate nicht möglich, da mittelkalorischer Brennstoff nicht in der Primärfeuerung eingesetzt werden kann. Folgende Darstellungen dienen daher nur der Vollständigkeit.

Tabelle 42: Beispiel für die Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

Zem/Tonne „MBA Output MK“	KEA /t MBA Output MKos	CO <sub>2</sub> -Äq/t MBA Output MKos
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Input MBA Output MK	11,50	0,544
Strom	6,17	0,133
Einsparung fossil MK	-12,37	-1,090
Mix Alternativ	7,09	0,416
Einsparung Mix Alternativ	-7,63	-0,672
Mix Fossil	4,62	0,407
SUMME LASTSCHRIFT	29,39	1,500
SUMME GUTSCHRIFT	-20,01	-1,762
<b>SUMME</b>	<b>9,38</b>	<b>-0,262</b>

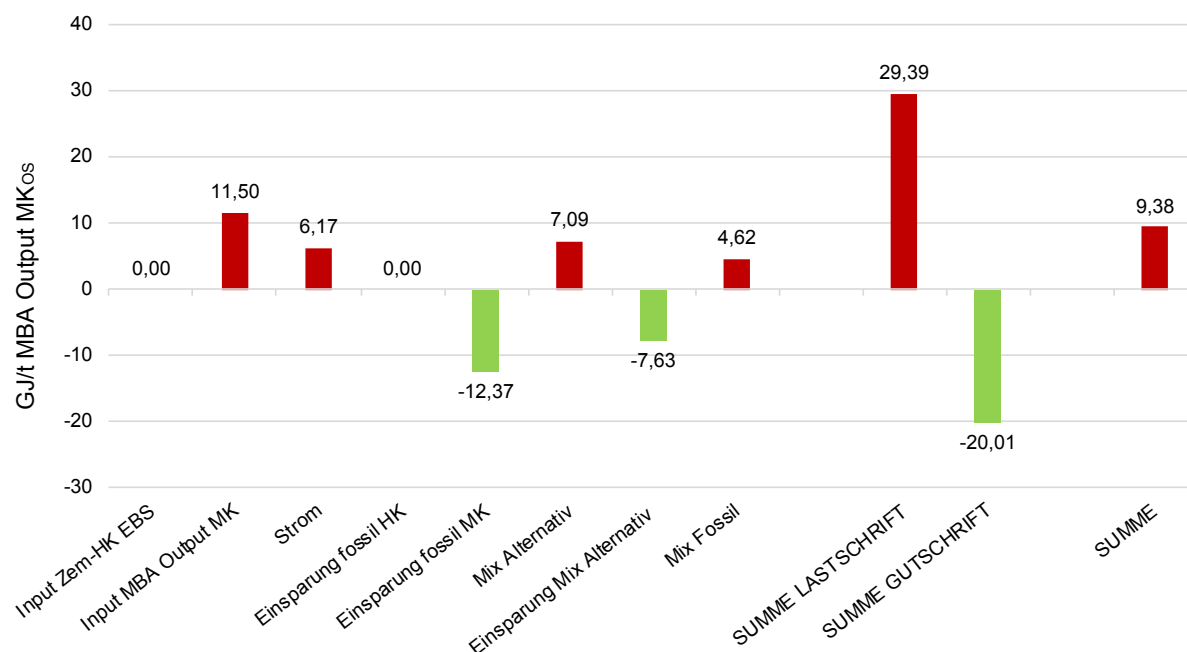


Abbildung 21: Theoretische Visualisierung der KEA-Bilanzierung für den alleinigen Einsatz einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA bei Einsatz im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

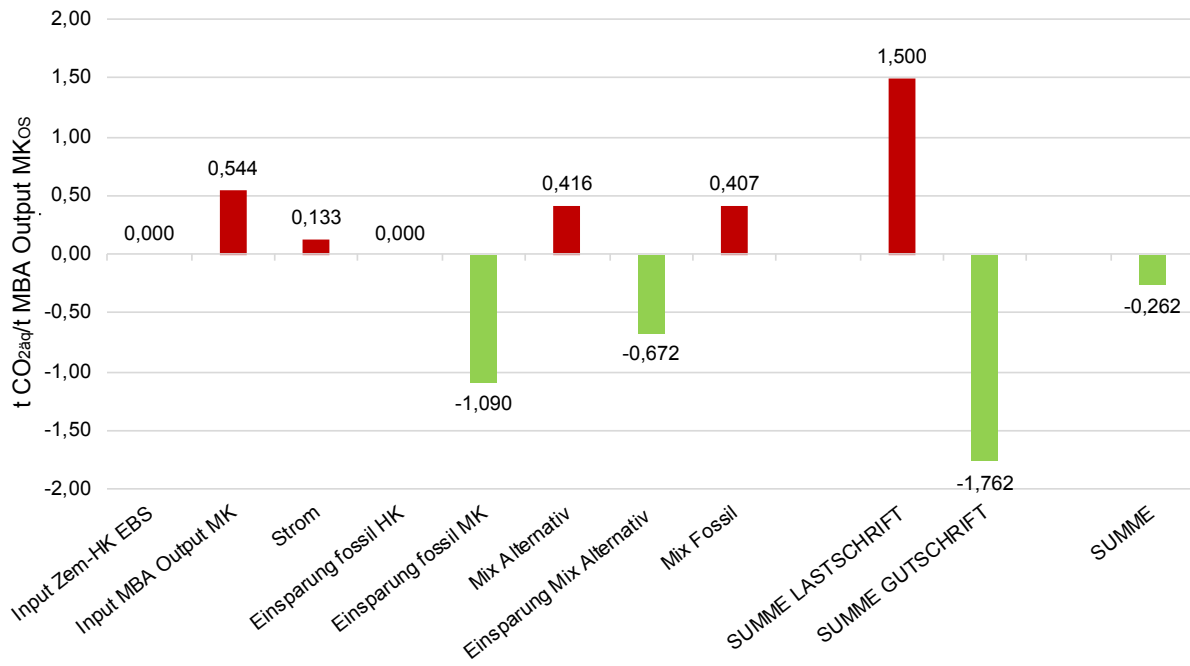


Abbildung 22: Theoretische Visualisierung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung für den alleinigen Einsatz einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA bei Einsatz im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten

## 4.12 Mechanisch-biologische Vorbehandlungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle

Mechanisch biologische Anlagen sind Vorbehandlungsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und Klärschlämme, die eine Verfahrenskombination aus mechanischer und biologischer Stufe aufweisen.

Die mechanische Stufe ist im Allgemeinen bei allen Anlagen sehr ähnlich. Sie sorgt für die nötige Zerkleinerung Abfalls und anschließende Ausschleusung einer oder mehrerer heizwertreicher Fraktionen, sowie Separation von Wert- und Störstoffen.

Grundsätzlich unterscheidet man drei Arten der MBA anhand ihrer biologischen Stufe:

- a. Vergärung und anschließende aerobe biologische Behandlung,
- b. Aerobe biologische Behandlung in Tunnel oder Mieten in Halle und
- c. Aerobe Trocknung in Tunnel oder Mieten in Halle

Anlagen mit Vergärung und anschließender aeroben biologischen Behandlung sind in Österreich nicht in Betrieb. Anlagen der aeroben biologischen Behandlung werden im Modell 31, 32 und 33 angewendet, wobei in 31 nur ein Output einer HWR-Fraktion und in 32 und 33 ein hochkalorischer Output für die weitere Produktion von Ersatzbrennstoffen und ein mittelkalorischer Output für die thermische Verwertung in einer Wirbelschichtanlage erfolgt. Bei allen Anlagen der aeroben biologischen Behandlung (Typ b) geht die Restfraktion der biologischen Stufe auf eine Massenabfalldeponie. Anlagen mit aerober Trocknung (Typ c) werden in Modell 34 beschrieben und haben einen in der Menge leicht erhöhten hochkalorischen Output für die EBS-Produktion, sowie einen mittelkalorischen Output aus der Trocknung, der abgesehen von aussortierten Metallen der einzige Output aus der Anlage ist. Zwischen biologischer Mieten- und Hallenbehandlung wird aufgrund geringer KEA und CO<sub>2</sub>-q-Unterschiede nicht differenziert und für die Abgaswerte werden Mittelwerte angenommen.

In Österreich waren 2017 14 Anlagen vom Typ b und c in Betrieb, wobei 12 Anlagen im Vollbetrieb waren, eine weitere nur Nachrotte und eine andere nur eine mechanische Vorbehandlung durchführte. Sie wiesen eine tatsächliche anlagenbauliche Betriebskapazität von rd. 545.700 t auf. (BMNT, 2019b)

In den Stan-Modellierungen der Kapitel 5.2.2 und 5.3.1 wird die Abgas- und Abluftthematik der MBA nicht visualisiert, da die Zuordnung der Abfälle in eine „recycelte-“ und „nicht recycelte Fraktion“ im Vordergrund der Arbeit steht.

### 4.12.1 Mechanisch-biologische Anlagen aerob (MBA)

Obig erwähnter Typ b der MBA, wird in diesem Unterkapitel beschrieben. Er kommt in drei Modellierungen zur Anwendung und hat daher auch unterschiedliche Transferkoeffizienten. Eine allgemeine Darstellung ist folgender Grafik zu entnehmen.

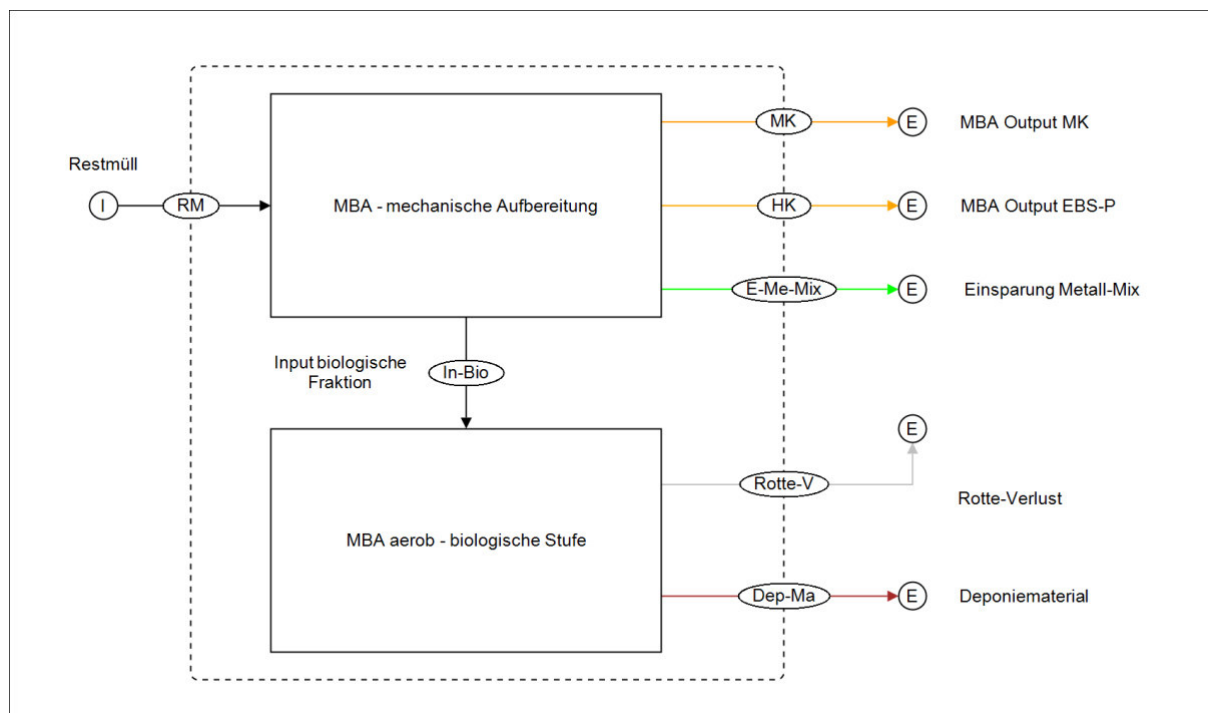


Abbildung 23: Visualisierung des Prozesses „MVA aerob“. Quelle: eigene Darstellung

Für diesen Prozess sind mehrere indirekte Emissionen zu berücksichtigen. Neben dem Energieverbrauch der mechanischen und biologischen Stufe sind vor allem die Prozessemissionen bei der biologischen Behandlung relevant und müssen erhoben werden. Außerdem ist das abgelagerte Material nicht völlig inert und bildet langfristig gesehen noch kleine Mengen an Deponiegas, das aufgrund der vielfachen Klimawirkung von Methan in der Atmosphäre selbst bei kleinen Mengen berücksichtigt werden sollte. Von besonderer Relevanz ist daher die Abluftreinigung von MBA-Anlagen, da diese die Klimawirksamkeit durch Oxidation der Methan- und Lachgas-Emissionen verringern können.

Bei der aeroben MBA wird zwischen zwei unterschiedlichen Betriebsweisen der MBA unterschieden. Typ b I, der in Modell 31 berechnet wird, produziert nur eine heizwertreiche Fraktion, die anschließend in einer Wirbelschichtanlage verwertet wird. Der für Modell 32 und 33 verwendete Typ b II produziert zwei heizwertreiche (HWR) Fraktionen, wobei jene mit dem höheren Heizwert in die EBS-Produktion gelangt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird angenommen, dass der Gesamtenergie- und  $C_{\text{fossil}}$ -Output der MBA-Anlagen in Summe gleich ist und dem Input des modellierten Restmülls aus Tabelle 13 entspricht. Die Werte für die Outputs wurden an folgende Literaturwerte (siehe Tabelle 14: Literaturvergleich zur Bestimmung benötigter Stoffströme) angelehnt bzw. nach Anforderungen der Realisierbarkeit in Abstimmung mit Sarc (2020) angenommen.



Im Folgenden werden die, durch Ermittlung/Annahme benötigter Stoffströme ermittelten Transferkoeffizienten der MBA Typen b I + II dargestellt.

Tabelle 43: Massen-Transferkoeffizienten für den Prozess „MBA aerob“ der in Modell 31, 32 und 33 verwendet wird

MBA aerob	Transferkoeffizienten - MASSE					
	MODELL 31 MBA + WS		MODELL 32 MBA + WS + EBS-P/Zem		MODELL 33 MBA + Zem + EBS-P/Zem	
in Anlehnung an: (Altendorfer, 2018; Sarc, 2020)						
Input-Bezeichnungen	INPUT		INPUT		INPUT	
Restmüll	100,0%		100,0%		100,0%	
Strom	-		-		-	
Diesel	-		-		-	
Output-Bezeichnungen		OUTPUT		OUTPUT		OUTPUT
MBA Output MK		59,50%		47,50%		47,50%
MBA Output EBS-P				12,00%		12,00%
Metall-mix		2,50%		2,50%		2,50%
Dep-Ma		16,00%		16,00%		16,00%
Rotte-V, H <sub>2</sub> O-V		22,00%		22,00%		22,00%
SUMME	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

In Altendorfer (2018) wurden diese Massetransferkoeffizienten angegeben und in Abstimmung mit Sarc (2020) leicht adaptiert, da ein in Altendorfer (2018) angegebenes Ausbringen von 19-20% Hochkalorik mit den durch Literaturangaben bestimmten Strömen zu negativen Werten führen würde.

Für den aussortierten Metall-mix wurden Anhaftungen aus fossilem Kohlenstoff nicht berücksichtigt und angenommen, dass kein fossiler Kohlenstoff über diesen Strom ausgetragen wurde. Weiter wurde kein Rotteverlust für fossilen Kohlenstoff berücksichtigt, da dieser nicht biologisch abbaubar ist.

Da der Rotte- und Wasserverlust als Differenz zwischen dem in die Anlage eingebrachten Abfall und dem Output aller physischen Stoffströme berechnet wird bzw. die Werte der HWR-Fractionen zwar auf Literaturdaten basieren jedoch trotzdem aufgrund der Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander angenommen werden mussten, wurden die Rotteenergieverluste mit Skutan und Brunner (2005) auf Plausibilität geprüft. Die Prüfung ergab sehr geringe Abweichungen zu den in der Studie in mehreren Anlagen gemessenen Werten und werden daher als plausibel bewertet. (Altendorfer, 2018; Sarc, 2020; Skutan und Brunner, 2005)

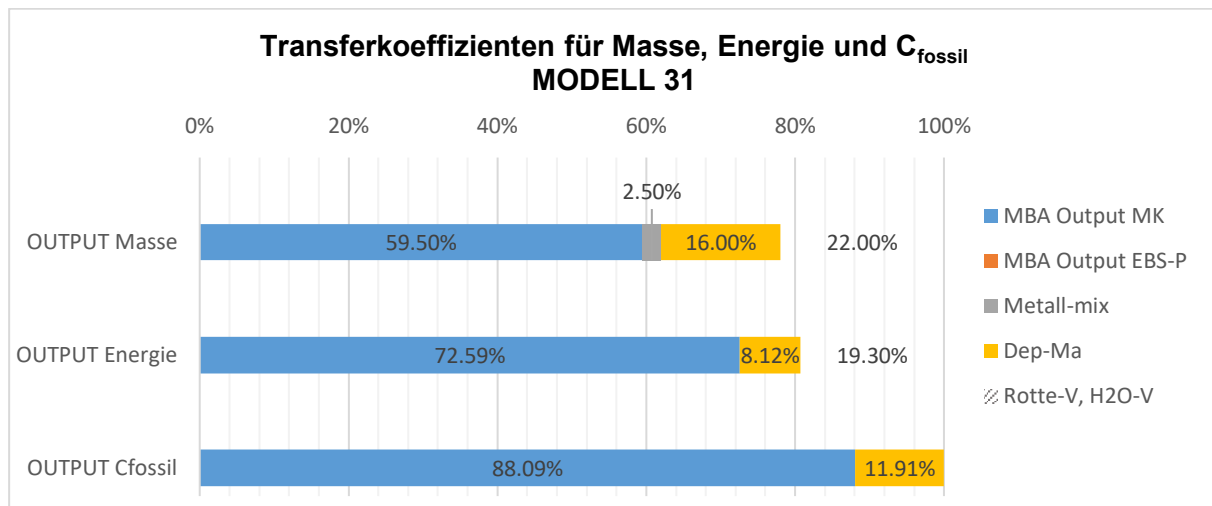


Abbildung 24: Visualisierung der Transferkoeffizienten für MBA Typ b I mit Output einer HWR-Fraktion

Der Energieverlust in der Rotte der aeroben MBA liegt bei ca. 20% der im Abfall enthaltenen Energie. Zu bemerken ist auch, dass ca. 90% des gesamten fossilen Kohlenstoffs über die HWR-Fraktionen ausgetragen werden und damit nicht auf einer Deponie abgelagert werden. In 4.12.3 Vergleich der unterschiedlichen MBA-Modellierungen wird noch einmal auf die Unterschiede zwischen den modellierten Anlagentypen und deren Outputverteilungen eingegangen.

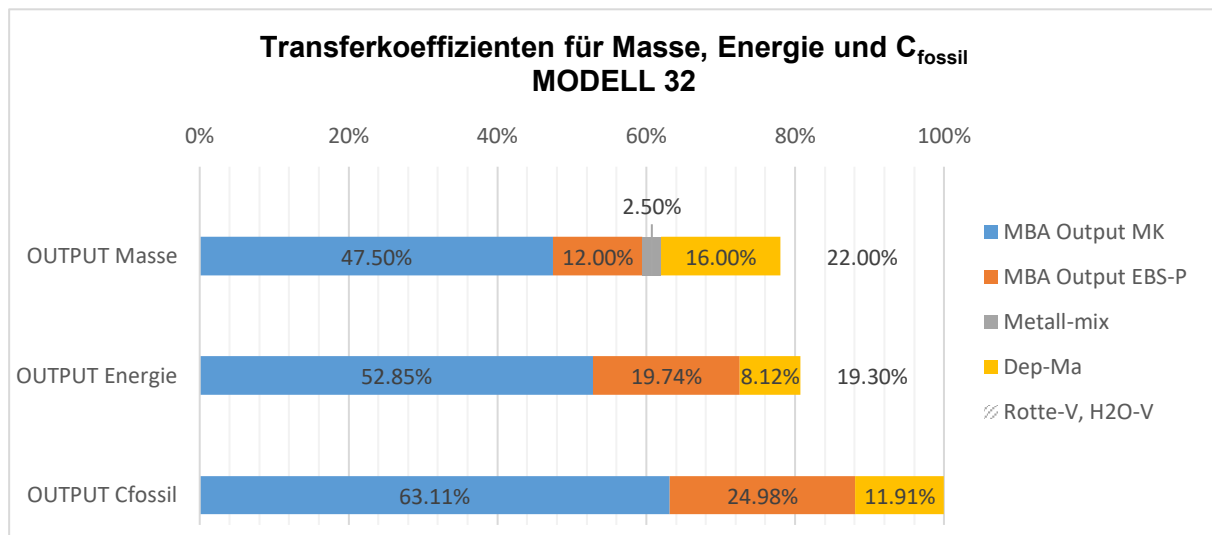


Abbildung 25: Visualisierung der Transferkoeffizienten der Modelle 32 und 33 für MBA Typ b II mit Output von zwei HWR-Fraktionen

Transferkoeffizienten aus Abbildung 25 gelten auch für das Modell 33, da sich die Modelle nur in ihren Zielanlagen der thermischen Verwertung, nicht jedoch in der Anlagentechnik der MBA-Anlage unterscheiden.

Die allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>äq-Bilanz für aerobe MBA-Anlagen in den Modellen setzt sich wie in Tabelle 44 zusammen.

Tabelle 44: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess „MBA aerob“ (MBA)

KEA-Bilanz – MBA aerob	CO <sub>2</sub> -Bilanz – MBA aerob
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Input Abfall	-
Strom	Stromemissionen
Diesel	Dieselemmissionen
-	Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O (nach Abluftreinigung)
-	Deponiegasemissionen aus Ablagerung Rottefraktion
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
Einsparung Metall-mix	Einsparung Metall mix
MBA Output MK	-
MBA Output EBS-P	-

Als Gutschrift beim kumulierten Energieaufwand wird jener Energieanteil abgezogen, der die Anlage in Form einer anderen Fraktion wieder verlässt bzw. außerhalb der Anlage zu Energieeinsparungen führt. Erdgas wird in diesem Fall vernachlässigt, da für den Anlagenbetrieb kaum Erdgas benötigt wird. (Sarc, 2020)

Für den Strom- und Dieserverbrauch von aeroben MBA-Anlagen ergibt ein Vergleich unterschiedlicher Literaturquellen folgende Ergebnisse, siehe Tabelle 45.

Tabelle 45: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der MBA aerob und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input

Energiebilanzdaten MBA aerob	Strom				Diesel			
	kWh/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall	l/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall
(Brunner u. a., 2000)	55	198,00	6,87	318,30	1,50	53,19	3,95	60,48
(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	41,6	149,76	5,19	240,75				
(Zeschmar-Lahl, 2005)	56,5	203,40	7,05	326,98	1,30	46,10	3,43	52,41
(Zeschmar-Lahl, 2005)	94,5	340,20	11,80	546,89	0,80	28,37	2,11	32,25
(UBA, 2011)					3,05	108,00	8,03	122,80
(UBA, 2011)	55	198,00	6,87	318,30	1,52	54,00	4,01	61,40
(TU Dresden, 2011)	38	136,80	4,74	219,91				
<b>Mittelwerte</b>	<b>56,767</b>	<b>204,36</b>	<b>7,09</b>	<b>328,52</b>	<b>1,634</b>	<b>57,93</b>	<b>4,31</b>	<b>65,87</b>

Tabelle 46: Literaturvergleich der direkten Prozessemissionen der MBA aerob, die im Rotteprozess der biologischen Fraktion nach Abgasreinigung an die Umgebungsluft abgegeben werden. Berechnung unter Annahme von 38 m% Input in biologische Behandlung

Direkte Prozessemissionen (Biologische Stufe) der MBA aerob				
Rotte + Nachrotte				Summe Prozess
Quelle	kg N <sub>2</sub> O/t Abfallinput MBA	kg CH <sub>4</sub> /t Abfallinput MBA	kg CO <sub>2</sub> äq/t Rotteinput	kg CO <sub>2</sub> äq/t Abfallinput MBA
(Zeschmar-Lahl, 2005)	0,065	0,0033	45,57	17,3174
(UBA, 2012)			49,47	18,8
(UBA, 2012)			59,47	22,6
(UBA, 2012)			68,68	26,1
(UBA, 2012)			101,05	38,4
(UBA, 2012)	0,0418	0,38	57,15	21,717
<b>Mittelwerte</b>	<b>0,053</b>	<b>0,192</b>	<b>63,568</b>	<b>24,156</b>

UBA (2012) beschäftigt sich ausschließlich mit der Klimarelevanz der Abluftreinigung in MBA-Anlagen und die Ergebnisse dieser Studie sind detailgenau für jeden Anlagentyp aufgeschlüsselt.

Laut UBA (2006) waren in Österreich von insgesamt damals 16 Anlagen sieben mit einem Staubfilter, 12 mit einem offenen oder geschlossenen Biofilter, fünf mit einem sauren und acht mit einem neutralen Nasswäscher ausgestattet. Damals war nur eine Anlage mit einer regenerativen thermischen Oxidation ausgerüstet. Da vom österreichischen Durchschnitt ausgegangen werden soll wurden die Ergebnisse der Studie für unterschiedliche Abgasreinigungssysteme gemittelt. (UBA, 2006)

Für Deponiegasemissionen konnten folgende Werte ermittelt bzw. berechnet werden.

Tabelle 47: Literaturvergleich der Deponiegasemissionen von Deponiematerial aus der aeroben MBA, unter Annahme von 16 m% Output Deponiematerial

Direkte Deponiegasemissionen		
Quelle	kg CO <sub>2</sub> äq/t Dep-Ma	kg CO <sub>2</sub> äq/t Abfallinput MBA
(Zeschmar-Lahl, 2005)	6,10	0,98
(Zeschmar-Lahl, 2005)	40,00	6,40
(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	21,25	3,40
(IFEU, 2007)	14,40	2,30
<b>Mittelwerte</b>	<b>20,438</b>	<b>3,270</b>

Die jeweiligen Mittelwerte wurden als Rechenwerte im Modell übernommen.

In den CO<sub>2</sub>-Bilanzen werden generell nur tatsächlich durch den Prozess ausgestoßene Emissionen berücksichtigt. Das bedeutet, dass in folgenden Bilanzen CO<sub>2</sub> weder beim Import- noch bei Exportströmen berücksichtigt wird.

Tabelle 48: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ b I – aerobe biologische Behandlung mit Output von nur einer HWR-Fraktion

MBA aerob – Modell 31	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Abfall Input MBA aerob	10,34	-
Strom MBA	0,33	0,007
Diesel MBA	0,07	0,004
Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O MBA	-	0,024
MBA Output MK	-7,50	-
MBA Output EBS-P	0,00	-
MBA Einsparung Me-mix	-0,73	-0,066
Ablagerung Rottefraktion MBA	-	0,003
SUMME LASTSCHRIFT	10,73	0,039
SUMME GUTSCHRIFT	-8,23	-0,066
<b>SUMME</b>	<b>2,50</b>	<b>-0,027</b>

Der positive kumulierte Energieaufwand besteht hauptsächlich aus dem Anteil des Rotteenergieverlusts und den in vorigen Tabellen angeführten Strom- und Dieselverbräuchen in der Anlage. Der Unterschied zwischen Modell 31, 32 und 33 liegt hauptsächlich an den unterschiedlichen Outputfraktionen und deren Verwertung, da deren Energieaufwand bei gleichen Anlagentypen hier nur durch unterschiedliche Outputströme ersichtlich ist.

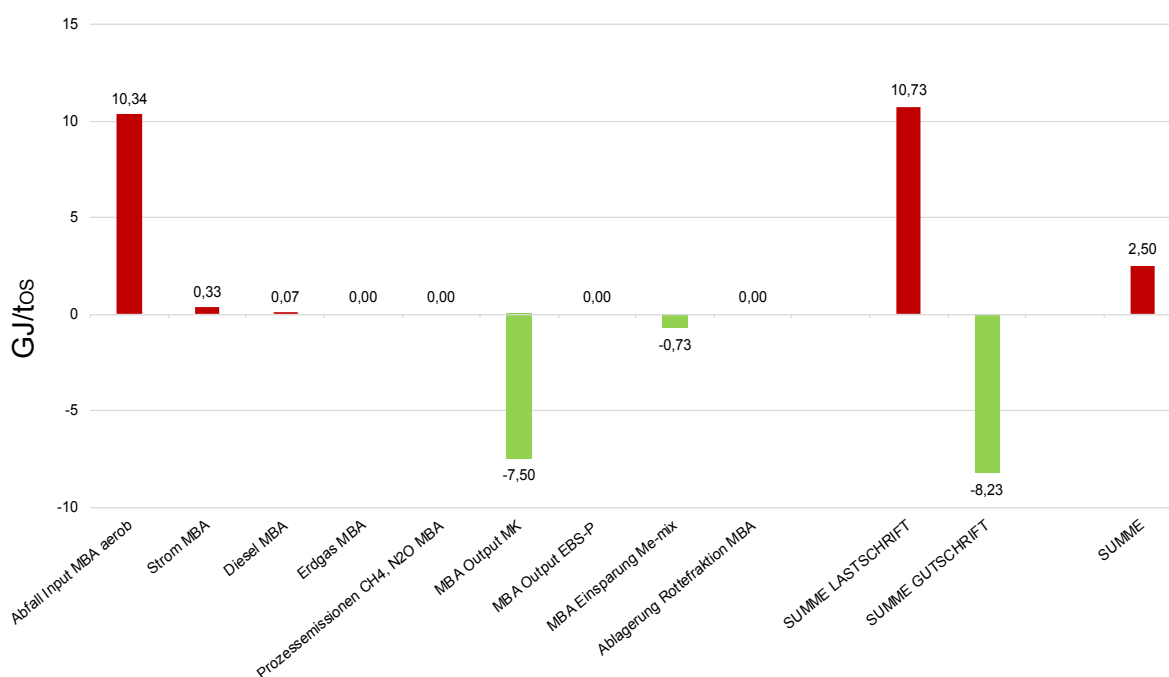


Abbildung 26: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ b I des Modells 31 mit einer HWR-Fraktion als Output

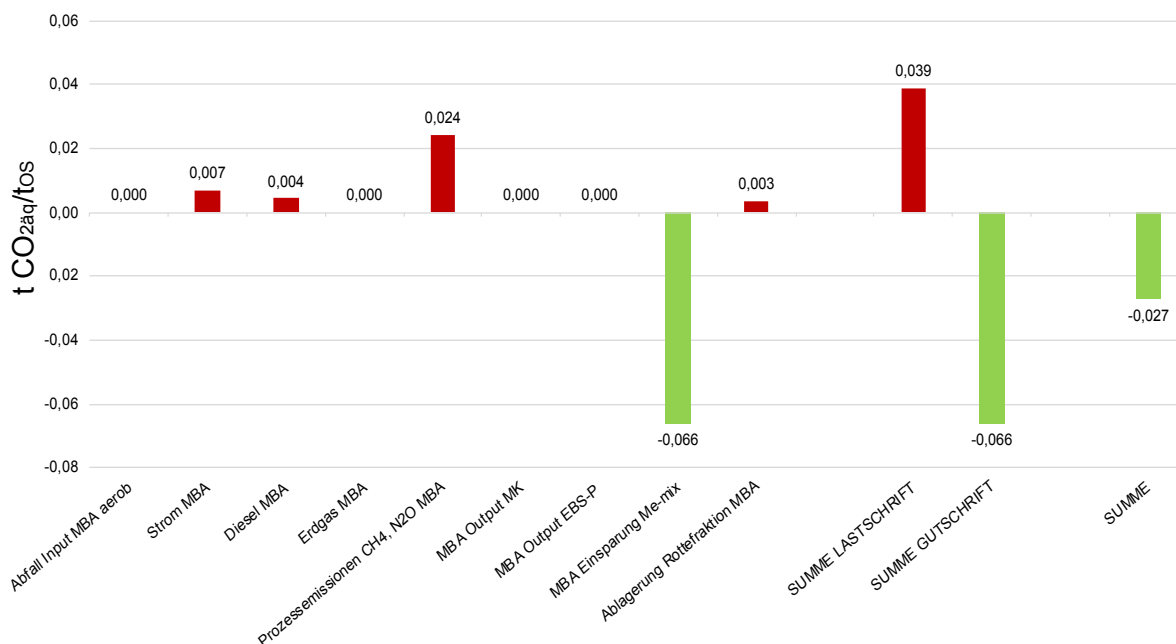


Abbildung 27: Visualisierung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ b I des Modells 31 mit nur einer HWR-Fraktion

Nun werden die KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen von einer Tonne Restmüll in den MBA Anlagen vom Typ b II genauer betrachtet, die sich durch Output von zwei HWR-Fractionen unterscheiden.

Tabelle 49: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ b II – aerobe biologische Behandlung mit Output von zwei HWR-Fractionen

MBA aerob – Modell 32, 33	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Abfall Input MBA aerob	10,34	-
Strom MBA	0,33	0,007
Diesel MBA	0,07	0,004
Erdgas MBA	0,00	0,000
Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O MBA	-	0,024
MBA Output MK	-5,46	-
MBA Output EBS-P	-2,04	-
MBA Einsparung Me-mix	-0,73	-0,066
Ablagerung Rottefraktion MBA	-	0,003
SUMME LASTSCHRIFT	10,73	0,039
SUMME GUTSCHRIFT	-8,23	-0,066
<b>SUMME</b>	<b>2,50</b>	<b>-0,027</b>

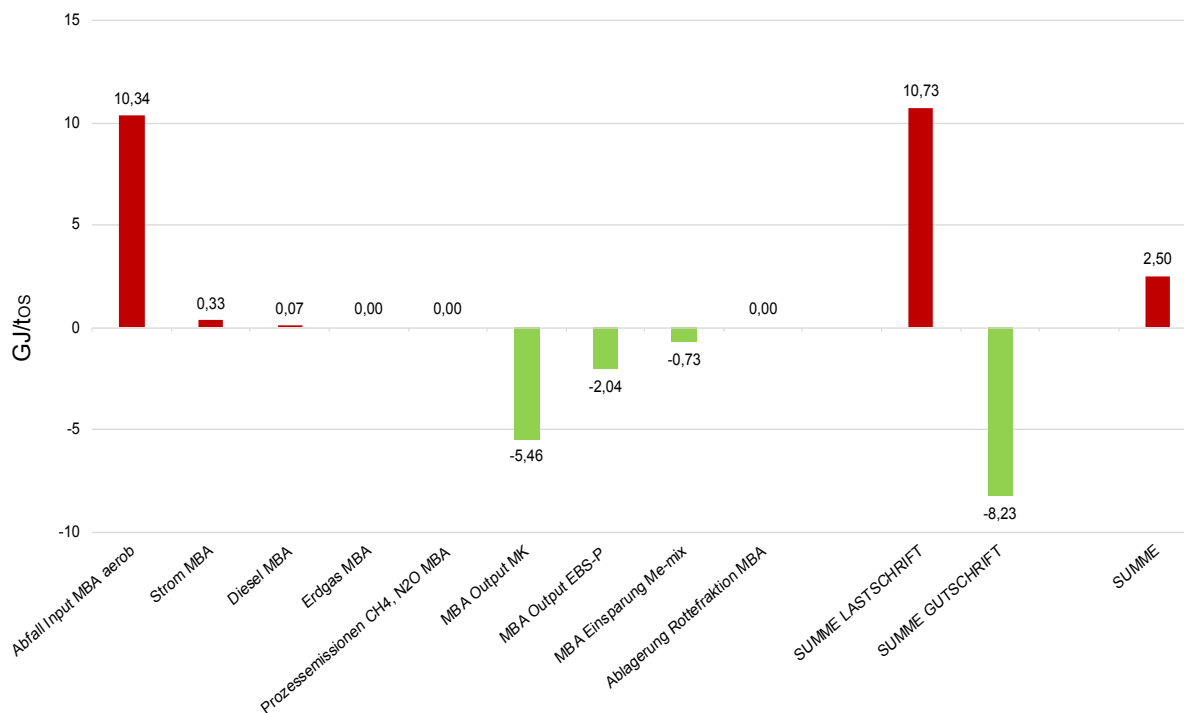


Abbildung 28: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ b II der Modelle 32, 33

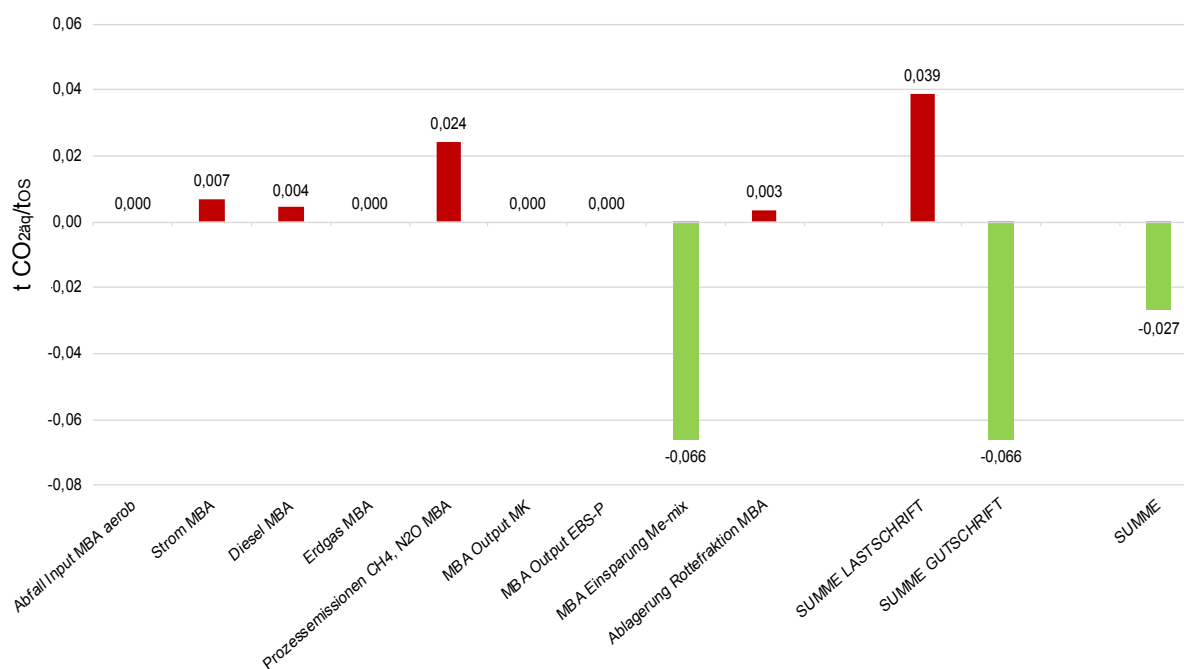


Abbildung 29: Visualisierung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ b II der Modelle 32, 33

### 4.12.2 Mechanisch-biologische Anlagen mit Trockenstabilisierung (MBA-tr)

Der Prozess der MBA-Trockenstabilisierung unterscheidet sich vom Prozess der aeroben MBA durch den Unterschied der Behandlung der biologischen Fraktion. Die mechanische Aufbereitung erzeugt nur eine hochkalorische Leichtfraktion und der Masseinput in die biologische Stufe ist deutlich höher. Die überwiegende Trocknung des Materials im Gegensatz zum weitgehenden Abbau des organischen Kohlenstoffs führt zu einer deutlich kürzeren Dauer der Behandlung des zu trocknenden Materials. Ziel der biologischen Trocknung ist es, durch intensive äußere Belüftung und teilweise durch die Wärme von Mikroorganismen, das Material so schnell wie möglich auszutrocknen, um den Heizwert für eine spätere thermische Verwertung zu erhöhen. (Soyez und Plickert, 2002)

Der Rotteverlust fällt durch weniger mikrobielle Aktivität und damit weniger Abbau von biologischem Kohlenstoff etwas geringer aus, dafür ist der Anteil der Wasserentfernung deutlich höher.

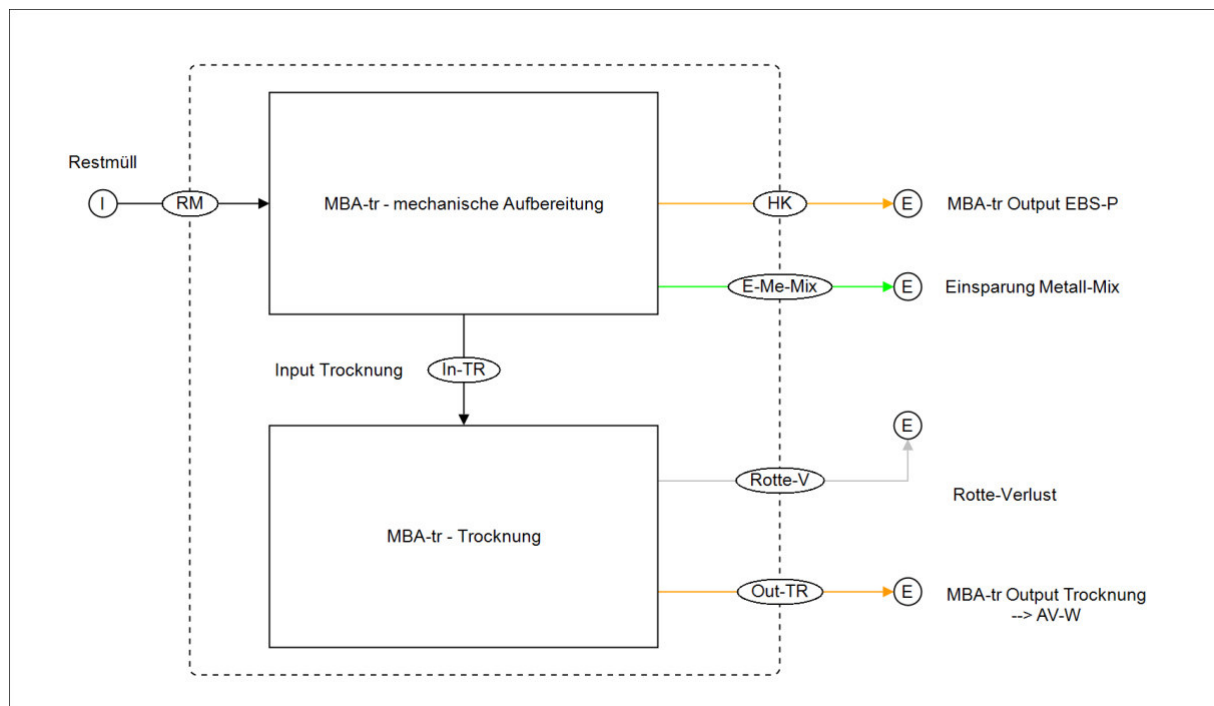


Abbildung 30: Visualisierung des Prozesses „MBA-tr“ mit biologischer Trocknung und anschließender Verwertung der getrockneten Fraktion in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage. Quelle: eigene Darstellung

Eine mittelkalorische Fraktion aus der mechanischen Vorbehandlung wird im Unterschied zu Altendorfer (2018) nicht berücksichtigt, jedoch wird im Vergleich zu den aeroben MBA-Anlagen mit 18 m% HWR-Fraktion ein etwas höheres Ausbringen der EBS-Fraktion mit gleichem  $H_u$ ,  $C_{\text{fossil}}$ -Gehalt angenommen. Insgesamt entspricht der Energie- und  $C_{\text{fossil}}$ -Output jedoch dem Input aus Restmüll, wie in Tabelle 13 definiert.

Daraus ergeben sich folgende Transferkoeffizienten:



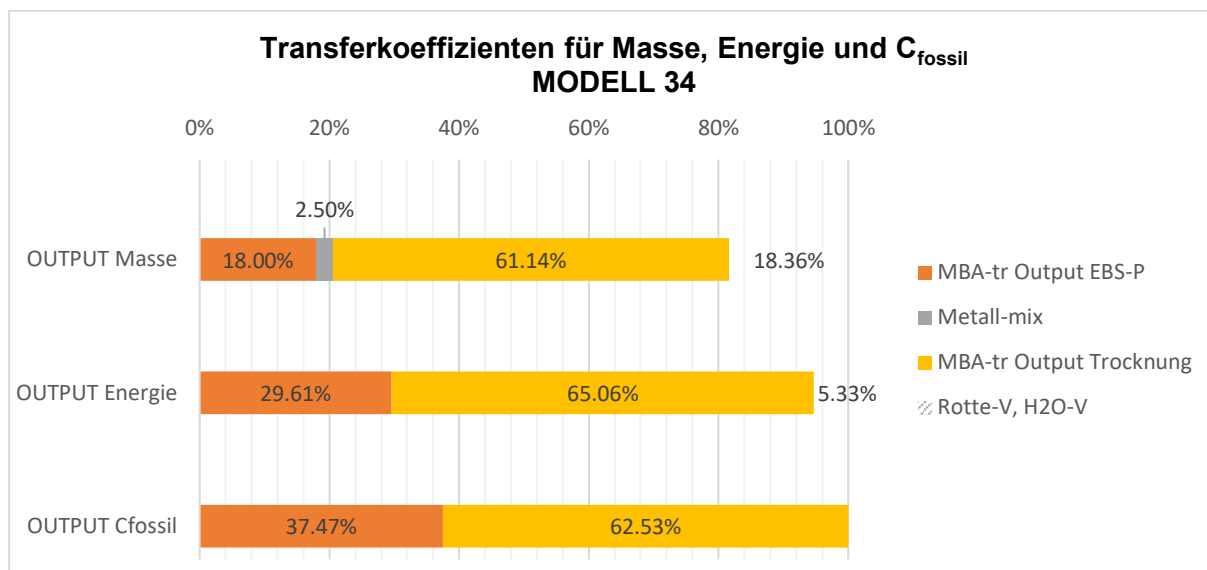


Abbildung 31: Transferkoeffizienten Masse, Energie und C<sub>fossil</sub> für die MBA-tr

Nach Skutan und Brunner (2005) und Sarc (2020) basiert die Berechnung des Rotte- bzw. Wasserverlustes auf den Annahmen, dass der Wassergehalt in der Originalsubstanz des Inputs der Trocknung ca. 30% beträgt und durch die Trocknung um 70% reduziert wird. Nach Messwerten von Skutan und Brunner (2015) beträgt der Masseabbau während der Trocknung lediglich 3 m% der Trockensubstanz. (Sarc, 2020; Skutan und Brunner, 2005)

Tabelle 50: Berechnung des Trocknungsprozesses und Ermittlung der Transferkoeffizienten für Masse für die MBA-tr

Berechnung Massenbilanz für Output Trocknung (TR) mit Annahmen: 70% Wassergehaltsverringerung, 3% TS Verlust durch biologischen Abbau							
m% / t Input MBA	m% / t Input TR	m% / t Input MBA		Verluste		m%	
79,50%	0,3	23,85%	Wasser (WG)	70,00%	WG Verringerung	7,16%	Out-TR WG
	0,7	55,65%	In-TR TS	3,00%	TS Verlust	53,98%	Out-TR TS
						<b>61,14%</b>	<b>Summe Out-TR</b>
						<b>18,36%</b>	<b>Verluste Wasser, Rotte</b>
79,50%	Summe In-TR	79,50%	Summe In-TR			79,50%	Kontrollsumme

Weiter werden nun die KEA- und  $C_{\text{fossil}}$ -Bilanz, sowie die Energie- und Dieserverbräuche der MBA-tr bestimmt.

Tabelle 51: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess „MBA mit Trockenstabilisierung“ (MBA-tr)

KEA-Bilanz – MBA-tr	CO <sub>2</sub> -Bilanz – MBA-tr
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Input Abfall	-
Strom	Stromemissionen
Diesel	Dieselemissionen
-	Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O (nach Abluftreinigung)
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
Einsparung Metall-mix	Einsparung Metall mix
MBA-tr Output MK	-
MBA-tr Output EBS-P	-
MBA-tr Output Trocknung	-

In diesem Prozess der MBA entfallen die Emissionen für die Ablagerung der Rotterestfraktion, da dieser Anteil thermisch verwertet wird.

Bei der Energiebilanzierung fällt auf, dass der Gesamtstromverbrauch geringer ist als bei der MBA, was aufgrund kürzerer Belüftungs- und damit Behandlungsdauer plausibel erscheint. Für den Dieserverbrauch wurde nur ein Wert in der Literatur gefunden, der im Vergleich zu den bei der MBA recherchierten Werte etwas hoch erscheint. Da die Prozesse der MBA aerob und MBA-tr vom Ablauf sehr ähnlich sind, wird der Dieserverbrauch der MBA aerob angenommen.

Tabelle 52: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der MBA-tr und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input

Quelle *Annahme	Strom				Diesel			
	kWh/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall	l/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall
(Ökoinstitut/IFEU, 2010)	38,9	140,04	4,86	225,12				
(European Commission, 2018)	37	133,2	4,62	214,13	5,076	180,00	13,38	204,66
(TU Dresden, 2011)	32	115,2	3,99	185,19		0,00	0,00	0,00
<b>Mittelwerte</b>	<b>35,967</b>	<b>129,48</b>	<b>4,49</b>	<b>208,15</b>	<b>1,634*</b>	<b>57,93</b>	<b>4,31</b>	<b>65,87</b>

Durch die kürzere Behandlungsdauer und den sehr geringen Kohlenstoffabbau durch Rotte fallen auch die Prozessemissionen erwartungsgemäß etwas geringer als bei einem biologischen Rottevorgang.

Tabelle 53: Literaturvergleich der direkten Prozessemissionen der MBA-tr, die im Trocknungsprozess der biologischen Fraktion nach Abgasreinigung an die Umgebungsluft abgegeben werden. Berechnung unter Annahme von 38 m% Input in die Trocknung

<b>Direkte Prozessemissionen (Biologische Stufe) der MBA-tr (Trockenstabilisierung)</b>		
	kg CO <sub>2</sub> äq/t Rotteinput (Trocknung)	kg CO <sub>2</sub> äq/t Abfall Input MBA-tr
(UBA, 2012)	50,00	19,00
(UBA, 2012)	67,11	25,50
(UBA, 2012)	23,68	9,00
(UBA, 2012)	39,21	14,90
	<b>45,0</b>	<b>17,100</b>

Es folgen nun die KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung der Anlage MBA Typ c für eine Tonne Restmüll.

Tabelle 54: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ c – aerobe biologische Trocknung mit etwas erhöhtem Masse-Output einer HWR EBS-Fraktion

	<b>KEA-gesamt</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Bilanz</b>
	GJ/tos	t CO <sub>2</sub> äq/tos
Abfall Input MBA-tr	10,34	-
Strom MBA-tr	0,21	0,004
Diesel MBA-tr	0,07	0,004
Erdgas MBA-tr	0,00	0,000
Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	-	0,017
MBA-tr Output MK	-	-
MBA-tr Output EBS-P	-3,06	-
MBA-tr Einsparung Me-Mix	-0,73	-0,066
MBA-tr Output Trocknung	-6,72	-
SUMME LASTSCHRIFT	10,61	0,026
SUMME GUTSCHRIFT	-10,52	-0,066
<b>SUMME</b>	<b>0,09</b>	<b>-0,040</b>

In Vergleich zur MBA aerob fällt der KEA bei dieser Anlage deutlich geringer aus, hauptsächlich aufgrund des geringeren Rotte-Energieverlusts, sowie des spezifisch leicht verringerten Stromverbrauchs. Die führt folglich auch zu einem leicht reduzierten CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf der Prozessebene der Anlage.

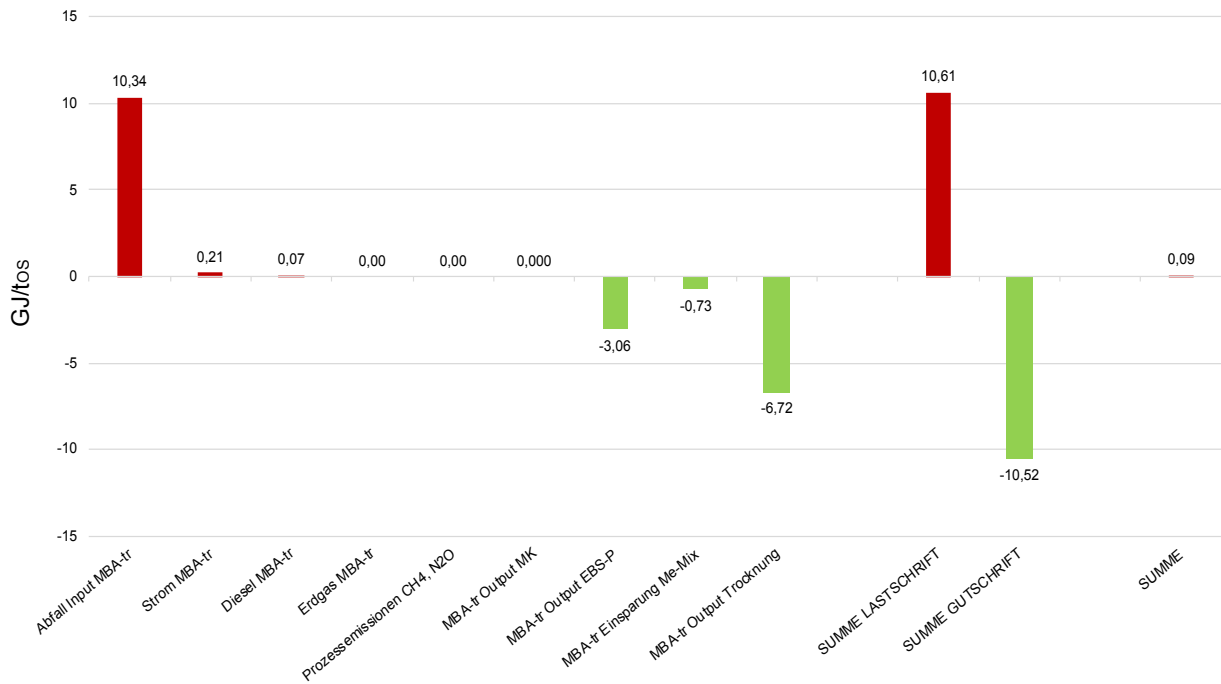


Abbildung 32: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ c mit Trockenstabilisierung des Modells 34

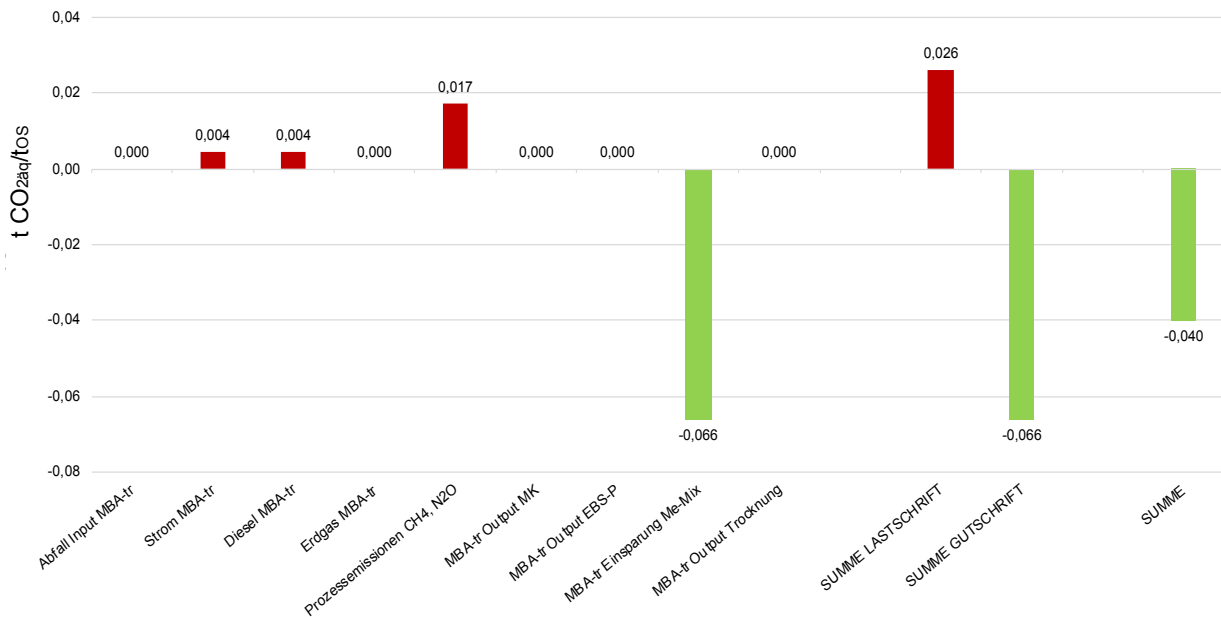


Abbildung 33: Visualisierung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ c mit Trockenstabilisierung des Modells 34

### 4.12.3 Vergleich der unterschiedlichen MBA-Modellierungen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen MBA-Modellierungen gegenübergestellt, um einen deren Unterschiede, insbesondere in den Outputströmen besser darzustellen.

Beginnend mit den Masse-Transferkoeffizienten werden die Modelle, bezogen auf eine Tonne Restmüll als Inputmaterial dargestellt.

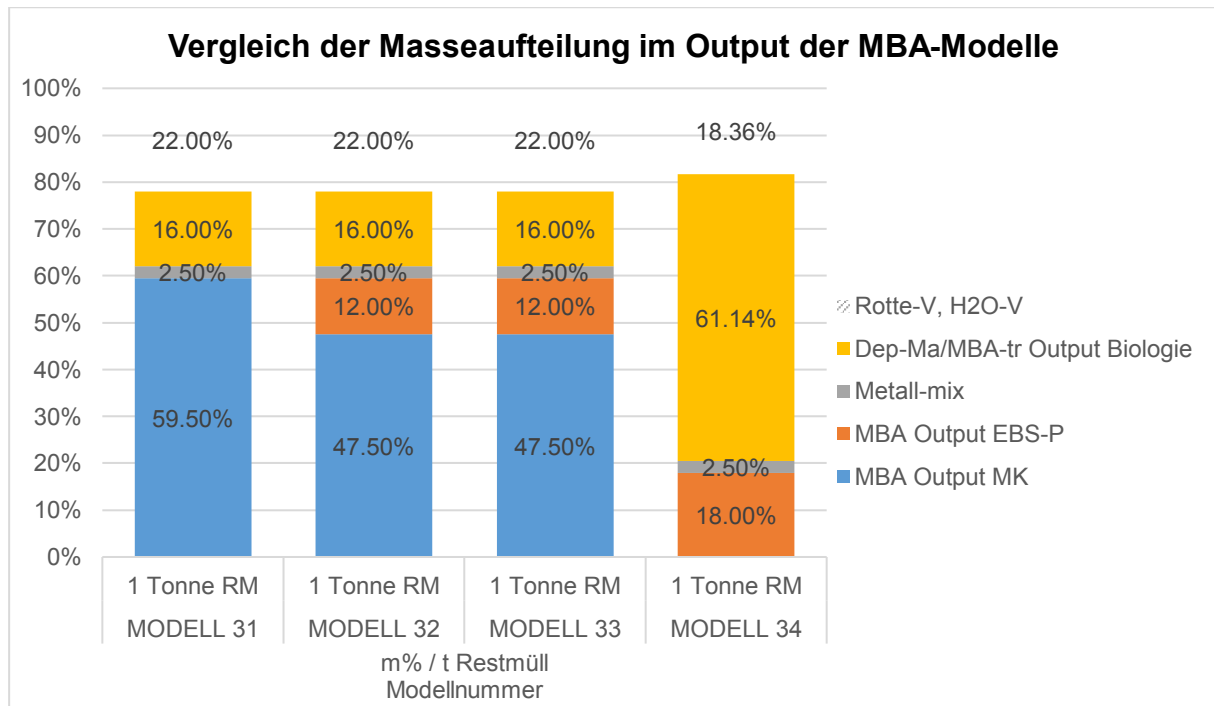


Abbildung 34: Aufteilung der Masse von einer Tonne Restmüll, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle

Die Massenoutputs von österreichischen MBA-Anlagen sind in der Literatur häufig zu finden. Eine Unterteilung in EBS- und MK-Fraktion findet jedoch in der Regel nicht statt. Die Recherchen dieser Arbeit decken sich jedoch mit der Bandbreite der angegebenen, generellen Massenverteilungen aus (BAWPL, 2017) und (BMNT, 2019b).

Die Heizwerte des mittelkalorischen Outputs für die Modelle 32 und 33 wurden mit 11,5 GJ/tos leicht über den Literaturmittelwerten von 10,49 GJ/tos angenommen, da dies zum plausibelsten Ergebnis für den Rotte-Energieverlust mit in Tabelle 13 definiertem Restmüllinput führt. Es gilt die Annahme, dass nur nicht brennbare Anteile mit dem Metallmix ausgeschleust werden. ( $H_{u, \text{Metall-mix}} = 0 \text{ GJ/t}$ ) Da für alle Modelle derselbe Abfallinput und derselbe Energieoutput gegeben ist, wurde der Rotte-Energieverlust als Differenzgröße bestimmt und ist somit abhängig vom  $H_u$  der Outputströme. Die Rotte-Energieverluste die auf S.97 in Skutan und Brunner (2005) angeführt sind, entsprechen 22% für MBA aerob und 4,8% für MBA mit Trocknung, die den Werten im Modell mit ca. 19,2% für MBA aerob (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25) und 5,3% für MBA-tr (siehe Abbildung 31) ähnlich sind. (Skutan und Brunner, 2005)

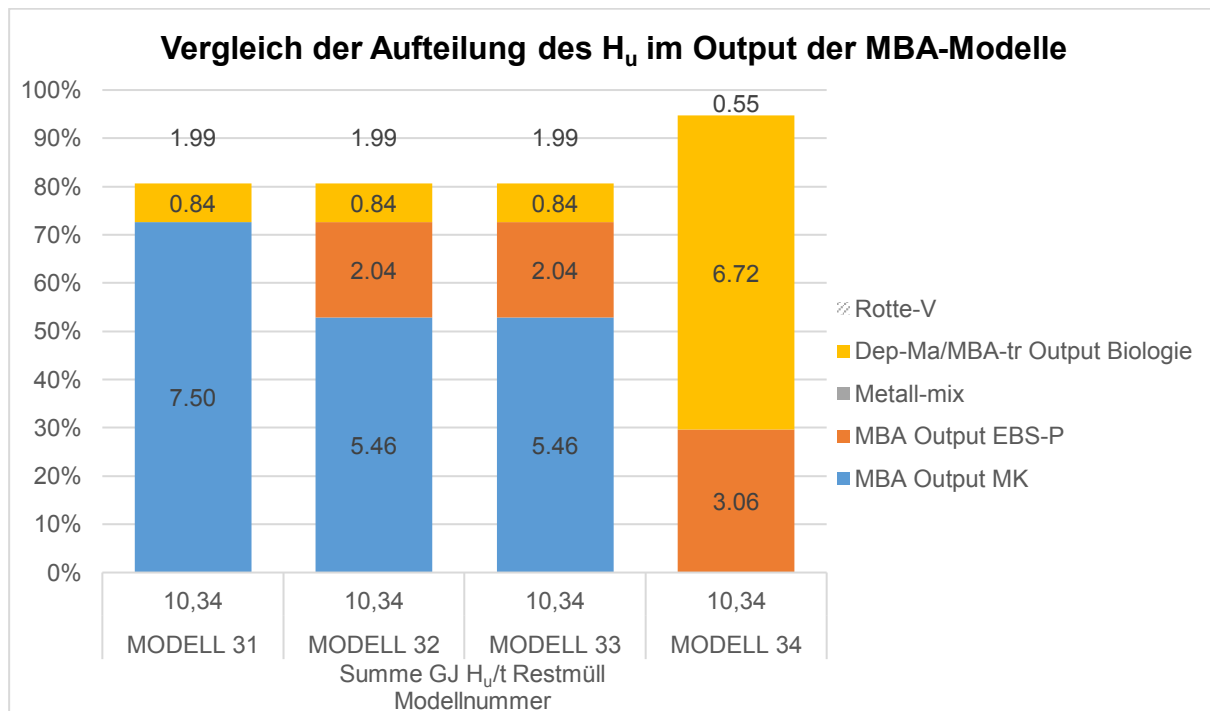


Abbildung 35: Aufteilung des Heizwertes von einer Tonne Restmüll in GJ, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle

Aus dem angenommenen H<sub>u</sub> von 11,5 GJ/t<sub>os</sub> der MBA aerob ergibt sich bei gleichem Energieoutput und unveränderter Deponiefraktion ein H<sub>u</sub> für die HWR-Fraktion des Modells 31 von 12,61 GJ/t<sub>os</sub>, der etwas geringer als der gemittelte Literaturwert von 13,2 GJ/t<sub>os</sub> ist.

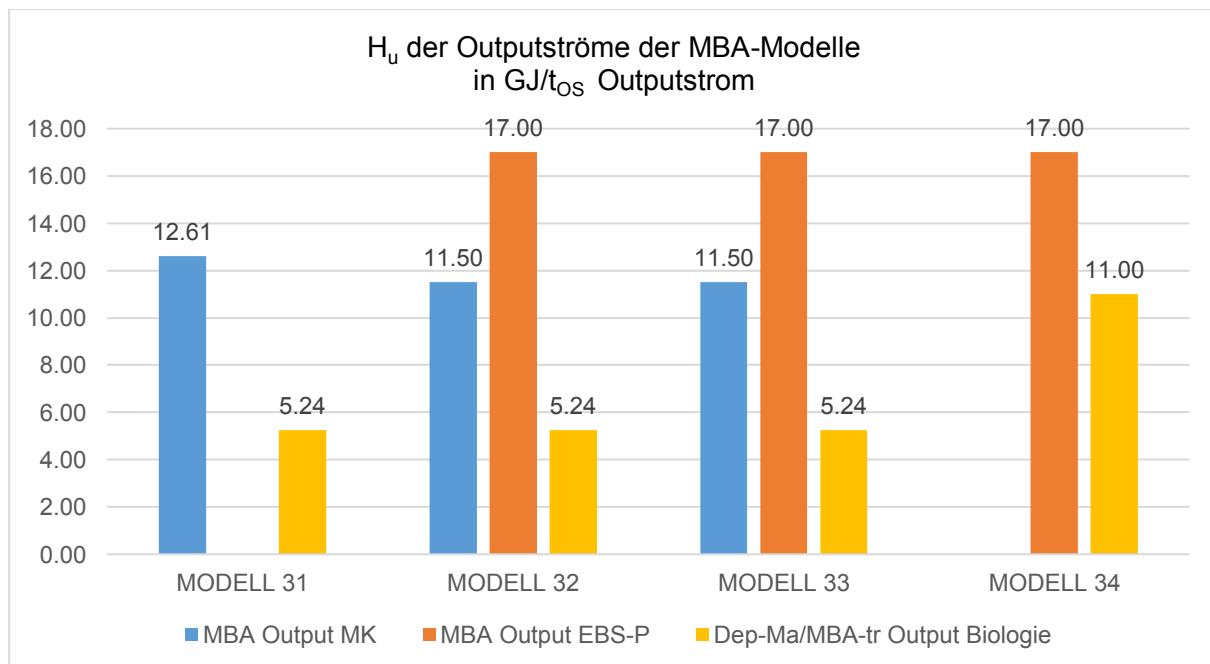


Abbildung 36: Annahmen für die Heizwerte der Outputströme der MBA-Modelle, wobei die Summe des Energieoutputs über die heizwertreiche Fraktion bei Modell 31, 32, 33 gleich ist

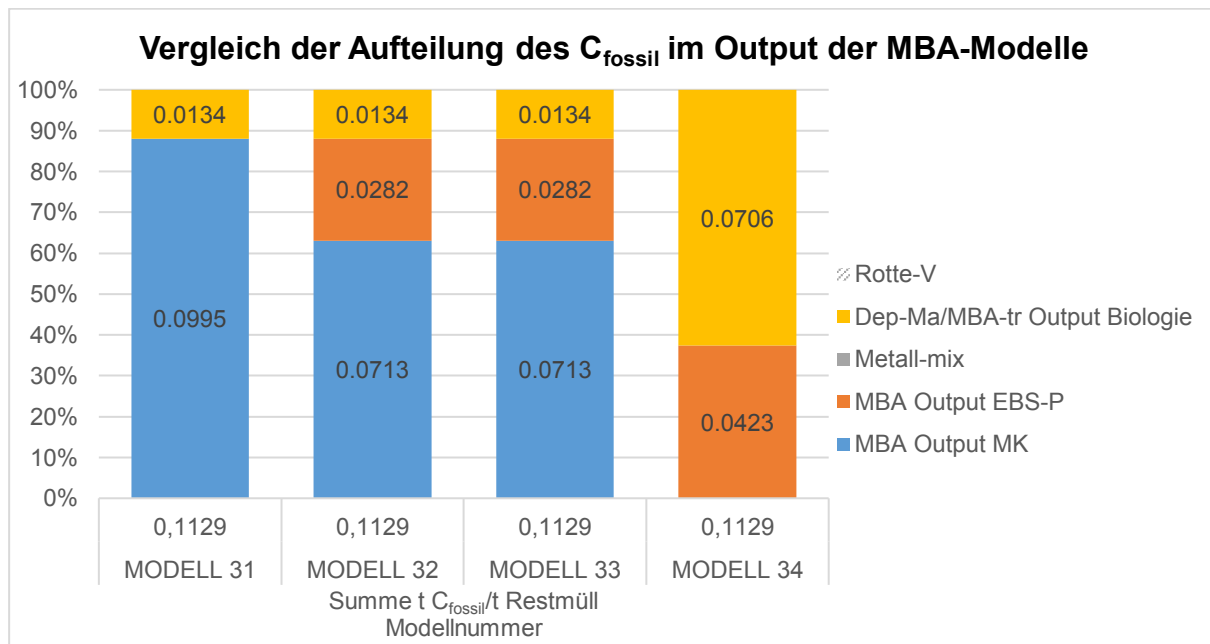


Abbildung 37: Aufteilung des fossilen Kohlenstoffgehalts von einer Tonne Restmüll, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle

Es besteht kein Rotteverlust des fossilen Kohlenstoffgehalts, da nur biologischer Kohlenstoff abgebaut werden kann. Außerdem wird kein  $C_{fossil}$  mit dem Metall-mix ausgeschleust. Da in der Literatur nur die HWR-Fractionen genauer bestimmt sind, wurde der  $C_{fossil}$ -Gehalt der Deponiefraction bzw. des getrockneten Materials durch Differenz des eingebrachten  $C_{fossil}$  und des in den HWR-Fractionen ausgetragenen  $C_{fossil}$  bestimmt und anschließend auf Plausibilität geprüft. Die Ermittlung der  $C_{fossil}$ -Gehalte der HWR-Fractionen erfolgte anhand von Berechnungen mit Grundlage der Literaturdaten.

Zur Ermittlung dieser Werte wurde das Modell mehrmals mit unterschiedlichen Annahmen durchgerechnet und diese schrittweise an die Literaturwerte angenähert. Angeführte Werte sind als Durchschnittswerte für österreichische MBA-Anlagen zu sehen.

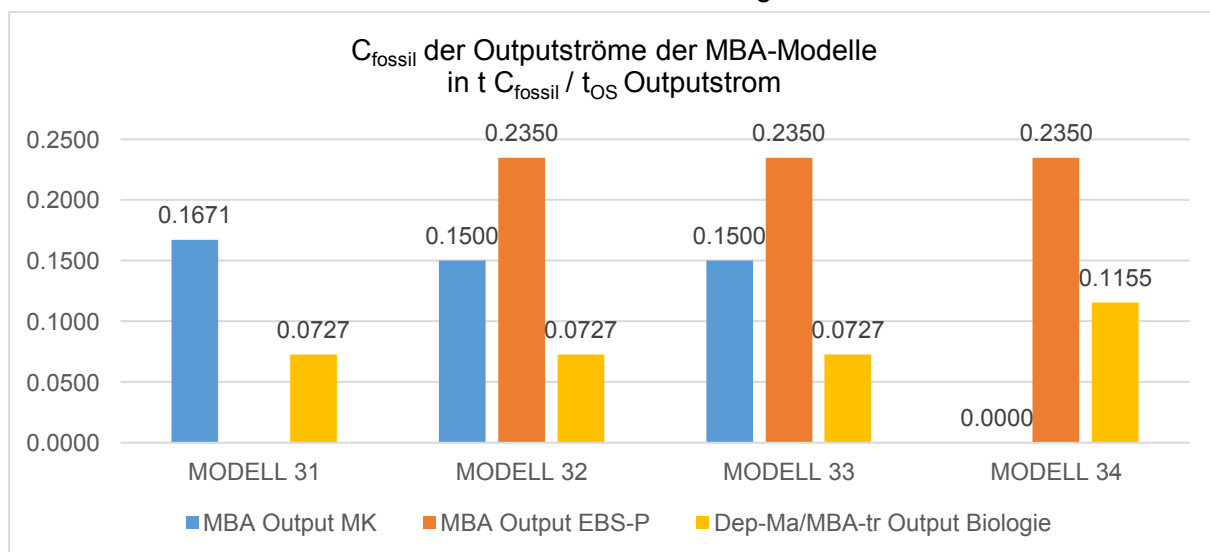


Abbildung 38: Annahmen für die  $C_{fossil}$ -Gehalte der Outputströme der MBA-Modelle, wobei die Summe des  $C_{fossil}$ -Outputs über die HWR-Fraction bei Modell 31, 32, 33 gleich ist

### 4.12.4 EBS-Produktionsanlagen (EBS-P)

Ersatzbrennstoffproduktionsanlagen stellen aus hochkalorischen Fraktionen von Siedlungsabfällen, heizwertreichen Rückständen aus der Leichtverpackungssortierung und heizwertreichen Produktionsabfällen hochwertige Ersatzbrennstoffe für die Industrie her. In Österreich wird Ersatzbrennstoff aus Siedlungsabfällen vor allem in der Zementindustrie eingesetzt.

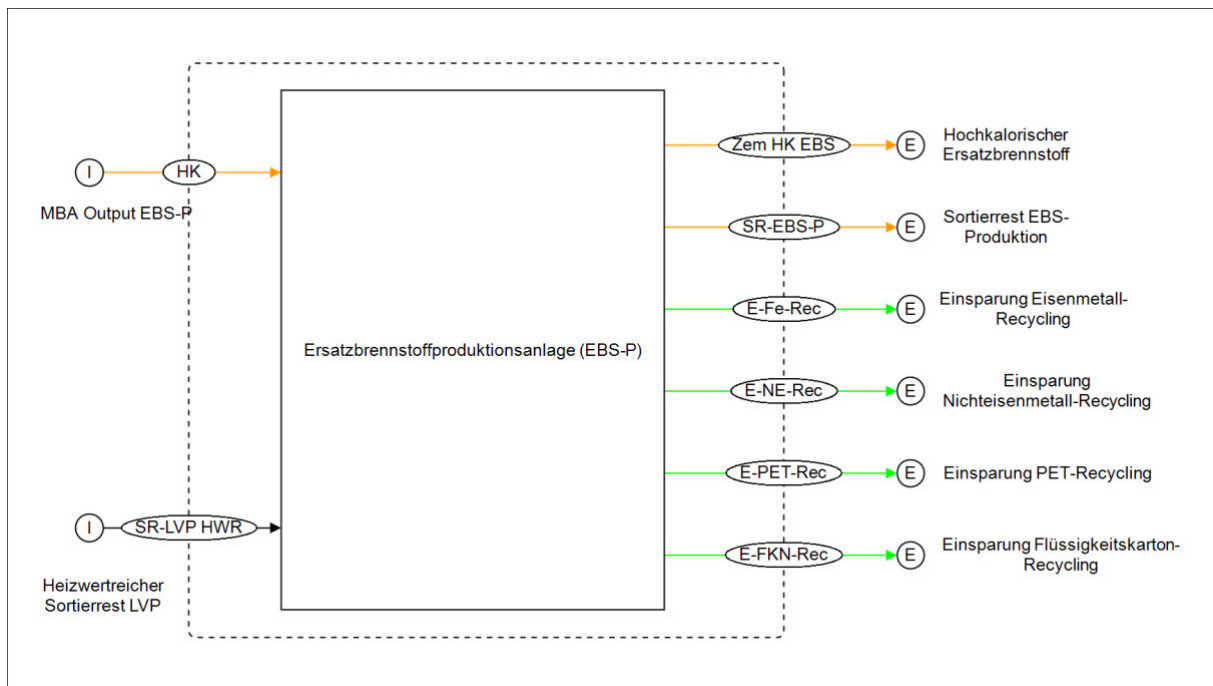


Abbildung 39: Visualisierung des Prozesses „Ersatzbrennstoffproduktionsanlage“. Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 55: Masse-Transferkoeffizienten für Ersatzbrennstoffproduktionsanlagen (EBS-P)

EBS-P	Transferkoeffizienten - MASSE	
in Anlehnung an: (Altendorfer, 2018; Laner und Brunner, 2008; Sarc, 2020)	in den MODELLEN 32, 33, 34	
Input-Bezeichnungen	INPUT	
HWR-Fraktionen (MBA Output EBS-P + SR-LVP-HWR)	100,0%	
Output-Bezeichnungen		OUTPUT
Zem-HK EBS		88,00%
SR-EBS-P		6,20%
Fe		1,00%
NE		0,80%
PET		2,00%
FKN - Flüssigkeitskarton (Tetra-Pak)		2,00%
<b>SUMME</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>



Die Masse-Transferkoeffizienten für die Produktion von hochkalorischen Ersatzbrennstoffen (Zem-HK EBS) sind in Anlehnung an Altendorfer (2018), Laner und Brunner (2008), Sarc (2020) bestimmt worden. Sie wurden an den Abfallinput aus den Restmüll-Modellen bzw. der getrennten Sammlung angepasst. Der Energie- und  $C_{\text{fossil}}$ -Outputs wurde in Zem-HK EBS als Differenzgröße nach Aussortierung der Recyclingfraktionen bestimmt. Die Bestimmung der in den Recyclingfraktionen aussortierten Energie und Kohlenstoffs erfolgte mit (VDI 3460, 2014). Der Sortierrest (SR-EBS-P) wurde mit Stoffstromwerten für Restmüll nach Tabelle 13 angenommen. Der Output von  $H_u$  und  $C_{\text{fossil}}$  in den Fraktionen Eisen (Fe) und Nichteisen (NE) wurde mit null angenommen. (Altendorfer, 2018; Laner und Brunner, 2008; Sarc, 2020)

Durch den variierenden Input, je nach Menge der getrennt gesammelten LVP-Mengen ergeben sich unterschiedliche  $H_u$  und  $C_{\text{fossil}}$  Werte der Outputfraktion Zem-HK EBS, die jedoch maximal 10% Abweichung zum ermittelten Literaturmittelwert von  $H_u$  18,56 GJ/t<sub>OS</sub> und  $C_{\text{fossil}}$ -Gehalt von 24,71 m% aufweist.

Zu besseren Veranschaulichung werden nun die Transferkoeffizienten der EBS-P für 1 Tonne Restmüllinput dargestellt, wenn der Masseanteil der hochkalorischen EBS-Fraktion, so wie in den Modellen 31, 32, 33 bei 12 m% liegt und keine Vermischung mit SR-LVP-HWR erfolgt

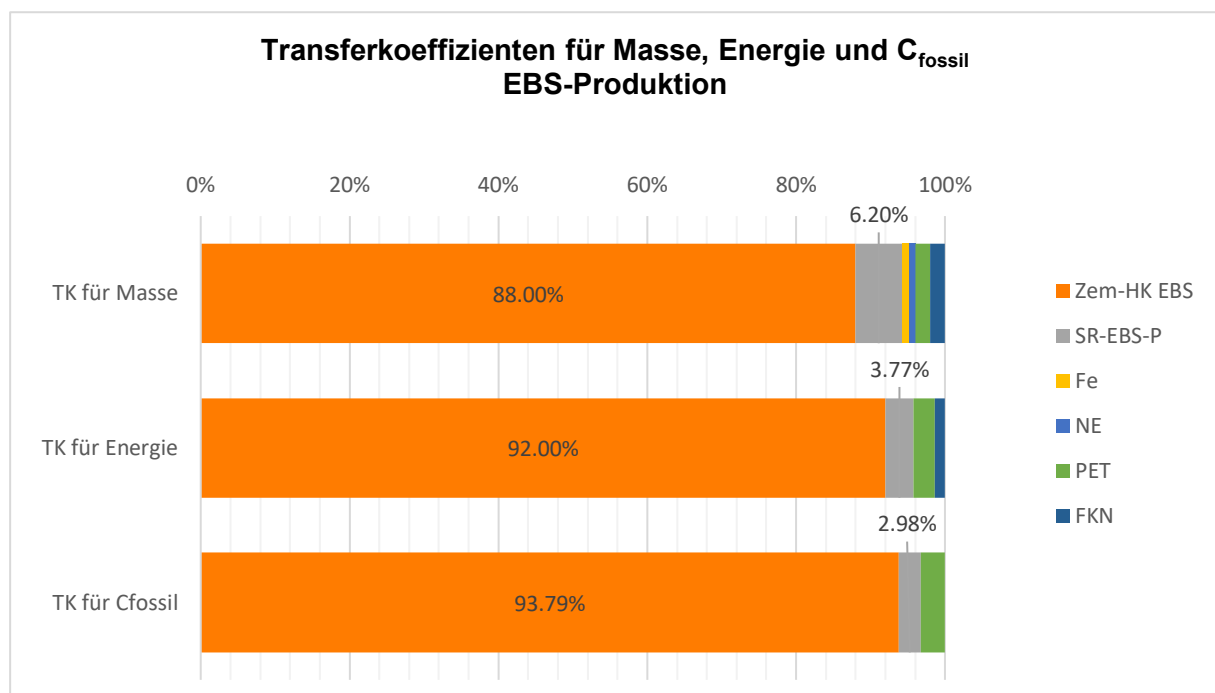


Abbildung 40: Angenommene Transferkoeffizienten für Masse, Energie und  $C_{\text{fossil}}$  der EBS-Produktion

Die jeweilig aussortierten Fraktionen Eisen (Fe), NE (Nichteisenmetalle), PET und Flüssigkeitskarton (FKN) werden als Recyclingmaterial in der Energie- und Kohlenstoffbilanz mit spezifischen Einsparungswerten berücksichtigt. Die Einsparung für Eisen und PET wurde UBA (2010) entnommen, die Einsparung für NE als ein Mix von 80% Aluminium und 20% Kupfer aus selbiger Quelle berechnet. Die Einsparung für Flüssigkeitskartons wird in Ökoinstitut/HTP (2012) angeführt. (Ökoinstitut/HTP, 2012; UBA, 2010)

In den Stan-Modellierungen der Kapitel 5.2.2 und 5.3.1 wird die Menge genannter, aussortierter Fraktionen dem „Recycling aus Restmüll“ zugerechnet, da ihre Menge überwiegend aus Restmüll stammt.

Tabelle 56: Allgemeine KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Prozess EBS-Produktionsanlage

KEA-Bilanz – EBS-P	CO <sub>2</sub> -Bilanz – EBS-P
<b>Lastschrift (+)</b>	<b>Lastschrift (+)</b>
Input HWR-Abfall	-
Strom	Stromemissionen
Diesel	Dieselemissionen
<b>Gutschrift (-)</b>	<b>Gutschrift (-)</b>
Einsparung Fe	Einsparung Fe
Einsparung NE	Einsparung NE
Einsparung PET	Einsparung PET
Einsparung FKN/PPK	Einsparung FKN/PPK
Zem-HK EBS	-
Zem-MK EBS	-

Angeführte Strom- und Dieserverbräuche für EBS-Aufbereitungsanlagen konnten aus der Literatur ermittelt werden. Die Mittelwerte wurde für die Modellberechnungen angenommen.

Tabelle 57: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der EBS-P und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input

Quelle	Strom				Diesel			
	kWh/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall	l/t Abfall	MJ/t Abfall	kg CO <sub>2</sub> /t Abfall	KEA MJ/t Abfall
(UEC/Ökoinstitut, 2015)	59,9	215,64	7,48	346,66	0,64	22,68	1,69	25,79
(CUTEC, 2016)	40	144	4,99	231,49		0,00	0,00	0,00
(Pomberger, 2008)	25	90	3,12	144,68		0,00	0,00	0,00
<b>Mittelwerte</b>	<b>41,633</b>	<b>149,88</b>	<b>5,20</b>	<b>240,94</b>	<b>0,640</b>	<b>22,68</b>	<b>1,69</b>	<b>25,79</b>

Tabelle 58: Beispielhafte Bilanz für den Prozess Ersatzbrennstoffproduktion bei Input einer Tonne hochkalorischen Outputs aus der MBA aerob

	KEA-gesamt	CO2-Bilanz
	GJ/tos MBA Output EBS-P	t CO <sub>2</sub> äq/tos MBA Output EBS-P
Input EBS-P HWR-Fraktion	17,00	-
Strom EBS-P	0,24	0,005
Diesel EBS-P	0,03	0,002
Zem-HK EBS	-15,64	-
Einsparung Fe	-0,16	-0,016
Einsparung NE	-0,82	-0,070
Einsparung PET	-0,55	-0,016
Einsparung FKN/PPK	-0,30	-0,015
SUMME LASTSCHRIFT	17,27	0,007
SUMME GUTSCHRIFT	-17,47	-0,117
<b>SUMME</b>	<b>-0,20</b>	<b>-0,110</b>

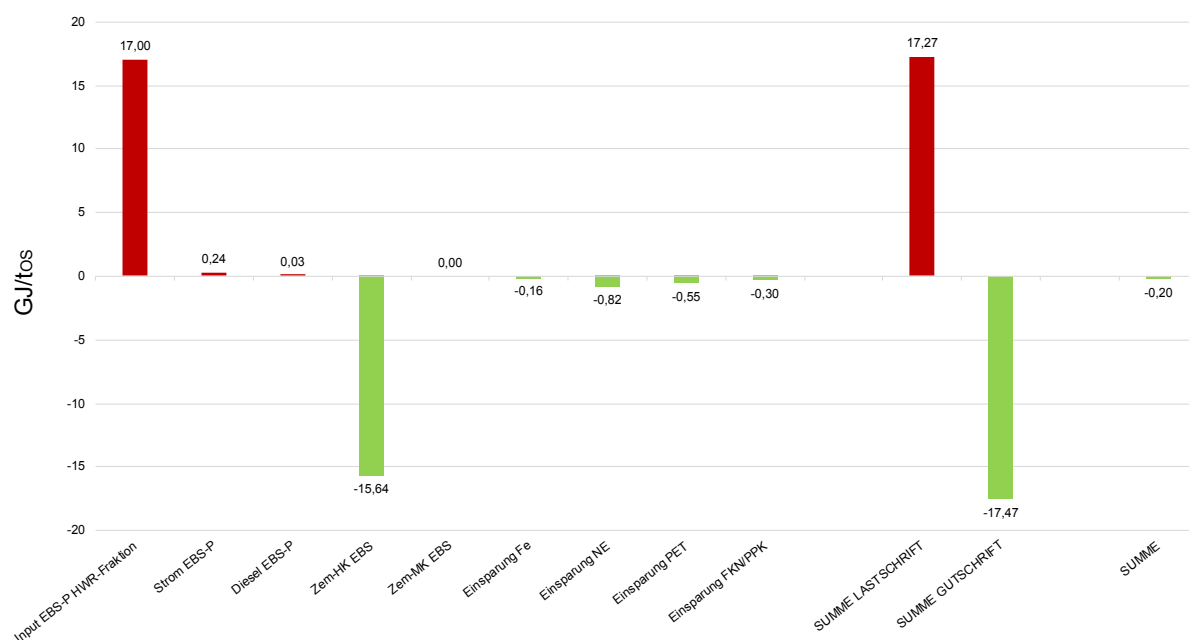


Abbildung 41: Visualisierung der beispielhaften KEA-Bilanzierung für 1t MBA Output EBS-P (hochkalorischer MBA Output) im Prozess Ersatzbrennstoffproduktion

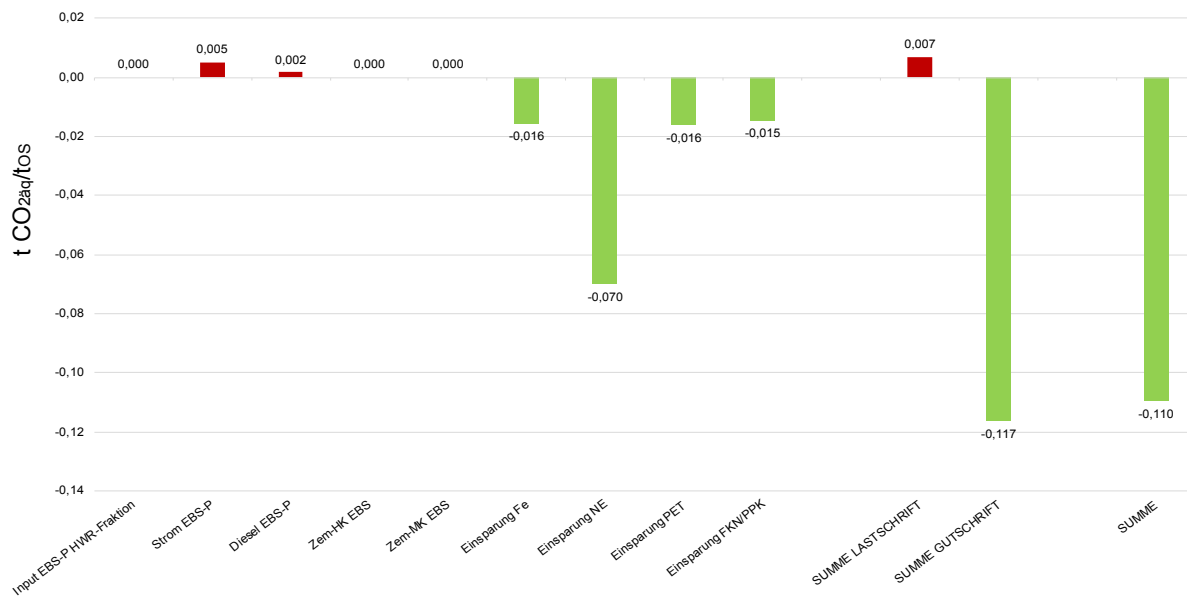


Abbildung 42: Visualisierung der beispielhaften CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von 1t MBA Output EBS-P (hochkalorischer MBA Output) im Prozess Ersatzbrennstoffaufbereitung

Visualisierte Werte und die KEA- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz des Prozesses EBS-P sind wie bereits erwähnt abhängig vom Input (des eingebrachten H<sub>u</sub> und C<sub>fossil</sub>) und schwanken geringfügig. Wird der Sortierrest der LVP-Sortierung zugerechnet erhält man einen ca. 1-1,5 GJ/t höheren Heizwert, sowie einen leicht höheren C<sub>fossil</sub>-Gehalt der produzierten Ersatzbrennstoffe. Da die Modelle jedoch in zwei Kategorien unterteilt sind, mit und ohne getrennte Sammlung, bleibt die Vergleichbarkeit selbst bei sich ändernden Rahmenbedingungen erhalten.

## 4.13 Einsparungen durch Recycling

In folgendem Kapitel werden die spezifischen Einsparungen der Recyclingprozesse anhand von Literaturwerten bestimmt. Je nach Datenqualität und Bezug der Daten auf andere Länder werden dabei Werte direkt übernommen, oder es wird unter Verwendung mehrerer Werte ein Mittelwert gebildet, der anschließend für weitere Berechnungen in allen Modellen der Arbeit dient. Die Einsparungen beziehen sich für Metalle und Kunststoffe auf eine Tonne Output (Sekundärmetall bzw. Kunststoff-Granulat) und für Papier, Glas und Bio auf eine Tonne Input in den Recyclingprozess.

### 4.13.1 Metallrecycling

Für Metalle wurde die Datenqualität als ausreichend beurteilt, da sich die Studie „Klimarelevanz ausgewählter Recyclingprozesse“ des Umweltbundesamtes sehr detailliert mit dem Recycling von Metallen im österreichischen Referenzsystem beschäftigt. (UBA, 2010)

Alle Angaben beziehen sich auf eine Tonne hergestelltes Sekundärmetall. Der Berechnungspunkt für die Einsparung ist daher die Outputmenge aus dem Recycling. Bei der Einsparung von Eisen/Stahl wurde angenommen, dass Primärstahl über die Hochofenroute mit einem Einsatz von 30% Schrott im LD-Tiegel produziert wird und Sekundärstahl zur Gänze über die Elektroofenroute hergestellt wird. Für den Aluminiumrecyclingprozess wird angenommen, dass kein Primäraluminium eingesetzt wird. Vergleiche in Bezug auf die Einsparungen des kumulierten Energieaufwands der Recyclingprozesse mit Fricke u.a. (2009) zeigten für Eisen/Stahl sowie Kupfer sehr ähnliche, für Aluminium aber deutlich höhere KEA-Einsparungen von 194,6 GJ/t, da von einem deutlich höheren Primärenergiebedarf von 211,8 GJ/t als in UBA (2010) mit 121,5 GJ/t ausgegangen wird. UBA (2010) wird jedoch wegen ihres Österreich-Bezugs vorgezogen. (Fricke u. a., 2009)

Der Mengenverlust während des Recyclings durch Schlacken, Krätzen oder andere Reststoffe wurde vernachlässigt und die verschiedenen Metallmixe wurden leicht adaptiert von Ökoinstitut/IFEU (2010) übernommen. Weitere Einsparungen durch ein mögliches Recycling anderer Metalle wurden nicht berücksichtigt. (Ökoinstitut/IFEU, 2010)

Tabelle 59: Spezifische Einsparungen für Recycling von Aluminium, Kupfer, Eisen/Stahl, Nicht-Eisen Mix und Metall-mix und deren Abkürzungen für die Verwendung in Berechnungen

Recyclingeinsparung METALLE	Abkürzung	Quelle	KEA-Einsparung /t Sekundärmetall	CO <sub>2</sub> äq Einsparung /t Sekundärmetall
			GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
Einsparung Aluminium-Recycling	<b>E-Al-Rec</b>	(UBA, 2010)	-115,90	-9,738
Einsparung Kupfer-Recycling	<b>E-Cu-Rec</b>	(UBA, 2010)	-46,20	-4,747
Einsparung Eisen/Stahl-Recycling	<b>E-Fe-Rec</b>	(UBA, 2010)	-16,40	-1,558
Nicht-Eisen Recycling (80% Al, 20% Cu)	<b>E-NE-Rec</b>	berechnet	-101,96	-8,7398
Metall-mix (für Restmüll) (85% Fe, 12% Al, 3% Cu)	<b>E-Me-Mix</b>	berechnet	-29,23	-2,635

### 4.13.2 Leichtverpackungsrecycling

Ein Literaturvergleich der Einsparungen für das Recycling von Leichtverpackungen ergab in Tabelle 60 angegebene Ergebnisse, die sich auf eine Tonne hergestelltem Regranulat beziehen. Folglich ist der Berechnungspunkt für die Einsparung der Output aus dem Recyclingprozess. Unterschiedliche Leichtverpackungen wurden, aufgrund der Datenlage, in vier Gruppen berücksichtigt. Es wurde versucht nur Werte aufzunehmen, die sich ausschließlich auf die Einsparung durch den Prozess der stofflichen Verwertung beziehen, weil die Emissionen/Einsparungen, die durch die thermische Verwertung entstehen, im Modell direkt den Verbrennungsanlagen zugerechnet werden. Dadurch entsteht auch die Schwierigkeit der Erfassung der richtigen Literaturdaten. Diese umfassen meist auch die thermische Verwertung im Zementwerk oder einer thermischen Verwertung, die in den Modellen dieser Arbeit jedoch separat berechnet werden.

Übernommen wurden schließlich die Literaturdaten von, Ökoinstitut/HTP (2012) da dort auch die Verteilung der einzelnen Fraktionen berücksichtigt werden. (Ökoinstitut/HTP, 2012)

Als Vergleichswerte wurden für die Werte der Studie des Ökoinstitut (2016) nur die tatsächlich stofflich verwerteten Fraktionen aus Anhang 12 ausgewählt und aus ihnen ein, aufgrund von fehlenden Angaben nicht-gewichteter, Mittelwert von  $-1,031 \text{ t CO}_2\text{äq/t Input}$  gebildet. Gleiches gilt für die Daten von Ökoinstitut (2014), die einen Mittelwert von  $-1,416 \text{ t CO}_2\text{äq/t Input}$  ergaben. Hier wurde aus den stofflich verwerteten Fraktionen von S.82 aus Ökoinstitut (2014) ein Mittelwert gebildet, da ebenfalls keine Verteilung der einzelnen Kunststoffarten bzw. LVP-Verpackungsfraktionen zur Verfügung stand. (Ökoinstitut, 2014, 2016)

Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass in Ökoinstitut/HTP (2012) und Ökoinstitut (2014) als Primärquelle jeweils die ecoinvent-Datenbank (<https://www.ecoinvent.org/database/database.html>) angegeben ist und manche Werte durch eigene Berechnungen der Institute angepasst wurden. Werte für den kumulierten Energieaufwand waren bei den Quellen des Ökoinstituts (2014, 2016) nicht verfügbar.

Die Verteilung der unterschiedlichen Kunststoffarten von PE, PP, PET und PS wird als statisch angenommen und kann nicht verändert werden, da nur kumulierte Einsparungen vorliegen.

Tabelle 60: Einsparungen pro Tonne wiedereinsatzbarem Sekundärrohstoff der eingebrachten Fraktionen aus der LVP-Sammlung und Berechnung eines Mittelwertes

Recyclingeinsparung LVP	Quelle	Masse-% Verteilung in GS-LVP	KEA-Einsparung /t Output	CO <sub>2</sub> äq Einsparung /t Output
(Bezeichnung und Annahmen in Literatur)		m-%	GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
FKN (Papierfaser)	(Ökoinstitut/ HTP, 2012)	8%	-15,007	-0,742
Folien PE-LD (Regranulat)		15%	-71,421	-1,445
Kunststoffarten mit Verteilung PE (29 %), PP (41 %), PET (18 %), PS (12 %) (Regranulat)		35%	-74,979	-2,046
Mischkunststoffe wie PE-HD (Regranulat)		42%	-71,26	-1,451
<b>Mittelwert gewichtet nach m%- Verteilung</b>	<b>E-Kst-Rec</b>		<b>-68,08</b>	<b>-1,602</b>

Fraktionen, die bei der Produktion von Ersatzbrennstoffen einem Recycling zugeführt werden sind in folgender Tabelle 61 angeführt. Verlustquoten des Recyclingprozesses werden aufgrund des untergeordneten Mengenaufkommens dieser Fraktionen nicht berücksichtigt.

Tabelle 61: Die Fraktionen PET und Flüssigkeitskarton (FKN) werden direkt als Einsparungen bei deren Aussortierung aus dem EBS-Strom in der EBS-Produktionsanlage berücksichtigt und wie folgt angenommen

LVP- Recyclingeinsparungen bei EBS-P	Quelle	KEA-Einsparung /t Output	CO <sub>2</sub> äq Einsparung /t Output
(Bezeichnung in Literatur)		GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
PET (30% Rezyklatanteil)	(UBA, 2010)	-27,40	-0,810
Flüssigkeitskarton FKN (Papierfaser)	(Ökoinstitut/HTP, 2012)	-15,007	-0,742

### 4.13.3 Papierrecycling

Für den Recyclingprozess von Altpapier wurden folgende Werte recherchiert.

Tabelle 62: Literaturvergleich der Einsparungen durch Input in die Papierfabrik zur stofflichen Verwertung für Papier, Pappe und Karton

Recyclingeinsparung Papier	Quelle	KEA-Einsparung /t Input Recyclingprozess	CO <sub>2</sub> äq Einsparung /t Input Recyclingprozess
(Bezeichnung in Literatur)		GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
PPK aus LVP (Papierfaser)	(Ökoinstitut/HTP, 2012)	-10,309	-0,397
PPK	(Ökoinstitut, 2016)		-0,374
PPK	(Ökoinstitut, 2014)		-0,926
Papier	(IFEU, 2006)	-24,57	-0,265
Paper and Cardboard/t Input Paper Factory	(Ökoinstitut/IFEU, 2015)		-0,793
<b>Mittelwert</b>	<b>E-Pap-Rec</b>	<b>-17,44</b>	<b>-0,551</b>

In den Modellen werden Papierrejekte und sonstige Rückstände der Papierindustrie vernachlässigt, da sich der Berechnungspunkt der Einsparung für Papier im Unterschied zu den vorherigen Fraktionen auf den Input in den Recyclingprozess bezieht. Für das Papierrecycling aus der getrennten Sammlung wird eine Vorsortierung in einer Altpapiersortieranlage (Pap-S) angenommen die in Kapitel 4.14.3 beschrieben wird.

### 4.13.4 Glasrecycling

Folgende Werte beschreiben die Einsparungen beim Recycling einer Tonne Glas, die in die Glashütte eingebracht wird. Der Berechnungspunkt für die Einsparung wird aufgrund der recherchierten Daten, wie beim Papier beim Input in die Glashütte angenommen. Weitere Verluste während des Schmelzprozesses werden daher vernachlässigt. Da die Aufbereitung meist in der Glashütte selbst, direkt vor dem Einschmelzvorgang, vorgenommen wird, wird deren Stromverbrauch in der getrennten Sammlung nicht separat betrachtet, da er bereits in den Daten des Recyclingprozesses berücksichtigt wurde.

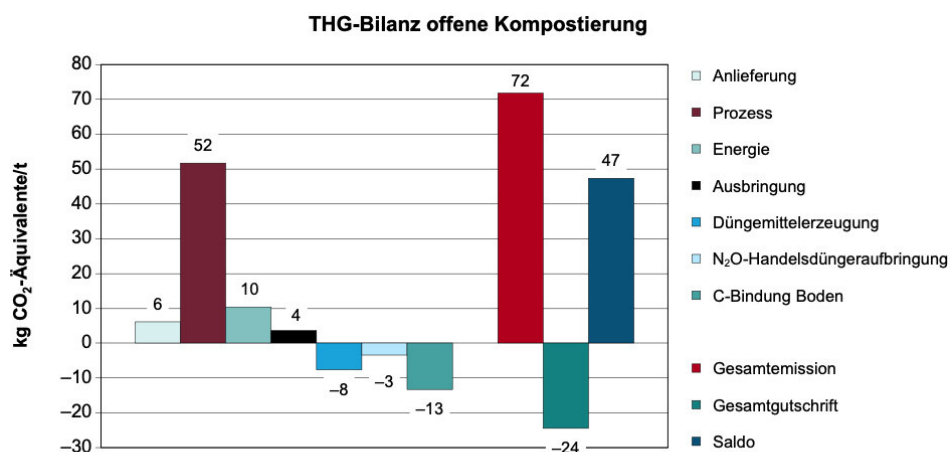
Tabelle 63: Literaturvergleich von Recyclingeinsparungen für Glas

Recyclingeinsparung Glas	Quelle	KEA-Einsparung /t Input Recyclingprozess	CO <sub>2</sub> äq Einsparung /t Input Recyclingprozess
(Bezeichnung in Literatur)		GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
Glas	(Ökoinstitut, 2016)		-0,425
Glas	(Ökoinstitut, 2014)		-0,420
Glas	(UBA, 2010)	-3,16	-0,386
Glass/t Input Glassworks	(Ökoinstitut/IFEU, 2015)		-0,514
<b>Mittelwert</b>	<b>E-Glas-Rec</b>	<b>-3,16</b>	<b>-0,436</b>



### 4.13.5 Bioabfallkompostierung

Bei der Kompostierung von biogenen Abfällen wurden typische Verfahrensvarianten der offenen und teilgeschlossenen Kompostierung berücksichtigt, wobei aus der CO<sub>2</sub>-Bilanz in (UBA, 2011) die Anlieferung und Energie herausgerechnet wurden, da dies in der Modellierung der getrennten Sammlung separat als Sammlung und Energieaufwand berücksichtigt wird. Es gilt die Annahme der Verwertung des Inhalts der Biotonne ausschließlich in Kompostierungsanlagen.



Quelle: Umweltbundesamt

umweltbundesamt

Abbildung 43: Beispiel für die THG-Bilanz der offenen Kompostierung. (UBA, 2011)

Da in diesem Kapitel lediglich eine Feststellung der Einsparungen/Emissionen des Recyclingprozesses stattfinden soll, wurde die KEA-Einsparung nach den ersetzten Primärroh- bzw. Nährstoffen Phosphat, Stickstoff und Kalium berechnet. UBA (2011) berechnet speziell die THG-Bilanzen für Kompostierungsprozesse in Österreich, daher wurde die Bandbreite der ermittelten Werte hier verwendet. (UBA, 2011)

Die Berechnung des KEA erfolgte nach Tabelle 64, deren spezifische Einsparungen von Wuppertal Institut/Ökoinstitut (2019) beschrieben sind. Zum Vergleich wurde aus Grafiken von IFEU (2018) der Mittelwert über verschiedene Behandlungsverfahren gebildet, der bei ca. -0,3 GJ/t<sub>Input Biotonne</sub> liegt. (IFEU, 2018; Wupperinst/Öko-Institut, 2019)

Tabelle 64: Berechnung der Einsparung des KEA beim Recycling je Tonne Kompost und je Tonne Input in die Biotonne

KEA-Einsparung pro Tonne Kompost	Wertstoffgehalt	Einsparung KEA Primärproduktion	
	t Wertstoff/ t Kompost	GJ/t Sekundärrohstoff	KEA Anteile und Summe
Phosphat	0,004	-35,79	-0,143
Stickstoff	0,007	-73,3	-0,513
Kalium	0,005	-11,71	-0,059
SUMME EINSPARUNG in GJ/ t Kompost			-0,71481
Annahme 0,4 t Kompost / t Input Biotonne in GJ/ t			-0,286

Tabelle 65: Literaturvergleich von Einsparungen/Emissionen des Prozesses der Kompostierung von biologischem Abfall

<b>Recyclingeinsparung Bio</b>	<b>Quelle</b>	<b>KEA-Einsparung</b> /t Input Recyclingprozess	<b>CO<sub>2</sub>äq Einsparung</b> /t Input Recyclingprozess
(Bezeichnung in Literatur)		GJ/t	t CO <sub>2</sub> äq/t
Kompost KEA-Einsparung	berechnet nach (Wupperinst/Öko-Institut, 2019)	-0,286	
Bioabfall - Offene Kompostierung*	(UBA, 2011)		0,032
Bioabfall - Teilgeschlossene Kompostierung*	(UBA, 2011)		0,012
<b>Mittelwert</b>	<b>E-Bio</b>	<b>-0,29</b>	<b>0,022</b>

\*Anlieferung und Energie herausgerechnet

### 4.13.6 Gegenüberstellung der spezifischen Einsparungen der unterschiedlichen Recyclingprozesse

Die Vielzahl beschriebener Recyclingprozesse wird in diesem Kapitel zusammengefasst und zur besseren Übersicht dargestellt. Abbildung 44 zeigt die Einsparungen des kumulierten Energieverbrauchs durch Recycling je Tonne der jeweiligen Fraktion, Abbildung 45 die je Tonne recycelten Materials eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

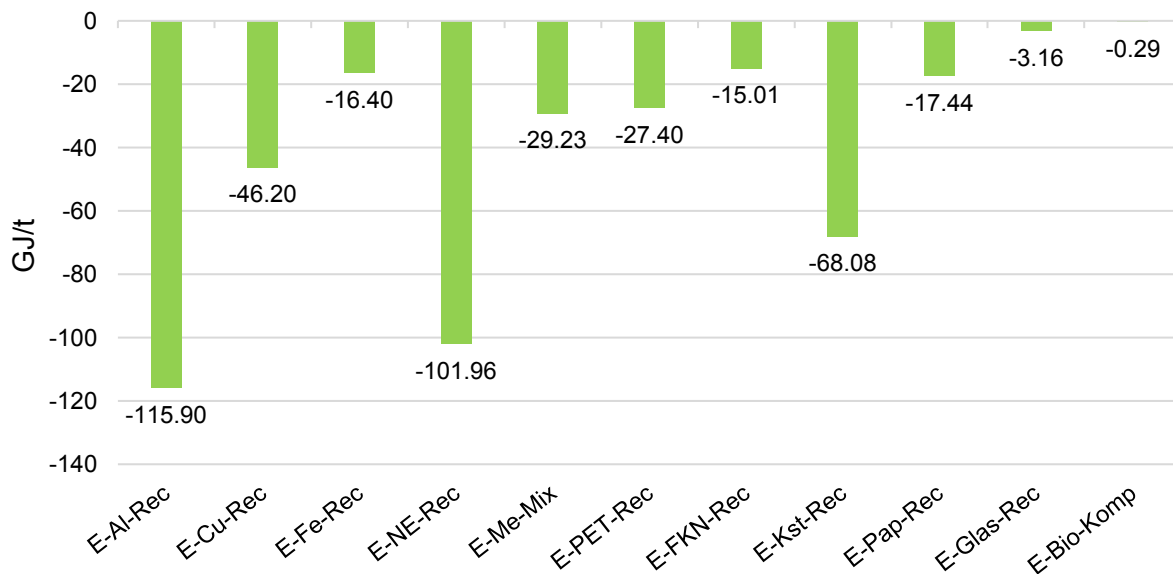


Abbildung 44: Vergleich der spezifischen kumulierten Energieeinsparung pro durch Recycling der ausgewählten Materialien bzw. Fraktionen

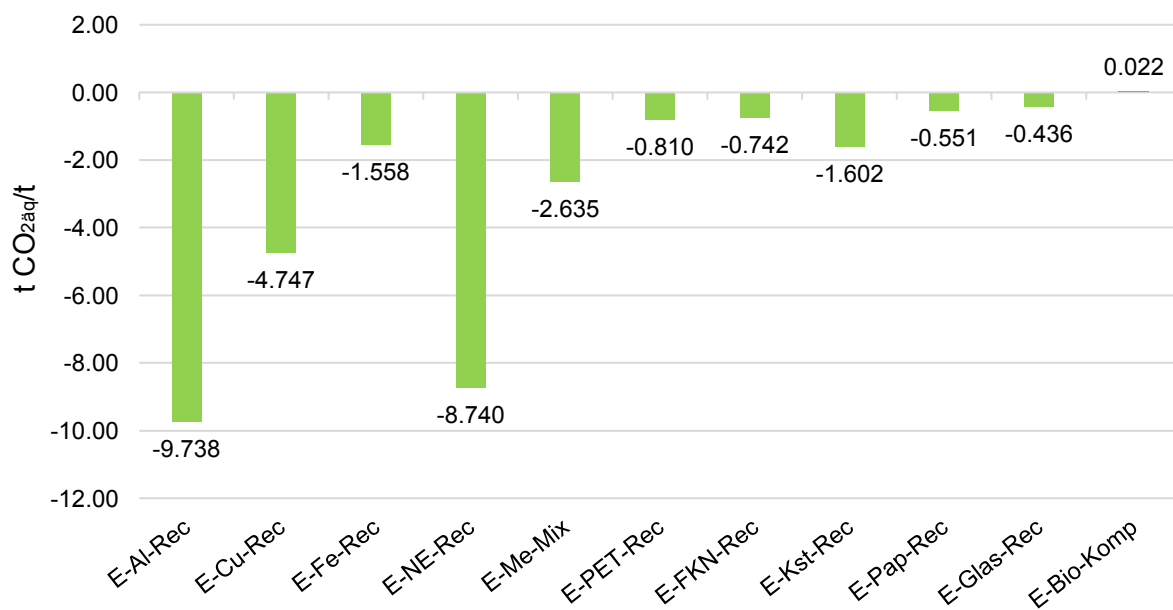


Abbildung 45: Vergleich der spezifischen, eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Recycling ausgewählter bzw. Fraktionen

## 4.14 Einsparungen durch die getrennte Sammlung

In diesem Kapitel werden die spezifischen Einsparungen durch die getrennte Sammlung von Abfällen berechnet und dargestellt. Im Unterschied zu den spezifischen Einsparungen durch die Recyclingprozesse werden hier die Emissionen, die beim Transport, der Aufbereitung und Vorsortierung der Abfälle entstehen mitberücksichtigt, die thermische Verwertung von Sortierresten jedoch noch nicht. Durch die veränderbaren Transferkoeffizienten zwischen Sortierresten und Einsparungen soll bei Leichtverpackungen der Anteil der tatsächlich stofflich verwerteten Mengen variiert und bei den restlichen Fraktionen der Anteil von Fehlwürfen verändert werden können.

Die folgenden KEA- und CO<sub>2</sub>-Angaben beziehen sich immer auf den Input von 1t Abfall im gewählten Entsorgungsweg. Berücksichtigt wurden die fünf Altstoffe: Altmetalle, Leichtverpackungen, Altpapier, Glas und Bioabfall.

Die Transferkoeffizienten für Masse wurden dabei größtenteils von der Masterarbeit Altendorfer (2018) übernommen, die eine umfassende Literaturrecherche enthält. (Altendorfer, 2018) Wenn nicht anders spezifiziert gelten diese Transferkoeffizienten immer für das Szenario „Status quo“.

Einsparungen wurden aus vorigem Kapitel 4.13 übernommen und mit der jeweiligen Menge, die pro Tonne Input in die getrennte Sammlung tatsächlich in eine stoffliche Verwertung geht, multipliziert. Dadurch wird sichergestellt, dass das Recycling nicht überschätzt wird und nur die tatsächlich rezyklierte Menge auch als Einsparung vom Gesamtergebnis abgezogen wird. Für Kunststoffe lässt sich ein zusätzlicher Ausschuss aus dem Recyclingprozess modellieren, für Papier, Glas und Metalle werden die Verluste im Recyclingprozess vereinfachend mit 0% angenommen.

Energiebilanzdaten der Aufbereitung bzw. Sortierung wurden bei allen Routen berücksichtigt. Bei Metallen und Glas wird angenommen, dass die Sortierung direkt in den Hütten erfolgt und daher kein zusätzlicher Transport zwischen Sortierung und Recyclinganlage mehr nötig ist. Sämtliche Dieserverbräuche, die möglicherweise durch Radlader oder Stapler entstehen, wurden nur bei der Kompostierung von Bioabfall berücksichtigt und ansonsten, aufgrund der im Vergleich geringen Effekte auf KEA bzw. THG-Emissionen, vernachlässigt.

Die Sortierreste werden im gesamten Kapitel mit SR abgekürzt und es wird angenommen, dass diese die gleiche Zusammensetzung wie Restmüll haben. Alle Sortierreste werden, je nach Modell, einer Wirbelschicht oder Rostverbrennungsanlage zugeführt.

Thermisch verwertete Fraktionen wie Sortierreste werden direkt den Verbrennungsanlagen zugerechnet und scheinen daher in den KEA- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen in diesem Kapitel nicht auf. Diese spielen, mit Ausnahme der EBS-Fraktion aus der Leichtverpackungssortierung aber eine untergeordnete Rolle.

Unberücksichtigt blieben Sperrmüll, Problemstoffe, Altmetalle/Haushaltsschrott, Elektroaltgeräte, Alttextilien sowie Altholz in der getrennten Sammlung.

### 4.14.1 Getrennte Sammlung von Metallen

Der Entsorgungsweg der Metalle erfolgt über eine Umladestation, einen Groß-Schredder und einen Post-Schredder. Die Transferkoeffizienten für den Ist-Stand „Status quo“ wurden von S. 73 in Brunner u.a. (2015) entnommen, da dort bereits mehrere Quellen gemittelt wurden. Folgendes Fließschema beschreibt den Mengenfluss der getrennten Sammlung für Metalle in Prozent. (Brunner u. a., 2015)

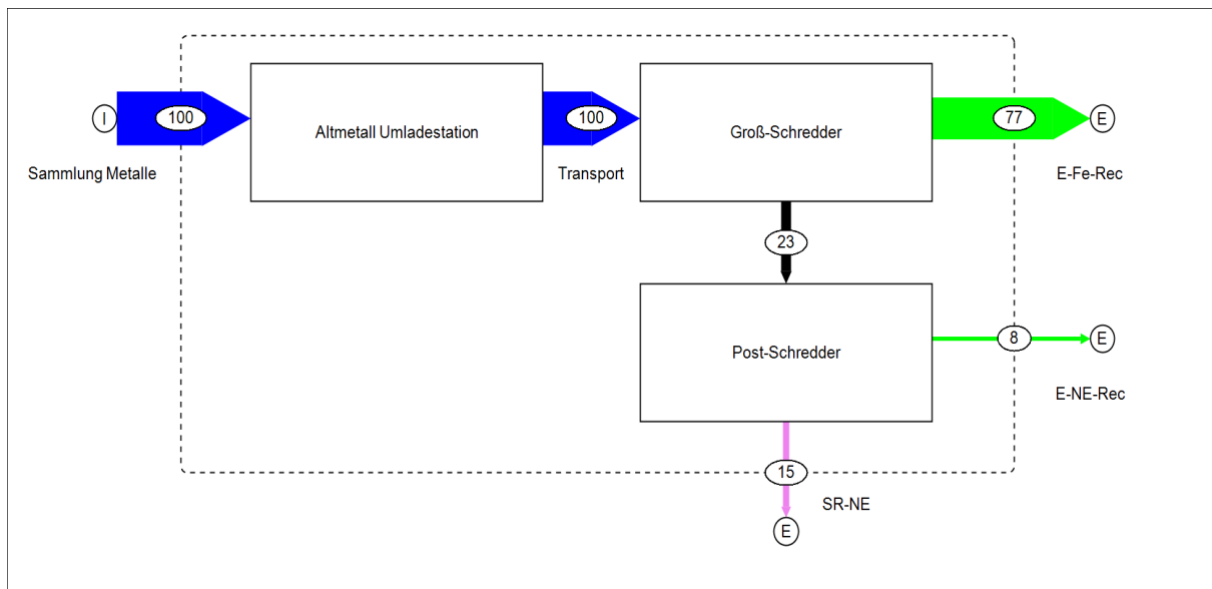


Abbildung 46: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Metalle und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung

Für die Energiebilanz der Aufbereitung von Eisen/Stahl wurde ein durchschnittlicher Energieverbrauch von 100 kWh/t Produktion von reinem Fe-Material aus Metallverpackungen angenommen. Für die Aufbereitung einer Tonne Nichteisen-Material wurde stellvertretend der durchschnittliche Energiebedarf für die Aufbereitung von Aluminium mit 120 kWh/t reinem NE-Material angenommen.

Die Annahmen erfolgten basierend auf Angaben von UBA (2010), in der die Aufbereitung von einer Tonne Fe-Recyclingmaterial aus der Verpackungssammlung mit 87-224 kWh/t und für Al-Recyclingmaterial aus VP-Sammlung mit 90-217 kWh/t angegeben wird. Diese Werte beziehen sich auf die Produktion einer Tonne jenes Materials, das anschließend in einem Schmelzaggregat verwertet werden kann. (UBA, 2010)

Als Einsparungen der Metalle wurden die jeweiligen, im Kapitel der Recyclingeinsparungen (siehe 4.13) bestimmten Werte angewendet. Transporte wurden wie in Tabelle 66 berücksichtigt und nach Tabelle 21 angenommen. Die thermische Verwertung des Sortierrests ist in diesem Kapitel nicht berücksichtigt, da sie, so wie in allen folgenden Tabellen der getrennten Sammlung, den Verbrennungsanlagen in der Modellierung direkt zugerechnet wird.

Der Transport des Sortierrests wurde mit 100km bis zur nächsten Verbrennungsanlage und 11t Durchschnittsbeladung pro LKW angenommen. (Altendorfer, 2018)

Tabelle 66: Bilanzierung des KEA und der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Metalle im Ist-Stand und obig definierten Transferkoeffizienten (Szenario „Status quo“)

GS-E-Me	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/t Input getrennte Sammlung	t CO <sub>2</sub> äq/t Input getrennte Sammlung
Einsparung FE-Rec	-12,628	-1,199
Einsparung NE-Rec	-8,157	-0,699
Energieaufwand für Aufbereitung Fe	0,446	0,010
Energieaufwand für Aufbereitung NE	0,056	0,001
Transport Met-Um – Gr-Sh	0,109	0,007
Transport Gr-Sh - FE-Ind	0,084	0,005
Transport Po-Sh - NE-Ind	0,009	0,001
Transport SR-Me - AV-W	0,019	0,001
<b>SUMME GS-E-Me</b>	<b>-20,064</b>	<b>-1,873</b>

In den Stan-Mengenflussdiagrammen der Kapitel 5.2.2 und 5.3.1 ist ein Stoffstrom „Me-Rec aus AV-R/MBA/MBA-tr“ angeführt. Er entspricht der Menge Metalle, die entweder in AV-R oder einer der MBA-Anlagen aussortiert und anschließend recycelt wird. Im Mengenflussdiagramm wird dieser Stoffstrom, der überwiegend aus Restmüll aussortiert wurde, „Recycling aus Restmüll“ zugerechnet.

### 4.14.2 Getrennte Sammlung von Leichtverpackungen

Die getrennte Sammlung von Leichtverpackungen (LVP) wird in zwei Schritte unterteilt. Zu Beginn steht die Sortierung in einer Sortieranlage, wobei hier bereits knapp die Hälfte des Materials als Mischkunststoff aussortiert und einer EBS-Produktion bzw. der Verbrennung zugeführt wird. Der Anteil für die stoffliche Verwertung von 55 m% wird anschließend in der Kunststoffrecyclinganlage erneut aufbereitet und von letzten Verunreinigungen befreit. Der Anteil der aus der Kunststoffrecyclinganlage aussortierten Reststoffe wird mit 10 m% des Recyclinganlageninputs angenommen. Annahmen des Ist-Stands „Status quo“ in Abbildung 47 anhand von Altendorfer (2018), ÖWAV (2013) und UBA (2017).

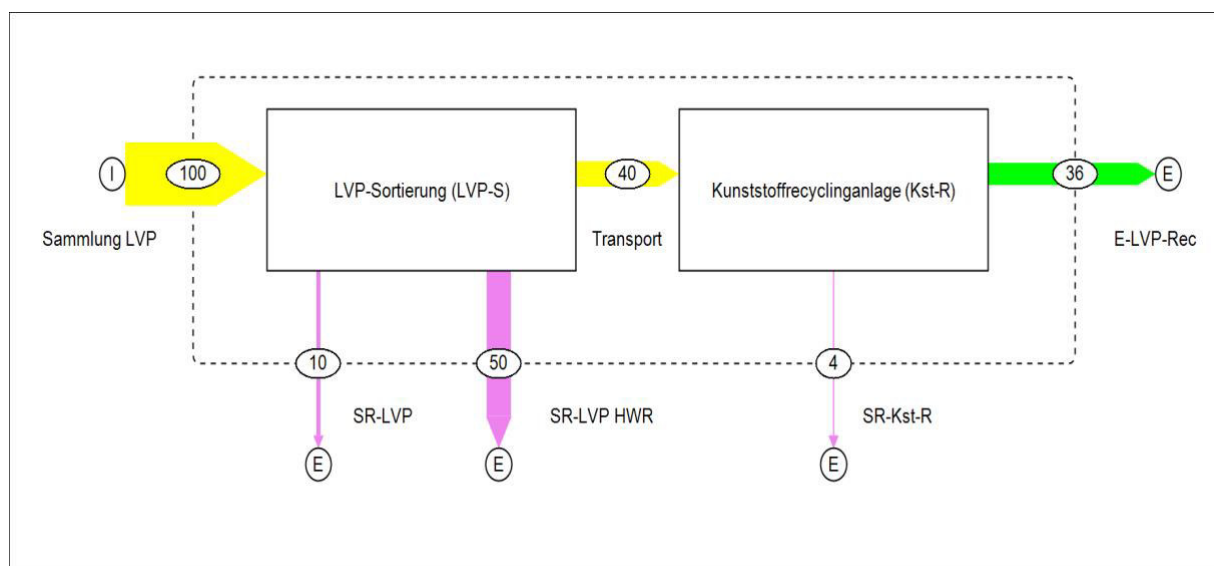


Abbildung 47: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Leichtverpackungen und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten für „Status quo“. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Altendorfer, 2018; ÖWAV, 2013; Umweltbundesamt, 2017)

Der heizwertreiche Sortierrest der LVP-Sortierung (SR-LVP HWR) ist in 4.7.2 durch einen Vergleich von Literaturquellen definiert und hat einen durchschnittlichen unteren Heizwert von 18,63 GJ/t<sub>os</sub>, sowie einen fossilen Kohlenstoffgehalt von 28,16%.

Die Sortierreste SR-LVP und SR-Kst-R haben, nach Annahme, Eigenschaften ( $H_u$ ,  $C_{\text{fossil}}$ ) des Restmülls (gem. Tabelle 13) und werden einer thermischen Verwertung zugeführt.

Der Stromverbrauch für LVP-Sortierungsanlagen wurde wie folgt durch Literaturwerte ermittelt. Ein möglicher Stromverbrauch bei der Aussortierung von SR-Kst-R (Abbildung 47) wurde vernachlässigt.

Tabelle 67: Durchschnittlicher Stromverbrauch der LVP-Sortierungsanlagen

<b>Energieaufwand (Strom) LVP-S</b>		
Quelle	kWh/t	GJ/t
(Brunner u. a., 2000)	85	0,306
(Brunner u. a., 2000)	77	0,277
(Ökoinstitut/HTP, 2012)	50	0,180
<b>Annahme Strom LVP-S</b>	<b>70,67</b>	<b>0,2544</b>

Aus vorangegangenen Daten ergibt sich die KEA- und CO<sub>2</sub>äq-Bilanz mit der im Kapitel 4.13 beschriebenen Einsparung für recycelte Kunststoffe nach angenommener Verteilung und Addition der beiden Sortierreste LVP und Kst-R wie folgt in Tabelle 68.

Tabelle 68: Bilanzierung des KEA und der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Leichtverpackungen ohne Anteil des SR-LVP HWR (wird in EBS-P thermisch verwertet)

<b>GS-E-LVP</b>	<b>KEA-gesamt</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Bilanz</b>
	GJ/t Input getrennte Sammlung	t CO <sub>2</sub> äq/t Input getrennte Sammlung
Einsparung Kst-Rec	-24,510	-0,577
Energieaufwand für Aufbereitung LVP-S	0,409	0,009
Transport LVP-S – EBS-P	0,031	0,002
Transport LVP-S – Kst-R	0,099	0,006
Transport LVP-S – AV-W	0,007	0,000
Transport Kst-R – AV-W	0,007	0,000
<b>SUMME GS-E-LVP</b>	<b>-23,957</b>	<b>-0,558</b>



### 4.14.3 Getrennte Sammlung von Papier

Die getrennt gesammelte Fraktion Altpapier geht über eine Sortieranlage in die Papierfabrik. Die Annahme des Sortierrests des Ist-Stands „Status quo“ von 5 m% (SR-Pap) wurde von Altendorfer (2018) und Brunner u.a. (2015) übernommen. Weiter wird angenommen, dass SR-Pap die Eigenschaften ( $H_u$ ,  $C_{\text{fossil}}$ ) von Restmüll (gem. Tabelle 13) aufweist und thermisch verwertet wird. (Altendorfer, 2018; Brunner u. a., 2015)

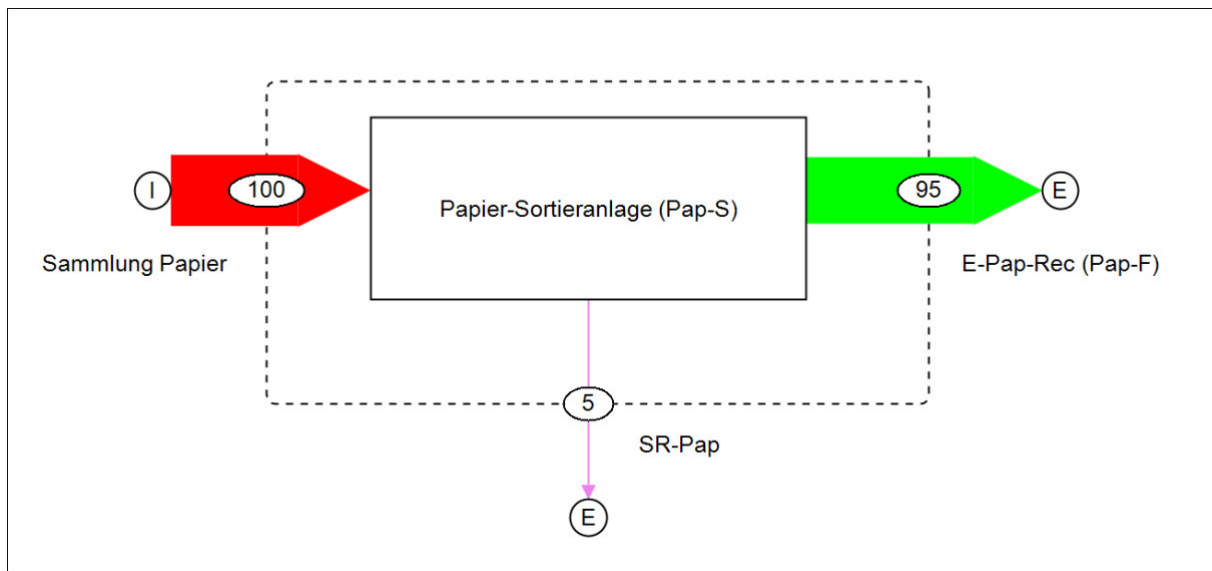


Abbildung 48: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Altpapier und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung

Der Energieaufwand der Sortieranlage beläuft sich auf 20-50 kWh/t, was durchschnittlich 40 kWh/t Altpapierinput bedeutet. (Bilitewski u. a., 2018)

Die KEA- und CO<sub>2</sub>äq-Bilanz wurde danach folgendermaßen bestimmt.

Tabelle 69: Bilanzierung des KEA und der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Altpapier

GS-E-Pap	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/t Input getrennte Sammlung	t CO <sub>2</sub> äq/t Input getrennte Sammlung
Einsparung Pap-Rec	-16,568	-0,523
Energieaufwand für Aufbereitung	0,203	0,004
Transport Pap-S – Pap-F	0,032	0,002
Transport Pap-S – AV-W	0,005	0,000
<b>SUMME GS-E-Pap</b>	<b>-16,328</b>	<b>-0,517</b>

#### 4.14.4 Getrennte Sammlung von Glas

Für die getrennte Sammlung von Glas wurde die Annahme von Altendorfer (2018) übernommen, dass nach der Sammlung eine Umladung von Sammelfahrzeug auf Transport-LKW stattfindet.

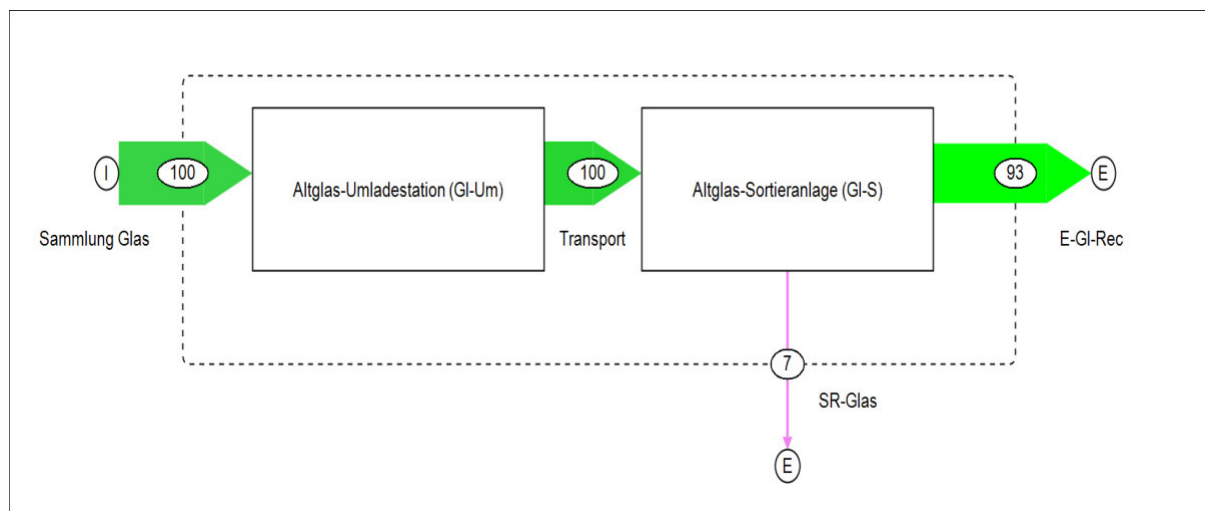


Abbildung 49: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Altglas und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung

In Österreich sind die Altglassortieranlagen in die Glashütte integriert und nach UBA (2010) wird für Waschen, Brechen und Sortieren ein Energieverbrauch in Höhe von 4,2 kWh/t, sowie ein durchschnittlicher Sortierrest von 7% nach Brunner u.a. (2015) angenommen. (Brunner u. a., 2015; UBA, 2010)

Tabelle 70: Bilanzierung des KEA und der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Altglas

GS-E-Glas	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/t Input getrennte Sammlung	t CO <sub>2</sub> äq/t Input getrennte Sammlung
Einsparung Glas-Rec	-2,939	-0,406
Energieaufwand für Aufbereitung	0,024	0,001
<i>Transport GI-Um – GI-S</i>	0,109	0,007
<i>Transport GI-S – AV-W</i>	0,007	0,000
<b>SUMME GS-E-Glas</b>	<b>-2,799</b>	<b>-0,398</b>

#### 4.14.5 Getrennte Sammlung von biogenen Abfällen

Folgendes Unterkapitel soll die getrennte Sammlung in der Biotonne simulieren. Dabei wird angenommen, dass ein Sortierrest aus Fehlwürfen, Störstoffen und nicht gut kompostierbaren Materialien von ca. 10 m% anfällt. Dieser wird, so wie alle anderen Sortierreste mit  $H_u$  und  $C_{\text{fossil}}$ -Gehalt von Restmüll (gem. Tabelle 13) angenommen und thermisch verwertet. Weiter wird ein Rotteverlust von 50 m% angenommen. (Altendorfer, 2018; Brunner u. a., 2015)

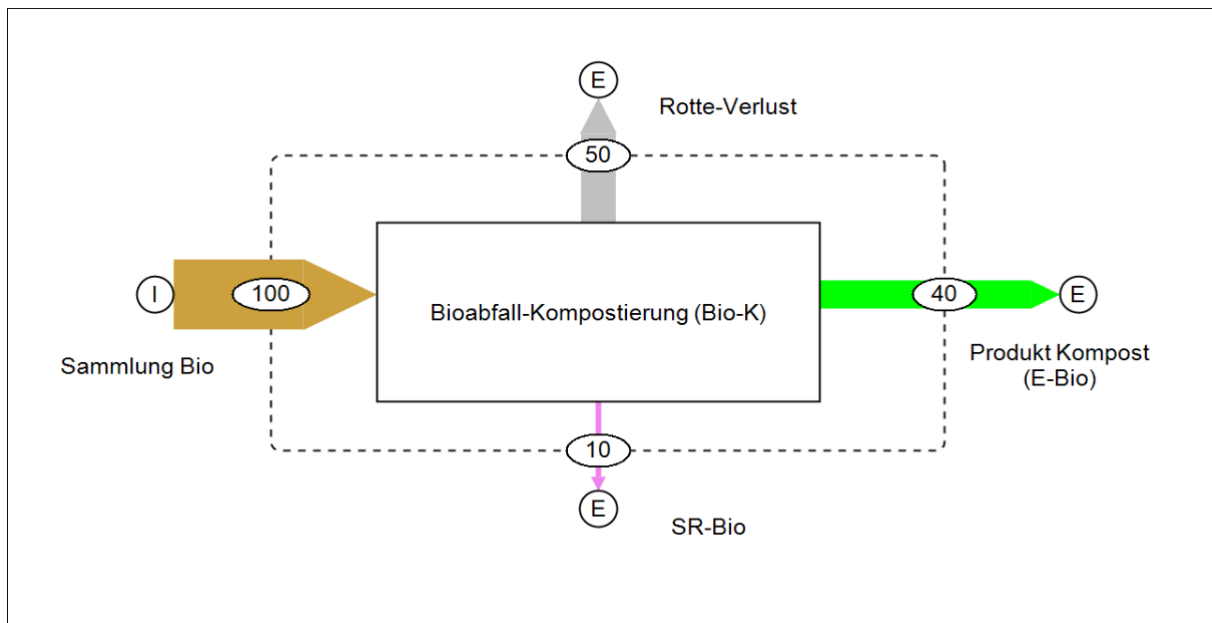


Abbildung 50: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Bioabfall und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung

In der Literatur wird der Energieaufwand für die Belüftung bei der Kompostierung mit 15-65 kWh/t angegeben. (Bilitewski u. a., 2018)

Der Dieselverbrauch für die Kompostierung wird nach Auskunft eines Abfallwirtschaftsverbands mit 1l Diesel/t Input Kompostierung angegeben.

Tabelle 71: Bilanzierung des KEA und der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Bioabfall

GS-E-Bio	KEA-gesamt	CO <sub>2</sub> -Bilanz
	GJ/t Input getrennte Sammlung	t CO <sub>2</sub> äq/t Input getrennte Sammlung
Einsparung Bio	-0,286	0,022
Energieaufwand Aufbereitung	0,231	0,005
Energieaufwand Diesel	0,040	0,003
Transport Bio-K - AV-W	0,003	0,000
<b>SUMME GS-E-Bio</b>	<b>-0,011</b>	<b>0,030</b>

Literaturwerte für die Kompostierung bewegen sich für Prozessemissionen inklusive Aufbereitungsenergie und Anlieferung zwischen +0,049 und +0,053 t CO<sub>2</sub>äq/t Input, wobei die Anlieferung (Sammlung, emittiert 26kg CO<sub>2</sub>äq/t Bioabfall) in dieser Aufstellung noch nicht inkludiert ist, da sie erst in der Gesamtauswertung zugerechnet wird. (Ökoinstitut, 2014, 2016)

#### 4.14.6 Zusammenfassung der getrennten Sammlung

Pro Tonne Input betrachtet weisen die getrennt gesammelten Altstoffe und biogenen Abfälle unterschiedliche KEA-Einsparung auf. Da der Anteil des Sortierrests nicht berücksichtigt ist, ist kein direkter Vergleich der Fraktionen möglich. Bei Leichtverpackungen mit 60 m% Sortierrest ist der Anteil der thermischen Verwertung deutlich höher ist, als jener von Metallen oder Bioabfall. Für die Berechnung ist diese Bestimmung jedoch notwendig, da die Entsorgung der thermischen Fraktionen je nach Auswahl des Modells angepasst werden soll. Daher dienen diese Zahlen als kumulierte Einsparung, wobei der thermisch verwertete Anteil noch hinzugerechnet werden muss.

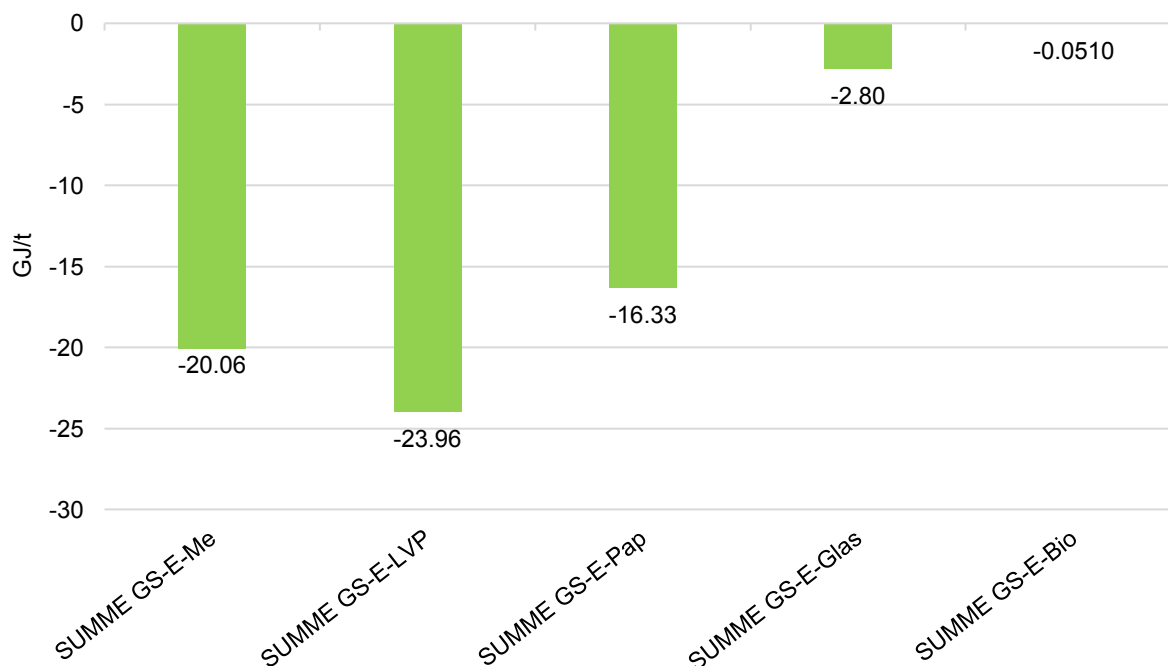


Abbildung 51: Vergleich der spezifischen, kumulierten Energieeinsparung durch die getrennte Sammlung ausgewählter Fraktionen

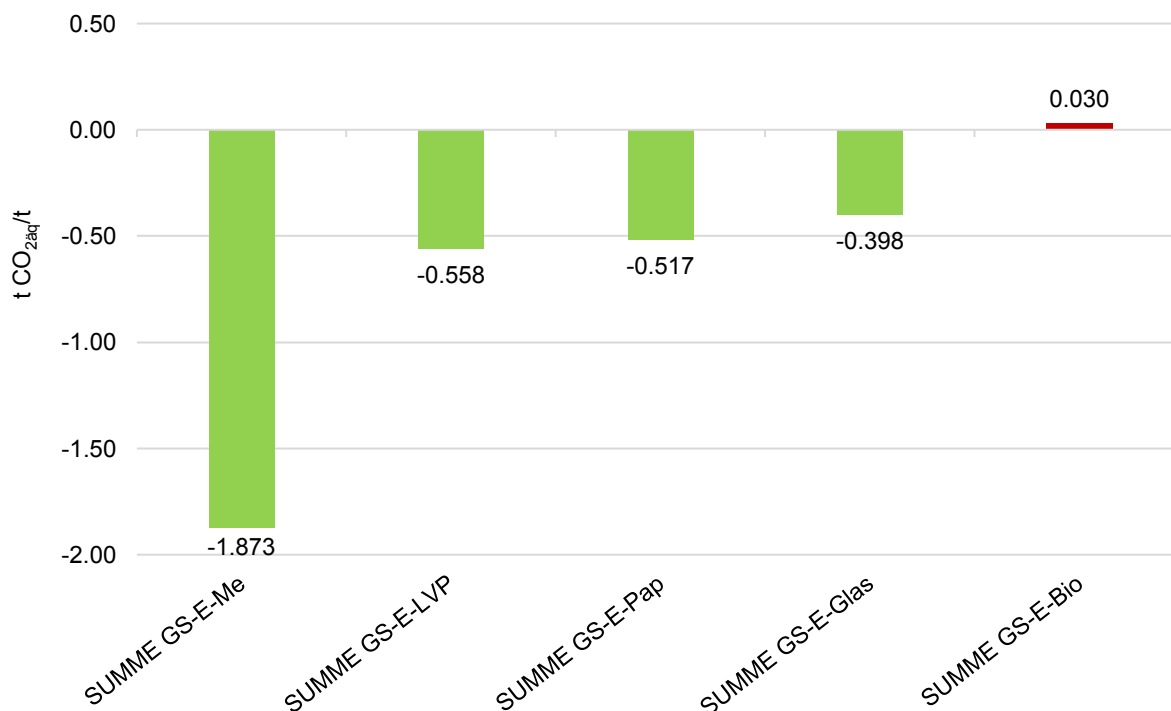


Abbildung 52: Vergleich der spezifischen, eingesparten CO<sub>2</sub>äq-Emissionen durch die getrennte Sammlung ausgewählter Fraktionen

Durch die Übersicht der in den Recyclingprozess eintretenden Mengen kann die für die Fraktion spezifische Recyclingquote, nach getroffenen Annahmen, berechnet werden. Die Annahmen belaufen sich auf vollständige Anrechnung der Menge der Outputs aus den Sortieranlagen zur Recyclingquote für die Fraktionen Metalle, Papier, Glas. Für Kunststoffe werden durch den im Vergleich zu den anderen Fraktionen größeren Verlust beim Recyclingprozess selbst noch 10 m% vom Output der Sortieranlagen abgezogen. Durch diese Annahmen ergeben sich Werte nach Tabelle 72.

Tabelle 72: Zusammenfassung der spezifischen, tatsächlich in den Recyclingprozess eingebrachten Mengen bei der getrennten Sammlung im Szenario „Status quo“

Spezifische Recyclingquoten der getrennten Sammlung			
	Masse stofflich verwertet/ Masse Input	Anteil stofflich verwertet/ Masse Input GS	Anteil Sortierrest/ Masse Input GS
	t recycelt/t Input GS	%	%
SUMME GS-E-Me	0,850	85,0%	15,0%
SUMME GS-E-LVP	0,360	36,0%	64,0%
SUMME GS-E-Pap	0,950	95,0%	5,0%
SUMME GS-E-Glas	0,930	93,0%	7,0%
SUMME GS-E-Bio	0,900	90,0%	10,0%

Tabelle 73: Masse und Charakterisierung der Sortierreste der getrennten Sammlung bezogen auf eine Tonne Input in die getrennte Sammlung im Szenario „Status quo“

<b>Sortierreste der getrennten Sammlung</b>				
	Masse Sortierreste	Definition Sortierreste		
	t SR/t Input GS	GJ/t H <sub>u</sub> OS Fraktion	t C <sub>fossil</sub> /t Fraktion	t CO <sub>2</sub> äq/t
SR-Me	0,150	10,336	0,113	0,414
SR-LVP + SR Kst-R	0,140	10,336	0,113	0,414
SR-Papier	0,050	10,336	0,113	0,414
SR-Glas	0,070	10,336	0,113	0,414
SR-Bio	0,100	10,336	0,113	0,414

## 4.15 Modell eines 2-Tonnen Systems – „Trocken- und Nassmüll“

Die bisher beschriebenen Anlagen und Prozesse, sind die in Österreich am häufigsten eingesetzten und alle entsprechen dem gleichen Sammelsystem in dem die getrennten Fraktionen von Altmetallen, LVP, Altpapier, Glas und Bio separat zum Restmüll gesammelt werden. Eine andere Sammelstrategie, deren Leistung in Bezug auf Recyclingrate, dem KEA sowie den THG-Emissionen im Vergleich zum konventionellen Sammelsystem von Interesse ist, soll in diesem Kapitel beschrieben werden.

Die Daten dieses Kapitels stammen zur Gänze aus Angaben eines Abfallwirtschaftsverbands. (Abfallwirtschaftsverband, 2020) Gesammelte Mengen wurden auf 100.000t hochskaliert und nach gleichen Kriterien wie alle anderen Modelle bewertet, um die Ergebnisse vergleichen zu können.

### 4.15.1 Sammelsystem und Abfallbehandlung

Das System baut prinzipiell auf zwei Tonnen im Holsystem, Trocken- und Nassmüll, auf, die durch weitere getrennte Sammlung von Bioabfall und Altpapier im Holsystem und Glas im Bringsystem ergänzt werden. Jedoch ist nicht jeder Haushalt auch an eine Altpapier- oder Biotonne angeschlossen. Der Trockenmüll besteht aus Metall- und Leichtverpackungsabfällen sowie auch Papier- und Glasanteilen zusammen, da diese Fraktionen im Trockenmüll mitgesammelt werden, wenn kein Anschluss an die zusätzlichen Tonnen besteht. Nichtverpackungsmaterialien wie Hartkunststoffe, Buntmetalle und, solange sie von der Größe her in den Behälter passen, auch kleine Elektroaltgeräte werden über die Trockenmülltonne mitgesammelt, was Haushalten manche Wege zum Altstoffsammelzentrum erspart. Vereinfacht gesagt, ist die Trockenmülltonne eine „Wertstofftonne“, in der alle recycelbaren Abfälle gesammelt werden sollen. Dies ist einer der größten Unterschiede zur klassischen Verpackungssammlung, die in den vorherigen Kapiteln beschrieben ist, da im konventionellen System nur Verpackungen gesammelt werden.

Biomüll wird analog zu dem bereits beschriebenen System der getrennten Erfassung von biogenen Abfällen (siehe 4.14.5) gesammelt. Die Restmüll- bzw. in diesem Fall Nassmülltonne enthält insbesondere feuchte Bestandteile, die keinem Recycling mehr zugeführt werden sollen. Dies umfasst unter anderem Hygieneartikel, Hygienepapier, die Feinfraktion und andere nicht recycelbare Abfälle. Altpapier und Glas werden analog zur konventionellen getrennten Sammlung (siehe 4.14.3 und 4.14.4) behandelt und einer Sortierung zugeführt.

Tabelle 74: Sammelmengen im 2-Tonnen-System. (Abfallwirtschaftsverband, 2020)

INPUT 2-Tonnen-System	Masse	Anteil
	t	%
Trockenmüll	39.159	39,16%
GS Altpapier	12.761	12,76%
GS Glas	3.621	3,62%
GS Bioabfall	30.071	30,07%
Restmüll (Nassmüll)	14.388	14,39%
<b>SUMME ALLER ABFÄLLE</b>	<b>100.000</b>	<b>100,00%</b>

Der Inhalt der Trockenmülltonne wird in einer Sortieranlage aufbereitet, die aus einem Ballistic Separator, einem Fe-Scheider und einer Nahinfrarot-Sortierung zur Trennung von Folien und Papier besteht. Die darauffolgende Handsortierung aller vorsortierten Fraktionen ermöglicht eine gute Qualität und genauere Auftrennung der Wertstofffraktionen, die geringere Verluste beim Recycling, im Vergleich zur rein maschinellen Sortierung ermöglichen. Diese wurden in den Annahmen des Modells berücksichtigt.

Der gesammelte Nassmüll wird zur Gänze und ohne Vorbehandlung direkt in einer Rostverbrennungsanlage thermisch verwertet.

#### 4.15.2 Detailbeschreibung des Modells GS-2T

Ein Massenflussdiagramm des Gesamtmodells ist in Abbildung 58 enthalten. Aus vorliegenden Daten der Input und Outputströme der Anlage wurden für das Jahr 2019 folgende Transferkoeffizienten für Masse bestimmt. (siehe Tabelle Tabelle 75)

Tabelle 75: Transferkoeffizienten für die Masse in der Sortieranlage für den Trockenmüll des 2-Tonnensystems. (Abfallwirtschaftsverband, 2020)

Output-Transferkoeffizienten Sortieranlage für Trockenmüll „Status quo“	m%
VP Glas	1,32%
VP Papier B12	6,72%
NVP Papier B12	10,08%
VP Folien	0,34%
VP Hohlkörper - PE, PP	0,55%
VP PET	1,69%
VP Tetra-Pak	0,41%
VP Kunststoffe unsortiert	3,20%
NVP Kunststoffe unsortiert inkl. Hartkunststoffe	0,40%
VP Fe - Weißblech	3,90%
VP Aluminium	0,48%
Buntmetalle	0,62%
Fe SPM	0,58%
NVP Aluminium	0,00%
Bauschutt, Inert	0,59%
Klein-EAG	0,05%
Restmüll HK	26,65%
Restmüll MK	19,98%
Siebdurchgang Ballistic Separator – Input Separator-Sieb	16,87%
Sonstiges	5,57%
<b>SUMME</b>	<b>100,00%</b>



Tabelle 75 beschreibt die Aufteilung des Outputs der Sortieranlage. Die Datengrundlage unterscheidet auch zwischen Verpackungen (VP) und Nichtverpackungen (NVP), weshalb die Transferkoeffizienten ebenfalls so übernommen wurden. Die Fraktion „Siebdurchgang Ballistic Separator“ wird weiter in einem Separator-Sieb aufbereitet. Dabei werden die Wertstoffanteile des Outputs, die aus Glasbruch, Eisen- und Nichteisenmetallen bestehen, einem Recycling zugeführt. Die im Separator-Sieb abgeschiedene heizwertreiche Leichtfraktion wird in einer Ersatzbrennstoffproduktionsanlage zu EBS verarbeitet. Ihr  $H_u$  sowie  $C_{\text{fossil}}$ -Gehalt musste mangels chemischer Analysen geschätzt werden (siehe Tabelle 79). Die Inert- und Feinfraktion werden auf einer Massenabfalldeponie abgelagert. Der  $H_u$  bzw. der  $C_{\text{fossil}}$ -Gehalt dieser Fraktion wird vernachlässigt.

Tabelle 76: Separator-Sieb Outputfraktionen und deren Massenanteile

Output Separator Sieb aus Siebdurchgang	m%
Glasbruch	30,60%
Leichtfraktion	22,30%
NVP Fe	3,40%
NVP NE-Metalle	2,20%
Inertmaterial (Keramik, Steine, Porzellan)	23,50%
Feinfraktion (Dep-Ma)	18,00%
<b>SUMME</b>	<b>100,00%</b>

Nach Abgleich mit der Sortieranalyse wurde in Tabelle 77 die durchschnittliche Aussortierquote für jede Fraktion bzw. eine Gesamtquote bestimmt. Dies erfolgte, um das Verbesserungspotential der Anlage zu bestimmen, da im Szenario „tec+“ die Anlagenleistung soweit verbessert werden soll, dass die bereits erwähnten Recyclingziele von 65 m% Siedlungsabfall erreicht werden sollen. Aktuell (2019) ergibt sich eine Aussortierquote von 36,45 m% für das Recycling. Zurück bleiben ein hochkalorischer und ein mittelkalorischer Restmüll, die einer EBS-Produktion bzw. einer Rostabfallverbrennung zugeführt werden. Für die Fraktion „sonst. KST VP“ wird eine Output-Recyclingrate von 20 m% angenommen.

Tabelle 77: Theoretisch vorhandene Mengen und Aussortiergrad/Recyclingquote der Anlage nach „Status quo“ (inkl. Separator-Sieb Output) für das Jahr 2019

"Status quo" Inhalte der Trockenmülltonne nach Sortieranalyse (Abfallwirtschaftsverband, 2020)	Theoretisch vorhandene Mengen gem. Sortieranalyse	Gesamtmenge aussortiert für Recycling*	Sortierrest als Restmüll nach Sortierung**	Aussortierungsgrad je Fraktion
	t	t	t	m%
sonst. VP	132,12	0	132,12	0,00%
MET VP	1699,94	1717,45	-17,51	101,03%***
Papier/Karton VP	2979,99	2631,93	348,05	88,32%
PET GVP farblos, blau, grün	1244,57	661,33	583,24	53,14%
sonst. KST VP	5361,88	1602,34	3759,54	29,88%

GVK+MVVP	1475,67	158,69	1316,98	10,75%
Glas VP	2932,08	2538,55	393,53	86,58%
MET NVP	1720,00	841,64	878,36	48,93%
Glas NVP, Inertes	914,89	0	914,89	0,00%
Papier/Karton NVP	5174,16	3947,90	1226,26	76,30%
Hartkunststoffe Mix	2019,08	155,53	1863,55	7,70%
Restmüll, Sonstiges	11501,12	18,96	11482,16	0,16%
Feinfraktion <40mm	2003,11	0	2003,11	0,00%
<b>Summe****</b>	<b>39158,60</b>	<b>14274,33</b>	<b>24884,27</b>	<b>36,45%</b>
*Entspricht jener Menge die 2019 aus dem Trockenmüll aussortiert wurde				
**Entspricht der theoretisch vorhandenen Menge abzüglich des für Recycling aussortierten Anteils				
***basierend auf Werten der Sortieranalyse, Schwankungen über 100 m% bei hohen Aussortierungsgraden möglich				
****Summe von 39158,6 t entspricht Input Trockenmülltonne pro 100.000 t Input in Modell und ist Summe aus aussortierter Menge und Restmenge im Restmüll.				

Die getrennte Sammlung, abseits der Nass- und Trockenmülltonne von Altpapier, Glas und Bioabfällen, wird, was den Störstoff- oder Fehlwurfanteil, die Aufbereitung und das Recycling betreffen und ist äquivalent zur konventionellen getrennten Sammlung berechnet. (siehe Kapitel 4.14.3, 4.14.4 und 4.14.5). Für Bioabfälle werden jedoch die zur Verfügung gestellten Transferkoeffizienten verwendet. Wirkungs- und Substitutionsgrade für das Szenario „Status quo“ entsprechen den in der Sachbilanz für die jeweiligen Anlagen definierten Werte. (siehe Kapitel 4.11), Transporte wurden ebenfalls äquivalent zu Tabelle 21 übernommen. Aufgrund der durchgeführten Handsortierung wird angenommen, dass der Wertstoffanteil gegenüber dem Durchschnitt geringer ist und daher nur mehr sehr wenige Wertstoffe während der EBS-Produktion ausgeschleust werden.

Tabelle 78: Massenverteilung des Outputs der EBS-Produktion

Outputfraktion EBS-P	m%
Zem-HK EBS	97,00%
SR-EBS-P	2,10%
Fe	0,50%
NE	0,10%
PET	0,20%
FKN	0,10%
<b>SUMME</b>	<b>100%</b>

### 4.15.3 Definition der Stoffströme des Modells GS-2T

Um, neben der Recyclingquote, auch den KEA sowie die THG-Emissionen von GS-2T zu berechnen, müssen alle Ströme bestimmt werden, die anschließend thermisch verwertet werden. Dies wurde in Tabelle 77 durchgeführt.

Tabelle 79: Definition der thermisch verwerteten Stoffströme des Modells GS-2T

Modell GS-2T	Annahme basierend auf Strom aus Stoffstromverzeichnis (4.7.3)		Definition Ströme Output		
	S-Nr	Stoffstrom	GJ/tos Hu	t C fossil/tos	Zielanlage
Fraktionen für AV-Rost					
Nassmüll/Restmüll	6	Restmüll	10,34	0,1129	AV-R
Sortierrest MK Trockenmüll	11	MBA-Output MK	11,50	0,1500	
SR-Bio	6	Restmüll	10,34	0,1129	
SR-Pap-Rec					
SR-Glas-Rec					
SR-Me-Rec					
SR-EBS-P					
Sortierrest HK Trockenmüll	13	MBA Output HK	17,00	0,2300	EBS-P und Zementwerk
Sortierrest HK Separator-Sieb	13	MBA Output HK	17,00	0,2300	
SR-Kst-Recycling	18	SR-LVP HWR	18,63	0,2816	

## 5 Entwicklung und Beschreibung der Szenarien als Teil einer Sensitivitätsanalyse

### 5.1 Veränderbare Parameter der Excel-Modellierung

Jeder modellierte Prozess der Anlagen kann in verschiedenen Parametern verändert werden. Für ein Modell können unterschiedliche Szenarien gelten – zB „Status quo“ mit tatsächlichen Mengen, Wirkungsgraden/Substitutionsgraden, Transferkoeffizienten und Verteilung von Restmüllmengen zu Mengen in der getrennten Sammlung.

Tabelle 80: Auflistung der einfach veränderbaren Parameter aus der Excel-Modellierung für jedes Entsorgungsmodell

Modell Bezeichnung	Variable Parameter
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirkungsgrad der Rostabfallverbrennung</li> </ul>
31	<ul style="list-style-type: none"> <li>MBA Output Massenverteilung und Qualitäten (<math>H_u</math>, <math>C_{fossil}</math>)</li> <li>Wirkungsgrad der Wirbelschichtverbrennung</li> </ul>
32	<ul style="list-style-type: none"> <li>MBA Output Massenverteilung und Qualitäten (<math>H_u</math>, <math>C_{fossil}</math>)</li> <li>Wirkungsgrad der Wirbelschichtverbrennung</li> <li>Substitutionsgrad Zementwerk</li> </ul>
33	<ul style="list-style-type: none"> <li>MBA Output Massenverteilung und Qualitäten (<math>H_u</math>, <math>C_{fossil}</math>)</li> <li>Substitutionsgrad Zementwerk</li> </ul>
34	<ul style="list-style-type: none"> <li>MBA-tr Output Massenverteilung und Qualitäten (<math>H_u</math>, <math>C_{fossil}</math>)</li> <li>Wirkungsgrad der Wirbelschichtverbrennung</li> <li>Substitutionsgrad Zementwerk</li> </ul>
GS-X	<ul style="list-style-type: none"> <li>alle bereits aufgelisteten (je nach Modell)</li> <li>Massenverteilung zwischen Restmüll und getrennt gesammelten Metall-, LVP-, Papier-, Altglas- und Biofraktionen</li> <li>Transferkoeffizienten der Aufbereitung für Altstoffe aus der getrennten Sammlung – Anteil der Fraktion für Recyclingprozess bzw. des Sortierrests</li> <li>Durchschnittliche Verlustquote während dem Recyclingprozess (Recyclingoutput)</li> </ul>

Die Szenarien lassen eine Bewertung der einzelnen Modelle bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu. Mithilfe des Excel-Modells können sehr viele Parameter verändert werden, jedoch wird der Rahmen hier auf die wahrscheinlichsten Szenarien begrenzt.

Für die drei simulierten Szenarien (vgl. Kapitel 5.3, 5.4, 5.5) wurden basierend auf „Status quo“ folgende Parameter verändert:

- Masseverteilung Restmüll und getrennte Sammlung
- Anteil der Menge für das Recycling aus Sortieranlagen, Verluste im Recyclingprozess
- Wirkungsgrade der Verbrennungsanlagen
- Substitutionsrate in den Zementwerken

## 5.2 Szenario: „Status quo“

Dieses Szenario soll den Ist-Stand beschreiben und das österreichische Siedlungsabfallwirtschaftssystem im Jahr 2018/19 darstellen. Die Anlageneigenschaften für dieses Szenario wurde in der Sachbilanz schon umfangreich beschrieben, da die dort berechneten Mittelwerte für die Berechnungen des „Status quo“ dienen. Für die Mengenverteilung der getrennten Sammlung und dem Restmüll wird nach Vorlage der Benchmark-Studie (2015) und dem Statusbericht der österreichischen Abfallwirtschaft (2020) Folgendes angenommen. (BMK, 2020; Brunner u. a., 2015)

Tabelle 81: Mengenverteilung des österreichischen Durchschnitts gemittelt. Bezogen auf die Gesamtmenge der genannten Abfallfraktionen in Österreich

Durchschnittliche Sammelmengen Österreich	Statusbericht (BMK, 2020) (Angaben für 2018)	Benchmark-Studie (Brunner u. a., 2015)	Mittelwert
	m%	m%	gemittelt in m%
Altmetalle	0,78%	2,95%	1,87%
Leichtverpackungen (LVP)	4,51%	3,88%	4,20%
Altpapier	18,33%	16,08%	17,21%
Glas	6,45%	5,47%	5,96%
Bioabfall	29,02%	22,08%	25,55%
<b>SUMME GETRENNTE SAMMLUNG</b>	<b>59,10%</b>	<b>50,57%</b>	<b>54,78%</b>
<b>Restmüll</b>	<b>40,90%</b>	<b>49,53%</b>	<b>45,22%</b>

Die Transferkoeffizienten für die MBA-Modelle entsprechen den Definitionen in der Sachbilanz (siehe Kapitel 4.12)

Die Einstellungen für Wirkungsgrade, Substitutionsgrade sowie Transferkoeffizienten der verschiedenen Anlagen im Excel-Modell sind für das Szenario „Status quo“ durch die jeweiligen Werte in der Sachbilanz definiert und werden in Tabelle 82 noch einmal aufgelistet.

Tabelle 82: Angenommene Wirkungs- und Substitutionsgrade im Szenario „Status quo“ (Literaturbestimmung in Kapitel 4.11)

Angenommener Wirkungsgrad „Status quo“	$\eta_{el}$ netto	$\eta_{th}$ netto	$\eta_{ges}$ netto
MVA-Mix Österreich AV-R	19,0%	41,0%	60,0%
MVA-Mix Österreich AV-W	19,0%	41,0%	60,0%
Angenommener Substitutionsgrad „Status quo“			%
GJ aus EBS/GJ Gesamteinsatz			81,24%

Für die LVP-Sammelmenge wird angenommen, dass 40 m% in eine Recyclinganlage eingebracht werden, wovon erneut 10 m% Ausschuss produziert werden. (siehe 4.14.2) Dies bedeutet, dass in „Status quo“ getrennt gesammelte Kunststoffe eine Recyclingquote von 36 m%, bezogen auf den Output aus dem Recyclingprozess haben. (siehe Tabelle 83) Bei Altmetallen, Altpapier und Glas ist ein Verlust während des Recyclingprozesses jedoch vernachlässigt worden.

Tabelle 83: Recyclinganteile der getrennt gesammelten Fraktionen „Status quo“

Getrennt gesammelte Fraktionen	Anteil recycelt in m%
Altmetalle	85,0%
Leichtverpackungen (LVP)	36,0%
Altpapier	95,0%
Glas	93,0%

### 5.2.1 Szenario „Status quo“ für 2-Tonnen Modell

Im 2-Tonnen-Modell wurde die Verteilung von getrennter und gemischter Sammlung anhand von Daten der letzten drei Jahre bestimmt. (Abfallwirtschaftsverband, 2020) Die Nassmüll bzw. Restmüllfraktion ist mit 14,39 m% sehr gering, jedoch werden nach dem aktuellen, technischen Stand der Sortieranlage nur 36,5 m% des Trockenmüll-Inputs für ein Recycling aussortiert. (siehe Tabelle 77)

Tabelle 84: Sammelmengen gemittelt aus den Jahren 2017, 2018 und 2019 eines österreichischen Abfallwirtschaftsverbands.

Sammelmengen 2-Tonnen System (GS-2T) – „Status quo“	m%
Trockenmülltonne	39,16%
Altpapier	12,76%
Glas	3,62%
Bioabfall	30,07%
<b>SUMME GETRENNTE SAMMLUNG inkl. RM als Fehlwurf in Trockenmülltonne</b>	<b>85,81%</b>
<b>Nassmüll/Restmüll</b>	<b>14,39%</b>

Diverse Wirkungs- und Substitutionsgrade, sowie die Sortiertiefe in der getrennten Sammlung bleiben unverändert zum Szenario „Status quo“ für die anderen Modelle (siehe Tabelle 82).

Da wie in Kapitel 4.15 beschrieben, das Modell aus einer Sortieranlage für den Trockenmüll besteht, mussten für diese die notwendigen Masse-Transferkoeffizienten bestimmt werden. Die Transferkoeffizienten für die Masse in der Sortieranlage für den Trockenmüll des 2-Tonnensystems berechnen sich nach Tabelle 75 und Tabelle 76.

Der tatsächliche Output aus dem Recycling der aussortierten Mischkunststofffraktion wird mit 50 m% angenommen, da diese zwar weiter aufbereitet und recycelt, jedoch ein großer Teil der Multi-Layer und Verbundverpackungen nicht recycelt werden kann. Für die restlichen Kunststofffraktionen wird eine Verlustquote im Recycling von 5 m% angenommen, da die sortenreinen Fraktionen durch eine Handsortierung erzeugt werden und Qualität der Recyclingfraktionen für Kunststoffe insgesamt besser als der österreichische Durchschnitt ist. (10 m% Verlustquote beim Recycling, siehe 4.14.2) Für aussortierte Buntmetalle sowie Eisenspermmüll wurde der Eisengehalt auf ca. 85 m% geschätzt, was einen Verlust von 15 m% im Recycling bedeutet. Da keine genaueren Informationen vorliegen, wurden diese Annahmen nach Begutachtung der Sortieroutput-Fraktionen getroffen. (Abfallwirtschaftsverband, 2020)

### 5.2.2 Mengenflussdiagramme pro 100.000 t Input nach „Status quo“ der unterschiedlichen Modelle

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden in diesem Kapitel Mengenflussdiagramme aller Modelle inklusive der getrennten Sammlung mit 100.000 t Input im Szenario „Status quo“ visualisiert. Die Modelle GS-2, -31, -32, -33, -34 unterscheiden sich lediglich in der Entsorgung des Restmüllanteils, da der Anteil der getrennten Sammlung bis auf die Anlage zur Verwertung der Sortierreste ident ist. (konventionelles Sammelsystem)

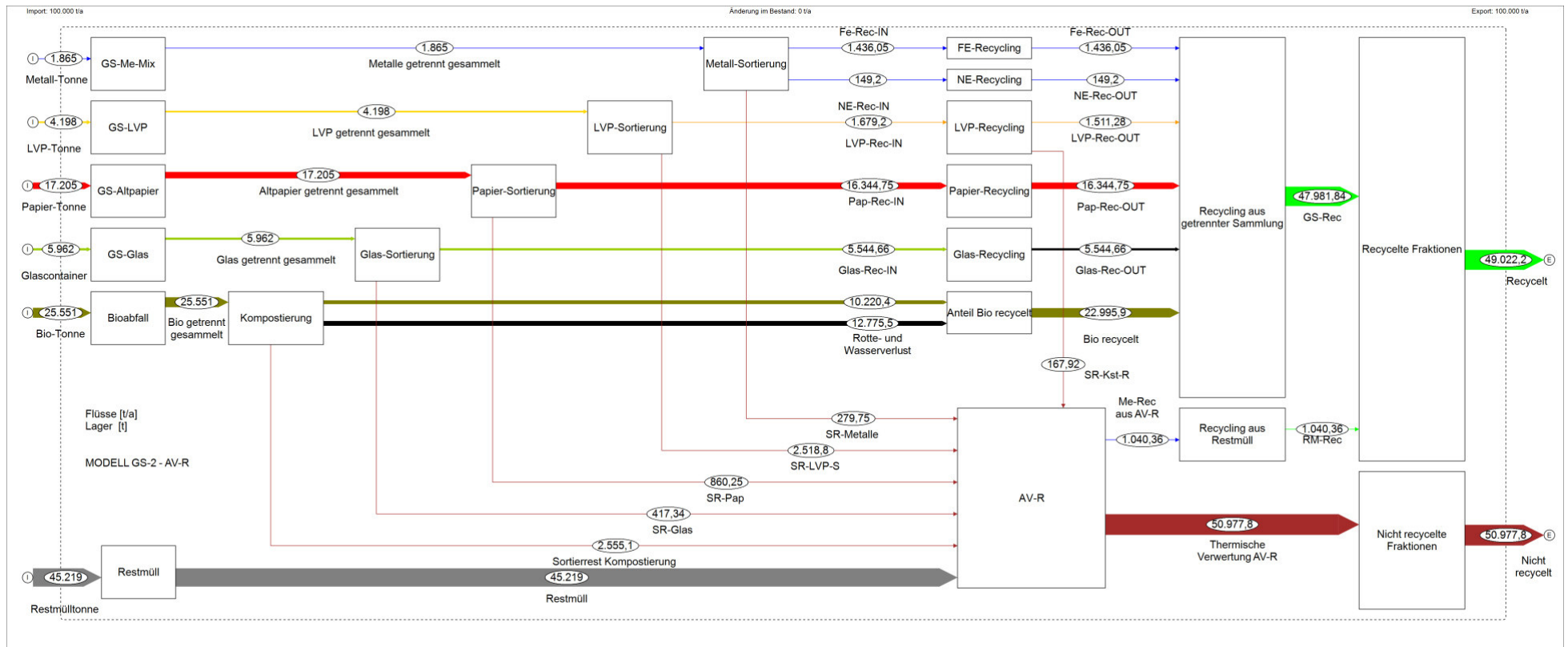


Abbildung 53: Mengenfluss des Modells GS-2, der direkten thermischen Verwertung in einer Rostverbrennungsanlage. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung

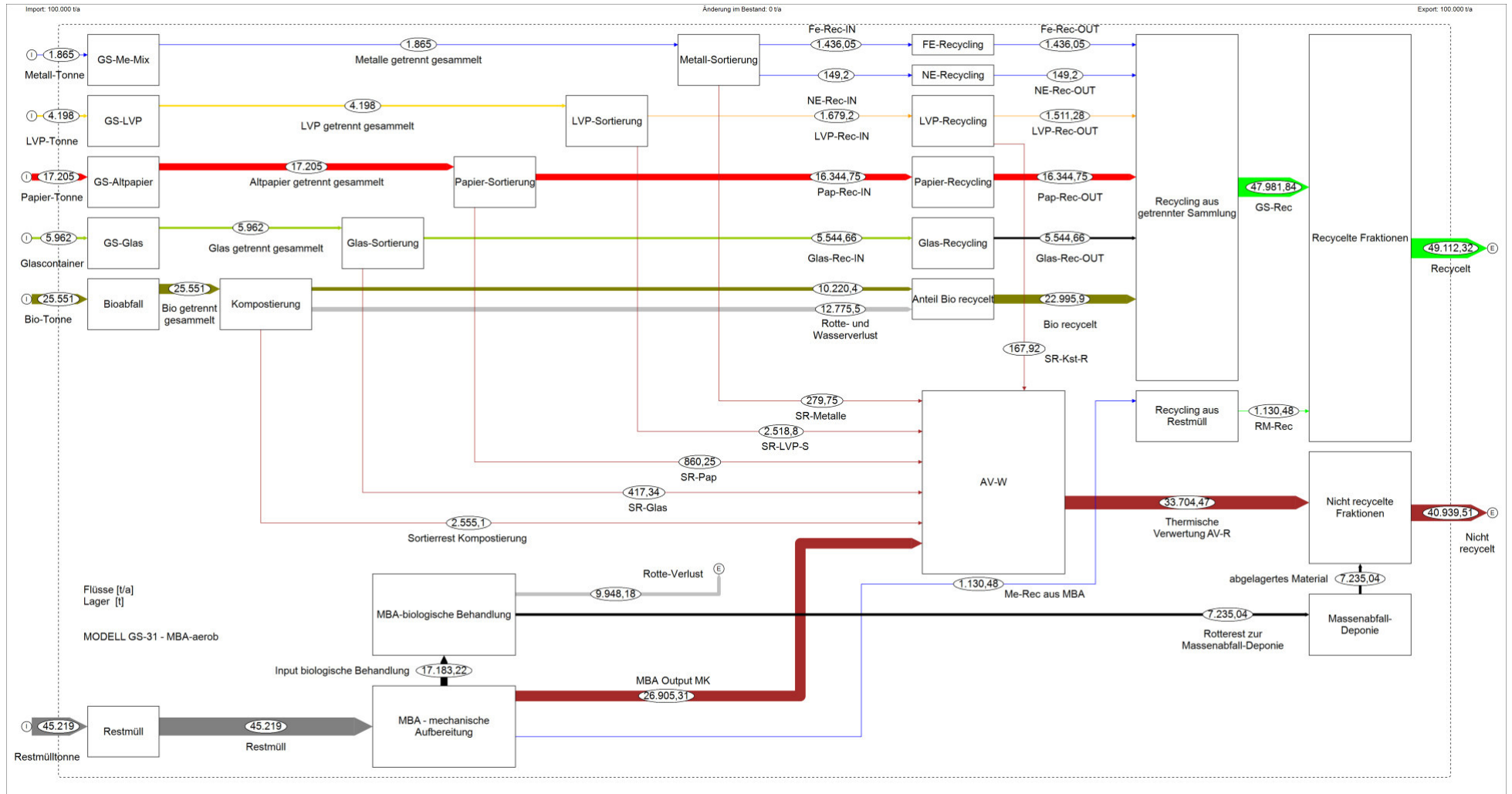


Abbildung 54: Mengenfluss des Modells GS-31, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für den gesamten heizwertreichen Anteil der MBA. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung



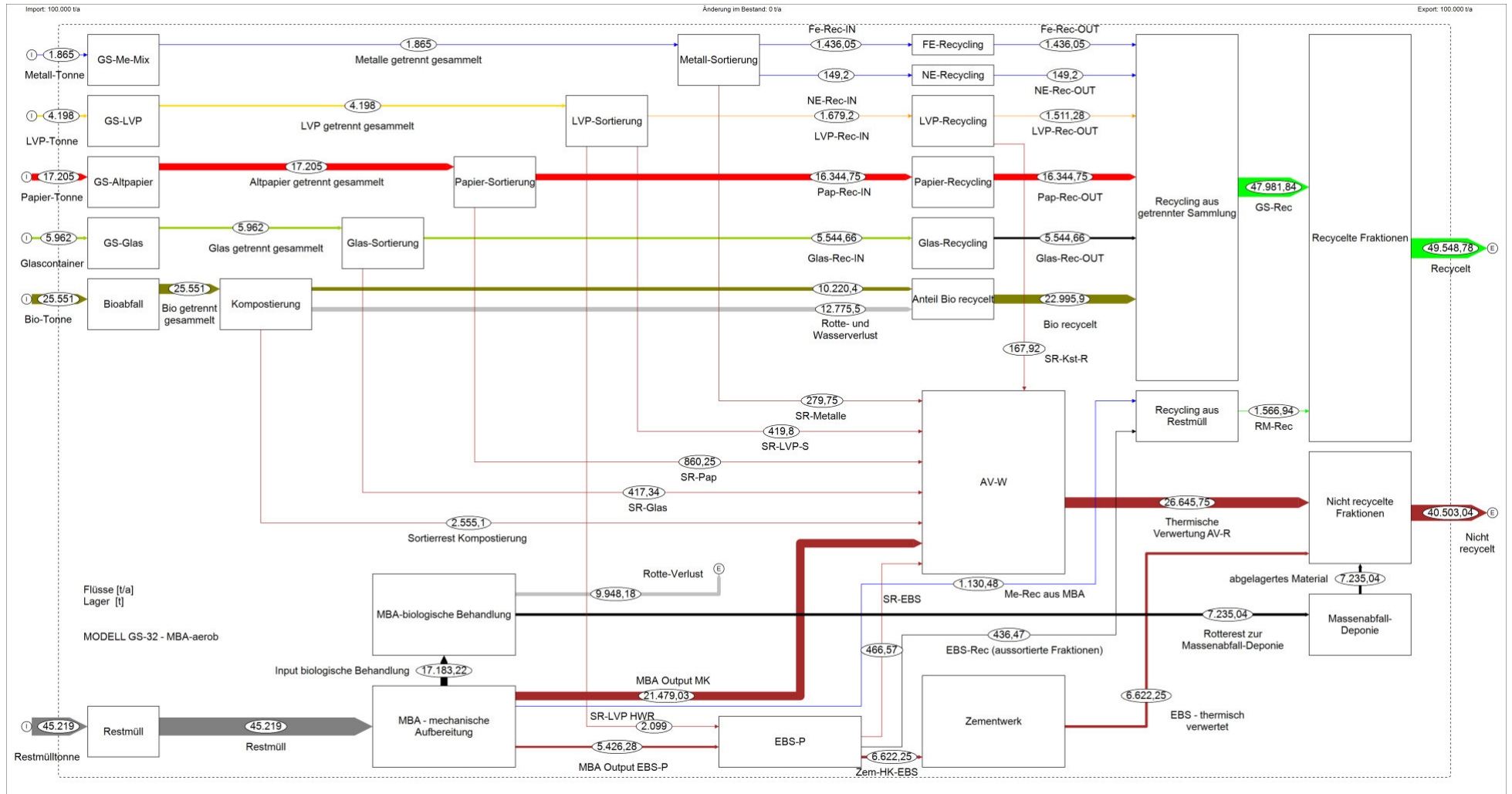


Abbildung 55: Mengenfluss des Modells GS-32, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für die mittelkalorische Outputfraktion und einer Verwertung der hochkalorischen Fraktion als EBS im Zementwerk. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung

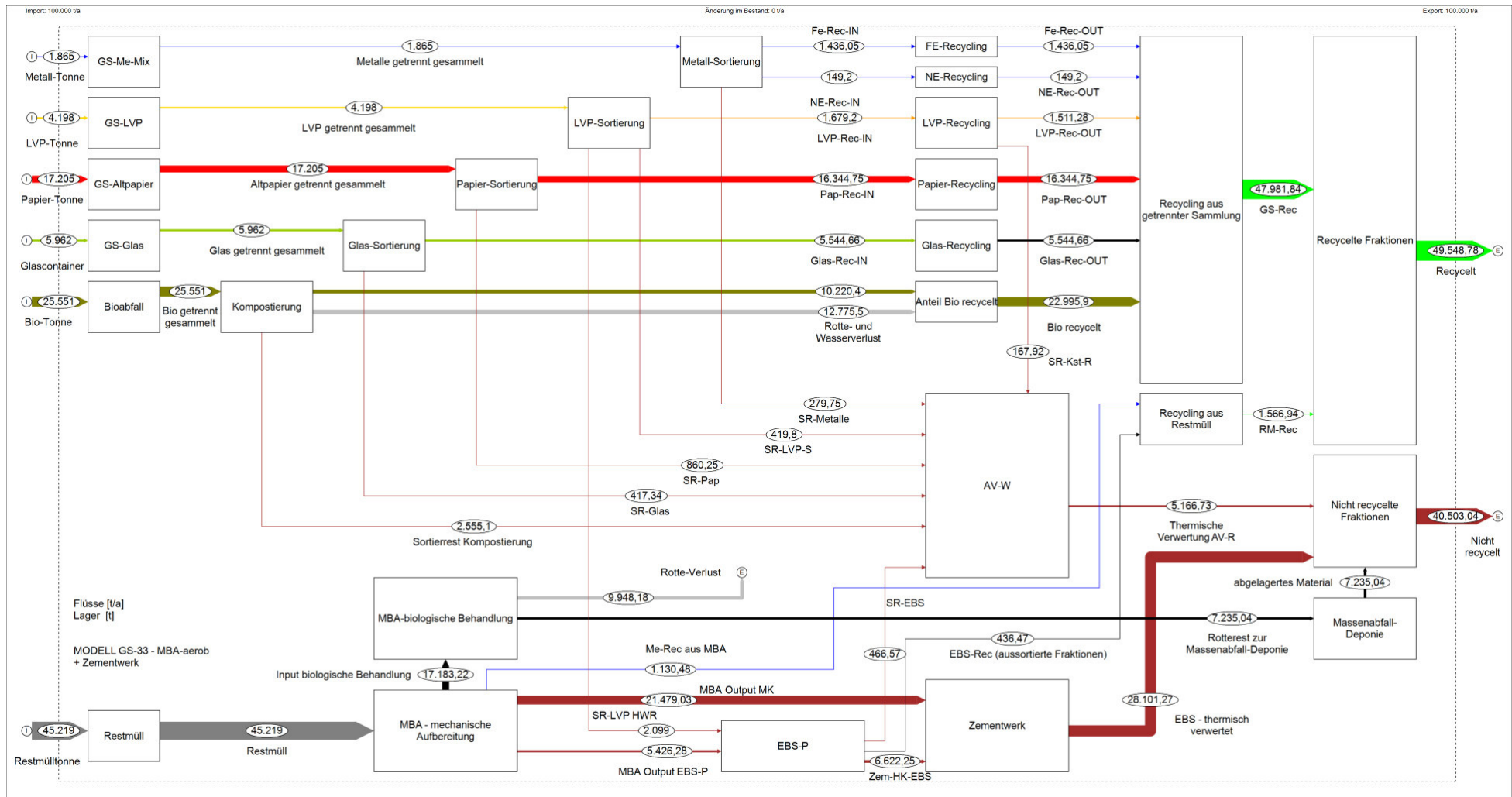


Abbildung 56: Mengenfluss des Modells GS-33, der mechanisch-biologischen Behandlung mit thermischer Verwertung des mittel- und hochkalorischen Restmüllanteils im Zementwerk als Ersatzbrennstoff, wobei nur der hochkalorische Teil eine weitere Aufbereitung in der EBS-Produktionsanlage erfährt. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung

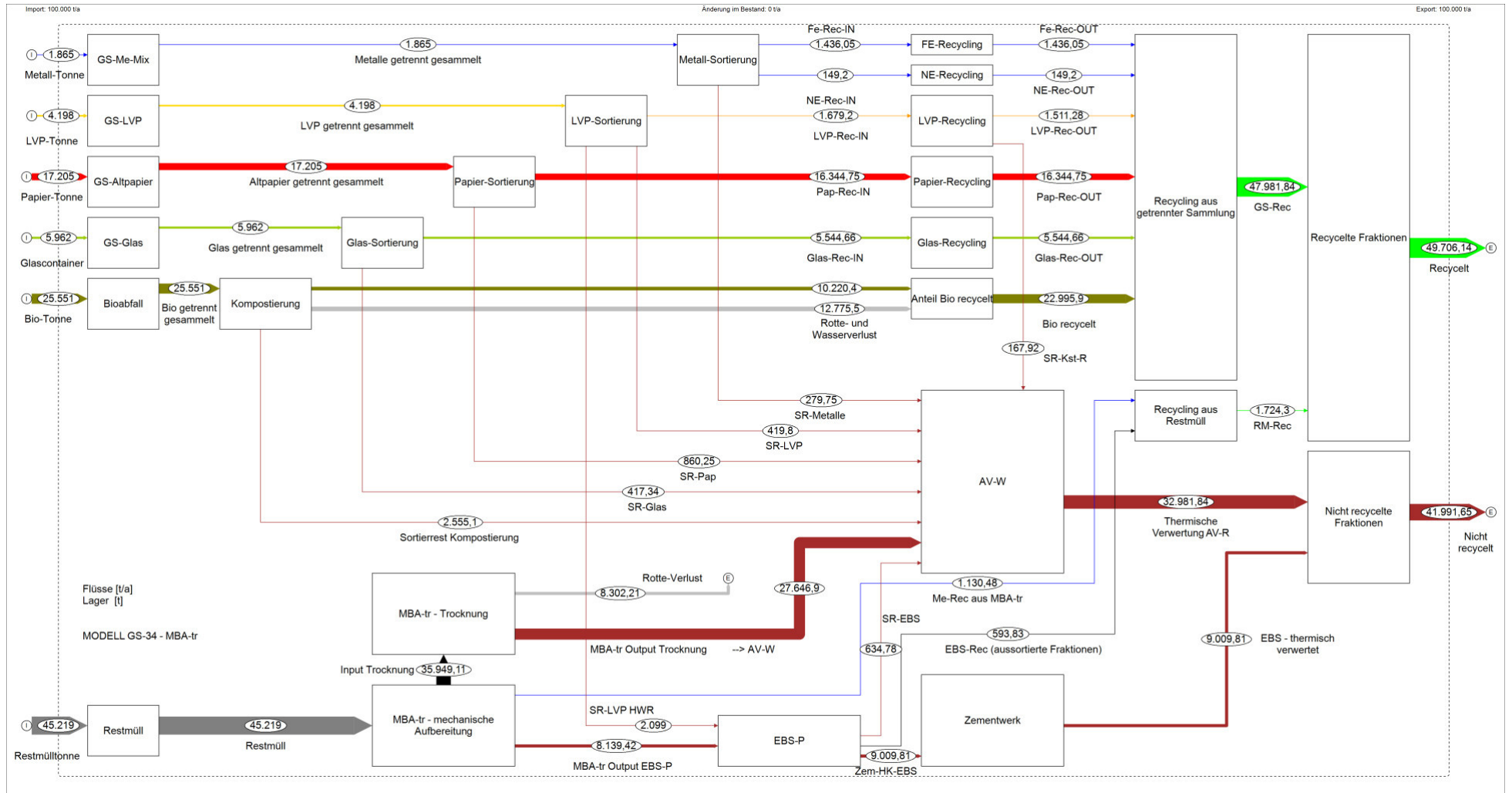


Abbildung 57: Mengenfluss des Modells GS-34, der mechanisch-biologischen Trocknung für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung

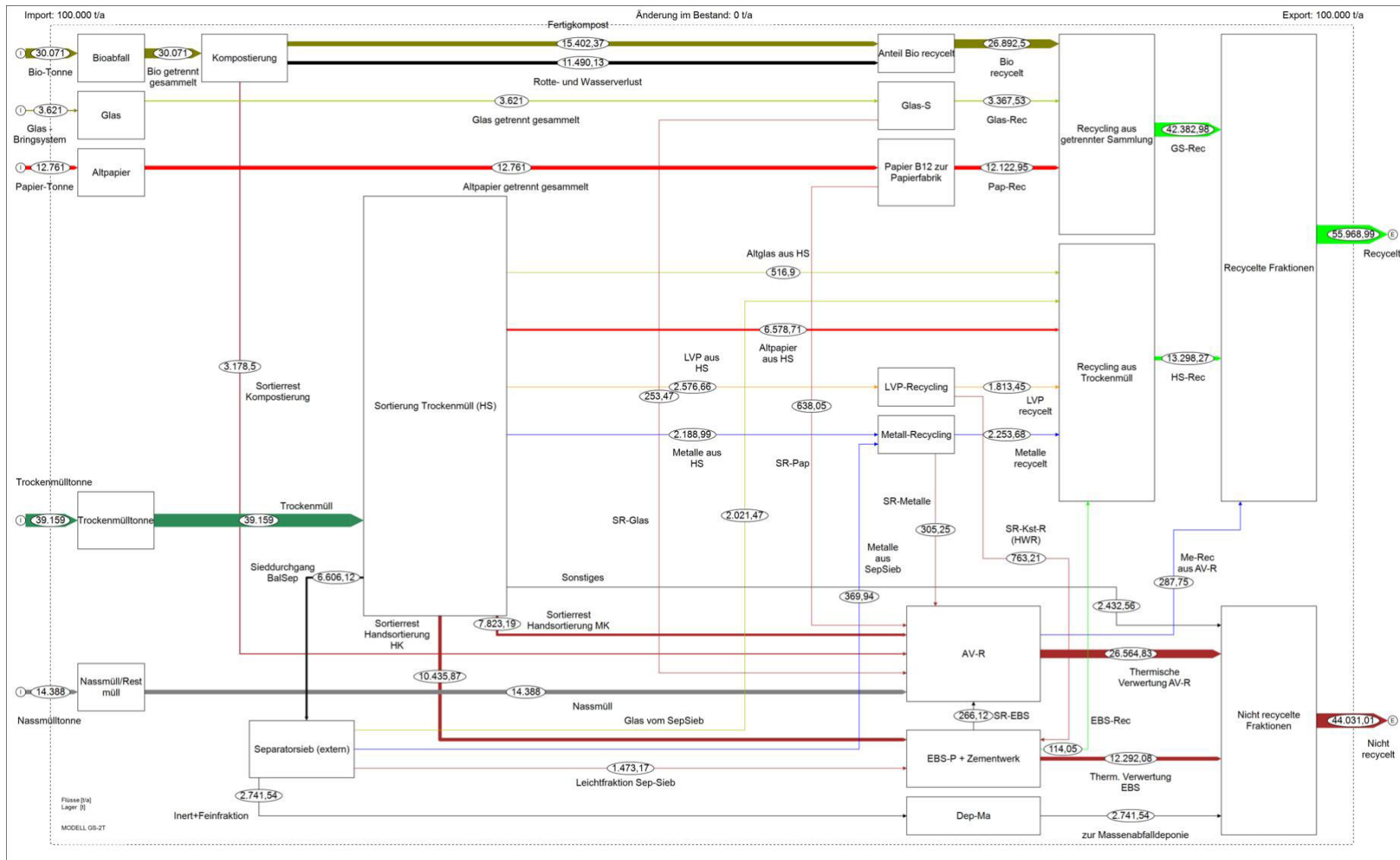


Abbildung 58: Mengenfluss Modells GS-2T für 100.000 t Input nach Verteilung aus 2019 („Status quo“). (Abfallwirtschaftsverband, 2020)



Abbildung 59: Zusammenfassung der recycelten Outputs für alle betrachteten Modelle bei einem Input von 100.000 t/a (100%)

### 5.3 Szenario: „sam+“

Dieses Szenario beschreibt eine erhöhte Erfassung von Mengen in der getrennten Sammlung (GS) bei gleichbleibender Sortiertechnologie. Dabei werden die Daten des österreichischen „Best-Case“ Vorarlberg herangezogen, das bereits heute, bezogen auf das Restmüll-Pro-Kopf Aufkommen eine weit bessere getrennte Sammlung (76% in 2018) aufweist als andere Regionen in Österreich. Als Vorlage für die Verteilung von Restmüll und der getrennten Sammlung dient BMK (2020).

Tabelle 85: Gesammelte Mengen in Vorarlberg im Bezugsjahr 2018 als Vorlage für das „sam+“ Szenario. (BMK, 2020)

Sammelmengen Vorarlberg – „sam+“	m%
Altmetalle	2,3%
Leichtverpackungen (LVP)	9,2%
Altpapier	27,0%
Glas	11,5%
Bioabfall	26,1%
<b>SUMME GETRENNTE SAMMLUNG</b>	<b>76,0%</b>
<b>Restmüll</b>	<b>24,0%</b>

Im Szenario „sam+“ ändert sich nur der Anteil der getrennt gesammelten Fraktionen. Diverse Wirkungs- und Substitutionsgrade, sowie die Sortiertiefe in der getrennten Sammlung bleiben unverändert zum Szenario „Status quo“ (Tabelle 82).

#### 5.3.1 Szenario „sam+“ für 2-Tonnen Modell

Die Zusammensetzung des gesammelten Abfalls im Szenario „sam+“ wurde auf Basis der zugrundeliegenden Daten des Abfallwirtschaftsverbands ermittelt. Es beruht auf einer Erhöhung der getrennt gesammelten Fraktionen insgesamt und damit verbundener Verringerung des Restmüllanteils um ca. 50 m%. (wie „sam+“ der anderen Modelle) Aufgrund der bereits sehr hohen Mengenerfassung in der getrennten Sammlung wurden die Anteile nur wenig verändert und eine praktische Erreichbarkeit von 7 m% Nassmüll infrage gestellt. Eine Veränderung der Zusammensetzung in der Altpapier-, Glas- oder Trockenmülltonne wurde nicht modelliert und als ident zu „Status quo“ betrachtet.

Tabelle 86: Sammelmengen und Verteilung der das Modell GS-2T

Sammelmengen 2-Tonnen System (GS-2T) – „sam+“	m%
Trockenmülltonne	42,00%
Altpapier	16,00%
Glas	4,00%
Bioabfall	31,00%
<b>SUMME GETRENNTE SAMMLUNG inkl. RM in Trockenmülltonne</b>	<b>93,00%</b>
<b>Nassmüll/Restmüll</b>	<b>7,00%</b>

### 5.3.1 Mengenflussdiagramme pro 100.000 t Input nach „sam+“ der unterschiedlichen Modelle

Für das Szenario „sam+“ wurden folgende Mengenflussdiagramme modelliert.

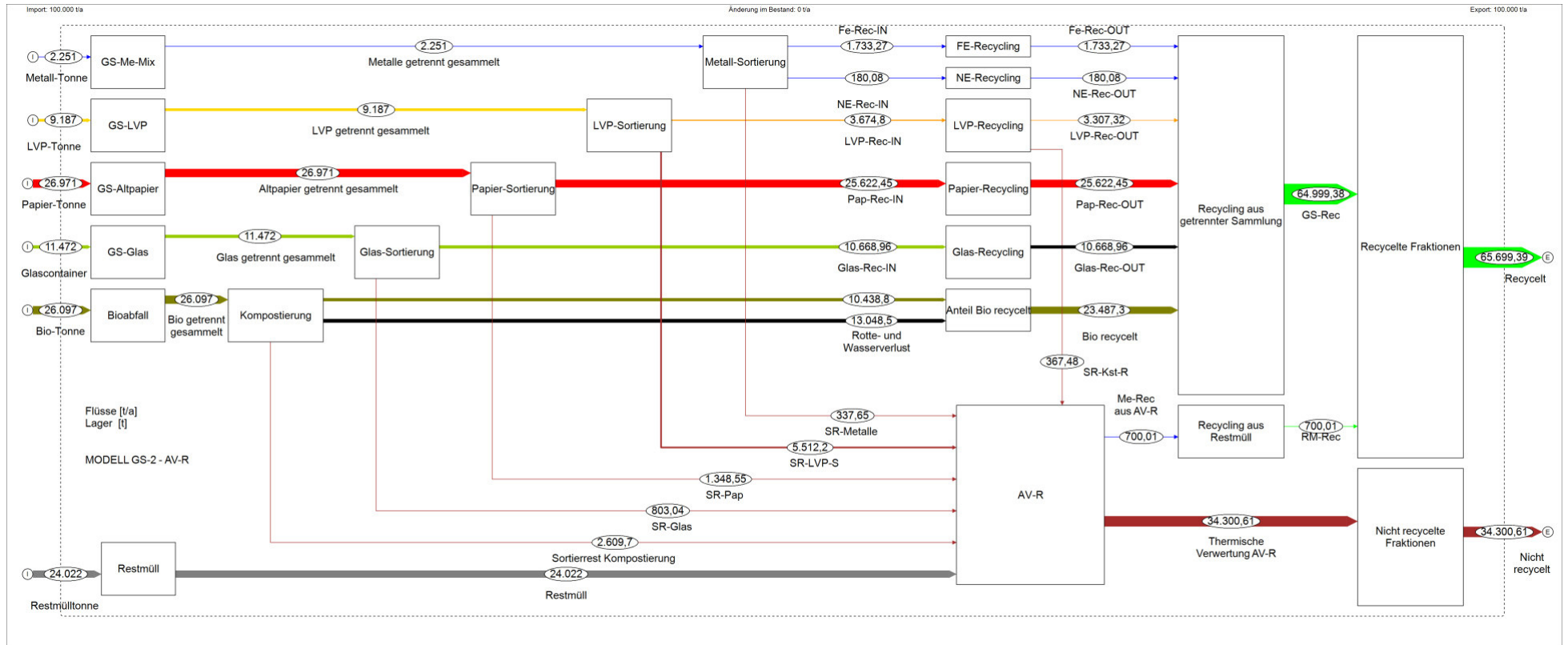


Abbildung 60: Mengenfluss des Modells GS-2, der direkten thermischen Verwertung in einer Rostverbrennungsanlage. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung

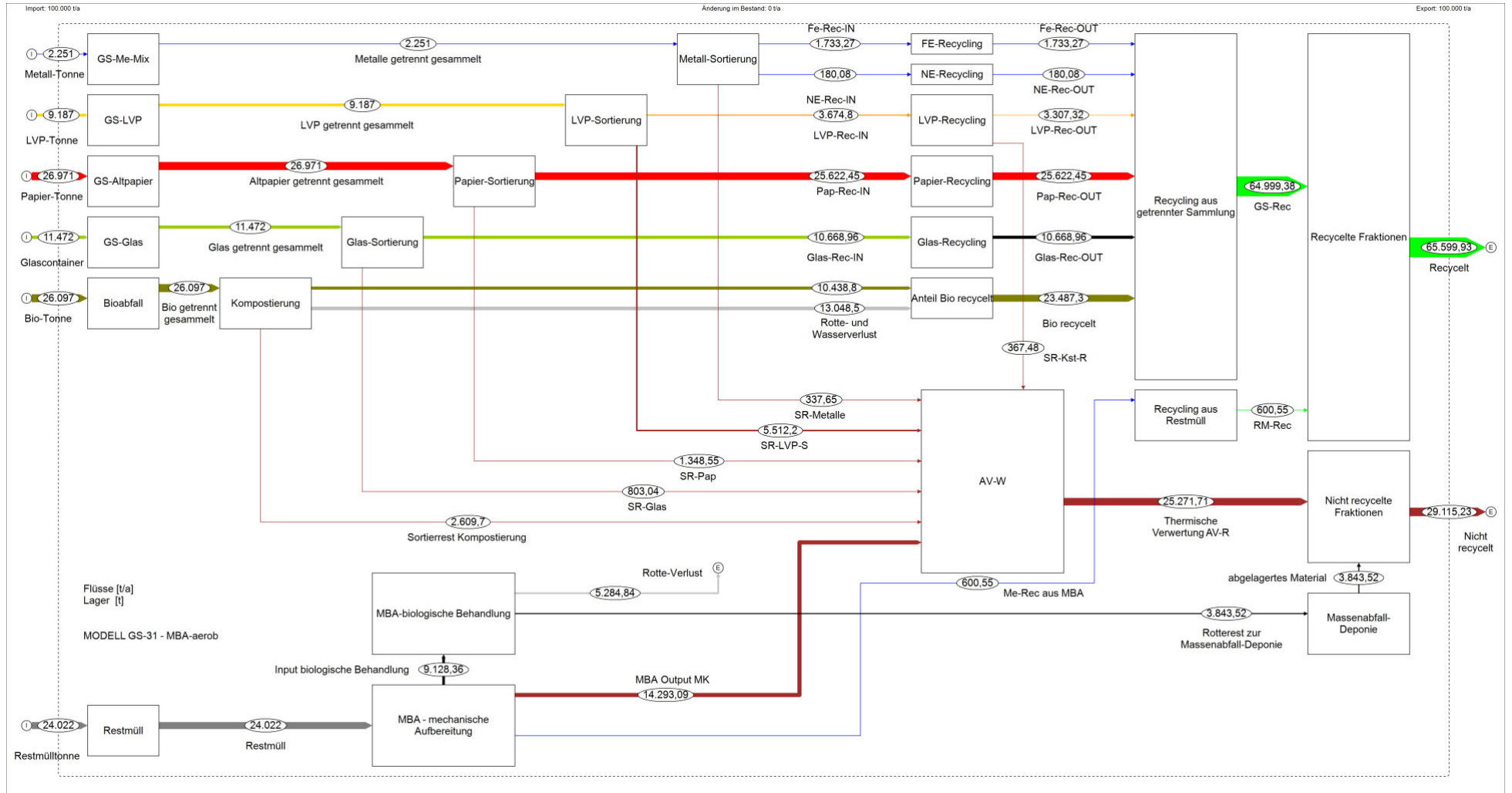


Abbildung 61: Mengenfluss des Modells GS-31, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für den gesamten heizwertreichen Anteil der MBA. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung



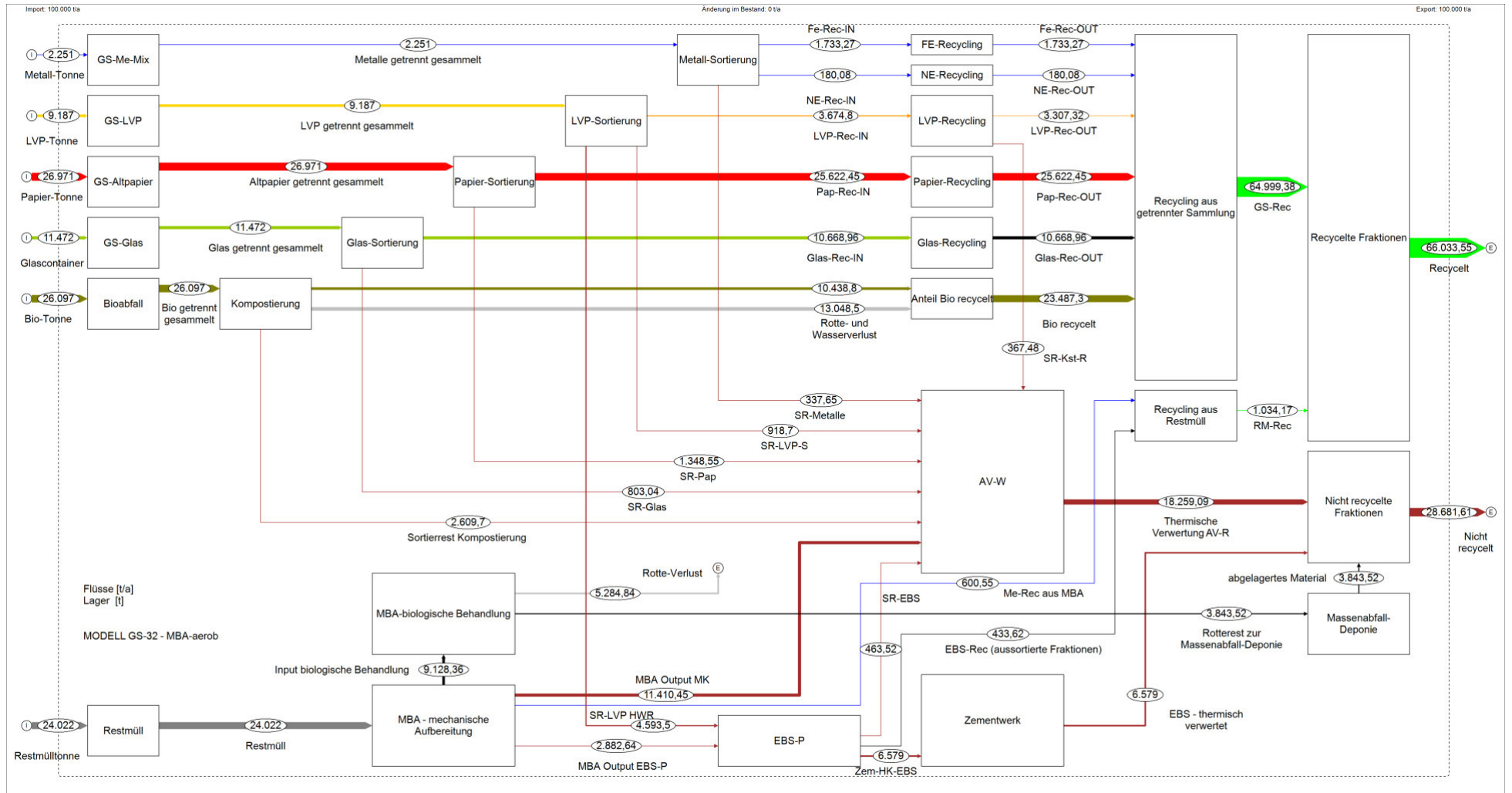


Abbildung 62: Mengenfluss des Modells GS-32, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für die mittelkalorische Outputfraktion und einer Verwertung der hochkalorischen Fraktion als EBS im Zementwerk. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung

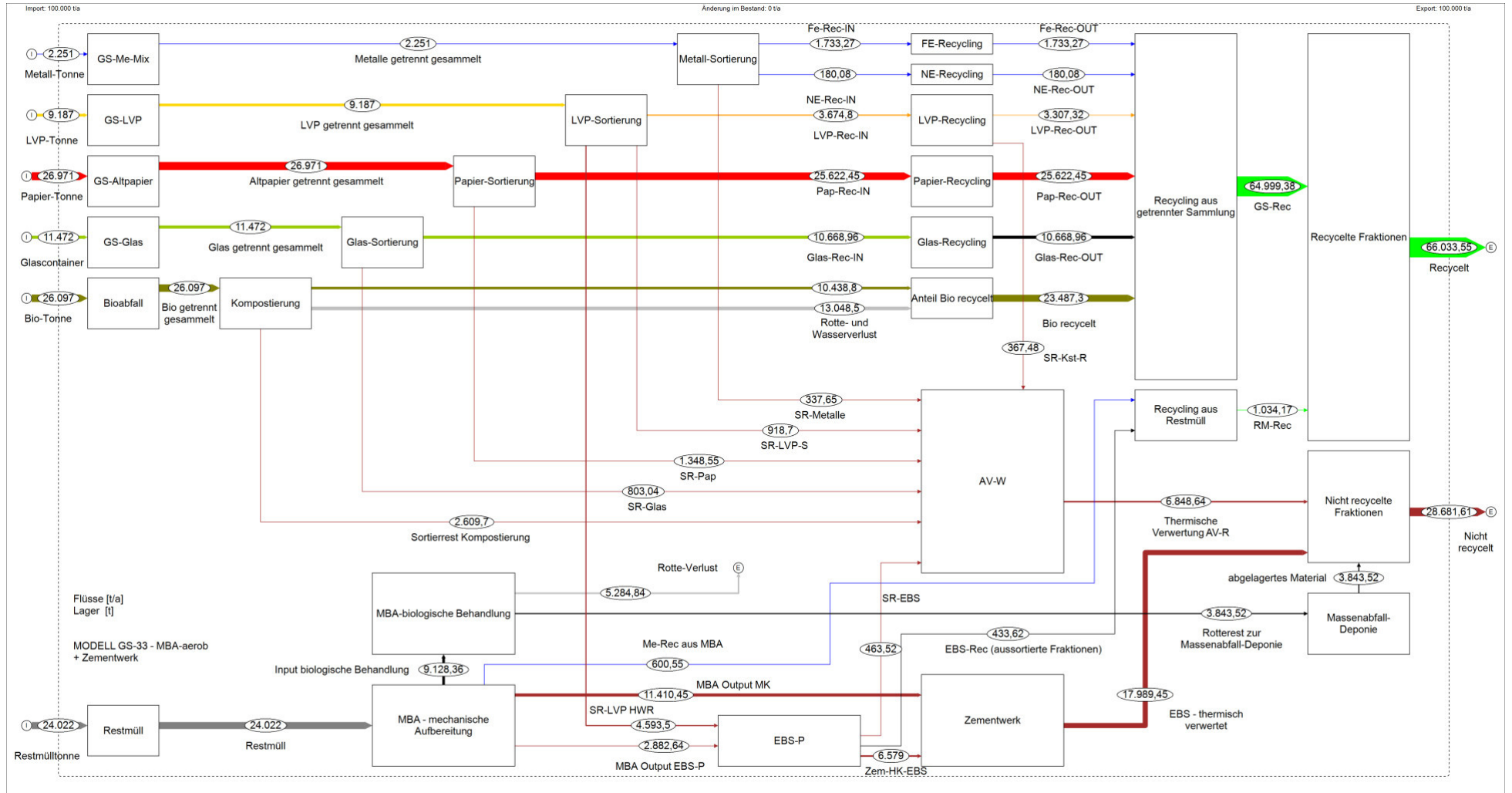


Abbildung 63: Mengenfluss des Modells GS-33, der mechanisch-biologischen Behandlung mit thermischer Verwertung des mittel- und hochkalorischen Restmüllanteils im Zementwerk als Ersatzbrennstoff, wobei nur der hochkalorische Teil eine weitere Aufbereitung in der EBS-Produktionsanlage erfährt. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“ Quelle: eigene Darstellung

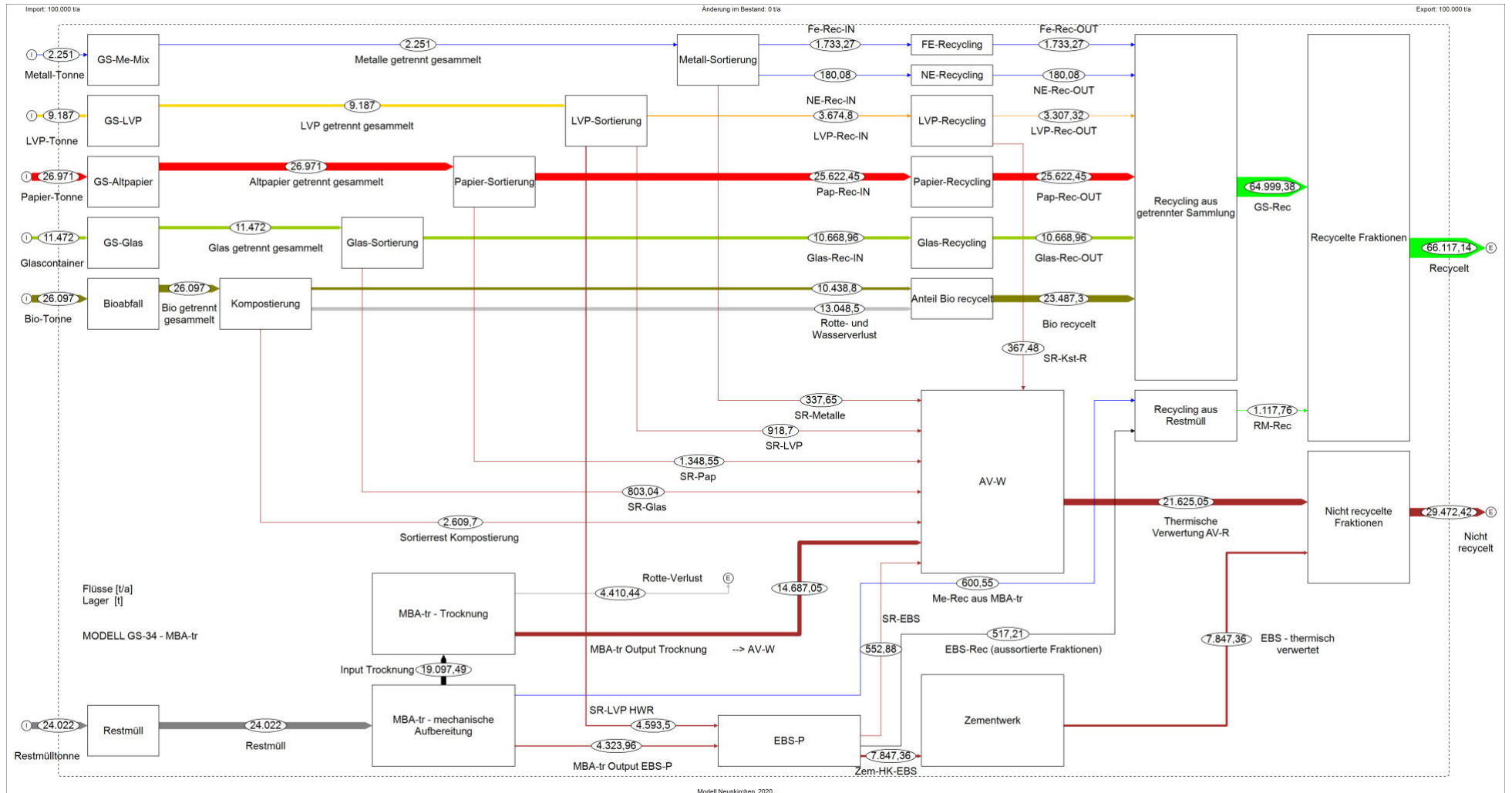


Abbildung 64: Mengenfluss des Modells GS-34, der mechanisch-biologischen Trocknung für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung

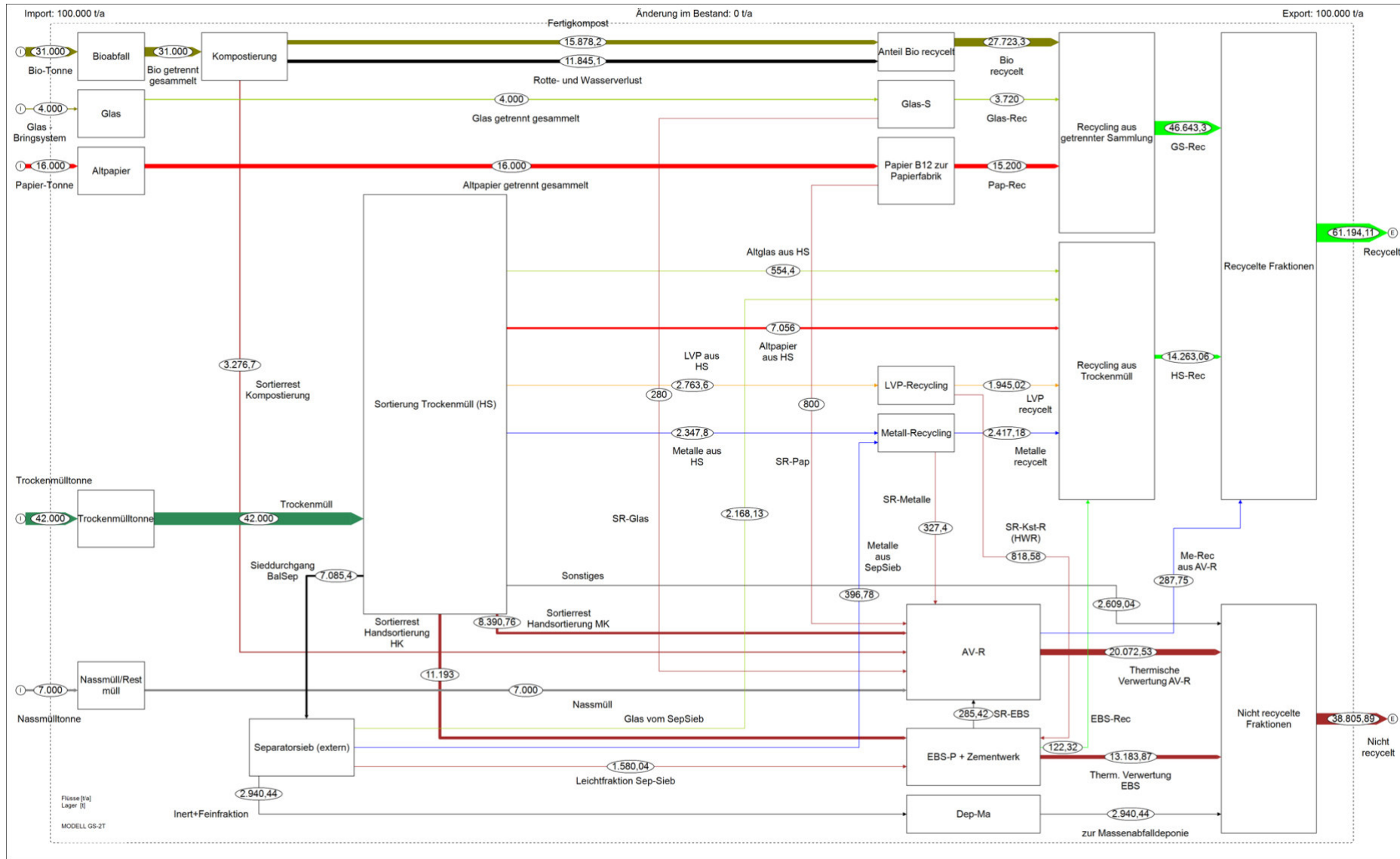


Abbildung 65: Mengenfluss Modells GS-2T für 100.000 t Input nach Verteilung aus 2019 („sam+“). Quelle: eigene Annahmen und Darstellung

## 5.4 Szenario: „tec+“

Das Szenario „tec+“ umfasst bei gleicher Gesamtmenge der getrennten Sammlung wie in „Status quo“ (siehe Tabelle 81) eine verbesserte Sortier- und Verbrennungstechnologie bzw. erhöhte Substitutionsraten in Zementwerken. Folgende, durchschnittliche Wirkungsgrade wurden in „tec+“ angenommen. (siehe Tabelle 87)

Tabelle 87: Angenommene Wirkungs- und Substitutionsgrade im Szenario „tec+“

Angenommener Wirkungsgrad „tec+“	$\eta_{el}$ netto	$\eta_{th}$ netto	$\eta_{ges}$ netto
MVA-Mix Österreich AV-R	25,00%	45,00%	70,0%
MVA-Mix Österreich AV-W	25,00%	45,00%	70,0%
Angenommener Substitutionsgrad „tec+“		%	
GJ aus EBS/GJ Gesamteinsatz		95,0%	

Es wird eine Verbesserung der Sortiertechnologie in der getrennten Sammlung angenommen. Dies betrifft hauptsächlich Kunststoffe, da die Recyclingquoten bei Metallen, Altpapier und Glas bereits jetzt sehr hoch bzw. deren Fehlwürfe in der getrennten Sammlung geringer sind. Für Metalle wird eine um 5 m% höhere Ausbeute festgelegt.

Tabelle 88: Angenommene Recyclinganteile der getrennt gesammelten Fraktionen „tec+“

Getrennt gesammelte Fraktionen	Anteil GS recycelt in m%
Altmetalle	90,0%
Leichtverpackungen (LVP)	55,8%
Altpapier	95,0%
Glas	93,0%

62 m% der Leichtverpackungen gehen nun in eine Recyclinganlage, wobei der Verlust während des Recyclings weiterhin mit 10 m% angenommen wird. Dies entspricht einer Erreichung der Ziele für Kunststoffverpackungsabfälle von 55 m% gem. Verpackungsverordnung für 2030. (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018b) Bei Metallen wird eine um 5% geringere Fehlwurfquote angenommen, was zu einer Recyclingrate von 90 m% führt.

### 5.4.1 Szenario „tec+“ für 2-Tonnen Modell

Für das 2-Tonnen-Modell erfolgt die Sammlung wie in „Status quo“, Tabelle 86. Wirkungs- und Substitutionsgrade wurden gemäß Tabelle 88 übernommen. Nun wird analog zu den anderen Modellen angenommen, dass ca. 62 m% aller Kunststoffe durch die Anlage aussortiert werden. Insgesamt wurden die Transferkoeffizienten der Sortieranlage so bestimmt, dass eine deutlich höhere Ausschöpfung der Wertstoffe in der Anlage erfolgt und somit die Recyclingquote der Sortieranlage auf 51,56 m% steigt. (siehe Tabelle 90)

Zusätzlich sinkt der durchschnittliche Verlust im Recyclingprozess von Mischkunststoffen 20 m% statt 50 m%, wobei Verluste im Metallrecycling unverändert zu „Status quo“ bleiben.

Tabelle 89: Transferkoeffizienten für die Masse in der Sortieranlage für den Trockenmüll des 2-Tonnensystems im Szenario „tec+“

Output-Transferkoeffizienten Sortieranlage für Trockenmüll „tec+“	m%
VP Glas	2,10%
VP Papier B12	7,50%
NVP Papier B12	12,00%
VP Folien	1,00%
VP Hohlkörper - PE, PP	2,00%
VP PET	2,85%
VP Tetra-Pak	2,30%
VP Kunststoffe unsortiert	5,50%
NVP Kunststoffe unsortiert inkl. Hartkunststoffe	3,20%
VP Fe - Weißblech	3,70%
VP Aluminium	0,60%
Buntmetalle	0,62%
Fe SPM	2,00%
NVP Aluminium	0,00%
Bauschutt, Inert	0,59%
Klein-EAG	0,08%
Restmüll HK	18,00%
Restmüll MK	16,00%
Siebdurchgang BalSep	16,87%
Sonstiges	3,09%
<b>SUMME</b>	<b>100,00%</b>

Tabelle 90: Theoretisch vorhandene Mengen und Aussortiergrad/Recyclingquote der Anlage nach „tec+“ (inkl. Separator-Sieb Output)

"tec+" – Inhalte der Trockenmülltonne nach Sortieranalyse (Abfallwirtschaftsverband, 2020)	Theoretisch vorhandene Mengen gem. Sortieranalyse	Gesamtmenge aussortiert für Recycling	Sortierrest als Restmüll nach Sortierung	Aussortierungsgrad je Fraktion
	t	t	t	m%
sonst. VP	132,1	0,0	132,1	0,00%
MET VP	1.699,9	1.683,8	16,1	99,05%
Papier/Karton VP	2.980,0	2.936,9	43,1	98,55%
PET GVP farblos, blau, grün	1.244,6	1.116,0	128,5	89,67%
sonst. KST VP	5.361,9	3.328,5	2.033,4	62,08%
GVK+MVVP	1.475,7	900,6	575,0	61,03%
Glas VP	2.932,1	2.843,3	88,7	96,97%
MET NVP	1.720,0	1.396,9	323,1	81,21%

Glas NVP, Inertes	914,9	0,0	914,9	0,00%
Papier/Karton NVP	5.174,2	4.699,0	475,1	90,82%
Hartkunststoffe Mix	2.019,1	1.253,1	766,0	62,06%
Restmüll, Sonstiges	11.501,1	31,3	11.469,8	0,27%
Feinfraktion <40mm	2.003,1	0,0	2.003,1	0,00%
<b>Summe</b>	<b>39.158,6</b>	<b>20.189,5</b>	<b>18.969,1</b>	<b>51,56%</b>

## 5.5 Szenario: „samtec+“

Dieses Szenario vereint die Erhöhung der Menge in der getrennten Sammlung und die Verbesserung der Technologie im Hinblick auf Wirkungsgrade, Substitutionsgrade sowie Sortiertiefe. Es soll die Möglichkeiten zur Einsparung von KEA und Treibhausgasen aufzeigen, die bei Verbesserung an allen Angriffspunkten zur Erreichung der Quoten möglich sind.

Die Verteilung von Restmüll und der getrennten Sammlung wird wie im „sam+“ Szenario angenommen. (siehe Tabelle 85) Die Wirkungsgrade sowie der Recyclinganteil in der getrennten Sammlung von Kunststoffen werden aus Tabelle 87 und Tabelle 88 übernommen.

### 5.5.1 Szenario „samtec+“ für Modell GS-2T

Der Input setzt sich gem. Tabelle 86 im Szenario „sam+“ zusammen. Wirkungs- und Substitutionsgrade sind wie in Tabelle 85 beschrieben äquivalent zu Szenario „tec+“. Die Sortieranlage wird mit den Transferkoeffizienten der höheren Abschöpfung der Wertstoffe nach Tabelle 89 modelliert. Mischkunststoffe werden wie in „tec+“ zu 80 m% recycelt.

## 6 Berechnung und Auswertung der Ergebnisse

Der Begriff „Siedlungsabfall“ beschränkt sich in diesem Fall auf die Fraktionen Altmetalle, LVP, Altpapier, Glas, Bioabfall und Restmüll. Es werden daher, wie auch schon in Kapitel 4.14 beschrieben) nicht alle Fraktionen die nach Definition in der AbfRRL (2018) Siedlungsabfälle sind auch in der vorliegenden Auswertung berücksichtigt. Aus diesem Grund wird der Begriff Siedlungsabfall in der Auswertung mit einem Stern (\*) gekennzeichnet. (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018a)

Es wurden durchschnittliche Recyclingquoten berechnet, die dazu dienen sollen, den Unterschied der Sammelsysteme aufzuzeigen. Dabei wurde die spezifische Recyclingquote für die getrennte Sammlung, jene für Restmüll und eine Gesamtquote bestimmt. Das Ziel 65 m% Recycling von Siedlungsabfällen bis 2035 nach AbfRRL (2018) bezieht sich auf den Siedlungsabfall inklusive aller Fraktionen, wie etwa Sperrmüll, Elektroaltgeräte, Textilien, u.a. In der Auswertung der gegenständlichen Arbeit wurde derselbe Prozentsatz als Zielwert für die Gesamtquote (recycelter Anteil aus getrennter Sammlung und Restmüll) der betrachteten Fraktionen festgelegt.

Die Auswertung für Gut- und Lastschriften erfolgt kumuliert, da je nach Modell zwischen 38 und 62 Einzelwerte vorliegen und in diesem Fall der Vergleich der Modelle in ihrer Gesamtheit im Vordergrund steht. Die Summe der Last- und Gutschriften des KEA/der CO<sub>2</sub>-Emissionen ergibt sich aus dem zusammenzählen aller positiven oder negativen Energieaufwände von der Sammlung bis zur Verbrennung oder Deponie. An der Gesamtsumme der Lastschriften kann abgelesen werden, wie viel Energie/CO<sub>2</sub> tatsächlich in einem Modell beim Behandeln und Verwerten des Abfalls aufgewendet/ausgestoßen wurde.

Im Vergleich dazu stehen die Gutschriften, die den vermiedenen Energieaufwand/vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem Referenzsystems darstellen. (z.B. Energie aus Ersatzbrennstoffen (Lastschrift) statt aus Steinkohle (Gutschrift) im Zementwerk)

Im Unterschied zur Auswertung und Berechnung der fossilen Kohlenstoffgehalte für die CO<sub>2</sub>-Berechnung ist der KEA als Gesamtenergie berechnet worden, die sowohl fossile als auch biogene Energie berücksichtigt.

Tabelle 91: Wiederholung der Nomenklatur der Modelle für die Auswertung

<b>Sammlung von Altmetallen, LVP, Altpapier, Glas, Bio und Restmüll</b>	
<b>Anlagenkonfiguration zur Restmüll- und Sortierrestentsorgung:</b>	
<b>GS-2</b>	AV-R (MK+HK-Fraktionen)
<b>GS-31</b>	MBA aerob + AV-W (MK+HK-Fraktionen)
<b>GS-32</b>	MBA aerob + AV-W (MK-Fraktionen) + EBS-P (HK-Fraktionen) + Zementwerk (EBS)
<b>GS-33</b>	MBA aerob + EBS-P (HK-Fraktionen) + Zementwerk (EBS+MK-Fraktion)
<b>GS-34</b>	MBA mit Trocknung + AV-W (getrocknetes Material) + EBS-P (HK-Fraktionen) + Zementwerk (EBS)
<b>Sammlung von Altpapier, Glas, Bio, Trocken- und Nassmüll</b>	
<b>Anlagenkonfiguration zur Restmüllentsorgung:</b>	
<b>GS-2T</b>	AV-R (MK-Fraktionen) + EBS-P (HK-Fraktionen) + Zementwerk (EBS)



## 6.1 Auswertung des Szenarios „Status quo“ – Ist-Stand

Dieses Kapitel vergleicht alle beschriebenen Modelle in „Status quo“ für 100.000 t SA\*.

### 6.1.1 Recyclingquote „Status quo“

Die genannten Recyclingquoten wurden für drei stellvertretende Modelle berechnet und beziehen sich auf den Recyclingoutput. Für Metall-, Glas- und Altpapierrecycling gilt die Annahme, dass nach der Sortierung keine Menge mehr verloren geht und der Recyclinginput gleich dem Recyclingoutput ist. (siehe 4.13 bzw. 4.14) Beim Aussortieren aus Restmüll (-fraktionen) wurde auch bei LVP-Fraktionen ein möglicher Verlust während des Recyclings aufgrund der niedrigen Mengen vernachlässigt.

Für die Quotenberechnung von Modellen mit konventioneller, getrennter Sammlung wurden jene Modelle gewählt, die die geringste und die höchste Recyclingquote erreichen. Da bei diesen Modellen (Modell 2 bis Modell 34) die getrennte Sammlung ident ist, unterscheidet sich ihre Recyclingrate nur durch die Menge der aussortierten Fraktionen in Aufbereitungsprozessen des Restmülls. Für die direkte Müllverbrennung entspricht dies nur der Menge an Metallen, die nach Verbrennung einem Recycling zugeführt wird. Für die MBA-Modelle mit EBS-Aufbereitung (Modell 32-34) werden zusätzlich Wertstoffe wie PET-Flaschen oder Flüssigkeitskartons für ein Recycling aussortiert, was die um 0,7 m% höhere Recyclingrate des MBA-Modells 34 (MBA-tr) im Vergleich zur direkten thermischen Verwertung des Modells 2 (AV-R) erklärt.

Tabelle 92: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „Status quo“

„Status quo“	Gesamtmenge	Recycelte Menge	Recyclingquoten je Gesamtmenge	
<b>Modell GS-2</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	54.781,95	47.982,59	87,59%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	45.218,05	1.040,35	2,30%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>49.022,94</b>	<b>49,02%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-34</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	54.781,95	47.982,59	87,59%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	45.218,05	1.724,28	3,81%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>49.706,87</b>	<b>49,71%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-2T</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	85.612,44	55.685,81	65,04%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	14.387,56	287,75	2,00%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>55.973,56</b>	<b>55,97%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>

Die Auswertung der Recyclingquote des Modellvergleichs ergibt für das 2-Tonnen-Modell mit 55,97 m% eine um 6-7 m% höhere Recyclingquote für Siedlungsabfälle\* nach dem Ist-Stand.

### 6.1.2 KEA und CO<sub>2</sub>äq-Emissionen – „Status quo“

Der kumulierte Energieaufwand der unterschiedlichen Modelle im Szenario „Status quo“.

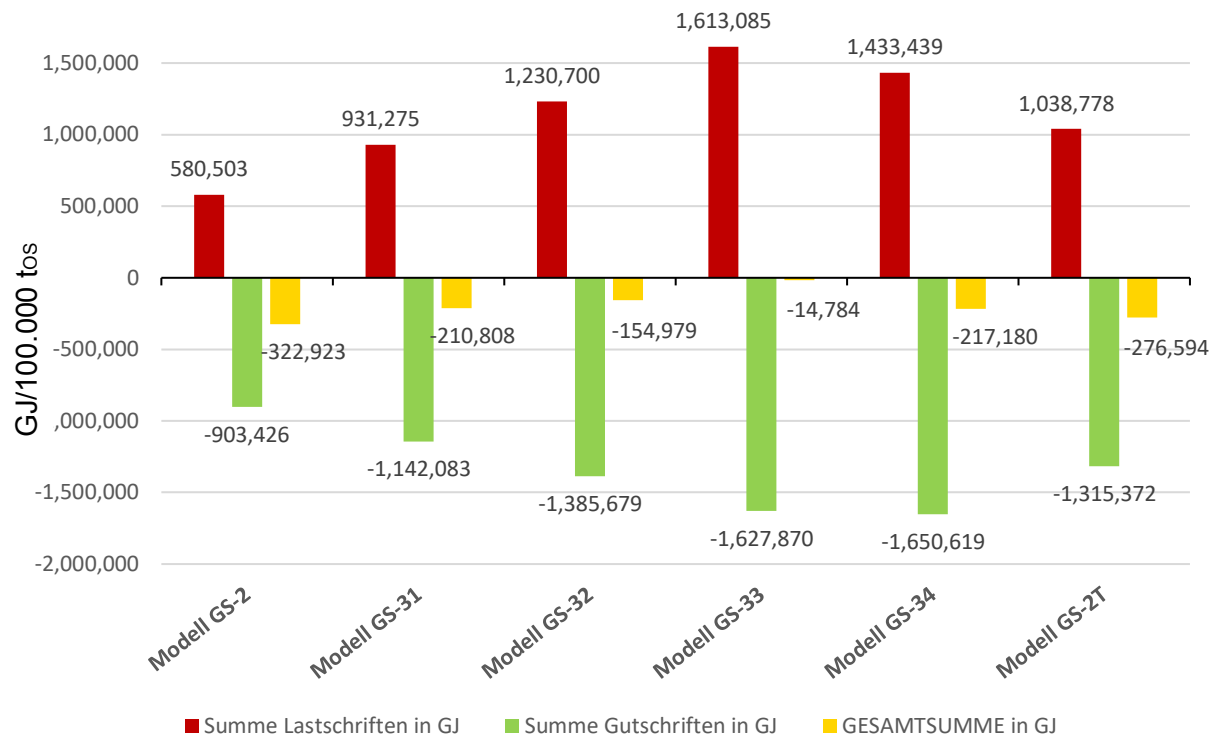


Abbildung 66: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „Status quo“

Die Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Modelle im Szenario „Status quo“.

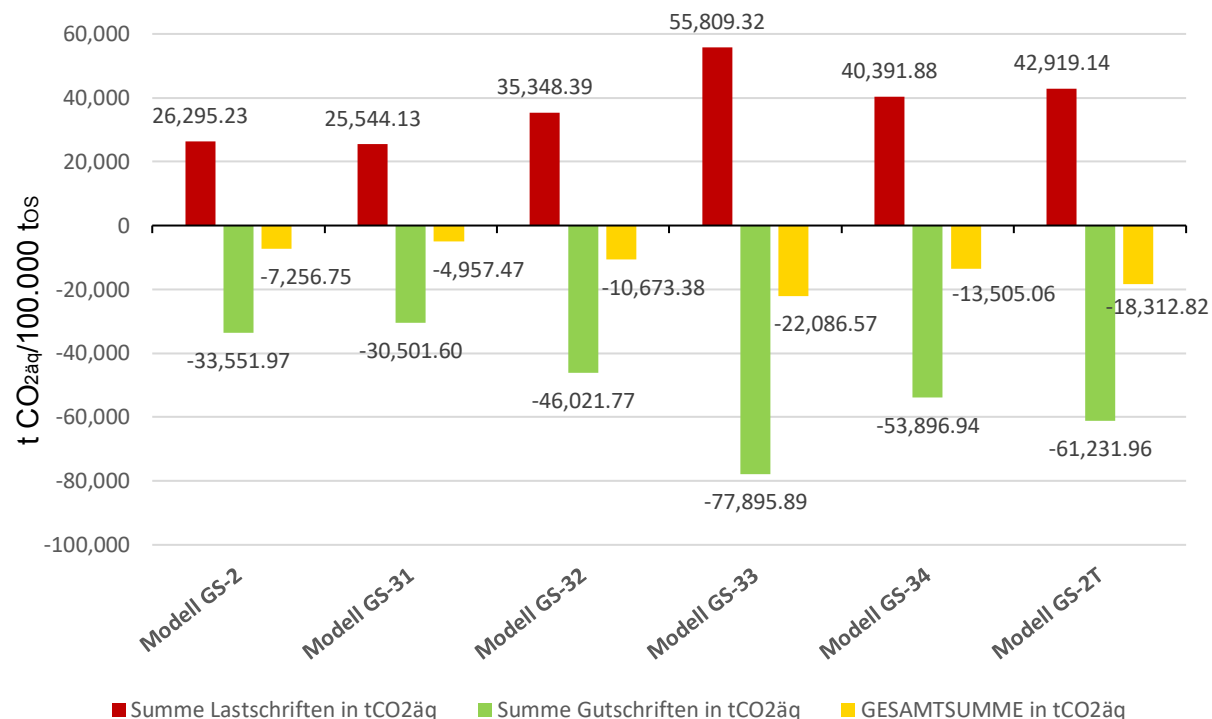


Abbildung 67: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „Status quo“

## 6.2 Auswertung des Szenarios „sam+“ – mehr getrennte Sammlung

Das gegenständliche Kapitel soll alle beschriebenen Modelle, für 100.000 t SA\*, bei vermehrter, getrennter Sammlung und einer Verringerung der Restmüllmenge vergleichen.

### 6.2.1 Recyclingquote „sam+“

Nach in Kapitel 5.3 getroffenen Annahmen zur Verteilung zwischen getrennter Sammlung und Restmüll sind folgende Recyclingquoten berechnet worden.

Tabelle 93: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „sam+“

"sam+"	Gesamt mengen	Recycelte Menge	Recyclingquoten je Gesamtmenge	
<b>Modell GS-2</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	75.976,86	64.998,47	85,55%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	24.023,14	700,03	2,91%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>65.698,50</b>	<b>65,70%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-34</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	75.976,86	64.998,47	85,55%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	24.023,14	1.117,80	4,65%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>66.116,27</b>	<b>66,12%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-2T</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	93.000,00	60.910,70	65,50%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	7.000,00	140,00	2,00%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>61.050,70</b>	<b>61,05%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>

Das gesetzte Ziel von 65 m% Recycling wird von allen Modellen der konventionellen getrennten Sammlung erfüllt. GS-2T liegt mit 61,05 m% darunter, was auf eine geringere Erhöhung der Menge in der getrennten Sammlung zurückzuführen ist.

### 6.2.2 KEA und CO<sub>2</sub>äq-Emissionen „sam+“

Der kumulierte Energieaufwand der unterschiedlichen Modelle im Szenario „sam+“.

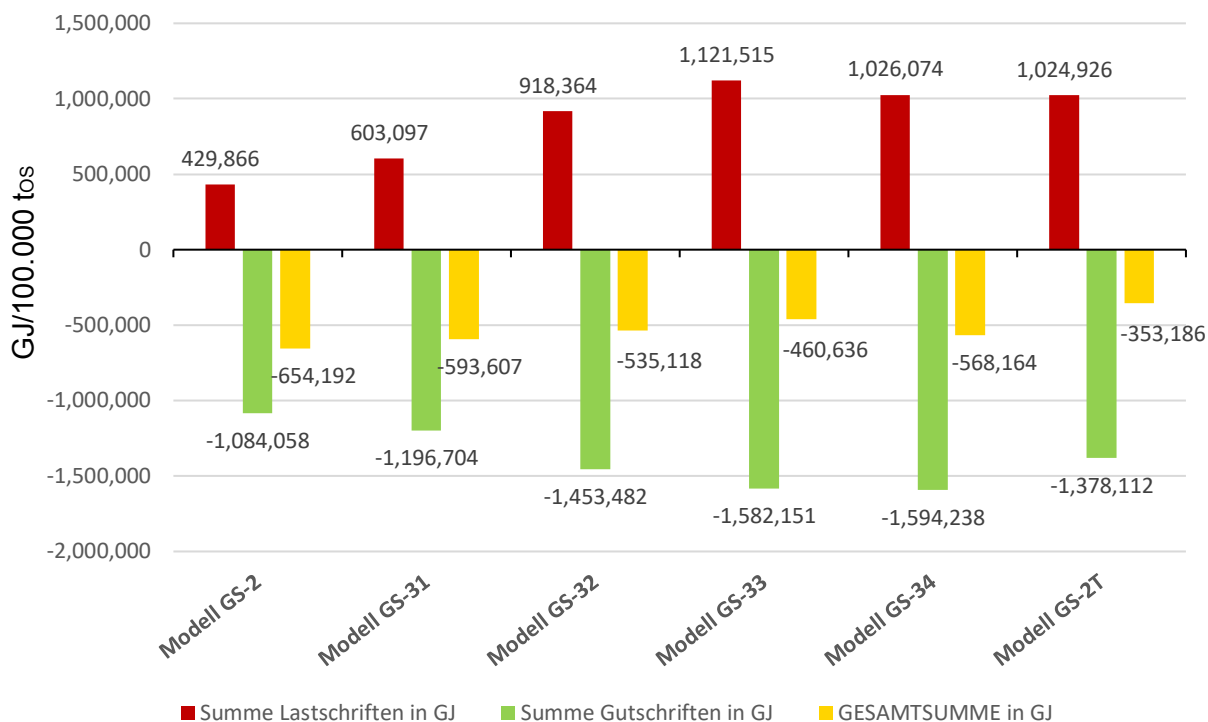


Abbildung 68: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „sam+“

Die Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Modelle im Szenario „sam+“.

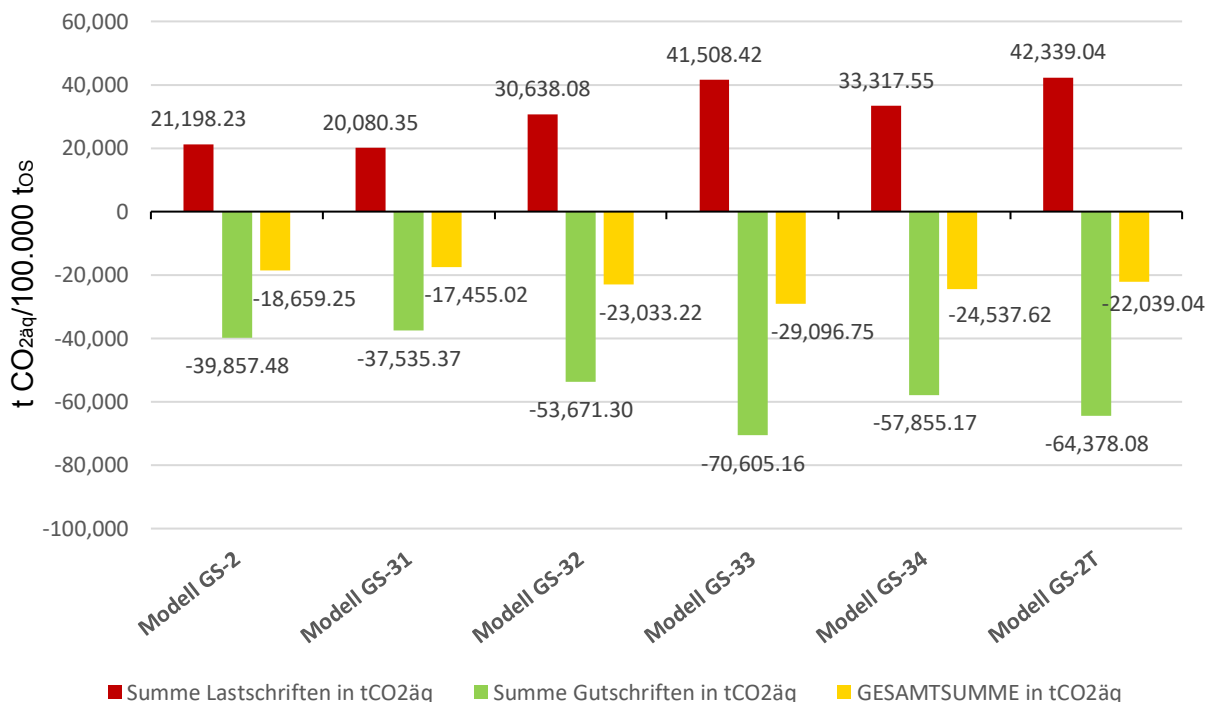


Abbildung 69: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „sam+“

### 6.3 Auswertung des Szenarios „tec+“ – höhere Sortiertiefe, Wirkungs- und Substitutionsgrade

Dieses Kapitel vergleicht die beschriebenen Modelle GS-2-34, nach der Aufrüstung der LVP-Sortieranlagen und Recyclinginput von 62 m% aller Kunststoffe, einer geringfügig höheren Metallausbeute von 80 m% (statt 77 m%) und insgesamt höheren Wirkungsgraden der Verbrennungsanlagen, sowie einem vermehrten Einsatz von EBS im Zementwerk. Der Input entspricht bei allen Modellen dem in „Status quo“ für 100.000 t SA\*. Die Sortieranlage des Modells GS-2T wird mit einer erhöhten Sortiertiefe simuliert und es wird die Annahme getroffen, dass nun 80 m% (statt 50 m%) der aussortierten, sonstigen Kunststoffverpackungen einem Recycling zugeführt werden.

#### 6.3.1 Recyclingquote „tec+“

Nach in Kapitel 5.4 getroffenen Annahmen sind folgende Recyclingquoten berechnet worden.

Tabelle 94: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „tec+“

"tec+"	Gesamt mengen	Recycelte Menge	Recyclingquoten je Gesamtmenge	
<b>Modell GS-2</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	54.781,95	48.907,10	89,28%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	45.218,05	1.021,86	2,26%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>49.928,96</b>	<b>49,93%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-34</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	54.781,95	48.907,10	89,28%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	45.218,05	1.675,58	3,71%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>50.582,67</b>	<b>50,58%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-2T</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	85.612,44	61.463,23	71,79%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	14.387,56	287,75	2,00%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>61.750,98</b>	<b>61,75%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>

Da die Restmüllmenge für die Modelle GS-2-34 bei knapp 45 m% im Szenario „Status quo“ liegt, kann, weil außer Metallen und wenigen Fraktionen in EBS-P auch keine Wertstoffe aus dem Restmüll aussortiert werden, die benötigte Recyclingrate für SA\* von 65 m% in diesem Szenario für keines der Modelle erreicht werden. Modell GS-2T profitiert am deutlichsten, durch die höhere Sortiertiefe der Sortieranlage für die Trockenmülltonne die eine Erhöhung der Recyclingrate von knapp 6 m% ermöglicht.

### 6.3.2 KEA und CO<sub>2</sub>äq-Emissionen „tec+“

Der kumulierte Energieaufwand der unterschiedlichen Modelle im Szenario „tec+“.

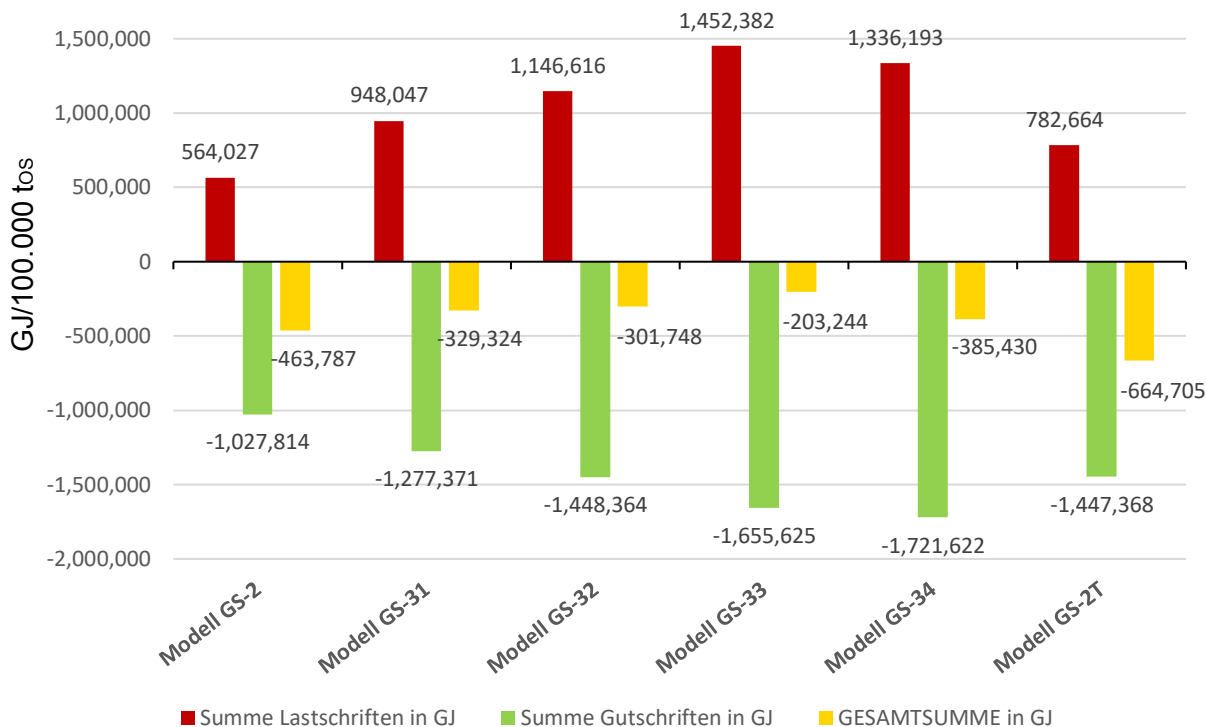


Abbildung 70: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „tec+“

Die Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Modelle im Szenario „tec+“.

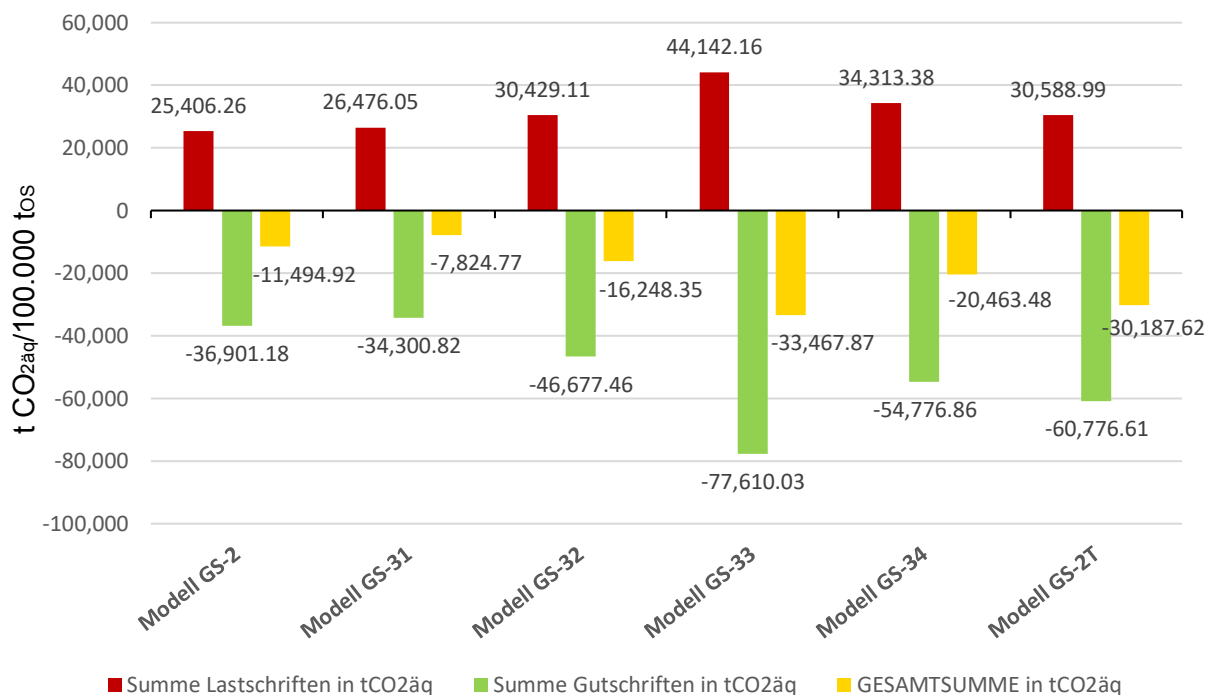


Abbildung 71: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „tec+“

## 6.4 Auswertung des Szenarios „samtec+“ – Kombination aus „sam+“ und „tec+“

Im nun folgenden Kapitel werden die Szenarien „sam+“ und „tec+“ zu einem gemeinsamen Szenario „samtec+“ für 100.000 t SA\* kombiniert.

### 6.4.1 Recyclingquote „samtec+“

Tabelle 95: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „samtec+“

"samtec+"	Gesamt mengen	Recycelte Menge	Recyclingquoten je Gesamtmenge	
<b>Modell GS-2</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	75.976,86	66.930,00	88,09%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	24.023,14	661,40	2,75%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>67.591,40</b>	<b>67,59%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-34</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	75.976,86	66.930,00	88,09%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	24.023,14	1.011,23	4,21%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>67.941,23</b>	<b>67,94%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>
<b>Modell GS-2T</b>	<b>t</b>	<b>t</b>	<b>m%</b>	
Input Getrennte Sammlung (GS)	93.000,00	67.107,34	72,16%	Recyclingquote GS-kumuliert
Input Restmüll (RM)	7.000,00	140,00	2,00%	Recyclingquote RM
<b>Summe GS+RM</b>	<b>100.000,00</b>	<b>67.247,34</b>	<b>67,25%</b>	<b>Recyclingquote SA</b>

Das kombinierte Szenario „samtec+“ erreicht in allen Modellen Recyclingraten von über 67 m% Siedlungsabfall\*, wobei die Ergebnisse in einem ähnlichen Prozentbereich liegen.

GS-2T schafft durch etwas mehr Sammlung und eine Sortieranlage für Trockenmüll mit deutlich höherem Aussortierungsgrad statt 62 m% nun eine Recyclingquote von 72 m% der getrennten Sammlung. Des Weiteren ist anzumerken, dass die bei rd. 88 m% liegende Recyclingquote für Modelle GS-2 und GS-34 auf einen hohen Anteil der getrennten Sammlung (rd. 76 m%) in Kombination mit hohem technologischem Grad (im Durchschnitt 87 m%; vgl. Tabelle 85 und Tabelle 88) der einzelnen Sortieranlagen zurückzuführen ist.

### 6.4.2 KEA und CO<sub>2</sub>äq-Emissionen „samtec+“

Der kumulierte Energieaufwand der unterschiedlichen Modelle im Szenario „samtec+“.

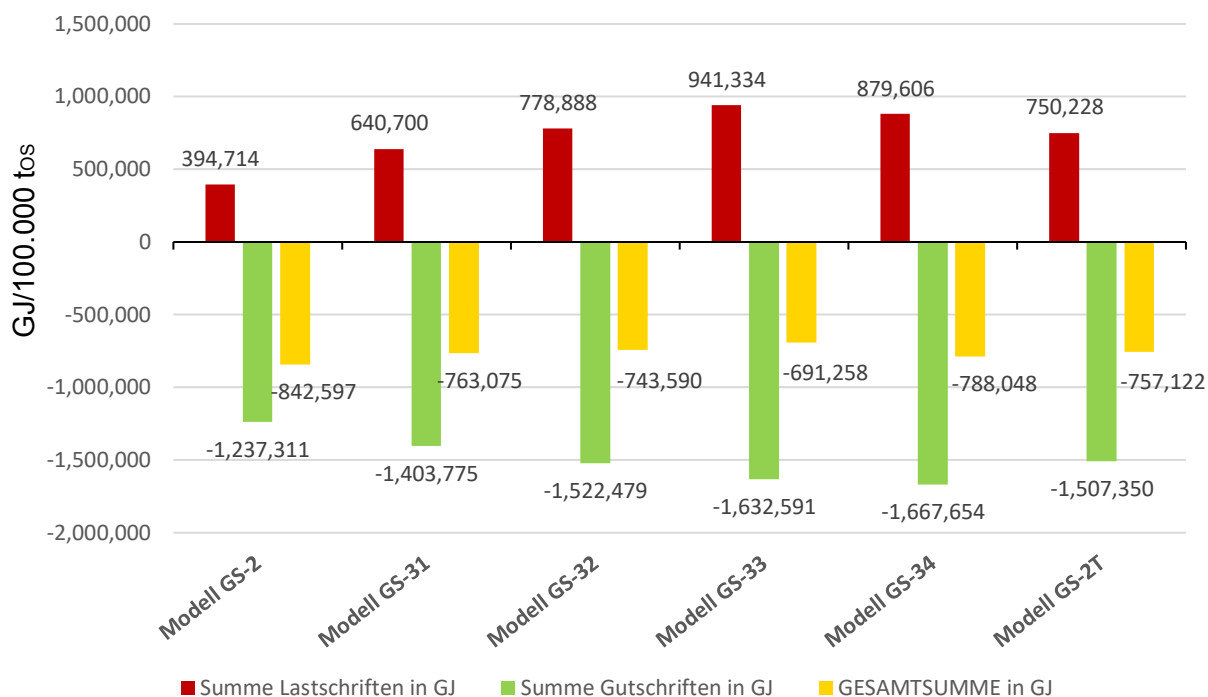


Abbildung 72: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „samtec+“

Die Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Modelle im Szenario „samtec+“.

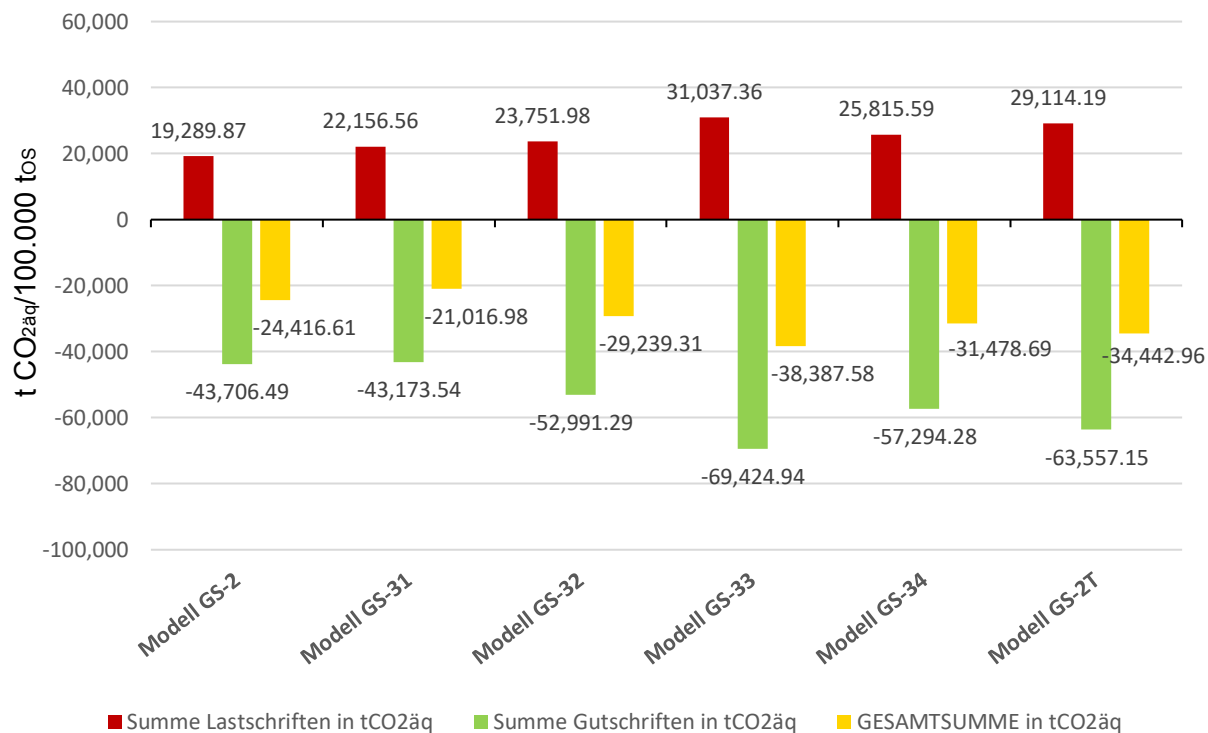


Abbildung 73: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „samtec+“



## 7 Vergleich der Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt ein Vergleich der unterschiedlichen Modelle der Recyclingquote, des KEA und der THG-Emissionen pro Tonne Siedlungsabfall\*. Im Modellvergleich werden für ein bestimmtes Szenario (z.B. „sam+“) die Ergebnisse aller Modelle beurteilt. Der Szenarienvergleich beschreibt anschließend die Unterschiede zwischen Szenarien je Modell.

### 7.1 Modellvergleich der Recyclingquote

Die Einzelauswertung der Recyclingquote erfolgt stellvertretend nur für die ausgewählten Modelle GS-2, -34 und -2T, da Modell GS-2 das Minimum und GS-34 die maximal mögliche Recyclingquote je Szenario darstellen und sich GS-2, -31, -32, -33 und -34 um maximal rd. 0,7 m% unterscheiden.

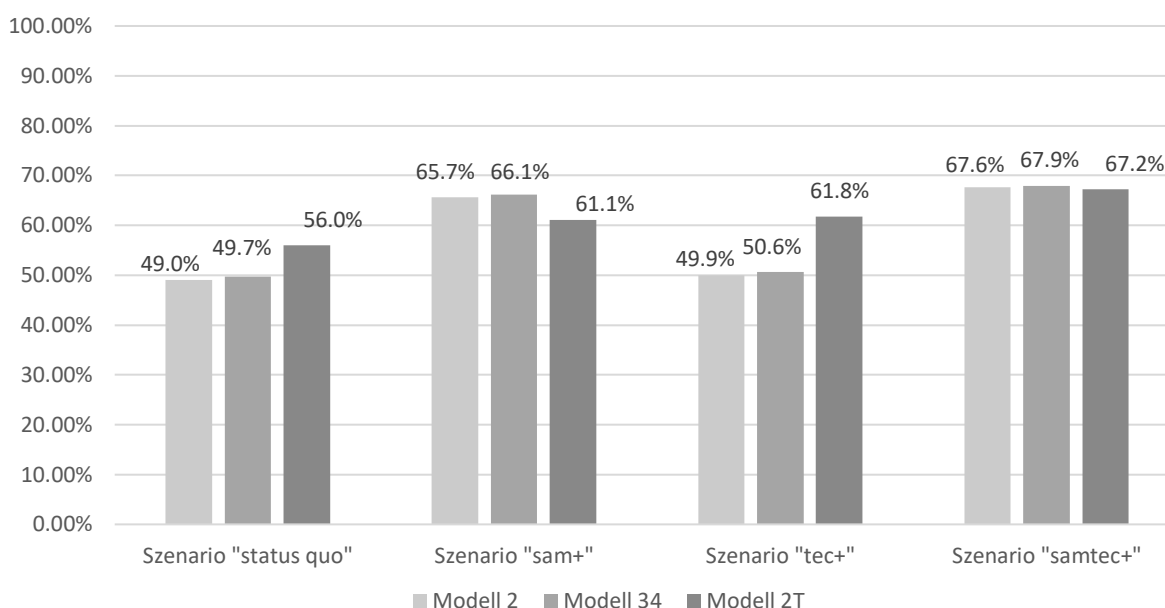


Abbildung 74: Szenarienvergleich der Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34, -2T

Es ist festzustellen, dass das 2-Tonnen-Modell nach dem Ist-Stand eine um ca. 6-7 m% höhere Recyclingrate aufweist. Durch mehr getrennte Sammlung kann das Modell GS-2T jedoch seine Recyclingrate nicht so stark erhöhen wie die Modelle mit konventioneller getrennter Sammlung. Durch eine technische Verbesserung der Sortieranlage lassen sich jedoch bei GS-2T fast 6 m% mehr aussortieren, was zu einer dementsprechend höheren gesamten Recyclingrate führt. Die Zielquote von 65 m% lässt sich bei allen Modellen im Szenario „samtec“ erreichen, wobei sie durch Modelle der klassischen getrennten Sammlung bereits durch mehr getrennte Sammlung erreicht werden würde. Für das Modell GS-2T ist einerseits mehr getrennte Sammlung und andererseits die Erhöhung der Recyclingrate der Sortieranlage für die Zielerreichung entscheidend, wobei dies nur bei den im Modell angenommenen Rahmenbedingungen zutrifft. In GS-2T liegt die Recyclingrate der Sortieranlage auch in „tec+“ erst knapp über 50 m%, was theoretisch eine Erreichung der 65 m% Recyclingquote nur durch weitere Erhöhung des Aussortierungsgrades der Sortieranlage ermöglicht.

## 7.2 Modellvergleich der Ergebnisse für KEA

Nun werden die betrachteten Modelle in jeweils einem Szenario gegenübergestellt und verglichen. In Abbildung 75 (KEA) entspricht jede Gruppe von Balken dem jeweils auf der x-Achse definierten Szenario im farblich markierten Modell. Die Werte entsprechen Gesamtsumme aus Lastschriften und Gutschriften je einer Tonne SA\*.

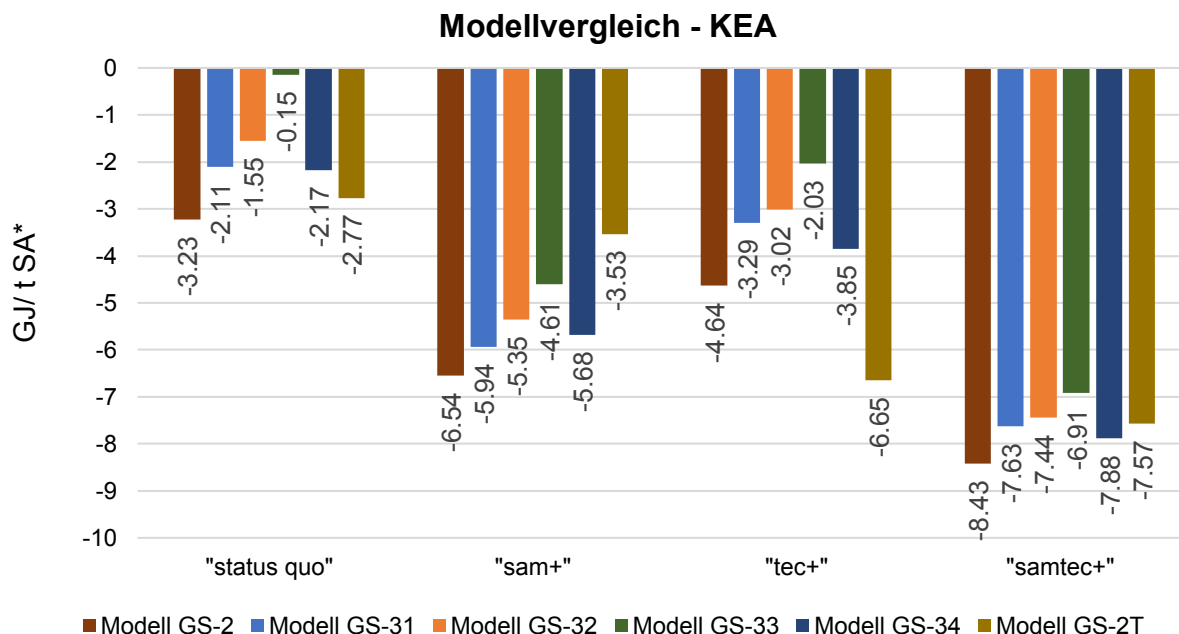


Abbildung 75: Modellvergleich für den KEA aller Modelle pro Tonne SA\*

### 7.2.1 Modellvergleich – KEA „Status quo“

Die direkte Müllverbrennung (Modell GS-2) ist jenes Modell mit der besten KEA-Bilanz von -3,23 GJ/t, weil Energie hergestellt wird, gefolgt von Modell 2T mit -2,77 GJ/t, was sich beim Modell 2T auf die 6-7 m% höhere Recyclingrate und damit verbundenen Primärenergieeinsparungen zurückführen lässt. Im Gesamtvergleich schneidet das Modell GS-33 bei der Energieeinsparung am schlechtesten ab (-0,15 GJ/t), während die MBA-Trocknung (GS-34, -2,17 GJ/t) etwas besser als die konventionelle aerobe MBA (GS-32, -1,55 GJ/t) abschneidet.

### 7.2.2 Modellvergleich – KEA im Szenario „sam+“

Da die getrennte Sammlung für die Modelle GS-2-34 ident ist und sich diese Modelle nur durch ihre Behandlung der thermisch verwerteten Fraktionen unterscheiden, ergibt sich für „sam+“ dasselbe Bild wie in Status quo, nämlich, je höher der Einsatz in der Zementindustrie ist, desto geringer fällt die kumulierte Energieeinsparung aus. Gleichzeitig ist die CO<sub>2</sub>-Einsparung der Modelle mit hohem EBS-Einsatz im Vergleich zur Monoverbrennung deutlich höher.

Grundsätzlich ist die Einsparung des KEA mit -6,54 GJ/t im AV-R-Modell am höchsten, gefolgt vom Monoverbrennungsmodell mit -5,96 GJ/t. Das Modell der Trockenstabilisierung (GS-34) ist mit -5,68 GJ/t jenes mit der besten KEA-Bilanz der MBA-Modelle.

### 7.2.3 Modellvergleich – KEA im Szenario „tec+“

Durch technische Aufrüstung erzielt nun Szenario GS-2T die höchste KEA-Einsparung mit -6-65 GJ/t Abfall. Erst danach folgt das Modell der Mono-Rostverbrennung, die in den Szenarien „SQ“ und „sam+“ jeweils die höchste KEA-Einsparung aufwies (-4,6 GJ/t in „tec+“). Die schlechteste KEA-Bilanz hat das Modell GS-33 mit -2,03 GJ/t Abfall. Die KEA-Bilanz des Monoverbrennungsmodells mit MBA (GS-31) hat im Unterschied zu „Status quo“ nun mit -3,29 eine etwas schlechtere als das MBA-Modell mit Trockenstabilisierung (-3,85 GJ/t).

### 7.2.4 Modellvergleich – KEA im Szenario „samtec+“

„Samtec+“ stellt das optimale Szenario aus ökologischer Sicht für die bisher beschriebenen Modelle dar. In diesem Szenario hat die klassische Rostverbrennung des Modells GS-2 die höchste absolute KEA-Einsparung mit etwa 0,55 GJ/t mehr als das MBA mit biologischer Trocknung. Dadurch schneidet die GS-34 bezüglich KEA etwas besser ab als das andere Monoverbrennungsmodell mit MBA aerob und Wirbelschichtverbrennungsanlage. Generell liegen die Werte für die KEA-Einsparung im Bereich von -7,44 bis -7,88 GJ/t der anderen Modelle, außer GS-33 mit -6,91 GJ/t nahe aneinander.

## 7.3 Modellvergleich der Ergebnisse für CO<sub>2</sub>äq

Nun werden die betrachteten Modelle in jeweils einem Szenario gegenübergestellt. In Abbildung 76 (CO<sub>2</sub>-äq-Emissionen) entspricht jede Gruppe von Balken dem jeweils auf der x-Achse definierten Szenario im farblich markierten Modell. Die Werte entsprechen Gesamtsumme aus Lastschriften und Gutschriften je einer Tonne SA\*.

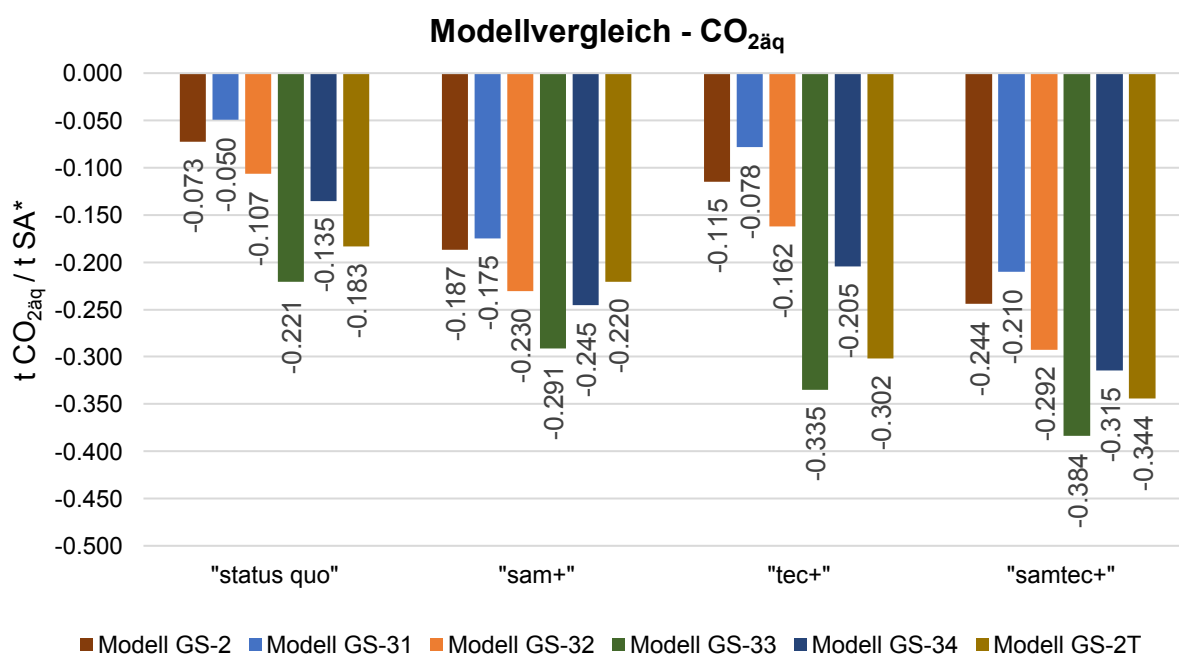


Abbildung 76: Modellvergleich für CO<sub>2</sub>äq-Emissionen aller Modelle pro Tonne SA\*

### 7.3.1 Modellvergleich – CO<sub>2</sub>äq im Szenario „Status quo“

Die höchste Einsparung von 221 kg CO<sub>2</sub>äq/t weist Modell 33 auf. Vor allem durch die etwas höhere Recyclingrate wird von GS-2T die zweithöchste Einsparung erzielt. Da das Referenzsystem für Strom und Wärme in Österreich aufgrund des hohen erneuerbaren Anteils niedrige Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit produziert (siehe 4.5), fällt die CO<sub>2</sub>äq-Gesamteinsparung der Modelle mit Fokus auf Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion (GS-2 mit -73kg, GS-31 mit -50 kg CO<sub>2</sub>äq/t) im Vergleich zum Ersatz von Steinkohle im Zementwerk geringer aus. Obwohl die THG-Emissionen, die durch die Abfallbehandlung in diesen Modellen entstehen im Modellvergleich die geringsten sind (nur Lastschriften), sind auch die Gutschriften der Monoverbrennung im Vergleich zu den MBA-Modellen mit Verwertung im Zementwerk um ca. 40-60% geringer als die MBA-Modelle GS-32 und GS-34. Im Vergleich „Status quo“ schneidet die MBA mit biologischer Trocknung (GS-34, -135 kg CO<sub>2</sub>äq/t) um rund 23% besser ab als jene mit biologischer Behandlung und einer Deponiefraction (GS-32, -107 kg CO<sub>2</sub>äq/t).

### 7.3.2 Modellvergleich – CO<sub>2</sub>äq im Szenario „sam+“

Wie auch in „Status quo“ hat Modell GS-33 in „sam+“ die geringsten CO<sub>2</sub>äq-Emissionen von -291 kg CO<sub>2</sub>äq/t, dank des Ersatzes von Kohle im Zementwerk.

GS-2T schneidet im Vergleich, mit 220 kg eingesparten CO<sub>2</sub>äq schlechter ab als in „Status quo“ und liegt statt an zweiter nun an vierter Stelle, knapp hinter GS-33 (-291 kg CO<sub>2</sub>äq/t), -34 (-245 kg CO<sub>2</sub>äq/t) und -32 (-230 kg CO<sub>2</sub>äq/t), gereiht nach der höchsten, absoluten CO<sub>2</sub>äq-Einsparung. Die geringsten Einsparungen in Bezug auf THG-Emissionen haben, wie auch schon in „Status quo“ die Müllverbrennungsanlagen (-187 bis -175 kg CO<sub>2</sub>äq/t), die Strom und Wärme produzieren, da sich ihr Wirkungsgrad in diesem Szenario nicht verändert.

### 7.3.3 Modellvergleich – CO<sub>2</sub>äq im Szenario „tec+“

Bezogen auf die absolute CO<sub>2</sub>-Einsparung hat das Modell GS-33 die höchste Einsparung (-335 kg CO<sub>2</sub>äq/t) vor den Modellen GS-2T (-344 kg CO<sub>2</sub>äq/t), -34 und -32. Trotz höherer Wirkungsgrade haben die Modelle der Monoverbrennung schlechtere Ergebnisse (-115kg bzw. -78 kg CO<sub>2</sub>äq/t) in der Klimabilanz als die Kombination von verschiedenen Anlagentypen der MBA, EBS-Produktion und Zementwerk. (-205kg für GS-34 und -162 kg CO<sub>2</sub>äq/t in GS-32) Dies liegt vor allem daran, dass in diesen Modellen trotz erhöhten Wirkungsgraden in Monoverbrennungsanlagen nur der österreichische Strom- und Wärmemix, der im Vergleich zum Ersatz von Kohle sehr CO<sub>2</sub>äq-arm ist, ersetzt wird.

### 7.3.4 Modellvergleich im – CO<sub>2</sub>äq im Szenario „samtec+“

Wie in allen weiteren Szenarien, weist GS-33 die beste Klimabilanz mit 384 kg eingesparten CO<sub>2</sub>äq/t auf. Das Modell GS-2T folgt mit einer Gesamteinsparung von 344 kg CO<sub>2</sub>äq/t Siedlungsabfall\*. Die Klimabilanz der MBA-Modelle schneiden mit 315 kg (GS-34) bzw. 292 kg eingesparten CO<sub>2</sub>äq/t auch in diesem Szenario besser ab als die Monoverbrennungsmodelle GS-2 mit 244 kg oder GS-31 mit 210 kg eingesparten CO<sub>2</sub>äq/t.

### 7.4 Szenarienvergleich der Ergebnisse

In folgender Abbildung 77 (KEA) und Abbildung 78 (CO<sub>2</sub>äq-Emissionen) werden die Modelle auf der x-Achse aufgetragen. Die einzelnen Balken stellen jedes Modell in den vier betrachteten Szenarien dar, die pro Tonne Siedlungsabfall\* (SA\*) verglichen werden können.

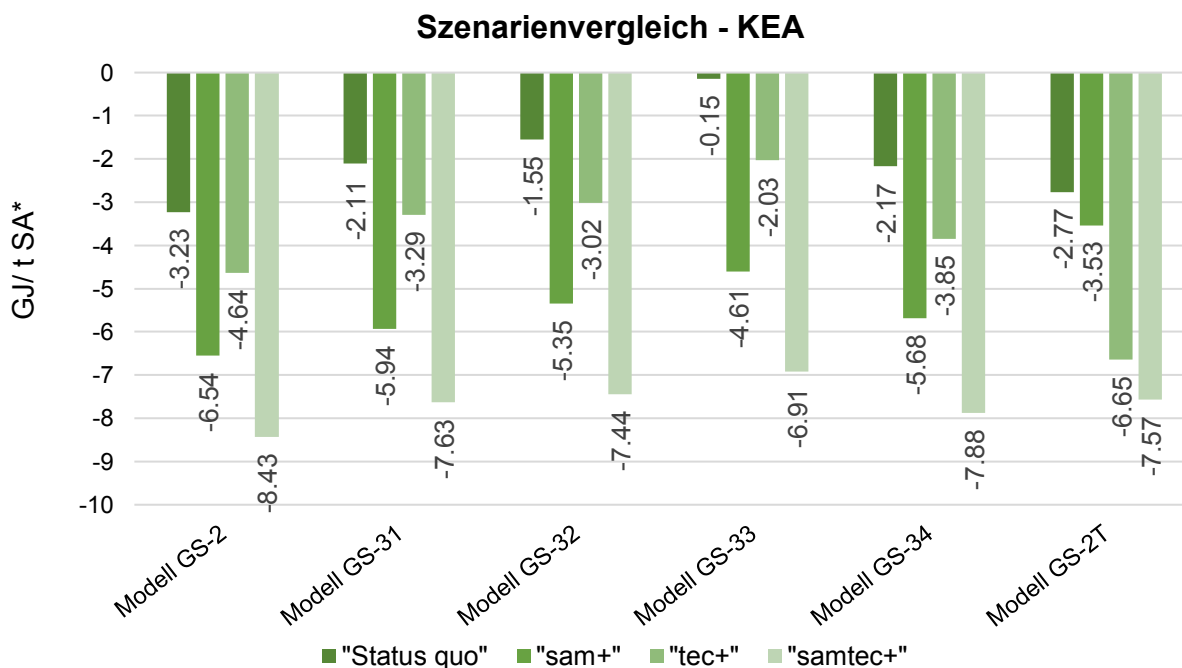


Abbildung 77: Szenarienvergleich für KEA pro Tonne SA\*

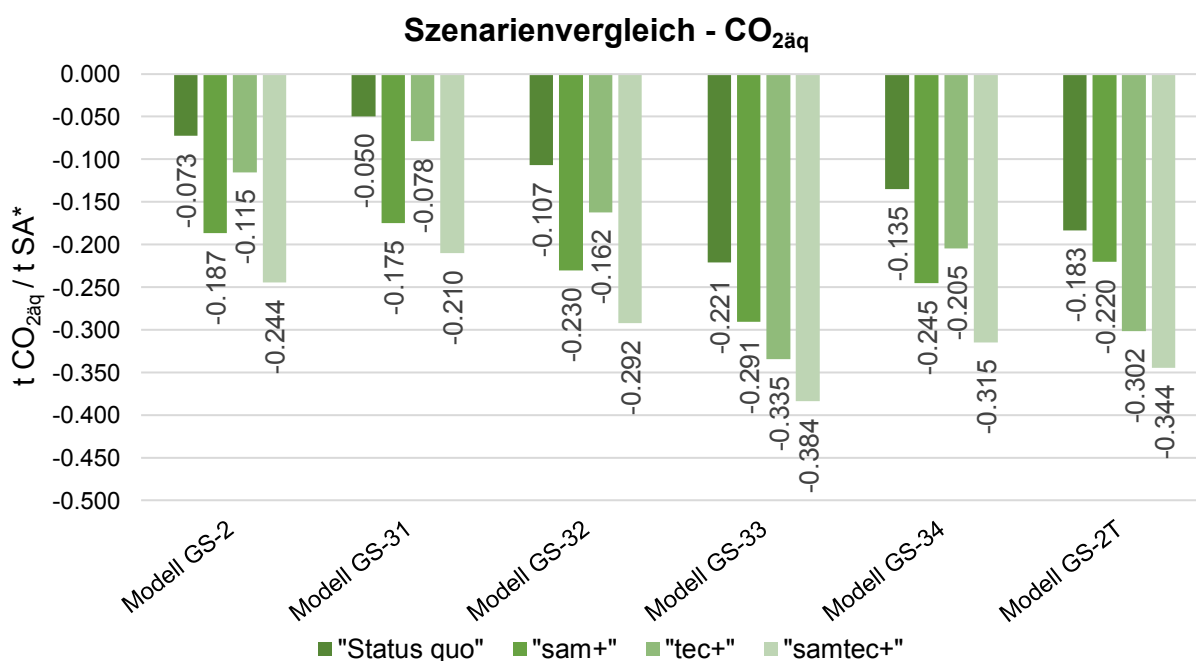


Abbildung 78: Szenarienvergleich für CO<sub>2</sub>äq-Emissionen pro Tonne SA\*

### 7.4.1 Szenario „sam+“ relativ zu „Status quo“

Die relativen höher- oder niedrigeren Einsparungen des KEA und der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen des Szenarios „sam+“ im Vergleich zu „Status quo“ werden in Tabelle 96 beschrieben.

Tabelle 96: Relativer Vergleich der Modelle im Szenario „sam+“ bezogen auf den Basiswert (100%) von „Status quo“ („SQ“)

Szenario „sam+“	Relativ höhere (+) bzw. niedrigere (-) Einsparungen im Vergleich zu "Status quo"	
	in % des KEA „SQ“	in % der CO <sub>2</sub> äq „SQ“
Modell GS-2	+103%	+157%
Modell GS-31	+182%	+252%
Modell GS-32	+245%	+116%
Modell GS-33	+3016%	+32%
Modell GS-34	+162%	+82%
Modell GS-2T	+28%	+20%

Eine vermehrte getrennte Sammlung (sam+) hat besonders positive Auswirkungen auf den KEA bei den Modellen GS-32, 33, 34 und für die Modelle der Monoverbrennung im Bereich der CO<sub>2</sub>äq-Emissionen. Das Modell GS-2T profitiert am wenigsten von einer vermehrten getrennten Sammlung und schneidet im Vergleich zu den anderen Modellen am schlechtesten in Bezug auf den KEA ab, auch kann es die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch „sam+“ können nur um 20% im Vergleich zu „SQ“ reduziert werden. Durch Erreichen der Recyclingziele für die Modelle GS-2, -31, -32 und -34, die in diesem Szenario eine Recyclingquote von 65-66 m% aufweisen, können je nach Modell basierend auf „Status quo“ 103-245% (3,31-3,8 GJ/t) mehr KEA bzw. 82-252% (110-125 kg CO<sub>2</sub>äq/t) mehr Treibhausgasemissionen eingespart werden. Der hohe Prozentsatz der KEA-Einsparung von GS-33 erklärt sich dadurch, dass der Wert in „SQ“ nur -0,15 GJ/t beträgt und sich dann auf -4,61 GJ/t erhöht.

### 7.4.2 Szenario „tec+“ relativ zu „Status quo“ und „sam+“

Verglichen mit den bisher beschriebenen Ergebnissen von „SQ“ und „sam+“ ergeben sich die relativen Unterschiede von „tec+“ nach Tabelle 97.

Tabelle 97: Vergleich der Modelle im Szenario „tec+“ bezogen auf die Basiswerte (100%) von „Status quo“ („SQ“) und „sam+“

Szenario „tec+“	Relativ höhere (+) bzw. niedrigere (-) Einsparung im Vergleich zum angeführten Szenario			
	KEA		CO <sub>2</sub> äq	
	in % des KEA "SQ"	in % des KEA "sam+"	in % der CO <sub>2</sub> äq "SQ"	in % der CO <sub>2</sub> äq "sam+"
Modell GS-2	+44%	-29%	+58%	-38%
Modell GS-31	+56%	-45%	+58%	-55%
Modell GS-32	+95%	-44%	+52%	-29%
Modell GS-33	+1275%	-56%	+52%	+15%
Modell GS-34	+77%	-32%	+52%	-17%
Modell GS-2T	+140%	+88%	+65%	+37%

Die Modelle der Monoverbrennung (GS-2, -31) schneiden im „tec+“-Szenario, trotz Erhöhung des Wirkungsgrades um 10%, im Vergleich zu „sam+“ schlechter ab. Dies ist auf den deutlich stärker positiven Einfluss auf KEA- und CO<sub>2</sub>äq-Einsparung durch vermehrtes Recycling zurückzuführen. Im Vergleich dazu kann vor allem das Modell GS-2T seine KEA-Einsparung gegenüber „SQ“ und „sam+“ deutlich erhöhen. Alle anderen Modelle haben durch Umsetzung des Szenarios „sam+“ eine höhere KEA-Einsparung als durch „tec+“.

Die CO<sub>2</sub>äq-Einsparungen wachsen im Vergleich zu „SQ“ im Bereich von 50-60% und sind gegenüber „sam+“ uneinheitlich. Die MBA-Modelle GS-32, 34 weisen einen Rückgang von Einsparungen, also eine Verschlechterung der Klimabilanz im Vergleich zu „sam+“, von 15-30% auf, die Monoverbrennungsmodelle GS-2, 31 um 38-55%.

Nur das 2-Tonnen-Modell, sowie das Zementwerkmodell GS-33 können durch „tec+“ ihre Klimabilanz gegenüber „sam+“ weiter verbessern.

### 7.4.3 Szenario „samtec+“ relativ zu „Status quo“, „sam+“ und „tec+“

Verglichen mit den Ergebnissen der anderen Szenarien von „SQ“, „sam+“ und „tec+“ ergeben sich die relativen Unterschiede von „tec+“ nach Tabelle 98.

Tabelle 98: Vergleich der Modelle im Szenario „samtec+“ bezogen auf die Basiswerte (100%) von „Status quo“ („SQ“), „sam+“ und „tec+“

Szenario "samtec+"	Relativ höhere (+) bzw. niedrigere (-) Einsparung im Vergleich zum angeführten Szenario					
	KEA			CO <sub>2</sub> äq		
	in % des KEA "SQ"	in % des KEA "sam+"	in % des KEA "tec+"	in % der CO <sub>2</sub> äq "SQ"	in % der CO <sub>2</sub> äq "sam+"	in % der CO <sub>2</sub> äq "tec+"
Modell GS-2	+161%	+29%	+82%	+236%	+31%	+112%
Modell GS-31	+262%	+29%	+132%	+324%	+20%	+169%
Modell GS-32	+380%	+39%	+146%	+174%	+27%	+80%
Modell GS-33	+4576%	+50%	+240%	+74%	+32%	+15%
Modell GS-34	+263%	+39%	+104%	+133%	+28%	+54%
Modell GS-2T	+174%	+114%	+14%	+88%	+56%	+14%

Das Szenario „samtec+“ hat folglich sehr positive Auswirkungen auf den kumulierten Energieaufwand und die CO<sub>2</sub>äq-Emissionen aller Entsorgungsmodelle. Die größte Steigerung bei der Energieeinsparung im Vergleich zu Status quo kann beim Modell GS-33 (Wert in Status quo nur -0,15GJ/t), sowie der konventionellen MBA (GS-32) erreicht werden.

THG-Einsparungen können im Vergleich zu „Status quo“ in allen Modellen um über 74% (auf Basis „SQ“) erhöht werden, in den Modellen GS-2 über 200%, in GS-31 über 300% (auf Basis „SQ“).

Das Modell GS-2T kann durch verbesserte Sortiertechnologie seine KEA- und THG-Einsparungen deutlicher besser erhöhen als im Vergleich „sam+“. Durch Erreichung der Recyclingziele (in diesem Fall 67,25 m%) können die KEA-Einsparungen um 174% (4,8 GJ/t) und die THG-Einsparungen um 88% (161 kg CO<sub>2</sub>äq/t), bezogen auf den KEA und die THG-Emissionen von „Status quo“, erhöht werden.

## 8 Zusammenfassende Beantwortung der Forschungsfragen

Wie im Kapitel Problemstellung der gegenständlichen Arbeit (vgl. Kapitel 1.2) beschrieben, stehen folgende übergeordneten Fragestellungen im Vordergrund der Untersuchungen:

- welche und wie große Unterschiede im Hinblick auf kumulierten Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen gibt es zwischen den unterschiedlichen Bewirtschaftungsmodellen von Restmüll bzw. Siedlungsabfällen generell

und

- wie sich smarte und optimierte Anlagentechnik und eine vermehrte getrennte Sammlung auf die Performance des Siedlungsabfallbewirtschaftungssystems auswirken.

Basierend auf den in der Arbeit dargestellten Ergebnissen lassen sich dazugehörigen Detailfragen wie folgt beantworten:

**FRAGE 1:** Wie hoch ist die auf den Output aus dem Recyclingprozess bezogene Recyclingquote mit aktueller Verteilung zwischen Restmüll und gewählten Fraktionen der getrennten Sammlung in Österreich?

### **ANTWORT FRAGE 1:**

Innerhalb der Systemgrenze liegen alle Siedlungsabfälle, die in Mülltonnen gesammelt werden. Mit aktueller, gemittelter Verteilung der Fraktionen beträgt die Restmüllmenge rd. 45,22 m% der betrachteten Fraktionen Altmetalle, LVP, Papier, Glas, Bioabfälle und Restmüll. Somit wird festgestellt, dass mit den beschriebenen Systemgrenzen, rd. 3.101.465 t/a bzw. 70,3 m% des Gesamtsiedlungsabfallaufkommens (4.407.686 t für 2018) berücksichtigt sind.

Mit in der Arbeit getroffenen Annahmen, wie der Vernachlässigung des durchschnittlichen Verlustes während des Recyclings für die Fraktionen Metalle, Papier und Glas beträgt in Österreich die durchschnittliche Recyclingquote 49,0-49,7 m% für die oben angeführten Fraktionen. Die Recyclingquote der nur getrennt gesammelten Fraktionen (Altmetalle, LVP, Papier, Glas und Bioabfälle) beläuft sich auf 87,95 m%. Die aus Restmüll aussortierte Menge, die anschließend recycelt wird und somit einen Beitrag zu der durchschnittlichen Recyclingquote leistet, besteht hauptsächlich aus Metallen aber auch bei der EBS-Produktion aussortierten PET-Flaschen oder Flüssigkeitskartons, beträgt je nach Modell 2,3-3,8 m% des Restmülls bezogen auf die 45,22m% bzw. 1,0 – 1,72m% bezogen auf die gesamten betrachteten sechs Fraktionen.



**FRAGE 2:** Wie verhalten sich gängige Bewirtschaftungssysteme für Siedlungsabfälle im Vergleich von kumuliertem Energieaufwand und Klimawirksamkeit?

**ANTWORT FRAGE 2:**

Aus dem Vergleich der Bewirtschaftungssysteme für Siedlungsabfälle nach Abbildung 75 und Abbildung 76 lässt sich für gängige Systeme und den Ist-Stand („Status quo“) ableiten, dass die kumulierte Energieeinsparung von Monoverbrennungsanlagen (AV-R, AV-W) höher ist als jene von MBA-Konzepten mit nachgeschaltetem Zementwerk. Wird jedoch die Höhe der CO<sub>2</sub>-Einsparung betrachtet, so haben Ersatzbrennstoffe, die Steinkohle in Zementwerken substituieren eine deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Einsparung als Monoverbrennungsanlagen. Dadurch haben MBA-Anlagenkonzepte mit Ersatzbrennstoffproduktion, trotz der Prozessemissionen und Emissionen durch die Ablagerung der Rottefraktion gegenüber der Monoverbrennung in Rost- oder Wirbelschichtverbrennungsanlage (mit vorgeschalteter MBA) insgesamt eine rund 20% bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz. Betrachtet man nur die Lastschriften, dann liegen MBA-Konzepte deutlich höher, d.h. die in Verbindung mit dem Abfall tatsächlich entstehenden Emissionen im Modell sind höher. Außerdem ist anzumerken, dass das Modell der MBA mit Trockenstabilisierung (GS-34) das Modell der MBA mit aerober biologischer Behandlung bei der KEA-Einsparung um ca. 30% und der THG-Einsparung um ca. 20% übertrifft („Status quo“).

Mehr Recycling bedeutet, unabhängig von thermischer Verwertungstechnologie mehr KEA- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (ausgenommen CO<sub>2</sub> von Bioabfällen aufgrund von Prozessemissionen).

**FRAGE 3:** Wie verändert eine Mengenerhöhung von Abfällen in der getrennten Sammlung bzw. die Aufrüstung im Bereich der Sortiertechnologie zur Erreichung der EU-Recyclingziele den KEA und die THG-Emissionen der einzelnen Systeme?

**ANTWORT FRAGE 3:**

Wird mehr getrennt gesammelt, steigen die KEA- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen stark durch mehr Recycling und damit verbundene Beiträge. Die hohen Werte der KEA-Einsparung in „sam+“ (in allen Modellen höher als „tec+“) sowie hohe CO<sub>2</sub>-Einsparung (außer in GS-33 alle höher als „tec+“) auch von Monoverbrennungsanlagen, sind dem stärkeren Einfluss auf die Energieeinsparung durch mehr Recycling zuzuschreiben. Im Vergleich zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrades um 10% in Abfallverbrennungsanlagen oder einer Erhöhung der Substitutionsrate in Zementwerken auf 95% („tec+“) wirkt sich eine höhere Recyclingquote (mehr getrennte Sammlung) deutlich stärker positiv auf den KEA und auch auf die CO<sub>2</sub>-Einsparungen aus.

Dies gilt jedoch nur für die in dieser Arbeit beschriebenen Annahmen bezüglich Strom- und Wärmemix in Österreich und die Annahmen zu Recyclingeinsparungen, die wiederum stark vom bei der Produktion verwendeten Strom- und Wärmemix bzw. den verwendeten Energieträgern abhängen.

**FRAGE 4:** Wie schneidet das Modell eines zwei Tonnen Sammelsystems eines österreichischen Abfallwirtschaftsverbands im Vergleich zur klassischen getrennten Sammlung in Bezug auf Recyclingquote, kumulierten Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen ab?

**ANTWORT FRAGE 4:**

Das mitbetrachtete 2-Tonnen-Modell weist im Ist-Stand eine um 6-7 m% höhere Recyclingquote auf als der österreichische Durchschnitt und liegt bei rd. 55,97 m%. In diesem Modell ist die Recyclingquote der getrennten Sammlung von oben angeführten 5 Fraktionen jedoch geringer mit nur 65,04 m%. Die immer noch höhere Gesamtrecyclingquote lässt sich durch die insgesamt höhere Menge in der getrennten Sammlung erklären. Dies trägt auch dazu bei, dass die Einsparungen im Ist-Stand 2018/19 („SQ“) des KEA gleich nach der reinen Rostverbrennung die zweithöchsten sind und die Einsparung von CO<sub>2</sub>äq im Vergleich höher als alle anderen, eingesetzten Modelle in Österreich ist. (Modell GS-33 wird in dieser Form in Österreich aktuell nicht angewendet und daher hier auch nicht berücksichtigt.) Im Unterschied zu den anderen Modellen ist bei GS-2T das Szenario „tec+“ deutlich wirkungsvoller für Recyclingquote, KEA- und CO<sub>2</sub>-Einsparung als mehr getrennte Sammlung in „sam+“.

## 9 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die Untersuchungen im Rahmen der gegenständlichen Arbeit haben gezeigt, dass die Siedlungsabfallbewirtschaftungssysteme, die in Österreich Anwendung finden, bereits nach dem heutigen Stand mehr Energie einsparen als sie verbrauchen und durch Substitution von Rohstoffen bzw. Energieträgern fossile CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen einsparen. Potential zur Verbesserung ist aber auf jeden Fall noch vorhanden. Keines der betrachteten Modelle erfüllt zum aktuellen Zeitpunkt (2018/19) die Recyclingvorgaben von 65 m% für das Jahr 2035. Die berechneten Modelle liegen mit 49 m% bzw. 55 m% des alternativen 2-Tonnen-Sammelsystems um 10-15 m% darunter. Insbesondere bei der Verringerung der Gesamtmenge des Restmülls, also der erhöhten Erfassung in der getrennten Sammlung herrscht Aufholbedarf. Nach Berechnungen dieser Arbeit, könnte die Recyclingquote für das klassische System der getrennten Sammlung (Altmetall, LVP, Altpapier, Glas, Bio, Restmüll) bei einer Reduktion des Restmülls, auf ca. die Hälfte der heutigen Menge, erreicht werden. Würde ganz Österreich nach dem Vorbild von Vorarlberg sammeln und trennen, könnten je nach Entsorgungssystem pro Tonne Siedlungsabfall 3,3-4,5 GJ und 70-125 kg CO<sub>2</sub>äq (siehe 7.4, ohne GS-2T) zusätzlich (zu bestehenden Einsparungen von 0,15-3,23 GJ und 73-221 kg CO<sub>2</sub>äq) eingespart werden. Hochgerechnet auf Gesamtmenge betrachteter Fraktionen Altmetalle, LVP, Altpapier, Glas, Bio und Restmüll (3.101.465 t betrachtete Abfälle, 70,3 m% der Gesamtsiedlungsabfallmenge von 4.407.686 t in Österreich nach Statusbericht (2020)) entspricht das einem im Vergleich zu „Status quo“ zusätzlich eingesparten Energieverbrauch von 10.234 – 13.956 TJ und einer Menge zusätzlich eingesparten CO<sub>2</sub>äq von 217.102 – 387.683 t.

Für die betrachteten Modelle und Szenarien leitet sich ab, dass das konventionelle Sammelsystem durch eine höhere Sammelquote in der getrennten Sammlung (auf rd. 86%) und damit verbundene Verringerung der Restmüllmenge, die Quote von 65 m% Siedlungsabfall erreichen kann. Auch fällt die KEA-Einsparung um 29-45% und die CO<sub>2</sub>äq-Einsparung um 17-55% besser aus, wenn mehr getrennt gesammelt und dadurch auch mehr recycelt wird, als wenn Wirkungsgrade von Verbrennungsanlagen um 10%, der Substitutionsgrad im Zementwerk auf 95% angehoben, statt 36% („SQ“) der Kunststoffe rd. 54% und statt 85% („SQ“) nun 90 m% der Metalle recycelt werden. (siehe Tabelle 97, gilt für konventionelles Sammelsystem, Betrachtung ohne 2-Tonnen-System)

Das betrachtete 2-Tonnen-Modell profitiert vor allem von einer technischen Aufrüstung der Sortieranlage und weniger von einer vermehrten getrennten Sammlung, da bereits heute ca. 85 m% des Siedlungsabfalls getrennt gesammelt werden. Durch diese Aufrüstung („tec+“) kann eine um 140% (KEA) bzw. 65% (CO<sub>2</sub>äq) bessere Bilanz erreicht werden als in Status quo. Im Vergleich dazu fällt bei GS-2T die Steigerung der Einsparungen bei leichter Erhöhung der Mengen in der getrennten Sammlung („sam+“) moderat mit +20% (KEA) und +28% (CO<sub>2</sub>äq) aus. Vergleicht man „tec+“ mit „sam+“ für das Modell GS-2T führt dies zu einer Erhöhung der Einsparung des KEA um 88% und einer Erhöhung der Einsparung von CO<sub>2</sub>äq-Emissionen um 38%.

## 10 Verzeichnisse

### 10.1 Literatur

- Abfallwirtschaftsverband. (2020), *Vor-Ort erhobene Daten eines Abfallwirtschaftsverbandes in Österreich. Erhebungszeitraum Juli - September 2020.*
- Altendorfer, M. (2018), *Vergleich abfallwirtschaftlicher Systeme für Siedlungsabfälle mit Schwerpunkt Beschäftigungseffekte*, Montanuniversität Leoben.
- Austrian Standards. (2006), „ÖNORM EN ISO 14040 - Umweltmanagent - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen“.
- Austrian Standards. (2018), „ÖNORM EN ISO 14044 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017“.
- BAWPL. (2017), *Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 Teil 1*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, verfügbar unter: <http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/>.
- BayLfU. (2007), *Abfallwirtschaft und Klimaschutz -Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt am 8. Februar 2007, Daten entnommen aus Folien von G. Dehoust, Ökoinstitut e.V., Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH, Bayerisches Landesamt für Umwelt.*
- Beckmann, M., Horeni, M., Scholz, R. und Harnaut, T. (2002), *Einfluss der Prozessführung auf den spezifischen Energieverbrauch in Verfahren der Grundstoffindustrie beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen, VDI Berichte.*
- Bilitewski, B., Wagner, J. und Reichenbach, J. (2018), *Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung*, INTECUS Dresden GmbH. im Auftrag des Umweltbundesamtes (DE), verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-30\\_texte\\_39-2018-verfahren-kommunale-abfallwirtschaft\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-30_texte_39-2018-verfahren-kommunale-abfallwirtschaft_0.pdf).
- BMK. (2020), „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich 2020“, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), verfügbar unter: [http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/%5Cnhttp://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/Statusbericht\\_2017/Statusbericht\\_2013.pdf](http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/%5Cnhttp://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/dms/bawp/Statusbericht_2017/Statusbericht_2013.pdf).
- BMLFUW. (2008), „Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008)“, No. 39, verfügbar unter: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20005653>.
- BMNT. (2019a), *Energie in Österreich: Zahlen, Daten, Fakten*, verfügbar unter: [https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:756edbc3-12c1-44e3-8e80-04ead759ff75/BMNT\\_Energie\\_in\\_OE2019\\_Barrierefrei\\_final.pdf](https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:756edbc3-12c1-44e3-8e80-04ead759ff75/BMNT_Energie_in_OE2019_Barrierefrei_final.pdf).
- BMNT. (2019b), *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich 2019 - Statusbericht*, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Brunner, P.H., Allesch, A., Kanitschar, G., Färber, B., Getzner, M., Grüblinger, G., Huber-Humer, M., u. a. (2015), *Benchmarking für die österreichische Abfallwirtschaft*, TU Wien, BOKU, MUL, UIBK im Auftrag des BMLFUW, verfügbar unter:

<https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/Benchmarking-Studie.html>.

Brunner, P.H., Hutterer, H., Schönback, W., Frühwirth, W., Wöglinger, H., Döberl, G., Huber, R., u. a. (2000), „Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND) - Endbericht Version 3“, No. November, S. 190.

CUTEC. (2016), *Differenzierung der energetischen Verwertung am Kriterium der Energieeffizienz*, herausgegeben von Vodegel, S. und Davidovic, M., verfügbar unter: [https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA15/2018\\_EaA\\_761-768\\_Vodegel](https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA15/2018_EaA_761-768_Vodegel).

D.UBA. (2016), *CO2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*, herausgegeben von Jührich, K., verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2003.09.014>.

E-Control. (2019), „Stromkennzeichnungsbericht 2019“.

Europäische Kommission. (2011), „Beschluss der Kommission vom 18. November 2011 mit Vorschriften und Berechnungsmethoden für die Überprüfung der Einhaltung der Zielvorgaben gemäß Artikel 11 Absatz 2 der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates“.

Europäische Kommission. (2014), *Hin zu einer Kreislaufwirtschaft: Ein Null-Abfallprogramm für Europa (COM(2014) 398 final)*.

Europäische Kommission. (2015), „Den Kreislauf schließen - Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft (COM(2015) 614 final)“.

Europäische Kommission. (2018a), „Kreislaufwirtschaft: Neue Vorschriften – EU übernimmt globale Vorreiterrolle in Abfallbewirtschaftung und Recycling“, verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP\\_18\\_3846](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_18_3846) (zugegriffen 11 Jänner 2020).

Europäische Kommission. (2018b), „Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft“.

Europäische Kommission. (2019a), „DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2019/1004 DER KOMMISSION vom 7. Juni 2019 zur Festlegung der Vorschriften für die Berechnung, die Prüfung und die Übermittlung von Daten über Abfälle gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates sowie“, No. Juni.

Europäische Kommission. (2019b), „DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2019/665 DER KOMMISSION vom 17. April 2019 zur Änderung der Entscheidung 2005/270/EG zur Festlegung der Tabellenformate für die Datenbank gemäß der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen“, No. April.

Europäische Kommission. (2020a), *Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. COM(2020) 98 final*, verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0098&from=DE>.

Europäische Kommission. (2020b), „Anhang - Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. COM(2020) 98 final“, verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0098&from=DE>.

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. (2018a), „Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 - konsolidiert am

- 5.7.2018“, verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. (2018b), „Richtlinie 94/62/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle - konsolidiert 4.7.2018“, S. 1–32.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. (2019), „RICHTLINIE (EU) 2019/904 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt“.
- European Commission. (2018), *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment*, verfügbar unter: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5752-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5752-7_3).
- Fricke, K., Bahr, T., Thiel, T. und Kugelstadt, O. (2009), „Stoffliche oder energetische Verwertung - Ressourceneffizientes Handeln in der Abfallwirtschaft (GGSC-Seminare)“, verfügbar unter: <https://www.ggsc-seminare.de/pdf/Fricke-Ressourceneffizientes-Handeln-in-der-Abfallwirtschaft.pdf>.
- GEMIS. (2019), *Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme - GEMIS: Modell und Datenbasis, Version 5.0*, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, verfügbar unter: <http://www.iinas.org/gemis-de.html>.
- Hackl, A. und Mauschitz, G. (2007), „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahre 2003-2005“.
- IFEU/D.UBA. (2007), „Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz“, in Fehrenbach, H., Giegrich, J. und Mahmood, S. (Hrsg.), , Umweltbundesamt (DE), verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>.
- IFEU. (2006), „Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff“, No. August.
- IFEU. (2007), *Ökobilanz thermischer Entsorgungssysteme für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen*, herausgegeben von Fehrenbach, H., Giegrich, J. und Schmidt, R.
- IFEU. (2018), *Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand*, herausgegeben von Knappe, F., Reinhardt, J., Kern, M., Turk, T., Raussen, T., Kruse, S. und Hüttner, A., Umweltbundesamt (DE).
- IPCC. (2006a), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 - Energy - Stationary Combustion*, verfügbar unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- IPCC. (2006b), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 - Waste, IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gase Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change, verfügbar unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.
- IPCC. (2013), „Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Chapter 8: Anthropogenic and natural radiative forcing“, *Working Group I, Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Vol. 9781107057, S. 659–740.

- IWU. (2009), „Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und –versorgungen“, S. 2.
- Karl, J. (2012), *Dezentrale Energiesysteme - Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt - 3. Auflage*, Oldenbourg Verlag.
- KSG. (2011), „Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz (Klimaschutzgesetz – KSG)“.
- Laner, D. und Brunner, P.H. (2008), „Studie KRIGEZ: Kriterien zur Trennung von Siedlungsabfall aus Industrie und Gewerbe als Voraussetzung zur Zuordnung zu Behandlungsverfahren“.
- Lorber, K.E., Sarc, R. und Pomberger, R. (2015), „Polymeric Composites Waste as part of Solid Recovered Fuel ( SRF ) in Cement Polymeric Composites Waste as part of Solid Recovered Fuel ( SRF ) in Cement Industry“, No. May.
- Mauschitz, G. (2009), *Klimarelevanz der Abfallwirtschaft IV*, TU Wien.
- Mauschitz, G. (2019), „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahr 2018“.
- Obermeier, T. und Lehmann, S. (2019a), „Recycling-Quotenzauber Schaffen wir in Deutschland die europäischen am Nabu Dialogforum Kreislaufwirtschaft vom 25.9.2019“, No. September.
- Obermeier, T. und Lehmann, S. (2019b), *Recyclingquoten – Wo stehen Deutschland , Österreich und die Schweiz mit dem neuen Rechenverfahren im Blick auf die EU-Ziele ?*, Recycling., Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH.
- Ökoinstitut/HTP. (2012), „Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe - Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkungsinstrument zur Ressourcenschonung“, in Dehoust, G. und Christiani, J. (Hrsg.), .
- Ökoinstitut/IFEU. (2010), *Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz*, herausgegeben von Dehoust, G., Vogt, R., Schüler, D. und Giegrich, J., UBA Texte., Umweltbundesamt (DE), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (DE), Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft E.V.
- Ökoinstitut/IFEU. (2015), *The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector*, herausgegeben von Vogt, R., Derreza-Greeven, C., Giegrich, J., Dehoust, G., Möck, A. und Merz, C., Umweltbundesamt (DE), verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/the-climate-change-mitigation-potential-of-the>.
- Ökoinstitut. (2002), *Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz , Luftreinhaltung und Ressourcenschonung*, herausgegeben von Dehoust, G., Gebhardt, P. und Gärtner, S., Öko-Institut e.V. im Auftrag der Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen (ITAD).
- Ökoinstitut. (2014), *Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende - Klimaschutzpotenziale auch unter geänderten Rahmenbedingungen optimal nutzen*, herausgegeben von Dehoust, G., Harthan, R.O., Stahl, H., Hermann, H., Matthes, F.C. und Möck, A., Bd. 49,

- im Auftrag des BDE - Bund der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft.
- Ökoinstitut. (2016), „Umweltpotenziale der getrennten Erfassung und des Recyclings von Wertstoffen im Dualen System - Bilanz der Umweltwirkungen“, in Dehoust, G., Möck, A., Merz, C. und Gebhardt, P. (Hrsg.), , Öko-Institut e.V.
- ÖWAV. (2003), „ÖWAV Regelblatt 514 - Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft“, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, S. 94.
- ÖWAV. (2004), *Liste aus Betreiberangaben und Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten und biogenen Anteilen von Ersatzbrennstoffen - Fachgruppe Abfallwirtschaft und Altlastensanierung*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- ÖWAV. (2013), *Vergleichende Analyse der Entsorgung von Verpackungsabfällen aus haushaltsnahen Anfallstellen auf Basis der Verpackungsverordnungen in Deutschland und Österreich*.
- Pomberger, R. (2008), *Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC-Verfahren und Analyse der abfall- wirtschaftlichen Relevanz*, Montanuniversität Leoben.
- Pomberger, R. (2018), „Vorlesungsfolien zu spezieller Abfallwirtschaft 2018“.
- Rat der Europäischen Union. (2018), „Richtlinie 1999/31/EG des Europäischen Rates über Abfalldeponien - konsolidiert 4.7.2018“.
- Raupenstrauch, H., Spijker, C., Holzer, A. und Kainz, S. (2018), *Vorlesungsskriptum Technische Thermodynamik - 1. Auflage, 2018*, Montanuniversität Leoben.
- Sarc, R. (2015), *Herstellung , Qualität und Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen zur Erreichung der 100 % -igen thermischen Substitution in der Zementindustrie*, Montanuniversität Leoben.
- Sarc, R. (2020), „Persönliche Mitteilung am 14.5.2020“.
- Sarc, R. und Lorber, K.E. (2013), „Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs)“, *Waste Management*, Vol. 33 No. 9, S. 1825–1834.
- Sarc, R., Lorber, K.E., Pomberger, R., Rogetzer, M. und Sipple, E.M. (2014), „Design, quality, and quality assurance of solid recovered fuels for the substitution of fossil feedstock in the cement industry“, *Waste Management and Research*, Vol. 32 No. 7, S. 565–585.
- Sarc, R., Seidler, I.M., Kandlbauer, L., Lorber, K.E. und Pomberger, R. (2019), „Design, quality and quality assurance of solid recovered fuels for the substitution of fossil feedstock in the cement industry – Update 2019“, *Waste Management and Research*, Vol. 37 No. 9, S. 885–897.
- Schwarzböck, T. (2015), *Bestimmung der fossilen Kohlendioxidemissionen aus Österreichischen Müllverbrennungsanlagen ( BEFKÖM )*, TU WIEN.
- Skutan, S. und Brunner, P.H. (2005), *Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll - Projekt SEMBA*.
- Soyez, K. und Plickert, S. (2002), „Stoffstrommanagement durch mechanisch-biologische Abfallbehandlung“.
- TU Dresden. (2011), *Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung*, herausgegeben von Hoffmann, G., Wunsch, C., Schnapke, A.,



- Schingnitz, D., Baumann, J., Brunn, L., Günther, M., u. a., Umweltbundesamt (DE), verfügbar unter: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4116.html>.
- UBA. (2002), „Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen“, in Stubenvoll, J., Böhmer, S. und Szednyj, I. (Hrsg.), , Umweltbundesamt (AT), BMLFUW.
- UBA. (2006), *Ist-Stand der mechanisch biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich - Zustandsbericht 2006*, herausgegeben von Neubauer, C. und Öhlinger, A.
- UBA. (2007), *EMISSIONEN DER FERNWÄRME WIEN 2005. Ökobilanz der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus dem Anlagenpark der Fernwärme Wien GmbH*, herausgegeben von Pölz, W., Umweltbundesamt (AT), verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0076.pdf>.
- UBA. (2010), *Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich*, herausgegeben von Frischenschlager, H., Karigl, B., Lampert, C., Pölz, W., Schindler, I., Tesar, M., Wiesenberger, H., u. a., Umweltbundesamt (AT).
- UBA. (2011), *Klimarelevanz und Energieeffizienz der Verwertung biogener Abfälle*, herausgegeben von Lampert, C., Tesar, M. und Thaler, P., Umweltbundesamt (AT).
- UBA. (2012), *Klimarelevanz der Abluftreinigung bei der MBA*, herausgegeben von Neubauer, C. und Lampert, C., Umweltbundesamt (AT).
- UBA. (2013), *Beitrag von Fernwärme, Fernkälte und Erdgas zu Energie- und Umweltpolitischen Zielen*, herausgegeben von Gössl, M., Krutzler, T., Schieder, W., Schindler, I., Storch, A., Wiesenberger, H., Goers, S., u. a., Umweltbundesamt (AT).
- UEC/Ökoinstitut. (2015), *Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen*, herausgegeben von Dehne, I., Oetjen-Dehne, R., Siegmund, N., Dehoust, G. und Möck, A., Bd. 18, Umwelt- und Energie-Consult GmbH unter Mitarbeit von Ökoinstitut e.V. Büro Berlin im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Umweltbundesamt. (2017), *Kunststoffabfälle in Österreich - Aufkommen und Behandlung*.
- VDI 3460. (2014), „VDI 3460 Blatt 2: Emissionsminderung - Thermische Abfallbehandlung - Energieumwandlung“, No. VDI3460 Blatt 2:2014-06.
- VDI 4600. (2012), „VDI4600, Begriffe, Berechnungsmethoden - Kumulierter Energieaufwand (KEA)“, S. 1–22.
- VDI 4600. (2015), „VDI4600, Blatt1 - Kumulierter Energieaufwand - Beispiele“, No. August.
- Wien Energie. (2020), „Fernkälte bei Wien Energie“, verfügbar unter: <https://www.wienenergie.at/ueber-uns/unternehmen/energie-klimaschutz/energieerzeugung/fernkaelte/> (zugegriffen 20 August 2020).
- Wupperinst/Öko-Institut. (2019), „Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität“, in Steger, S., Ritthoff, M., Bulach, W., Schüler, D., Kosińska, I., Degreif, S., Dehoust, G., u. a. (Hrsg.), , Umweltbundesamt (DE).
- Zeschmar-Lahl, B. (2005), *Klimarelevanz der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung - Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2005*.

## 10.2 Tabellen

Tabelle 1: Ziele für die Abfallwirtschaft der EU gem. AbfRRL Art11, Absatz 2 c) bis e) in Gewichtsprozent. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018a; Rat der Europäischen Union, 2018) .....	16
Tabelle 2: Recyclingziele für Verpackungen in der EU gem. VerpackungsRL Art6, Absatz 1 f) bis i) in Gewichtsprozent. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2018b) .....	16
Tabelle 3: Recyclingquoten für Siedlungsabfälle im Bezugsjahr 2016 in m% (Obermeier und Lehmann, 2019b).....	18
Tabelle 4: Einteilung und Festlegung der Modelle Kategorie X .....	26
Tabelle 5: Erweiterung der Modelle um die getrennte Sammlung ausgewählter Altstoffe. Die jeweilige Abbildung führt zum Mengenflussdiagramm nach „Status quo“ des Modells ..	28
Tabelle 6: CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktoren bei der Berechnung von THG-Emissionen (IPCC, 2013) .....	30
Tabelle 7: Die Bestimmung des Verbrennungsfaktors mithilfe der unterschiedlichen Molmassen.....	31
Tabelle 8: Heizwerte und Dichte ausgewählter fossiler Brennstoffe.....	31
Tabelle 9: Kumulierter Energieaufwand (KEA) ausgewählter fossiler Brennstoffe .....	32
Tabelle 10: CO <sub>2</sub> -äq Emissionen ausgewählter fossiler Brennstoffe und deren Umrechnung	33
Tabelle 11: Kumulierter Energieaufwand und CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen des österreichischen Strommix gemittelt anhand mehrerer Quellen.....	34
Tabelle 12: Kumulierter Energieaufwand und CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen des österreichischen Fernwärmemix gemittelt anhand mehrerer Quellen .....	35
Tabelle 13: Restmüllparameter gemittelt nach mehreren Literaturquellen. Diese Parameter definieren den Abfall Restmüll für alle Modelle .....	37
Tabelle 14: Literaturvergleich zur Bestimmung benötigter Stoffströme. Die Strom-Nummer (S-Nr) dient der Zuordnung im Stoffstromverzeichnis.....	39
Tabelle 15: Stoffstromverzeichnis für alle verwendeten Stoffströme .....	41
Tabelle 16: Aufstellung der gesammelten Abfallmengen in Österreich gesamt, der durchschnittlichen Menge pro Transporteinheit (TE) und deren durchschnittlicher Transportdistanz bis zur 1. Behandlungsanlage .....	43
Tabelle 17: Durch die Abfallsammlung in Österreich gefahrenen Kilometer, der dadurch entstandene Gesamtdieserverbrauch und weitere Berechnungen .....	43
Tabelle 18: Kumulierter Energieaufwand und CO <sub>2</sub> -Äquivalentemissionen durch die Abfallsammlung in Österreich pro Tonne Abfall.....	44

Tabelle 19: Verzeichnis und Zuordnung aller in der Arbeit vorkommenden Transporte. Sie können mithilfe der Transport-Nummer (T-Nr) einheitlich zugeordnet werden .....	45
Tabelle 20: CO <sub>2</sub> -Äquivalentemissionen und kumulierter Energieaufwand für den Treibstoff Diesel eines durchschnittlichen LKWs für den Abfalltransport .....	46
Tabelle 21: Berechnung des KEA und der CO <sub>2</sub> -Äquivalentemissionen pro Tonne Abfall aus dem Abfalltransport.....	46
Tabelle 22: Allgemeine Last- und Gutschriften im Modell „Deponie“ .....	47
Tabelle 23: Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehalts im österreichischen Restmüll anhand verschiedener Literaturquellen .....	47
Tabelle 24: Annahmen für die Bildung des Deponiegases auf einer Deponie für unbehandelten Siedlungsabfall mit Deponiegaserfassung.....	47
Tabelle 25: Berechnung des Methanbildungsfaktors nach (IPCC, 2006b).....	48
Tabelle 26: KEA und CO <sub>2</sub> -Bilanz des Modells „Deponie ohne Deponiegaserfassung“ für eine Tonne Restmüll.....	49
Tabelle 27: KEA und CO <sub>2</sub> -Bilanz des Modells „Deponie mit Deponiegaserfassung“ für eine Tonne Restmüll.....	49
Tabelle 28: Vergleich der Literaturwerte zu Nettowirkungsgraden von Abfallverbrennungsanlagen .....	54
Tabelle 29: Aufstellung und Prognose der Wirkungsgrade und Kohlenstoffgehalte österreichischer Verbrennungsanlagen für das Jahr 2013 (Mauschitz, 2009).....	55
Tabelle 30: Angenommene Nettowirkungsgrade für österreichische Müllverbrennungsanlagen. ....	56
Tabelle 31: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess „Rostverbrennungsanlage“ (AV-R) bezogen auf den Nettowirkungsgrad. ....	56
Tabelle 32: Bilanzierung der Rostverbrennungsanlage mit dem Input von 1 t Restmüll mit den Eigenschaften, die in Tabelle 13 definiert wurden .....	57
Tabelle 33: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess „Wirbelschichtverbrennungsanlage“ (AV-W) bezogen auf den Nettowirkungsgrad .....	59
Tabelle 34: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess „Zementwerk“ (Zem).....	62
Tabelle 35: Zusammensetzung des fossilen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken und Bestimmung eines durchschnittlichen Heizwertes des „Mix fossil“ .	63
Tabelle 36: CO <sub>2</sub> -Äq Emissionen bezogen auf die eingesetzte Energie aus fossilen Brennstoffen und Berechnung eines durchschnittlichen KEA für den „Mix fossil“ .....	63
Tabelle 37: Zusammensetzung des alternativen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken ohne Berücksichtigung der Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfall und Bestimmung eines durchschnittlichen Heizwertes des „Mix alternativ“.....	63

Tabelle 38: Bestimmung der spezifischen fossilen Kohlenstoffgehalte der einzelnen alternativen Brennstoffe und Berechnung eines durchschnittlichen fossilen Kohlenstoffgehalts des „Mix alternativ“ .....	64
Tabelle 39: Berechnung des Energieverhältnisses von EBS aus Siedlungsabfällen und dem „Mix alternativ“ laut Literatur .....	64
Tabelle 40: Energieinput in österreichische Zementwerke nach Literatur und dem tatsächlichen energetischen Substitutionsgrad (2018) von 81,24%.....	65
Tabelle 41: Beispiel für die Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne hochkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten.....	67
Tabelle 42: Beispiel für die Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten.....	69
Tabelle 43: Massen-Transferkoeffizienten für den Prozess „MBA aerob“ der in Modell 31, 32 und 33 verwendet wird.....	73
Tabelle 44: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess „MBA aerob“ (MBA).....	75
Tabelle 45: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der MBA aerob und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input.....	75
Tabelle 46: Literaturvergleich der direkten Prozessemissionen der MBA aerob, die im Rotteprozess der biologischen Fraktion nach Abgasreinigung an die Umgebungsluft abgegeben werden. Berechnung unter Annahme von 38 m% Input in biologische Behandlung.....	76
Tabelle 47: Literaturvergleich der Deponiegasemissionen von Deponiematerial aus der aeroben MBA, unter Annahme von 16 m% Output Deponiematerial.....	76
Tabelle 48: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ b I – aerobe biologische Behandlung mit Output von nur einer HWR-Fraktion.....	77
Tabelle 49: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ b II – aerobe biologische Behandlung mit Output von zwei HWR-Fraktionen.....	78
Tabelle 50: Berechnung des Trocknungsprozesses und Ermittlung der Transferkoeffizienten für Masse für die MBA-tr.....	81
Tabelle 51: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess „MBA mit Trockenstabilisierung“ (MBA-tr).....	82
Tabelle 52: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der MBA-tr und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input.....	82
Tabelle 53: Literaturvergleich der direkten Prozessemissionen der MBA-tr, die im Trocknungsprozess der biologischen Fraktion nach Abgasreinigung an die	

Umgebungsluft abgegeben werden. Berechnung unter Annahme von 38 m% Input in die Trocknung .....	83
Tabelle 54: Bilanzierung des Einsatzes einer Tonne Restmüll in einer MBA vom Typ c – aerobe biologische Trocknung mit etwas erhöhtem Masse-Output einer HWR EBS-Fraktion .....	83
Tabelle 55: Masse-Transferkoeffizienten für Ersatzbrennstoffproduktionsanlagen (EBS-P). 88	
Tabelle 56: Allgemeine KEA- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für den Prozess EBS-Produktionsanlage .....	90
Tabelle 57: Literaturvergleich der Energiebilanzdaten der EBS-P und Berechnung eines Mittelwerts pro Tonne Input .....	90
Tabelle 58: Beispielhafte Bilanz für den Prozess Ersatzbrennstoffproduktion bei Input einer Tonne hochkalorischen Outputs aus der MBA aerob .....	91
Tabelle 59: Spezifische Einsparungen für Recycling von Aluminium, Kupfer, Eisen/Stahl, Nicht-Eisen Mix und Metall-mix und deren Abkürzungen für die Verwendung in Berechnungen.....	93
Tabelle 60: Einsparungen pro Tonne wiedereinsetzbarem Sekundärrohstoff der eingebrachten Fraktionen aus der LVP-Sammlung und Berechnung eines Mittelwertes .....	95
Tabelle 61: Die Fraktionen PET und Flüssigkeitskarton (FKN) werden direkt als Einsparungen bei deren Aussortierung aus dem EBS-Strom in der EBS-Produktionsanlage berücksichtigt und wie folgt angenommen.....	95
Tabelle 62: Literaturvergleich der Einsparungen durch Input in die Papierfabrik zur stofflichen Verwertung für Papier, Pappe und Karton .....	96
Tabelle 63: Literaturvergleich von Recyclingeinsparungen für Glas.....	96
Tabelle 64: Berechnung der Einsparung des KEA beim Recycling je Tonne Kompost und je Tonne Input in die Biotonne.....	97
Tabelle 65: Literaturvergleich von Einsparungen/Emissionen des Prozesses der Kompostierung von biologischem Abfall .....	98
Tabelle 66: Bilanzierung des KEA und der CO <sub>2</sub> äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Metalle im Ist-Stand und obig definierten Transferkoeffizienten (Szenario „Status quo“).....	102
Tabelle 67: Durchschnittlicher Stromverbrauch der LVP-Sortierungsanlagen .....	104
Tabelle 68: Bilanzierung des KEA und der CO <sub>2</sub> äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Leichtverpackungen ohne Anteil des SR-LVP HWR (wird in EBS-P thermisch verwertet) .....	104
Tabelle 69: Bilanzierung des KEA und der CO <sub>2</sub> äq-Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Altpapier.....	105

Tabelle 70: Bilanzierung des KEA und der CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Altglas .....	106
Tabelle 71: Bilanzierung des KEA und der CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Tonne Input in die getrennte Sammlung für Bioabfall .....	107
Tabelle 72: Zusammenfassung der spezifischen, tatsächlich in den Recyclingprozess eingebrachten Mengen bei der getrennten Sammlung im Szenario „Status quo“ .....	109
Tabelle 73: Masse und Charakterisierung der Sortierreste der getrennten Sammlung bezogen auf eine Tonne Input in die getrennte Sammlung im Szenario „Status quo“ ..	110
Tabelle 74: Sammelmengen im 2-Tonnen-System. (Abfallwirtschaftsverband, 2020).....	111
Tabelle 75: Transferkoeffizienten für die Masse in der Sortieranlage für den Trockenmüll des 2-Tonnensystems. (Abfallwirtschaftsverband, 2020).....	112
Tabelle 76: Separator-Sieb Outputfraktionen und deren Massenanteile.....	113
Tabelle 77: Theoretisch vorhandene Mengen und Aussortiergrad/Recyclingquote der Anlage nach „Status quo“ (inkl. Separator-Sieb Output) für das Jahr 2019 .....	113
Tabelle 78: Massenverteilung des Outputs der EBS-Produktion.....	114
Tabelle 79: Definition der thermisch verwerteten Stoffströme des Modells GS-2T .....	115
Tabelle 80: Auflistung der einfach veränderbaren Parameter aus der Excel-Modellierung für jedes Entsorgungsmodell .....	116
Tabelle 81: Mengenverteilung des österreichischen Durchschnitts gemittelt. Bezogen auf die Gesamtmenge der genannten Abfallfraktionen in Österreich.....	117
Tabelle 82: Angenommene Wirkungs- und Substitutionsgrade im Szenario „Status quo“ (Literaturbestimmung in Kapitel 4.11) .....	117
Tabelle 83: Recyclinganteile der getrennt gesammelten Fraktionen „Status quo“ .....	118
Tabelle 84: Sammelmengen gemittelt aus den Jahren 2017, 2018 und 2019 eines österreichischen Abfallwirtschaftsverbands. ....	118
Tabelle 85: Gesammelte Mengen in Vorarlberg im Bezugsjahr 2018 als Vorlage für das „sam+“ Szenario. (BMK, 2020).....	126
Tabelle 86: Sammelmengen und Verteilung der das Modell GS-2T .....	126
Tabelle 87: Angenommene Wirkungs- und Substitutionsgrade im Szenario „tec+“ .....	133
Tabelle 88: Angenommene Recyclinganteile der getrennt gesammelten Fraktionen „tec+“	133
Tabelle 89: Transferkoeffizienten für die Masse in der Sortieranlage für den Trockenmüll des 2-Tonnensystems im Szenario „tec+“.....	134
Tabelle 90: Theoretisch vorhandene Mengen und Aussortiergrad/Recyclingquote der Anlage nach „tec+“ (inkl. Separator-Sieb Output) .....	134
Tabelle 91: Wiederholung der Nomenklatur der Modelle für die Auswertung .....	136

---

Tabelle 92: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „Status quo“ .....	137
Tabelle 93: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „sam+“ .....	139
Tabelle 94: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „tec+“ .....	141
Tabelle 95: Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34 und -2T im Szenario „samtec+“ .....	143
Tabelle 96: Relativer Vergleich der Modelle im Szenario „sam+“ bezogen auf den Basiswert (100%) von „Status quo“ („SQ“)	150
Tabelle 97: Vergleich der Modelle im Szenario „tec+“ bezogen auf die Basiswerte (100%) von „Status quo“ („SQ“) und „sam+“	150
Tabelle 98: Vergleich der Modelle im Szenario „samtec+“ bezogen auf die Basiswerte (100%) von „Status quo“ („SQ“), „sam+“ und „tec+“	151

### 10.3 Abbildungen

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen aus dem Sektor der Abfallwirtschaft, 1990-2015 (BAWPL, 2017) .....	11
Abbildung 2: Visualisierung des neuen Zählers bei der Recyclingquotenberechnung von SA. Output aus R2-R13 Verfahren, der nicht recycelt wird, muss abgezogen werden. Aussortierte Metalle aus Waste-to-Energy (WtE)-Prozessen dürfen angerechnet werden (Obermeier und Lehmann, 2019a) .....	17
Abbildung 3: Der Rahmen einer Ökobilanz laut Norm 14040 (Austrian Standards, 2006) ....	21
Abbildung 4: Vorgangsweise beim Erstellen dieser Arbeit unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schritte einer Ökobilanz .....	22
Abbildung 5: Unterschiedliche Heizwerte fossiler Brennstoffe in GJ/tos.....	32
Abbildung 6: Die Verteilung der österreichischen Bruttostromerzeugung, die zur Berechnung mit den Faktoren der E-Control herangezogen wurde (BMNT, 2019a).....	34
Abbildung 7: Die Verteilung der Fernwärmeerzeugung in Österreich nach (BMNT, 2019a) .	35
Abbildung 8: Vergleich des kumulierten Energieaufwands ausgewählter fossiler Brennstoffe .....	36
Abbildung 9: Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen unterschiedlicher Energieträger bezogen auf ihren Energieeinsatz in GJ.....	36
Abbildung 10: Last- und Gutschriften bei der Verbrennung von Abfall in einer AV-R (IFEU/D.UBA, 2007) .....	52
Abbildung 11: Unterschiedliche Bilanzkreise bei Abfallverbrennungsanlagen (VDI 3460, 2014).....	54
Abbildung 12: Die zusammengefasste Visualisierung der Transferkoeffizienten für die Rostabfallverbrennung mit beschriebenen Annahmen .....	57
Abbildung 13: Visualisierung der KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer AV-R, die direkt thermisch verwertet wird.....	58
Abbildung 14: Visualisierung CO <sub>2</sub> -Bilanzierung (fossil) für 1t Restmüll in einer AV-R, die direkt thermisch verwertet wird .....	58
Abbildung 15: Die zusammengefasste Visualisierung der Transferkoeffizienten für die Wirbelschichtverbrennung mit beschriebenen Annahmen, wobei die Masse und der fossile Kohlenstoffinput durch den Zusatzbrennstoff je nach H <sub>u</sub> und C <sub>fossil</sub> Gehalt des Abfallinputs variieren. Angeführte Werte ergeben sich bei einem Input-H <sub>u</sub> von 11,48 GJ/t .....	59
Abbildung 16: Einsatz der unterschiedlichen Arten von Ersatzbrennstoffen in österreichischen Zementwerken über die letzten Jahre (Mauschitz, 2019) .....	61



Abbildung 17: Energieaustauschverhältnis als Funktion der Prozesstemperatur, EBS-Heizwert und Luftvorwärmung (Beckmann u. a., 2002).....	65
Abbildung 18: Aufgabemöglichkeiten für Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie mit Drehrohrofentechnologie und Zyklonvorwärmer (Lorber u. a., 2015).....	66
Abbildung 19: Visualisierung der KEA-Bilanzierung für 1t hochkalorischen Ersatzbrennstoff aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten .....	68
Abbildung 20: Visualisierung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung für 1t hochkalorischen Ersatzbrennstoff aus SA im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten .....	68
Abbildung 21: Theoretische Visualisierung der KEA-Bilanzierung für den alleinigen Einsatz einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA bei Einsatz im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten.....	69
Abbildung 22: Theoretische Visualisierung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung für den alleinigen Einsatz einer Tonne mittelkalorischen Ersatzbrennstoffs aus SA bei Einsatz im Zementwerk mit in Tabelle 35 bis Tabelle 40 definierten Werten.....	70
Abbildung 23: Visualisierung des Prozesses „MVA aerob“. Quelle: eigene Darstellung .....	72
Abbildung 24: Visualisierung der Transferkoeffizienten für MBA Typ b I mit Output einer HWR-Fraktion .....	74
Abbildung 25: Visualisierung der Transferkoeffizienten der Modelle 32 und 33 für MBA Typ b II mit Output von zwei HWR-Fraktionen .....	74
Abbildung 26: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ b I des Modells 31 mit einer HWR-Fraktion als Output.....	77
Abbildung 27: Visualisierung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ b I des Modells 31 mit nur einer HWR-Fraktion .....	78
Abbildung 28: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ b II der Modelle 32, 33 .....	79
Abbildung 29: Visualisierung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ b II der Modelle 32, 33 .....	79
Abbildung 30: Visualisierung des Prozesses „MBA-tr“ mit biologischer Trocknung und anschließender Verwertung der getrockneten Fraktion in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage. Quelle: eigene Darstellung .....	80
Abbildung 31: Transferkoeffizienten Masse, Energie und C <sub>fossil</sub> für die MBA-tr.....	81
Abbildung 32: Visualisierung KEA-Bilanzierung für 1t Restmüll in einer MBA Typ c mit Trockenstabilisierung des Modells 34 .....	84
Abbildung 33: Visualisierung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung von 1t Restmüll in einer MBA Typ c mit Trockenstabilisierung des Modells 34 .....	84
Abbildung 34: Aufteilung der Masse von einer Tonne Restmüll, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle .....	85

Abbildung 35: Aufteilung des Heizwertes von einer Tonne Restmüll in GJ, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle .....	86
Abbildung 36: Annahmen für die Heizwerte der Outputströme der MBA-Modelle, wobei die Summe des Energieoutputs über die heizwertreiche Fraktion bei Modell 31, 32, 33 gleich ist .....	86
Abbildung 37: Aufteilung des fossilen Kohlenstoffgehalts von einer Tonne Restmüll, mit Eigenschaften aus Tabelle 13, auf die Outputströme der unterschiedlichen MBA-Modelle .....	87
Abbildung 38: Annahmen für die $C_{\text{fossil}}$ -Gehalte der Outputströme der MBA-Modelle, wobei die Summe des $C_{\text{fossil}}$ -Outputs über die HWR-Fraktion bei Modell 31, 32, 33 gleich ist .	87
Abbildung 39: Visualisierung des Prozesses „Ersatzbrennstoffproduktionsanlage“. Quelle: eigene Darstellung .....	88
Abbildung 40: Angenommene Transferkoeffizienten für Masse, Energie und $C_{\text{fossil}}$ der EBS-Produktion .....	89
Abbildung 41: Visualisierung der beispielhaften KEA-Bilanzierung für 1t MBA Output EBS-P (hochkalorischer MBA Output) im Prozess Ersatzbrennstoffproduktion .....	91
Abbildung 42: Visualisierung der beispielhaften $\text{CO}_2$ -Bilanzierung von 1t MBA Output EBS-P (hochkalorischer MBA Output) im Prozess Ersatzbrennstoffaufbereitung .....	92
Abbildung 43: Beispiel für die THG-Bilanz der offenen Kompostierung. (UBA, 2011) .....	97
Abbildung 44: Vergleich der spezifischen kumulierten Energieeinsparung pro durch Recycling der ausgewählten Materialien bzw. Fraktionen .....	99
Abbildung 45: Vergleich der spezifischen, eingesparten $\text{CO}_2$ -Emissionen durch Recycling ausgewählter bzw. Fraktionen .....	99
Abbildung 46: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Metalle und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung .....	101
Abbildung 47: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Leichtverpackungen und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten für „Status quo“. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Altendorfer, 2018; ÖWAV, 2013; Umweltbundesamt, 2017) .....	103
Abbildung 48: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Altpapier und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung .....	105
Abbildung 49: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Altglas und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung .....	106

Abbildung 50: Visualisierung und Modellierung der getrennten Sammlung für Bioabfall und Darstellung der Flüsse sowie Transferkoeffizienten. Angaben in m%. Quelle: eigene Darstellung .....	107
Abbildung 51: Vergleich der spezifischen, kumulierten Energieeinsparung durch die getrennte Sammlung ausgewählter Fraktionen .....	108
Abbildung 52: Vergleich der spezifischen, eingesparten CO <sub>2</sub> -Emissionen durch die getrennte Sammlung ausgewählter Fraktionen .....	109
Abbildung 53: Mengenfluss des Modells GS-2, der direkten thermischen Verwertung in einer Rostverbrennungsanlage. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung .....	119
Abbildung 54: Mengenfluss des Modells GS-31, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für den gesamten heizwertreichen Anteil der MBA. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung .....	120
Abbildung 55: Mengenfluss des Modells GS-32, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für die mittelkalorische Outputfraktion und einer Verwertung der hochkalorischen Fraktion als EBS im Zementwerk. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung .....	121
Abbildung 56: Mengenfluss des Modells GS-33, der mechanisch-biologischen Behandlung mit thermischer Verwertung des mittel- und hochkalorischen Restmüllanteils im Zementwerk als Ersatzbrennstoff, wobei nur der hochkalorische Teil eine weitere Aufbereitung in der EBS-Produktionsanlage erfährt. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung .....	122
Abbildung 57: Mengenfluss des Modells GS-34, der mechanisch-biologischen Trocknung für 100.000 t Input im Szenario „Status quo“. Quelle: eigene Darstellung .....	123
Abbildung 58: Mengenfluss Modells GS-2T für 100.000 t Input nach Verteilung aus 2019 („Status quo“). (Abfallwirtschaftsverband, 2020).....	124
Abbildung 59: Zusammenfassung der recycelten Outputs für alle betrachteten Modelle bei einem Input von 100.000 t/a (100%) .....	125
Abbildung 60: Mengenfluss des Modells GS-2, der direkten thermischen Verwertung in einer Rostverbrennungsanlage. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung .....	127
Abbildung 61: Mengenfluss des Modells GS-31, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für den gesamten heizwertreichen Anteil der MBA. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung .....	128
Abbildung 62: Mengenfluss des Modells GS-32, der mechanisch-biologischen Behandlung mit einer Wirbelschichtverbrennungsanlage für die mittelkalorische Outputfraktion und einer Verwertung der hochkalorischen Fraktion als EBS im Zementwerk. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung .....	129

Abbildung 63: Mengenfluss des Modells GS-33, der mechanisch-biologischen Behandlung mit thermischer Verwertung des mittel- und hochkalorischen Restmüllanteils im Zementwerk als Ersatzbrennstoff, wobei nur der hochkalorische Teil eine weitere Aufbereitung in der EBS-Produktionsanlage erfährt. Dargestellt für 100.000 t Input im Szenario „sam+“ Quelle: eigene Darstellung .....	130
Abbildung 64: Mengenfluss des Modells GS-34, der mechanisch-biologischen Trocknung für 100.000 t Input im Szenario „sam+“. Quelle: eigene Darstellung .....	131
Abbildung 65: Mengenfluss Modells GS-2T für 100.000 t Input nach Verteilung aus 2019 („sam+“). Quelle: eigene Annahmen und Darstellung .....	132
Abbildung 66: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „Status quo“ .....	138
Abbildung 67: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „Status quo“ .....	138
Abbildung 68: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „sam+“	140
Abbildung 69: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „sam+“ .....	140
Abbildung 70: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „tec+“ ..	142
Abbildung 71: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „tec+“ .....	142
Abbildung 72: Kumulierter Energieverbrauch im Modellvergleich für das Szenario „samtec+“ .....	144
Abbildung 73: THG-Emissionen im Modellvergleich für das Szenario „samtec+“ .....	144
Abbildung 74: Szenarienvergleich der Recyclingquoten der Modelle GS-2, -34, -2T .....	145
Abbildung 75: Modellvergleich für den KEA aller Modelle pro Tonne SA* .....	146
Abbildung 76: Modellvergleich für CO <sub>2</sub> -Emissionen aller Modelle pro Tonne SA* .....	147
Abbildung 77: Szenarienvergleich für KEA pro Tonne SA* .....	149
Abbildung 78: Szenarienvergleich für CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Tonne SA* .....	149

## 10.4 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
abh.	abhängig
etc.	et cetera
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
v.a.	vor allem
lt.	laut
GS	Getrennte Sammlung
AbfRRL	Abfall-Rahmenrichtlinie
DepRL	Richtlinie über Abfalldeponien
VerpackungsRL	Verpackungsrichtlinie
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
DepVO	Deponie-Verordnung
VerpackungsVO	Verpackungs-Verordnung
CO <sub>2</sub> -Äq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
PPK	Pappe, Papier, Kartonagen
LVP	Leichtverpackungen
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
UBA	Umweltbundesamt
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
z.B.	zum Beispiel
d.h.	das heißt
bzw.	beziehungsweise
inkl.	inklusive
gem.	gemäß
FKN	Flüssigkeitskarton
EBS	Ersatzbrennstoff
EBS-P	Ersatzbrennstoffproduktion
Fe	Eisen
NE	Nicht-Eisen
Cu	Kupfer
SR	Sortierrest
HK	Hochkalorisch
MK	Mittelkalorisch
LF	Leichtfraktion
HWR	Heizwertreich

## Anhang

### Schlagwörter:

Siedlungsabfall ; KEA ; kumulierter Energieverbrauch ; CO<sub>2</sub> ; Abfallwirtschaft ; Treibhausgasemissionen ; Recycling ; LCA ; Lebenszyklusanalyse ; Umwelt ; Abfalltechnik ; thermische Verwertung ; Müllverbrennungsanlage ; Abfallverwertung ; MBA ; Mechanisch-biologische Anlage

### Key words:

MSW ; cumulative energy demand ; CO<sub>2</sub> ; waste management ; greenhouse gas emissions ; recycling ; LCA ; life cycle assessment ; environment ; waste-to-energy ; mechanical-biological treatment

### Inhalt Anhang:

- Berechnungen Restmüll nach Zusammensetzung
- Berechnung MK-Output MBA nach Zusammensetzung
- Berechnung EBS Sonstige fossil, biogen
- KEA- und CO<sub>2</sub>äq Auswertung „Status quo“
- KEA- und CO<sub>2</sub>äq Auswertung „sam+“
- KEA- und CO<sub>2</sub>äq Auswertung „tec+“
- KEA- und CO<sub>2</sub>äq Auswertung „samtec+“

Restmüll Ö nach Altendorfer (2018) und VDI3460															
berechnet nach Altendorfer, 2018		Quelle: VDI3460 Blatt 2				Quelle: VDI3460 Blatt 2		Quelle: VDI3460 Blatt 2 adaptiert				Quelle: VDI3460 Blatt 2			
Masseanteil		Unterer Heizwert HU				Kohlenstoffgehalt gesamt		Kohlenstoffgehalt fossil				Kohlenstoffgehalt biogen			
m%	Name lt. VDI3460	MJ/kg	Anteil am Hu OS R/ Anteil in %		kg C/kg Fraktion	Summenanteile	kg C fossil/kg C. gesamt	kg C fossil/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C fossil je kg RM	kg C biogen/kg C. g	kg C biogen/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C biogen	
LVP/Kunststoffe	Kunststoffe	15,60%	27,56	4,2994	42,2%	0,5	0,0780	1	0,5	0,0780	-	-	0,0000	0,0%	
Biogene Abfälle		28,30%	8,17	2,3121	22,7%	0,17	0,0481	0	0	0,0000	1,000	0,170	0,0481	41,5%	
Papier, Karton	Papier	12,10%	11,55	1,3976	13,7%	0,32	0,0387	0	0	0,0000	1,000	0,320	0,0387	33,4%	
Glas		4,40%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Metalle		3,20%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Hygieneartikel	Windeln	9,60%	7,41	0,7114	7,0%	0,21	0,0202	1	0,21	0,0202	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Textilien, Schuhe	Textilien	4,30%	13,32	0,5728	5,6%	0,37	0,0159	0,5	0,185	0,0080	0,500	0,185	0,0080	6,9%	
Elektroaltgeräte		0,70%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Problemstoffe		0,60%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Inertstoffe		4,80%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Sonstige Abfälle*	Mittelmüll	10,20%	5,4	0,5508	5,4%	0,15	0,0153	0,35	0,0525	0,0054	0,650	0,098	0,0099	8,6%	
Sortierrest	Fraktion <40mm	6,20%	5,4	0,3348	3,3%	0,22	0,0136	0,18	0,0396	0,0025	0,820	0,180	0,0112	9,6%	
<b>SUMME</b>	1,000			<b>10,179</b>	GJ/t RM		<b>0,2298</b>		<b>0,1139</b>	t C fossil/t RM		<b>0,116</b>	t C biogen/t F		
							entspricht bei einem Ausbrandfaktor von 0,99			0,413 t CO2/t Restmüll					
*ergänzt um 0,1%															

Restmüll Ö nach BMNT, 2019 Statusbericht															
berechnet nach BMNT, 2019		Quelle: VDI3460 Blatt 2				Quelle: VDI3460 Blatt 2		Quelle: VDI3460 Blatt 2 adaptiert				Quelle: VDI3460 Blatt 2			
Masseanteil		Unterer Heizwert HU				Kohlenstoffgehalt gesamt		Kohlenstoffgehalt fossil				Kohlenstoffgehalt biogen			
m%	Name lt. VDI3460	MJ/kg	Anteil am Hu OS R/ Anteil in %		kg C/kg Fraktion	Summenanteile	kg C fossil/kg C. gesamt	kg C fossil/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C fossil je kg RM	kg C biogen/kg C. g	kg C biogen/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C biogen	
LVP und Kunststoffe	Kunststoffe	17,6%	27,56	4,8450	47,6%	0,5	0,0879	1	0,5	0,0879	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Biogene Abfälle		17,8%	8,17	1,4551	14,3%	0,17	0,0303	0	0	0,0000	1,000	0,170	0,0303	26,1%	
Papier, Karton	Papier	14,0%	11,55	1,6124	15,8%	0,32	0,0447	0	0	0,0000	1,000	0,320	0,0447	38,5%	
Glas		4,9%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Metalle		4,7%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Hygieneartikel	Windeln	9,6%	7,41	0,7143	7,0%	0,21	0,0202	1	0,21	0,0202	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Textilien	Textilien	9,8%	13,32	1,3040	12,8%	0,37	0,0362	0,5	0,185	0,0181	0,500	0,185	0,0181	15,6%	
Verbundmaterial	Verbundstoffe	0,0%	14,4	0,0000	0,0%	0,35	0,0000	0,8	0,28	0,0000	0,200	0,070	0,0000	0,0%	
Problemstoffe		1,5%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Inertstoffe		5,9%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Sonstige Abfälle	Mittelmüll	5,7%	5,4	0,3083	3,0%	0,15	0,0086	0,35	0,0525	0,0030	0,650	0,098	0,0056	4,8%	
Feinfraktion <20mm	Fraktion <40mm	8,6%	5,4	0,4617	4,5%	0,22	0,0188	0,18	0,0396	0,0034	0,820	0,180	0,0154	13,3%	
<b>SUMME</b>	1,000			<b>10,701</b>	GJ/t RM		<b>0,2467</b>		<b>0,1326</b>	t C fossil/t RM		<b>0,1141</b>	t C biogen/t F		
							entspricht bei einem Ausbrandfaktor von 0,99			0,481 t CO2/t Restmüll					

Definiton MBA Output MK, Ofenfertiges Material															
berechnet nach Sarc und Lorber, 2012		Quelle: VDI3460 Blatt 2				Quelle: VDI3460 Blatt 2		Quelle: VDI3460 Blatt 2 adaptiert				Quelle: VDI3460 Blatt 2			
Masseanteil		Unterer Heizwert HU				Kohlenstoffgehalt gesamt		Kohlenstoffgehalt fossil				Kohlenstoffgehalt biogen			
m%	Name lt. VDI3460	MJ/kg	Anteil am Hu OS R/ Anteil in %		kg C/kg Fraktion	Summenanteile	kg C fossil/kg C. gesamt	kg C fossil/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C fossil je kg RM	kg C biogen/kg C. g	kg C biogen/kg Fraktion	Summenanteile	Anteil C biogen	
LVP und Kunststoffe	Kunststoffe	16,0%	27,56	4,410	43,3%	0,5	0,0800	1	0,5	0,0800	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Biogene Abfälle		6,0%	8,17	0,490	4,8%	0,17	0,0102	0	0	0,0000	1,000	0,170	0,0102	8,8%	
Papier, Karton	Papier	6,0%	11,55	0,693	6,8%	0,32	0,0192	0	0	0,0000	1,000	0,320	0,0192	16,6%	
Glas		2,0%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Metalle		1,0%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Hygieneartikel	Windeln	1,0%	7,41	0,074	0,7%	0,21	0,0021	1	0,21	0,0021	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Textilien	Textilien	5,0%	13,32	0,666	6,5%	0,37	0,0185	0,5	0,185	0,0093	0,500	0,185	0,0093	8,0%	
Verbundmaterial	Verbundstoffe	3,0%	14,4	0,432	4,2%	0,35	0,0105	0,8	0,28	0,0084	0,200	0,070	0,0021	1,8%	
Problemstoffe		3,0%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Inertstoffe		2,0%	0	0,0000	0,0%	0	0,0000	0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0000	0,0%	
Sonstige Abfälle	Mittelmüll	0,0%	5,4	0,0000	0,0%	0,15	0,0000	0,35	0,0525	0,0000	0,650	0,098	0,0000	0,0%	
Feinfraktion <20mm	Fraktion <40mm	55,0%	5,4	2,970	29,2%	0,22	0,1210	0,18	0,0396	0,0218	0,820	0,180	0,0992	85,6%	
<b>SUMME</b>	1,000			<b>9,735</b>	GJ/t RM		<b>0,2615</b>		<b>0,1215</b>	t C fossil/t RM		<b>0,1400</b>	t C biogen/t F		
							entspricht bei einem Ausbrandfaktor von 0,99			0,441 t CO2/t Restmüll					

**Definition Referenzsystem für EBS im Zementwerk in Österreich**

MIX FOSSIL	Hu OS GJ/t	Gewichtete Mittelwerte		Ht. Energieeinsatz GJ/a	Energieanteil %	aus Rahmenbedingungen IPCC, 2006		KEA GJ/GJ Brennstoff	
		Anteile GJ/t fossil mix	CO2äq fossil			t CO2 fossil/GJ	Anteile t CO2 fossil/GJ		
nach Mautschitz 2019									
Erdgas H	51,04	2,10	106.843	106.843	4,12%	0,0562	0,0023	1,178	0,049
Sleinkohle	28,50	7,36	670.184	670.184	25,83%	0,0987	0,0255	1,142	0,295
Braunkohle	22,00	10,73	1.265.143	1.265.143	48,76%	0,0979	0,0477	1,056	0,515
Heizöl leicht (0,2m% S)	41,70	0,34	21.121	21.121	0,81%	0,0743	0,0006	1,162	0,009
Heizöl schwer (1-3,5m% S)	39,50	0,84	55.000	55.000	2,12%	0,0813	0,0017	1,135	0,024
Petrolkoks	30,40	5,44	464.376	464.376	17,90%	0,0977	0,0175	1,000	0,179
Sonstige	42,70	0,20	12.143	12.143	0,47%	0,0743	0,0003	1,120	0,005
		27,01	2.594.810	2.594.810	100,00%		0,095725		1,0761
		Hu in GJ/t Mix Fossil				t C fossil/GJ fossil mix		t C fossil/t fossil mix	KEA fossil mix
		27,01				0,02612258		0,705467012	1,076050251

KEA-Annahme

MIX ALTERNATIV	Hu OS GJ/t	Gewichtete Mittelwerte		Energieeinsatz GJ/a	Energieanteil alternat %	C fossil Gehalt Anteile C fossil/t	t C fossil/GJ	Anteile C fossil/GJ	Quelle Emissionsfaktor
		Anteile GJ/t alternativ	t C fossil/t						
nach Mautschitz 2019									
Altreifen	29,8	12,77	1.836.825	1.836.825	42,84%	0,4709	0,20170598	0,01580	0,006768657
Altöl	34,6	4,58	567.241	567.241	13,23%	0,885	0,11707908	0,02558	0,003383788
Lösungsmittel	27	4,48	712.076	712.076	16,61%	0,5084	0,08443048	0,01883	0,003127055
Landwirtschaftl. Rückstände	16,91	0,10	24.632	24.632	0,57%	0	0	0	0
Papierfaserreststoff	5,07	0,24	204.159	204.159	4,76%	0	0	0	0
Sonstige biogen	18,26	3,24	760.097	760.097	17,73%	0	0	0	0
Sonstige fossil	18,26	0,78	182.741	182.741	4,26%	0,45843761	0,019538209	0,025106112	0,00107
		26,18	4.287.771	4.287.771	100,00%		0,422753749		0,014349501
		Hu in GJ/t Mix Alternativ				t C fossil/GJ alternativ mix		t C fossil/t alternativ	KEA alternativ mix
		26,18				0,01435		0,422753749	1

VERTEILUNG EBS-SA und MIX ALTERNATIV	EBS-Energie		Anteil EBS-Energie	
	GJ/a		%	
nach Mautschitz 2019				
EBS aus Siedlungsabfällen (EBS-SA)	6.950.669		61,85%	
EBS Mix Alternativ	4.287.771		38,15%	
ENERGIEEINSATZ alternativ, gesamt	11.238.440		100,00%	

ENERGIEINPUT-MIX ZEMENTWERKE GESAMT	Hu GJ/t	Energieeinsatz		Energieanteil %	Substitutionsrate %
		GJ/a			
nach Mautschitz 2019					
Fossil mix	27,01	2.594.810	18,76%	18,76%	
Alternativ mix (ohne EBS/SA)	26,18	4.287.771	31,00%	81,24%	reale Substitutionsrate 0
EBS-SA	18,49216668	6.950.669	50,25%		
Mittelwerte und Summen	22,472	13.833.250	100,00%	100,00%	

Sonstige Ersatzbrennstoffe (biogen/fossil)	Mautschitz, 2019 nur CO2 Emissionsfaktor aus Hackl und Mautschitz, 2007	
	GJ/t	t CO2äq/GJ
Hu Sonstige EBS biogen	18,26	0,092
Hu Sonstige EBS fossil	18,26	0,092
		Altholz, Sägemehl, Klärschlamm, Tierfett, Tiermehl Olgetränktes Sägemehl, Abraum, imprägniertes Altholz, Lackstaub
Jahr	Einsatz Sonstige EBS fossil	
	t/a	GJ/a
2013	5982	109231,32
2014	13718	250490,68
2015	11060	201955,6
2016	14955	273078,3
2017	12128	221457,28
2018	11653	212783,78
		19,38%
		80,62%



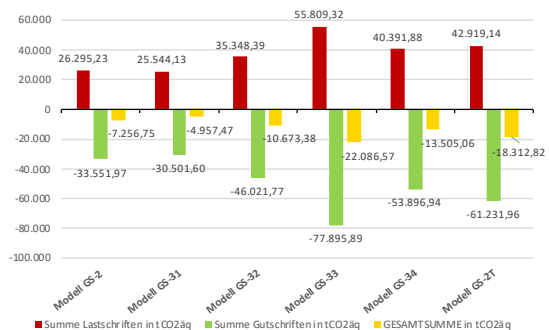
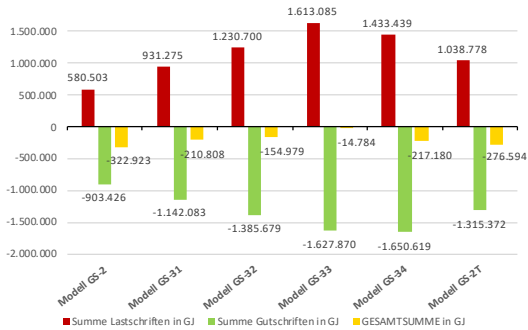
# IST-STAND - Status quo

INPUT	Masse	Anteil
	t	%
Metalle	1.865	1,87%
LVP	4.198	4,20%
Papier	17.205	17,21%
Glas	5.962	5,96%
Biomüll	25.551	25,55%
Restmüll	45.218	45,22%
<b>SUMME ALLER ABFÄLLE</b>	<b>100.000</b>	<b>100,00%</b>

MODELLEIGENSCHAFTEN			Metall-TK	LVP-TK
Wirkungsgrad AV-R	19,0%	41,0%	77,00% Fe-Fraktion	40,00% Kst-R
Wirkungsgrad AV-W	19,0%	41,0%	8,00% NE-Fraktion	50,00% SR-LVP HWR
Substitutionsgrad Zem	81,24%		15,00% SR-Me	10,00% SR-LVP

status quo+: 2-34 fertiggestellt und kontrolliert am 26.8.20 um 11:50

"Status quo"	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
	Summe Lastschriften in GJ	Summe Lastschriften in tCO <sub>2</sub> äq	Summe Gutschriften in GJ	Summe Gutschriften in tCO <sub>2</sub> äq	GESAMTSUMME in GJ	GESAMTSUMME in tCO <sub>2</sub> äq
Modell GS-2	580.503	26.295,23	-903.426	-33.551,97	-322.923	-7.256,75
Modell GS-31	931.275	25.544,13	-1.142.083	-30.501,60	-210.808	-4.957,47
Modell GS-32	1.230.700	35.348,39	-1.385.679	-46.021,77	-154.979	-10.673,38
Modell GS-33	1.613.085	55.809,32	-1.627.870	-77.895,89	-14.784	-22.086,57
Modell GS-34	1.433.439	40.391,88	-1.650.619	-53.896,94	-217.180	-13.505,06
Modell GS-2T	1.038.778	42.919,14	-1.315.372	-61.231,96	-276.594	-18.312,82



1		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
Sammlung Restmüll	2.074	1.757,5
Abfall Input Deponie	1.033.593	-
CH <sub>4</sub> frei	-	99.224,5
Strom (Deponiegasverwertung)	-67.571	-1.457,6
<b>Summe</b>	<b>968.096</b>	<b>99.524,4</b>

## MITTELWERTE BMK (2020), Brunner u.a. (2015)

GS-2		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
1 Sammlung Metalle	232	196,7
2 Sammlung LVP	196	166,0
3 Sammlung Papier	357	302,4
4 Sammlung Glas	209	176,8
5 Sammlung Biomüll	795	673,6
6 Sammlung Restmüll	938	794,7
7 Einsparung FE-Rec	-23.555	-2.237,0
8 Einsparung NE-Rec	-15.215	-1.304,2
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	831	17,9
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	104	2,2
11 <i>Transport Met-Um – Gr-Sh</i>	203	13,3
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	156	10,2
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	16	1,1
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	35	2,3
15 Einsparung Kst-Rec	-102.899	-2.420,6
16 Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17 <i>Transport LVP-S – EBS-P</i>	130	8,5
18 <i>Transport LVP-S – Kst-R</i>	415	27,2
19 <i>Transport LVP-S – AV-W</i>	29	1,9
20 <i>Transport Kst-R – AV-W</i>	31	2,0
21 Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22 Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23 <i>Transport Pap-S – Pap-F</i>	556	36,3
24 <i>Transport Pap-S – AV-W</i>	88	5,7
25 Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26 Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27 <i>Transport Gl-Um – Gl-S</i>	649	42,4
28 <i>Transport Gl-S – AV-W</i>	43	2,8
29 Einsparung Bio	-7.306	562,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31 Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	87	5,7
33 Abfall Input AV-R	555.050	22.588,3
34 Zusatzbrennstoff	6.605	314,8
35 Strom	-171.245	-3.694,0
36 Wärme	-250.225	-9.730,0
37 Einsparung Me-Mix	-30.414	-2.741,2
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	460	30,1
39 Summe	-322.923	-7.256,7

GS-2		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-37.425	-3.494,2
SUMME GS-E-LVP	-100.577	-2.344,0
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME AV-R	109.771	6.737,9
<i>Transport Schlacke AV-R-I</i>	460	30,1
Summe	-322.923	-7.256,7

GS-31		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
1		
2	Sammlung Metalle	232
3	Sammlung LVP	196
4	Sammlung Papier	357
5	Sammlung Glas	209
6	Sammlung Biomüll	795
7	Sammlung Restmüll	938
8	Einsparung FE-Rec	-23.555
9	Einsparung NE-Rec	-15.215
10	Energieaufwand Aufbereitung Fe	831
11	Energieaufwand Aufbereitung NE	104
12	Transport Met-Um - Gr-Sh	203
13	Transport Gr-Sh - FE-Ind	156
14	Transport Po-Sh - NE-Ind	16
15	Transport SR-Me - AV-W	35
16	Einsparung Kst-Rec	-102.899
17	Energieaufwand Aufbereitung	1.717
18	Transport LVP-S - EBS-P	130
19	Transport LVP-S - Kst-R	415
20	Transport LVP-S - AV-W	29
21	Transport Kst-R - AV-W	31
22	Einsparung Pap-Rec	-285.046
23	Energieaufwand Aufbereitung	3.485
24	Transport Pap-S - Pap-F	556
25	Transport Pap-S - AV-W	88
26	Einsparung Glas-Rec	-17.522
27	Energieaufwand Aufbereitung	145
28	Transport Gl-Um - Gl-S	649
29	Transport Gl-S - AV-W	43
30	Einsparung Bio	-7.306
31	Energieaufwand Aufbereitung	5.915
32	Energieaufwand Diesel	1.030
33	Transport Bio-K - AV-W	87
34	Abfall Input MBA aerob	467.371
35	Strom MBA	14.855
36	Diesel MBA	2.978
37	Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O ME	-
38	MBA Output MK	-339.248
39	MBA Einsparung Me-mix	-33.048
40	Ablagerung Rottefraktion MBA	-
41	Transport MBA - AV-W	3.327
42	Abfall Input AV-W	419.108
43	Zusatzbrennstoff	4.987
44	Strom	-129.304
45	Wärme	-188.940
46	Transport AV-W - Dep-RS	260
	Summe	-210.808

GS-31		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-37.425	-3.494,2
SUMME GS-E-LVP	-100.577	-2.344,0
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
Transporte MBA	3.327	217,5
SUMME AV-W	105.851	10.056,0
Transport AV-W - Dep-RS	260	17,0
Summe	-210.808	-4.957,5

GS-32		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	232	196,7
2 Sammlung LVP	196	166,0
3 Sammlung Papier	357	302,4
4 Sammlung Glas	209	176,8
5 Sammlung Biomüll	795	673,6
6 Sammlung Restmüll	938	794,7
7 Einsparung FE-Rec	-23.555	-2.237,0
8 Einsparung NE-Rec	-15.215	-1.304,2
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	831	17,9
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	104	2,2
11 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	203	13,3
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	156	10,2
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	16	1,1
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	35	2,3
15 Einsparung Kst-Rec	-102.899	-2.420,6
16 Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17 <i>Transport LVP-S - EBS-P</i>	130	8,5
18 <i>Transport LVP-S - Kst-R</i>	415	27,2
19 <i>Transport LVP-S - AV-W</i>	29	1,9
20 <i>Transport Kst-R - AV-W</i>	31	2,0
21 Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22 Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23 <i>Transport Pap-S - Pap-F</i>	556	36,3
24 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	88	5,7
25 Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26 Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	649	42,4
28 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	43	2,8
29 Einsparung Bio	-7.306	562,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31 Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	87	5,7
33 Abfall Input MBA aerob	467.371	-
34 Strom MBA	14.855	320,4
35 Diesel MBA	2.978	194,7
36 Prozessemissionen CH4, N2O ME	-	1.092,3
37 MBA Output MK	-247.004	-
38 MBA Output EBS-P	-92.245	-
39 MBA Einsparung Me-mix	-33.048	-2.978,6
40 Ablagerung Rottefraktion MBA	-	147,9
41 <i>Transport MBA - AV-W</i>	2.656	173,6
42 <i>Transport MBA - EBS-P</i>	335	21,9
43 <b>Abfall Input AV-W</b>	300.408	13.804,1
44 Zusatzbrennstoff	3.575	170,4
45 Strom	-92.682	-1.999,3
46 Wärme	-135.428	-5.266,1
47 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	208	13,6
48 Input EBS-P HWR-Fraktion	131.343	-
49 Strom EBS-P	1.813	39,1
50 Diesel EBS-P	194	12,7
51 Zem-HK EBS	-121.110	-
52 Einsparung Fe	-1.234	-117,2
53 Einsparung NE	-6.138	-526,2
54 Einsparung PET	-4.124	-121,9
55 Einsparung FKN/PPK	-2.259	-111,7
56 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.228	80,3
57 Input Zem-HK EBS	121.110	6.371,8
58 Strom	40.869	881,6
59 Einsparung fossil HK	-118.473	-10.433,9
60 Mix Alternativ	74.711	4.376,5
61 Einsparung Mix Alternativ	-80.393	-7.080,2
62 Mix Fossil	48.658	4.285,3
63 Summe	-154.979	-10.673,4

GS-32		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-37.425	-3.494,2
SUMME GS-E-LVP	-100.577	-2.344,0
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
<i>Transporte MBA</i>	2.991	195,6
SUMME AV-W	75.871	6.709,0
<i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	208	13,6
SUMME EBS-P	-1.515	-825,1
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.228	80,3
SUMME Zementwerk	86.482	-1.598,8
Summe	-154.979	-10.673,4

GS-33		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
1 Sammlung Metalle	232	196,7
2 Sammlung LVP	196	166,0
3 Sammlung Papier	357	302,4
4 Sammlung Glas	209	176,8
5 Sammlung Biomüll	795	673,6
6 Sammlung Restmüll	938	794,7
7 Einsparung FE-Rec	-23.555	-2.237,0
8 Einsparung NE-Rec	-15.215	-1.304,2
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	831	17,9
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	104	2,2
11 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	203	13,3
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	156	10,2
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	16	1,1
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	35	2,3
15 Einsparung Kst-Rec	-102.899	-2.420,6
16 Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17 <i>Transport LVP-S - EBS-P</i>	130	8,5
18 <i>Transport LVP-S - Kst-R</i>	415	27,2
19 <i>Transport LVP-S - AV-W</i>	29	1,9
20 <i>Transport Kst-R - AV-W</i>	31	2,0
21 Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22 Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23 <i>Transport Pap-S - Pap-F</i>	556	36,3
24 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	88	5,7
25 Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26 Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	649	42,4
28 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	43	2,8
29 Einsparung Bio	-7.306	562,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31 Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	87	5,7
33 Abfall Input MBA aerob	467.371	-
34 Strom MBA	14.855	320,4
35 Diesel MBA	2.978	194,7
36 Prozessemissionen CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O ME	-	1.092,3
37 MBA Output MK	-247.004	-
38 MBA Output EBS-P	-92.245	-
39 MBA Einsparung Me-mix	-33.048	-2.978,6
40 Ablagerung Rottefraktion MBA	-	147,9
41 <i>Transport MBA-Zem</i>	3.984	260,5
42 <i>Transport MBA - EBS-P</i>	335	21,9
43 Input EBS-P HWR-Fraktion	131.343	-
44 Strom EBS-P	1.813	39,1
45 Diesel EBS-P	194	12,7
46 Zem-HK EBS	-121.110	-
47 Einsparung Fe	-1.234	-117,2
48 Einsparung NE	-6.138	-526,2
49 Einsparung PET	-4.124	-121,9
50 Einsparung FKN/PPK	-2.259	-111,7
51 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.228	80,3
52 <b>Abfall Input AV-W</b>	53.404	2.116,1
53 Zusatzbrennstoff	635	30,3
54 Strom	-16.476	-355,4
55 Wärme	-24.075	-936,2
56 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	40	2,6
57 Input Zem-HK EBS	121.110	6.371,8
58 Input MBA Output MK	247.004	11.688,0
59 Strom	173.422	3.741,0
60 Einsparung fossil HK	-118.473	-10.433,9
61 Einsparung fossil MK	-265.788	-23.407,9
62 Mix Alternativ	227.084	13.302,5
63 Einsparung Mix Alternativ	-244.354	-21.520,2
64 Mix Fossil	147.896	13.025,2
65 Summe	-14.784	-22.086,6

GS-33		
	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-37.425	-3.494,2
SUMME GS-E-LVP	-100.577	-2.344,0
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
<i>Transporte MBA</i>	4.319	282,4
SUMME EBS-P	-1.515	-825,1
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.228	80,3
SUMME AV-W	13.488	854,8
<i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	40	2,6
SUMME Zementwerk	287.901	-7.233,6
Summe	-14.784	-22.086,6

GS-34			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	232	196,7
2	Sammlung LVP	196	166,0
3	Sammlung Papier	357	302,4
4	Sammlung Glas	209	176,8
5	Sammlung Biomüll	795	673,6
6	Sammlung Restmüll	938	794,7
7	Einsparung FE-Rec	-23.555	-2.237,0
8	Einsparung NE-Rec	-15.215	-1.304,2
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	831	17,9
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	104	2,2
11	Transport Met-Um – Gr-Sh	203	13,3
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	156	10,2
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	16	1,1
14	Transport SR-Me - AV-W	35	2,3
15	Einsparung Kst-Rec	-102.899	-2.420,6
16	Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17	Transport LVP-S – EBS-P	130	8,5
18	Transport LVP-S – Kst-R	415	27,2
19	Transport LVP-S – AV-W	29	1,9
20	Transport Kst-R – AV-W	31	2,0
21	Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22	Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23	Transport Pap-S – Pap-F	556	36,3
24	Transport Pap-S – AV-W	88	5,7
25	Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26	Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27	Transport Gl-Um – Gl-S	649	42,4
28	Transport Gl-S – AV-W	43	2,8
29	Einsparung Bio	-7.306	562,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31	Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32	Transport Bio-K - AV-W	87	5,7
33	Abfall Input MBA-tr	467.371	-
34	Strom MBA-tr	9.412	203,0
35	Diesel MBA-tr	2.978	194,7
36	Prozessemissionen CH4, N2O	-	773,2
37	MBA-tr Output MK	-	-
38	MBA-tr Output EBS-P	-138.367	-
39	MBA-tr Einsparung Me-Mix	-33.048	-2.978,6
40	MBA-tr Output Trocknung	-304.087	-
41	Transport MBA - EBS-P	503	32,9
42	Transport MBA - AV-W	3.418	223,5
43	Abfall Input AV-W	359.230	13.764,8
44	Zusatzbrennstoff	4.274	203,8
45	Strom	-110.830	-2.390,8
46	Wärme	-161.946	-6.297,3
47	Transport AV-W - Dep-RS	258	16,9
48	Input EBS-P HWR-Fraktion	177.465	-
49	Strom EBS-P	2.467	53,2
50	Diesel EBS-P	264	17,3
51	Zem-HK EBS	-163.543	-
52	Einsparung Fe	-1.679	-159,5
53	Einsparung NE	-8.351	-715,8
54	Einsparung PET	-5.611	-165,9
55	Einsparung FKN/PPK	-3.073	-151,9
56	Transport Zem-HK - Zem	1.671	109,3
57	Input Zem-HK EBS	163.543	8.541,1
58	Strom	55.603	1.199,4
59	Einsparung fossil HK	-159.982	-14.089,6
60	Mix Alternativ	100.887	5.909,9
61	Einsparung Mix Alternativ	-108.560	-9.560,8
62	Mix Fossil	65.706	5.786,7
63	Summe	-217.180	-13.505,1

GS-34		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-37.425	-3.494,2
SUMME GS-E-LVP	-100.577	-2.344,0
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA-tr	4.259	-1.807,6
Transporte MBA-tr	3.921	256,4
SUMME AV-W	90.728	5.280,6
Transport AV-W - Dep-RS	258	16,9
SUMME EBS-P	-2.061	-1.122,6
Transport Zem-HK - Zem	1.671	109,3
SUMME Zementwerk	117.197	-2.213,2
Summe	-217.180	-13.505,1

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
1 Grüne Tonne	812	688,2
2 Papier	265	224,3
3 Glas	127	107,4
4 Biotonne + Gewerbe Bio	935	792,7
5 Restmüll (Nassmüll)	298	252,9
6 Einsparung Bio	-4.404	338,9
7 Energieaufwand Strom	6.961	150,2
8 Energieaufwand Diesel	1.212	79,3
9 Einsparung Glas-Rec	-18.663	-2.576,6
10 Energieaufwand Aufbereitung	144	3,1
11 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	643	42,0
12 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	26	1,7
13 Einsparung Pap-Rec	-326.173	-10.305,4
14 Energieaufwand Aufbereitung	3.788	81,7
15 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	65	4,3
16 E-Folien Rec	-9.075	-183,6
17 E-Kunststoffarten Rec	-15.238	-415,8
18 E-PET-Rec	-17.214	-508,9
19 E-FKN-Rec	-2.262	-111,9
20 E-Mischkunststoffe Rec	-50.243	-1.023,1
21 Einsparung FE-Rec	-28.353	-2.692,7
22 Einsparung Al-Rec	-36.830	-3.094,5
23 Einsparung Cu-Rec	-9.577	-984,0
24 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.001	21,6
25 Energieaufwand Aufbereitung NE	365	7,9
26 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	245	16,0
27 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	188	12,3
28 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	57	3,7
29 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	38	2,5
30 Strom Sortieranlage	5.006	173,6
31 Strom Diesel f. Anlage	1.029	67,3
32 Ablagerung SR-SepSieb	-	56,0
33 Abfall Input AV-R	283.485	11.925,0
34 Zusatzbrennstoff	3.373	160,8
35 Strom	-87.461	-1.886,7
36 Wärme	-127.799	-4.969,5
37 Einsparung Me-Mix	-15.699	-1.415,0
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	237	15,5
39 Input EBS-P HWR-Fraktion	216.671	-
40 Strom EBS-P	3.053	65,9
41 Diesel EBS-P	327	21,4
42 Zem-HK EBS	-213.155	-
43 Einsparung Fe	-1.039	-98,7
44 Einsparung NE	-1.292	-110,8
45 Einsparung PET	-694	-20,5
46 Einsparung FKN/PPK	-190	-9,4
47 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	2.280	149,1
48 Input Zem-HK EBS	213.155	10.572,7
49 Strom	75.860	1.636,4
50 Einsparung fossil HK	-208.514	-18.363,8
51 Mix Alternativ	131.493	7.702,8
52 Einsparung Mix Alternativ	-141.493	-12.461,2
53 Mix Fossil	85.639	7.542,2
54 Summe	-276.594	-18.312,8

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.437	2.065,4
SUMME GS-E-Bio	3.769	568,3
SUMME E-Glas	-17.851	-2.529,8
SUMME E-Pap	-322.320	-10.219,5
SUMME E-LVP	-94.033	-2.243,3
SUMME E-Me	-72.866	-6.707,2
Strom Sortieranlage	5.006	173,6
Strom Diesel f. Anlage	1.029	67,3
Ablagerung SR-SepSieb	-	56,0
SUMME AV-R	55.898	3.814,7
<i>Transport Schlacke AV-R-</i>	237	15,5
SUMME EBS-P	3.680	-152,1
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	2.280	149,1
SUMME Zementwerk	156.140	-3.371,0
Summe	-276.594	-18.312,8

	m%
VP Glas	1,32%
VP Papier B12	6,72%
NVP Papier B12	10,08%
VP Folien	0,34%
VP Hohlkörper - PE, PP	0,55%
VP PET	1,69%
VP Tetra-Pak	0,41%
VP Kunststoffe unsortiert	3,20%
NVP Kunststoffe unsortiert	0,40%
VP Fe - Weißblech	3,90%
VP Aluminium	0,48%
Buntmetalle	0,62%
Fe SPM	0,58%
NVP Aluminium	0,00%
Bauschutt, Inert	0,59%
Klein-EAG	0,05%
Restmüll HK	26,65%
Restmüll MK	19,98%
Siebdurchgang BalSep	16,87%
<b>Sonstiges</b>	<b>5,57%</b>

Mischkunststoffe (Kunststoffe unsortiert)	
	50%
Verlust	Recycelt

# SZENARIO SAM+

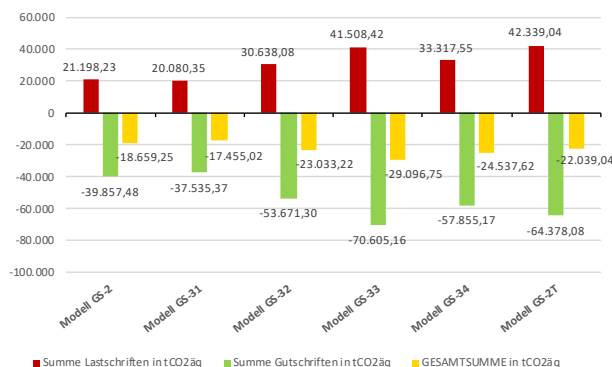
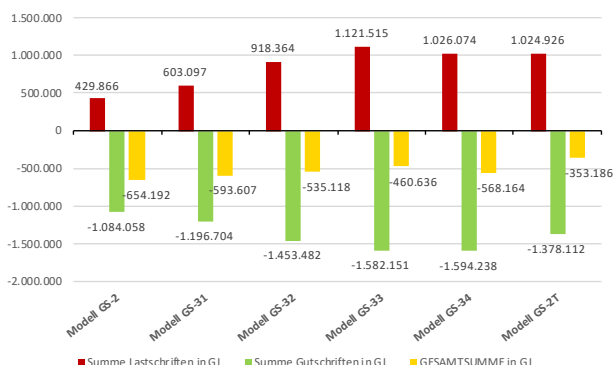
INPUT	Masse	Anteil
	t	%
Metalle	2.251	2,25%
LVP	9.187	9,19%
Papier	26.971	26,97%
Glas	11.472	11,47%
Biomüll	26.097	26,10%
Restmüll	24.023	24,02%
<b>SUMME ALLER AB</b>	<b>100.000</b>	<b>100,00%</b>

Statusbericht 2020 - Vor; Statusbericht 2020 - Vorarlberg	
Altmetalle	2,3%
Leichtverpackungen (LVI)	9,2%
Altpapier	27,0%
Glas	11,5%
Bioabfall	26,1%
Restmüll	24,0%
	100,0%

MODELLEIGENSCHAFTEN			Metall-TK	LVP-TK
Wirkungsgrad AV-R	19,0%	41,0%	77,00% Fe-Fraktion	40,00% Kst-R
Wirkungsgrad AV-W	19,0%	41,0%	8,00% NE-Fraktion	50,00% SR-LVP HWR
Substitutionsgrad Zem	81,24%		15,00% SR-Me	10,00% SR-LVP

sam+ 2-34 fertiggestellt und kontrolliert am 26.8.20 um 15:30

"sam+"	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
	Summe Lastschriften in GJ	Summe Lastschriften in tCO <sub>2</sub> äq	Summe Gutschriften in GJ	Summe Gutschriften in tCO <sub>2</sub> äq	GESAMTSUMME in GJ	GESAMTSUMME in tCO <sub>2</sub> äq
Modell GS-2	429.866	21.198,23	-1.084.058	-39.857,48	-654.192	-18.659,25
Modell GS-31	603.097	20.080,35	-1.196.704	-37.535,37	-593.607	-17.455,02
Modell GS-32	918.364	30.638,08	-1.453.482	-53.671,30	-535.118	-23.033,22
Modell GS-33	1.121.515	41.508,42	-1.582.151	-70.605,16	-460.636	-29.096,75
Modell GS-34	1.026.074	33.317,55	-1.594.238	-57.855,17	-568.164	-24.537,62
Modell GS-2T	1.024.926	42.339,04	-1.378.112	-64.378,08	-353.186	-22.039,04





GS-2			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-28.426	-2.699,6
8	Einsparung NE-Rec	-18.361	-1.573,9
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.003	21,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	125	2,7
11	Transport Met-Um – Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	189	12,3
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	42	2,7
15	Einsparung Kst-Rec	-225.170	-5.297,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S – EBS-P	284	18,6
18	Transport LVP-S – Kst-R	909	59,4
19	Transport LVP-S – AV-W	62	4,1
20	Transport Kst-R – AV-W	68	4,5
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S – Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S – AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um – Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S – AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input AV-R	399.853	17.146,0
34	Zusatzbrennstoff	4.758	226,8
35	Strom	-123.364	-2.661,1
36	Wärme	-180.259	-7.009,4
37	Einsparung Me-Mix	-20.465	-1.844,5
38	Transport Schlacke AV-R-RS-Dep	309	20,2
39	Summe	-654.192	-18.659,3

GS-2		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-45.164	-4.216,8
SUMME GS-E-LVP	-220.090	-5.129,4
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME AV-R	80.523	5.857,9
Transport Schlacke AV-R	309	20,2
Summe	-654.192	-18.659,3

GS-31			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-28.426	-2.699,6
8	Einsparung NE-Rec	-18.361	-1.573,9
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.003	21,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	125	2,7
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	189	12,3
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	42	2,7
15	Einsparung Kst-Rec	-225.170	-5.297,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	284	18,6
18	Transport LVP-S - Kst-R	909	59,4
19	Transport LVP-S - AV-W	62	4,1
20	Transport Kst-R - AV-W	68	4,5
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S - Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S - AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um - Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S - AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34	Strom MBA	7.892	170,2
35	Diesel MBA	1.582	103,5
36	Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	580,3
37	MBA Output MK	-180.234	-
38	MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
39	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
40	Transport MBA - AV-W	1.767	115,6
41	Abfall Input AV-W	314.674	15.036,1
42	Zusatzbrennstoff	3.744	178,5
43	Strom	-97.084	-2.094,2
44	Wärme	-141.859	-5.516,2
45	Transport AV-W - Dep-RS	190	12,5
46	Summe	-593.607	-17.455,0

GS-31		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-45.164	-4.216,8
SUMME GS-E-LVP	-220.090	-5.129,4
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
Transporte MBA	1.767	115,6
SUMME AV-W	79.475	7.604,2
Transport AV-W - Dep-R	190	12,5
Summe	-593.607	-17.455,0

GS-32			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-28.426	-2.699,6
8	Einsparung NE-Rec	-18.361	-1.573,9
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.003	21,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	125	2,7
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	189	12,3
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	42	2,7
15	Einsparung Kst-Rec	-225.170	-5.297,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	284	18,6
18	Transport LVP-S - Kst-R	909	59,4
19	Transport LVP-S - AV-W	62	4,1
20	Transport Kst-R - AV-W	68	4,5
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S - Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S - AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um - Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S - AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34	Strom MBA	7.892	170,2
35	Diesel MBA	1.582	103,5
36	Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	580,3
37	MBA Output MK	-131.226	-
38	MBA Output EBS-P	-49.007	-
39	MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
40	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
41	Transport MBA - AV-W	1.411	92,3
42	Transport MBA - EBS-P	178	11,7
43	Abfall Input AV-W	202.012	9.014,3
44	Zusatzbrennstoff	2.404	114,6
45	Strom	-62.325	-1.344,4
46	Wärme	-91.070	-3.541,3
47	Transport AV-W - Dep-RS	143	9,3
48	Input EBS-P HWR-Fraktion	134.563	-
49	Strom EBS-P	1.801	38,9
50	Diesel EBS-P	193	12,6
51	Zem-HK EBS	-124.397	-
52	Einsparung Fe	-1.226	-116,4
53	Einsparung NE	-6.098	-522,7
54	Einsparung PET	-4.097	-121,1
55	Einsparung FKN/PPK	-2.244	-110,9
56	Transport Zem-HK - Zem	1.220	79,8
57	Input Zem-HK EBS	124.397	6.754,2
58	Strom	40.602	875,8
59	Einsparung fossil HK	-121.689	-10.717,1
60	Mix Alternativ	76.739	4.495,3
61	Einsparung Mix Alternativ	-82.575	-7.272,3
62	Mix Fossil	49.979	4.401,6
63	Summe	-535.118	-23.033,2

GS-32		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-45.164	-4.216,8
SUMME GS-E-LVP	-220.090	-5.129,4
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
Transporte MBA	1.589	103,9
SUMME AV-W	51.021	4.243,2
Transport AV-W - Dep-R	143	9,3
SUMME EBS-P	-1.505	-819,8
Transport Zem-HK - Zem	1.220	79,8
SUMME Zementwerk	87.453	-1.462,5
Summe	-535.118	-23.033,2

GS-33			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-28.426	-2.699,6
8	Einsparung NE-Rec	-18.361	-1.573,9
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.003	21,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	125	2,7
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	189	12,3
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	42	2,7
15	Einsparung Kst-Rec	-225.170	-5.297,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	284	18,6
18	Transport LVP-S - Kst-R	909	59,4
19	Transport LVP-S - AV-W	62	4,1
20	Transport Kst-R - AV-W	68	4,5
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S - Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S - AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um - Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S - AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34	Strom MBA	7.892	170,2
35	Diesel MBA	1.582	103,5
36	Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	580,3
37	MBA Output MK	-131.226	-
38	MBA Output EBS-P	-49.007	-
39	MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
40	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
41	Transport MBA-Zem	2.116	138,4
42	Transport MBA - EBS-P	178	11,7
43	Input EBS-P HWR-Fraktion	134.563	-
44	Strom EBS-P	1.801	38,9
45	Diesel EBS-P	193	12,6
46	Zem-HK EBS	-124.397	-
47	Einsparung Fe	-1.226	-116,4
48	Einsparung NE	-6.098	-522,7
49	Einsparung PET	-4.097	-121,1
50	Einsparung FKN/PPK	-2.244	-110,9
51	Transport Zem-HK - Zem	1.220	79,8
52	Abfall Input AV-W	70.786	2.804,8
53	Zusatzbrennstoff	842	40,2
54	Strom	-21.839	-471,1
55	Wärme	-31.911	-1.240,9
56	Transport AV-W - Dep-RS	54	3,5
57	Input Zem-HK EBS	124.397	6.754,2
58	Input MBA Output MK	131.226	6.209,5
59	Strom	111.024	2.394,9
60	Einsparung fossil HK	-121.689	-10.717,1
61	Einsparung fossil MK	-141.206	-12.436,0
62	Mix Alternativ	157.691	9.237,4
63	Einsparung Mix Alternativ	-169.683	-14.943,9
64	Mix Fossil	102.701	9.044,9
65	Summe	-460.636	-29.096,7

GS-33		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-45.164	-4.216,8
SUMME GS-E-LVP	-220.090	-5.129,4
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
Transporte MBA	2.295	150,0
SUMME EBS-P	-1.505	-819,8
Transport Zem-HK - Zem	1.220	79,8
SUMME AV-W	17.878	1.133,0
Transport AV-W - Dep-R	54	3,5
SUMME Zementwerk	194.462	-4.456,1
Summe	-460.636	-29.096,7

GS-34			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-28.426	-2.699,6
8	Einsparung NE-Rec	-18.361	-1.573,9
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.003	21,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	125	2,7
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	189	12,3
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	42	2,7
15	Einsparung Kst-Rec	-225.170	-5.297,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	284	18,6
18	Transport LVP-S - Kst-R	909	59,4
19	Transport LVP-S - AV-W	62	4,1
20	Transport Kst-R - AV-W	68	4,5
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S - Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S - AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um - Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S - AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input MBA-tr	248.301	-
34	Strom MBA-tr	5.000	107,9
35	Diesel MBA-tr	1.582	103,5
36	Prozessemissionen CH4, N2O	-	410,8
37	MBA-tr Output MK	-	-
38	MBA-tr Output EBS-P	-73.511	-
39	MBA-tr Einsparung Me-Mix	-17.557	-1.582,4
40	MBA-tr Output Trocknung	-161.553	-
41	Transport MBA - EBS-P	267	17,5
42	Transport MBA - AV-W	1.816	118,7
43	Abfall Input AV-W	233.263	8.993,5
44	Zusatzbrennstoff	2.776	132,3
45	Strom	-71.967	-1.552,4
46	Wärme	-105.158	-4.089,1
47	Transport AV-W - Dep-RS	169	11,1
48	Input EBS-P HWR-Fraktion	159.067	-
49	Strom EBS-P	2.149	46,3
50	Diesel EBS-P	230	15,0
51	Zem-HK EBS	-146.941	-
52	Einsparung Fe	-1.462	-138,9
53	Einsparung NE	-7.274	-623,5
54	Einsparung PET	-4.887	-144,5
55	Einsparung FKN/PPK	-2.677	-132,3
56	Transport Zem-HK - Zem	1.455	95,2
57	Input Zem-HK EBS	146.941	7.906,7
58	Strom	48.430	1.044,7
59	Einsparung fossil HK	-143.741	-12.659,3
60	Mix Alternativ	90.646	5.310,0
61	Einsparung Mix Alternativ	-97.539	-8.590,3
62	Mix Fossil	59.036	5.199,3
63	Summe	-568.164	-24.537,6

GS-34		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-45.164	-4.216,8
SUMME GS-E-LVP	-220.090	-5.129,4
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA-tr	2.263	-960,3
Transporte MBA-tr	2.083	136,2
SUMME AV-W	58.913	3.484,3
Transport AV-W - Dep-R	169	11,1
SUMME EBS-P	-1.795	-977,8
Transport Zem-HK - Zem	1.455	95,2
SUMME Zementwerk	103.772	-1.788,9
Summe	-568.164	-24.537,6

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
1 Grüne Tonne	871	738,1
2 Papier	332	281,2
3 Glas	140	118,6
4 Biotonne + Gewerbe Bio	964	817,2
5 Restmüll (Nassmüll)	145	123,0
6 Einsparung Bio	-4.540	349,3
7 Energieaufwand Strom	7.176	154,8
8 Energieaufwand Diesel	1.250	81,7
9 Einsparung Glas-Rec	-20.359	-2.810,6
10 Energieaufwand Aufbereitung	157	3,4
11 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	701	45,8
12 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	29	1,9
13 Einsparung Pap-Rec	-388.156	-12.263,8
14 Energieaufwand Aufbereitung	4.508	97,2
15 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	82	5,3
16 E-Folien Rec	-9.734	-196,9
17 E-Kunststoffarten Rec	-16.344	-446,0
18 E-PET-Rec	-18.463	-545,8
19 E-FKN-Rec	-2.427	-120,0
20 E-Mischkunststoffe Rec	-53.888	-1.097,3
21 Einsparung FE-Rec	-30.411	-2.888,1
22 Einsparung Al-Rec	-39.502	-3.319,0
23 Einsparung Cu-Rec	-10.272	-1.055,4
24 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.073	23,1
25 Energieaufwand Aufbereitung NE	391	8,4
26 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	263	17,2
27 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	202	13,2
28 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	61	4,0
29 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	40	2,6
30 Strom Sortieranlage	4.667	161,8
31 Strom Diesel f. Anlage	960	62,8
32 Ablagerung SR-SepSieb	-	60,1
33 Abfall Input AV-R	216.817	9.333,6
34 Zusatzbrennstoff	2.580	123,0
35 Strom	-66.893	-1.443,0
36 Wärme	-97.744	-3.800,8
37 Einsparung Me-Mix	-11.904	-1.072,9
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	180	11,8
39 Input EBS-P HWR-Fraktion	232.393	-
40 Strom EBS-P	3.275	70,6
41 Diesel EBS-P	350	22,9
42 Zem-HK EBS	-228.622	-
43 Einsparung Fe	-1.115	-105,8
44 Einsparung NE	-1.386	-118,8
45 Einsparung PET	-745	-22,0
46 Einsparung FKN/PPK	-204	-10,1
47 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	2.445	159,9
48 Input Zem-HK EBS	228.622	11.339,9
49 Strom	81.365	1.755,2
50 Einsparung fossil HK	-223.644	-19.696,3
51 Mix Alternativ	141.034	8.261,7
52 Einsparung Mix Alternativ	-151.759	-13.365,4
53 Mix Fossil	91.853	8.089,5
54 Summe	-353.186	-22.039,0

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.452	2.078,2
SUMME GS-E-Bio	3.886	585,9
SUMME E-Glas	-19.473	-2.759,6
SUMME E-Pap	-383.566	-12.161,2
SUMME E-LVP	-100.856	-2.406,0
SUMME E-Me	-78.154	-7.193,9
Strom Sortieranlage	4.667	161,8
Strom Diesel f. Anlage	960	62,8
Ablagerung SR-SepSieb	-	60,1
SUMME AV-R	42.856	3.140,0
<i>Transport Schlacke AV-R</i>	180	11,8
SUMME EBS-P	3.947	-163,2
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	2.445	159,9
SUMME Zementwerk	167.470	-3.615,6
Summe	-353.186	-22.039,0

	m%
VP Glas	1,32%
VP Papier B12	6,72%
NVP Papier B12	10,08%
VP Folien	0,34%
VP Hohlkörper - PE, PP	0,55%
VP PET	1,69%
VP Tetra-Pak	0,41%
VP Kunststoffe unsortiert	3,20%
NVP Kunststoffe unsortiert	0,40%
VP Fe - Weißblech	3,90%
VP Aluminium	0,48%
Buntmetalle	0,62%
Fe SPM	0,58%
NVP Aluminium	0,00%
Bauschutt, Inert	0,59%
Klein-EAG	0,05%
Restmüll HK	26,65%
Restmüll MK	19,98%
Siebdurchgang BalSep	16,87%
<b>Sonstiges</b>	5,57%

Mischkunststoffe (Kunststoffe unsortiert)	
50%	50%
Verlust	Recycelt

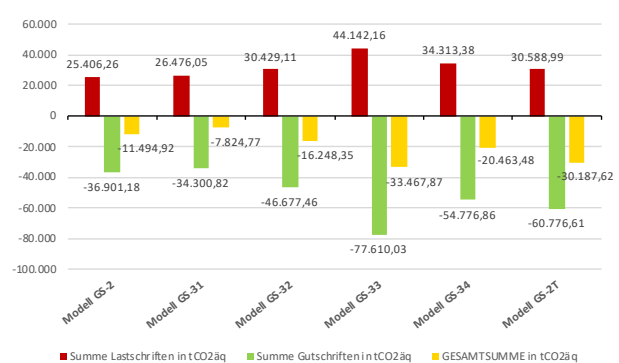
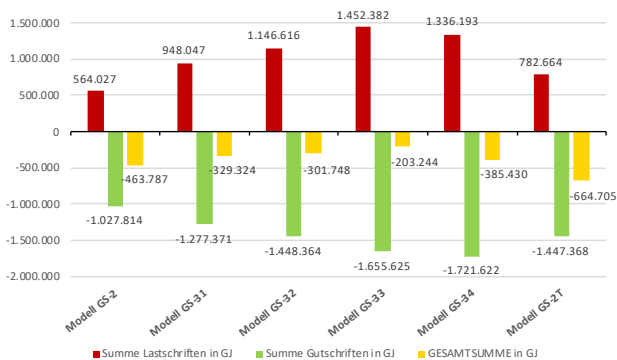
# SZENARIO TEC+

INPUT	Masse	Anteil
	t	%
Metalle	1.865	1,87%
LVP	4.198	4,20%
Papier	17.205	17,21%
Glas	5.962	5,96%
Biomüll	25.551	25,55%
Restmüll	45.218	45,22%
<b>SUMME ALLER AB</b>	<b>100.000</b>	<b>100,00%</b>

MODELLEIGENSCHAFTEN			Metall-TK	LVP-TK
Wirkungsgrad AV-R	25,0%	45,0%	80,00% Fe-Fraktion	62,00% Kst-R
Wirkungsgrad AV-W	25,0%	45,0%	10,00% NE-Fraktion	30,00% SR-LVP HWR
Substitutionsgrad Zem	95,00%		10,00% SR-Me	8,00% SR-LVP

tec+: 2-34 fertiggestellt und kontrolliert am 26.8.20 um 11:15

"tec+"	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq	GJ	t CO <sub>2</sub> äq
	Summe Lastschriften in GJ	Summe Lastschriften in tCO <sub>2</sub> äq	Summe Gutschriften in GJ	Summe Gutschriften in tCO <sub>2</sub> äq	GESAMTSUMME in GJ	GESAMTSUMME in tCO <sub>2</sub> äq
Modell GS-2	564.027	25.406,26	-1.027.814	-36.901,18	-463.787	-11.494,92
Modell GS-31	948.047	26.476,05	-1.277.371	-34.300,82	-329.324	-7.824,77
Modell GS-32	1.146.616	30.429,11	-1.448.364	-46.677,46	-301.748	-16.248,35
Modell GS-33	1.452.382	44.142,16	-1.655.625	-77.610,03	-203.244	-33.467,87
Modell GS-34	1.336.193	34.313,38	-1.721.622	-54.776,86	-385.430	-20.463,48
Modell GS-2T	782.664	30.588,99	-1.447.368	-60.776,61	-664.705	-30.187,62



GS-2			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	232	196,7
2	Sammlung LVP	196	166,0
3	Sammlung Papier	357	302,4
4	Sammlung Glas	209	176,8
5	Sammlung Biomüll	795	673,6
6	Sammlung Restmüll	938	794,7
7	Einsparung FE-Rec	-24.473	-2.324,1
8	Einsparung NE-Rec	-19.018	-1.630,2
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	864	18,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	130	2,8
11	Transport Met-Um – Gr-Sh	203	13,3
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	162	10,6
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	23	1,5
15	Einsparung Kst-Rec	-159.494	-3.752,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17	Transport LVP-S – EBS-P	78	5,1
18	Transport LVP-S – Kst-R	644	42,1
19	Transport LVP-S – AV-W	23	1,5
20	Transport Kst-R – AV-W	48	3,2
21	Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22	Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23	Transport Pap-S – Pap-F	556	36,3
24	Transport Pap-S – AV-W	88	5,7
25	Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26	Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27	Transport Gl-Um – Gl-S	649	42,4
28	Transport Gl-S – AV-W	43	2,8
29	Einsparung Bio	-7.306	562,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31	Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32	Transport Bio-K - AV-W	87	5,7
33	Abfall Input AV-R	538.534	21.695,7
34	Zusatzbrennstoff	6.408	305,5
35	Strom	-218.618	-4.715,9
36	Wärme	-266.465	-10.361,5
37	Einsparung Me-Mix	-29.873	-2.692,4
38	Transport Schlacke AV-R-RS-Dep	452	29,5
39	Summe	-463.787	-11.494,9

GS-2		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-42.089	-3.906,2
SUMME GS-E-LVP	-156.984	-3.663,1
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME AV-R	29.986	4.231,4
Transport Schlacke AV-R	452	29,5
Summe	-463.787	-11.494,9



GS-31			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	232	196,7
2	Sammlung LVP	196	166,0
3	Sammlung Papier	357	302,4
4	Sammlung Glas	209	176,8
5	Sammlung Biomüll	795	673,6
6	Sammlung Restmüll	938	794,7
7	Einsparung FE-Rec	-24.473	-2.324,1
8	Einsparung NE-Rec	-19.018	-1.630,2
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	864	18,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	130	2,8
11	Transport Met-Um – Gr-Sh	203	13,3
12	Transport Gr-Sh – FE-Ind	162	10,6
13	Transport Po-Sh – NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me – AV-W	23	1,5
15	Einsparung Kst-Rec	-159.494	-3.752,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17	Transport LVP-S – EBS-P	78	5,1
18	Transport LVP-S – Kst-R	644	42,1
19	Transport LVP-S – AV-W	23	1,5
20	Transport Kst-R – AV-W	48	3,2
21	Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22	Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23	Transport Pap-S – Pap-F	556	36,3
24	Transport Pap-S – AV-W	88	5,7
25	Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26	Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27	Transport Gl-Um – Gl-S	649	42,4
28	Transport Gl-S – AV-W	43	2,8
29	Einsparung Bio	-7.306	562,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31	Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32	Transport Bio-K – AV-W	87	5,7
33	Abfall Input MBA aerob	467.371	-
34	Strom MBA	14.855	320,4
35	Diesel MBA	2.978	194,7
36	Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	1.092,3
37	MBA Output MK	-339.248	-
38	MBA Einsparung Me-mix	-33.048	-2.978,6
39	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	147,9
40	Transport MBA – AV-W	3.327	217,5
41	Abfall Input AV-W	435.434	20.863,3
42	Zusatzbrennstoff	5.181	247,0
43	Strom	-176.765	-3.813,1
44	Wärme	-215.451	-8.377,8
45	Transport AV-W – Dep-RS	267	17,4
46	Summe	-329.324	-7.824,8

GS-31		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-42.089	-3.906,2
SUMME GS-E-LVP	-156.984	-3.663,1
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
Transporte MBA	3.327	217,5
SUMME AV-W	48.399	8.919,3
Transport AV-W – Dep-RS	267	17,4
Summe	-329.324	-7.824,8

GS-32		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	232	196,7
2 Sammlung LVP	196	166,0
3 Sammlung Papier	357	302,4
4 Sammlung Glas	209	176,8
5 Sammlung Biomüll	795	673,6
6 Sammlung Restmüll	938	794,7
7 Einsparung FE-Rec	-24.473	-2.324,1
8 Einsparung NE-Rec	-19.018	-1.630,2
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	864	18,6
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	130	2,8
11 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	203	13,3
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	162	10,6
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	20	1,3
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	23	1,5
15 Einsparung Kst-Rec	-159.494	-3.752,0
16 Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17 <i>Transport LVP-S - EBS-P</i>	78	5,1
18 <i>Transport LVP-S - Kst-R</i>	644	42,1
19 <i>Transport LVP-S - AV-W</i>	23	1,5
20 <i>Transport Kst-R - AV-W</i>	48	3,2
21 Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22 Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23 <i>Transport Pap-S - Pap-F</i>	556	36,3
24 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	88	5,7
25 Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26 Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	649	42,4
28 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	43	2,8
29 Einsparung Bio	-7.306	562,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31 Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	87	5,7
33 Abfall Input MBA aerob	467.371	-
34 Strom MBA	14.855	320,4
35 Diesel MBA	2.978	194,7
36 Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	1.092,3
37 MBA Output MK	-247.004	-
38 MBA Output EBS-P	-92.245	-
39 MBA Einsparung Me-mix	-33.048	-2.978,6
40 Ablagerung Rottefraktion MBA	-	147,9
41 <i>Transport MBA - AV-W</i>	2.656	173,6
42 <i>Transport MBA - EBS-P</i>	335	21,9
43 <i>Abfall Input AV-W</i>	298.992	13.748,0
44 Zusatzbrennstoff	3.558	169,6
45 Strom	-121.376	-2.618,3
46 Wärme	-147.940	-5.752,7
47 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	207	13,6
48 Input EBS-P HWR-Fraktion	115.703	-
49 Strom EBS-P	1.611	34,7
50 Diesel EBS-P	172	11,3
51 Zem-HK EBS	-106.612	-
52 Einsparung Fe	-1.096	-104,1
53 Einsparung NE	-5.453	-467,4
54 Einsparung PET	-3.664	-108,3
55 Einsparung FKN/PPK	-2.007	-99,2
56 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.091	71,3
57 Input Zem-HK EBS	106.612	5.558,5
58 Strom	36.309	783,2
59 Einsparung fossil HK	-104.291	-9.184,9
60 Mix Alternativ	65.768	3.852,6
61 Einsparung Mix Alternativ	-70.769	-6.232,6
62 Mix Fossil	9.763	859,8
63 Summe	-301.748	-16.248,4

GS-32		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-42.089	-3.906,2
SUMME GS-E-LVP	-156.984	-3.663,1
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
<i>Transporte MBA</i>	2.991	195,6
SUMME AV-W	33.234	5.546,7
<i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	207	13,6
SUMME EBS-P	-1.346	-733,1
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.091	71,3
SUMME Zementwerk	43.391	-4.363,3
Summe	-301.748	-16.248,4

GS-33			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	232	196,7
2	Sammlung LVP	196	166,0
3	Sammlung Papier	357	302,4
4	Sammlung Glas	209	176,8
5	Sammlung Biomüll	795	673,6
6	Sammlung Restmüll	938	794,7
7	Einsparung FE-Rec	-24.473	-2.324,1
8	Einsparung NE-Rec	-19.018	-1.630,2
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	864	18,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	130	2,8
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	203	13,3
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	162	10,6
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	23	1,5
15	Einsparung Kst-Rec	-159.494	-3.752,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	78	5,1
18	Transport LVP-S - Kst-R	644	42,1
19	Transport LVP-S - AV-W	23	1,5
20	Transport Kst-R - AV-W	48	3,2
21	Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22	Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23	Transport Pap-S - Pap-F	556	36,3
24	Transport Pap-S - AV-W	88	5,7
25	Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26	Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27	Transport Gl-Um - Gl-S	649	42,4
28	Transport Gl-S - AV-W	43	2,8
29	Einsparung Bio	-7.306	562,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31	Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32	Transport Bio-K - AV-W	87	5,7
33	Abfall Input MBA aerob	467.371	-
34	Strom MBA	14.855	320,4
35	Diesel MBA	2.978	194,7
36	Prozessemissionen CH4, N2O MBA	-	1.092,3
37	MBA Output MK	-247.004	-
38	MBA Output EBS-P	-92.245	-
39	MBA Einsparung Me-mix	-33.048	-2.978,6
40	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	147,9
41	Transport MBA-Zem	3.984	260,5
42	Transport MBA - EBS-P	335	21,9
43	Input EBS-P HWR-Fraktion	115.703	-
44	Strom EBS-P	1.611	34,7
45	Diesel EBS-P	172	11,3
46	Zem-HK EBS	-106.612	-
47	Einsparung Fe	-1.096	-104,1
48	Einsparung NE	-5.453	-467,4
49	Einsparung PET	-3.664	-108,3
50	Einsparung FKN/PPK	-2.007	-99,2
51	Transport Zem-HK - Zem	1.091	71,3
52	Abfall Input AV-HK - Zem	51.989	2.060,0
53	Zusatzbrennstoff	619	29,5
54	Strom	-21.105	-455,3
55	Wärme	-25.724	-1.000,3
56	Transport AV-W - Dep-RS	39	2,6
57	Input Zem-HK EBS	106.612	5.558,5
58	Input MBA Output MK	247.004	11.688,0
59	Strom	168.862	3.642,6
60	Einsparung fossil HK	-104.291	-9.184,9
61	Einsparung fossil MK	-265.788	-23.407,9
62	Mix Alternativ	218.141	12.778,6
63	Einsparung Mix Alternativ	-234.730	-20.672,7
64	Mix Fossil	32.381	2.851,8
65	Summe	-203.244	-33.467,9

GS-33		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-42.089	-3.906,2
SUMME GS-E-LVP	-156.984	-3.663,1
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA aerob	112.908	-1.223,2
Transporte MBA	4.319	282,4
SUMME EBS-P	-1.346	-733,1
Transport Zem-HK - Zem	1.091	71,3
SUMME AV-W	5.779	633,9
Transport AV-W - Dep-RS	39	2,6
SUMME Zementwerk	168.190	-16.746,0
Summe	-203.244	-33.467,9

GS-34			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	232	196,7
2	Sammlung LVP	196	166,0
3	Sammlung Papier	357	302,4
4	Sammlung Glas	209	176,8
5	Sammlung Biomüll	795	673,6
6	Sammlung Restmüll	938	794,7
7	Einsparung FE-Rec	-24.473	-2.324,1
8	Einsparung NE-Rec	-19.018	-1.630,2
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	864	18,6
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	130	2,8
11	Transport Met-Um - Gr-Sh	203	13,3
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	162	10,6
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	20	1,3
14	Transport SR-Me - AV-W	23	1,5
15	Einsparung Kst-Rec	-159.494	-3.752,0
16	Energieaufwand Aufbereitung	1.717	37,0
17	Transport LVP-S - EBS-P	78	5,1
18	Transport LVP-S - Kst-R	644	42,1
19	Transport LVP-S - AV-W	23	1,5
20	Transport Kst-R - AV-W	48	3,2
21	Einsparung Pap-Rec	-285.046	-9.006,0
22	Energieaufwand Aufbereitung	3.485	75,2
23	Transport Pap-S - Pap-F	556	36,3
24	Transport Pap-S - AV-W	88	5,7
25	Einsparung Glas-Rec	-17.522	-2.419,0
26	Energieaufwand Aufbereitung	145	3,1
27	Transport Gl-Um - Gl-S	649	42,4
28	Transport Gl-S - AV-W	43	2,8
29	Einsparung Bio	-7.306	562,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	5.915	127,6
31	Energieaufwand Diesel	1.030	67,4
32	Transport Bio-K - AV-W	87	5,7
33	Abfall Input MBA-tr	467.371	-
34	Strom MBA-tr	9.412	203,0
35	Diesel MBA-tr	2.978	194,7
36	Prozessemissionen CH4, N2O	-	773,2
37	MBA-tr Output MK	-	-
38	MBA-tr Output EBS-P	-138.367	-
39	MBA-tr Einsparung Me-Mix	-33.048	-2.978,6
40	MBA-tr Output Trocknung	-304.087	-
41	Transport MBA - EBS-P	503	32,9
42	Transport MBA - AV-W	3.418	223,5
43	Abfall Input AV-W	357.814	13.708,8
44	Zusatzbrennstoff	4.258	203,0
45	Strom	-145.255	-3.133,4
46	Wärme	-177.045	-6.884,4
47	Transport AV-W - Dep-RS	257	16,8
48	Input EBS-P HWR-Fraktion	161.826	-
49	Strom EBS-P	2.265	48,8
50	Diesel EBS-P	242	15,8
51	Zem-HK EBS	-149.045	-
52	Einsparung Fe	-1.541	-146,4
53	Einsparung NE	-7.666	-657,1
54	Einsparung PET	-5.150	-152,3
55	Einsparung FKN/PPK	-2.821	-139,5
56	Transport Zem-HK - Zem	1.534	100,3
57	Input Zem-HK EBS	149.045	7.727,8
58	Strom	51.043	1.101,1
59	Einsparung fossil HK	-145.800	-12.840,6
60	Mix Alternativ	91.944	5.386,0
61	Einsparung Mix Alternativ	-98.936	-8.713,3
62	Mix Fossil	13.648	1.202,0
63	Summe	-385.430	-20.463,5

GS-34		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.726	2.310,2
SUMME GS-E-Me	-42.089	-3.906,2
SUMME GS-E-LVP	-156.984	-3.663,1
SUMME GS-E-Pap	-280.918	-8.888,8
SUMME GS-E-Glas	-16.686	-2.370,7
SUMME GS-E-Bio	-274	762,7
SUMME MBA-tr	4.259	-1.807,6
Transporte MBA-tr	3.921	256,4
SUMME AV-W	39.772	3.894,0
Transport AV-W - Dep-RS	257	16,8
SUMME EBS-P	-1.892	-1.030,6
Transport Zem-HK - Zem	1.534	100,3
SUMME Zementwerk	60.944	-6.137,0
Summe	-385.430	-20.463,5

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
1 Grüne Tonne	812	688,2
2 Papier	265	224,3
3 Glas	127	107,4
4 Biotonne + Gewerbe Bio	935	792,7
5 Restmüll (Nassmüll)	298	252,9
6 Einsparung Bio	-4.404	338,9
7 Energieaufwand Strom	6.961	150,2
8 Energieaufwand Diesel	1.212	79,3
9 Einsparung Glas-Rec	-19.627	-2.709,5
10 Energieaufwand Aufbereitung	151	3,3
11 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	676	44,2
12 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	26	1,7
13 Einsparung Pap-Rec	-344.591	-10.887,3
14 Energieaufwand Aufbereitung	4.002	86,3
15 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	65	4,3
16 E-Folien Rec	-26.569	-537,5
17 E-Kunststoffarten Rec	-55.785	-1.522,3
18 E-PET-Rec	-29.050	-858,8
19 E-FKN-Rec	-12.840	-634,9
20 E-Mischkunststoffe Rec	-194.207	-3.954,6
21 Einsparung FE-Rec	-35.898	-3.409,2
22 Einsparung Al-Rec	-41.868	-3.517,8
23 Einsparung Cu-Rec	-9.577	-984,0
24 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.267	27,3
25 Energieaufwand Aufbereitung NE	395	8,5
26 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	300	19,6
27 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	238	15,6
28 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	62	4,0
29 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	40	2,6
30 Strom Sortieranlage	5.006	173,6
31 Strom Diesel f. Anlage	1.029	67,3
32 Ablagerung SR-SepSieb	-	56,0
33 Abfall Input AV-R	264.852	11.048,9
34 Zusatzbrennstoff	3.151	150,2
35 Strom	-107.517	-2.319,3
36 Wärme	-131.048	-5.095,8
37 Einsparung Me-Mix	-14.759	-1.330,2
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	223	14,6
39 Input EBS-P HWR-Fraktion	160.526	-
40 Strom EBS-P	2.256	48,7
41 Diesel EBS-P	241	15,8
42 Zem-HK EBS	-157.929	-
43 Einsparung Fe	-768	-72,9
44 Einsparung NE	-955	-81,8
45 Einsparung PET	-513	-15,2
46 Einsparung FKN/PPK	-141	-6,9
47 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.684	110,1
48 Input Zem-HK EBS	157.929	7.862,9
49 Strom	56.045	1.209,0
50 Einsparung fossil HK	-154.491	-13.606,0
51 Mix Alternativ	97.424	5.707,1
52 Einsparung Mix Alternativ	-104.834	-9.232,7
53 Mix Fossil	14.462	1.273,6
54 Summe	-664.705	-30.187,6

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.437	2.065,4
SUMME GS-E-Bio	3.769	568,3
SUMME E-Glas	-18.774	-2.660,4
SUMME E-Pap	-340.524	-10.796,7
SUMME E-LVP	-318.451	-7.508,1
SUMME E-Me	-85.040	-7.833,2
Strom Sortieranlage	5.006	173,6
Strom Diesel f. Anlage	1.029	67,3
Ablagerung SR-SepSieb	-	56,0
SUMME AV-R	14.680	2.453,8
<i>Transport Schlacke AV-R</i>	223	14,6
SUMME EBS-P	2.718	-112,4
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.684	110,1
SUMME Zementwerk	66.537	-6.786,0
Summe	-664.705	-30.187,6

m%		
2,10%	VP Glas	
7,50%	VP Papier B12	
12,00%	NVP Papier B12	
1,00%	VP Folien	
2,00%	VP Hohlkörper - PE, PP	
2,85%	VP PET	
2,30%	VP Tetra-Pak	
5,50%	VP Kunststoffe unsortiert	
3,20%	NVP Kunststoffe unsortiert inkl. Hartkun	
3,70%	VP Fe - Weißblech	
0,60%	VP Aluminium	
0,62%	Buntmetalle	
2,00%	Fe SPM	
0,00%	NVP Aluminium	
0,59%	Bauschutt, Inert	
0,08%	Klein-EAG	
18,00%	Restmüll HK	
16,00%	Restmüll MK	
16,87%	Siebdurchgang BalSep	
3,09%	Sonstiges	

Mischkunststoffe (Kunststoffe unsortiert)	
Verlust	Recycelt
20%	80%

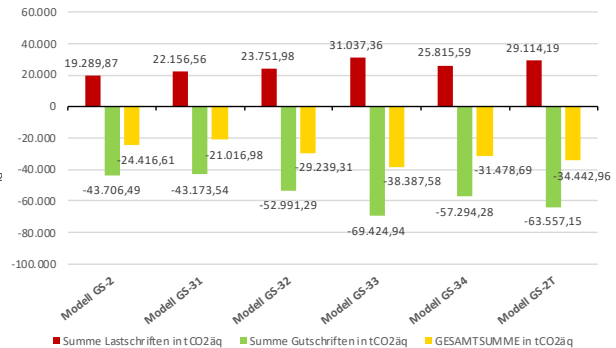
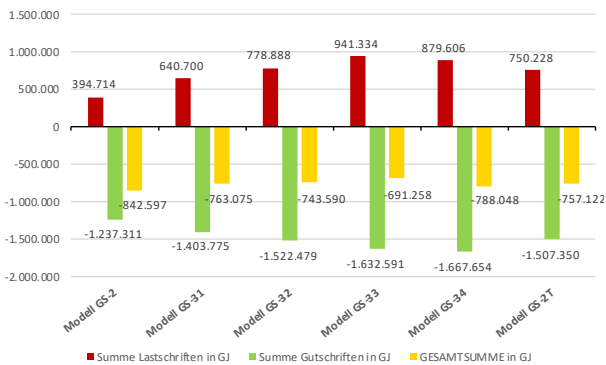
# SZENARIO SAMTEC+

INPUT	Masse	Anteil
	t	%
Metalle	2.251	2,25%
LVP	9.187	9,19%
Papier	26.971	26,97%
Glas	11.472	11,47%
Biomüll	26.097	26,10%
Restmüll	24.023	24,02%
<b>SUMME ALLER AE</b>	<b>100.000</b>	<b>100,00%</b>

MODELLEIGENSCHAFTEN			Metall-TK	LVP-TK
Wirkungsgrad AV-R	25,0%	45,0%	80,00% Fe-Fraktion	62,00% Kst-R
Wirkungsgrad AV-W	25,0%	45,0%	10,00% NE-Fraktion	30,00% SR-LVP HWR
Substitutionsgrad Zem	95,00%		10,00% SR-Me	8,00% SR-LVP

samtec+ 2-34 fertiggestellt und kontrolliert am 26.8.20 um 11:40

"samtec+"	GJ		t CO <sub>2</sub> äq		GJ		t CO <sub>2</sub> äq	
	Summe Lastschriften in GJ	Summe Lastschriften in tCO <sub>2</sub> äq	Summe Gutschriften in GJ	Summe Gutschriften in tCO <sub>2</sub> äq	GESAMTSUMME E in GJ	GESAMTSUMME E in tCO <sub>2</sub> äq		
Modell GS-2	394.714	19.289,87	-1.237.311	-43.706,49	-842.597	-24.416,61		
Modell GS-31	640.700	22.156,56	-1.403.775	-43.173,54	-763.075	-21.016,98		
Modell GS-32	778.888	23.751,98	-1.522.479	-52.991,29	-743.590	-29.239,31		
Modell GS-33	941.334	31.037,36	-1.632.591	-69.424,94	-691.258	-38.387,58		
Modell GS-34	879.606	25.815,59	-1.667.654	-57.294,28	-788.048	-31.478,69		
Modell GS-2T	750.228	29.114,19	-1.507.350	-63.557,15	-757.122	-34.442,96		



GS-2		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	280	237,4
2 Sammlung LVP	429	363,3
3 Sammlung Papier	559	474,0
4 Sammlung Glas	402	340,3
5 Sammlung Biomüll	812	687,9
6 Sammlung Restmüll	498	422,2
7 Einsparung FE-Rec	-29.533	-2.804,8
8 Einsparung NE-Rec	-22.951	-1.967,4
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.042	22,5
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	156	3,4
11 <i>Transport Met-Um – Gr-Sh</i>	245	16,0
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	196	12,8
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	24	1,6
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	28	1,8
15 Einsparung Kst-Rec	-349.014	-8.210,3
16 Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17 <i>Transport LVP-S – EBS-P</i>	170	11,1
18 <i>Transport LVP-S – Kst-R</i>	1.408	92,1
19 <i>Transport LVP-S – AV-W</i>	50	3,3
20 <i>Transport Kst-R – AV-W</i>	106	6,9
21 Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22 Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23 <i>Transport Pap-S – Pap-F</i>	871	57,0
24 <i>Transport Pap-S – AV-W</i>	138	9,0
25 Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26 Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27 <i>Transport Gl-Um – Gl-S</i>	1.248	81,6
28 <i>Transport Gl-S – AV-W</i>	82	5,4
29 Einsparung Bio	-7.462	574,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31 Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	89	5,8
33 Abfall Input AV-R	364.657	15.230,5
34 Zusatzbrennstoff	4.339	206,8
35 Strom	-148.033	-3.193,3
36 Wärme	-180.431	-7.016,1
37 Einsparung Me-Mix	-19.335	-1.742,7
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	292	19,1
39 <b>Summe</b>	<b>-842.597</b>	<b>-24.416,6</b>

GS-2		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-50.793	-4.714,0
SUMME GS-E-LVP	-343.522	-8.015,8
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME AV-R	21.197	3.485,3
<i>Transport Schlacke AV-R</i>	292	19,1
<b>Summe</b>	<b>-842.597</b>	<b>-24.416,6</b>

GS-31		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	280	237,4
2 Sammlung LVP	429	363,3
3 Sammlung Papier	559	474,0
4 Sammlung Glas	402	340,3
5 Sammlung Biomüll	812	687,9
6 Sammlung Restmüll	498	422,2
7 Einsparung FE-Rec	-29.533	-2.804,8
8 Einsparung NE-Rec	-22.951	-1.967,4
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.042	22,5
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	156	3,4
11 <i>Transport Met-Um – Gr-Sh</i>	245	16,0
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	196	12,8
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	24	1,6
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	28	1,8
15 Einsparung Kst-Rec	-349.014	-8.210,3
16 Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17 <i>Transport LVP-S – EBS-P</i>	170	11,1
18 <i>Transport LVP-S – Kst-R</i>	1.408	92,1
19 <i>Transport LVP-S – AV-W</i>	50	3,3
20 <i>Transport Kst-R – AV-W</i>	106	6,9
21 Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22 Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23 <i>Transport Pap-S – Pap-F</i>	871	57,0
24 <i>Transport Pap-S – AV-W</i>	138	9,0
25 Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26 Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27 <i>Transport Gl-Um – Gl-S</i>	1.248	81,6
28 <i>Transport Gl-S – AV-W</i>	82	5,4
29 Einsparung Bio	-7.462	574,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31 Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	89	5,8
33 Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34 Strom MBA	7.892	170,2
35 Diesel MBA	1.582	103,5
36 Prozessemissionen CH4, N2O MB	-	580,3
37 MBA Output MK	-180.234	-
38 MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
39 Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
40 <i>Transport MBA - AV-W</i>	1.767	115,6
41 <b>Abfall Input AV-W</b>	351.345	17.062,3
42 Zusatzbrennstoff	4.181	199,3
43 Strom	-142.629	-3.076,7
44 Wärme	-173.844	-6.759,9
45 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	206	13,4
46 Summe	-763.075	-21.017,0

GS-31		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-50.793	-4.714,0
SUMME GS-E-LVP	-343.522	-8.015,8
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
<i>Transporte MBA</i>	1.767	115,6
SUMME AV-W	39.053	7.424,9
<i>Transport AV-W - Dep-R</i>	206	13,4
Summe	-763.075	-21.017,0



GS-32			
	GJ	t CO2äq	
1	Sammlung Metalle	280	237,4
2	Sammlung LVP	429	363,3
3	Sammlung Papier	559	474,0
4	Sammlung Glas	402	340,3
5	Sammlung Biomüll	812	687,9
6	Sammlung Restmüll	498	422,2
7	Einsparung FE-Rec	-29.533	-2.804,8
8	Einsparung NE-Rec	-22.951	-1.967,4
9	Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.042	22,5
10	Energieaufwand Aufbereitung NE	156	3,4
11	Transport Met-Um – Gr-Sh	245	16,0
12	Transport Gr-Sh - FE-Ind	196	12,8
13	Transport Po-Sh - NE-Ind	24	1,6
14	Transport SR-Me - AV-W	28	1,8
15	Einsparung Kst-Rec	-349.014	-8.210,3
16	Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17	Transport LVP-S – EBS-P	170	11,1
18	Transport LVP-S – Kst-R	1.408	92,1
19	Transport LVP-S – AV-W	50	3,3
20	Transport Kst-R – AV-W	106	6,9
21	Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22	Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23	Transport Pap-S – Pap-F	871	57,0
24	Transport Pap-S – AV-W	138	9,0
25	Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26	Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27	Transport Gl-Um – Gl-S	1.248	81,6
28	Transport Gl-S – AV-W	82	5,4
29	Einsparung Bio	-7.462	574,1
30	Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31	Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32	Transport Bio-K - AV-W	89	5,8
33	Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34	Strom MBA	7.892	170,2
35	Diesel MBA	1.582	103,5
36	Prozessemissionen CH4, N2O MB	-	580,3
37	MBA Output MK	-131.226	-
38	MBA Output EBS-P	-49.007	-
39	MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
40	Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
41	Transport MBA - AV-W	1.411	92,3
42	Transport MBA - EBS-P	178	11,7
43	Abfall Input AV-W	199.862	8.929,1
44	Zusatzbrennstoff	2.378	113,4
45	Strom	-81.134	-1.750,2
46	Wärme	-98.891	-3.845,4
47	Transport AV-W - Dep-RS	141	9,2
48	Input EBS-P HWR-Fraktion	100.341	-
49	Strom EBS-P	1.359	29,3
50	Diesel EBS-P	145	9,5
51	Zem-HK EBS	-92.673	-
52	Einsparung Fe	-925	-87,8
53	Einsparung NE	-4.599	-394,3
54	Einsparung PET	-3.090	-91,3
55	Einsparung FKN/PPK	-1.692	-83,7
56	Transport Zem-HK - Zem	920	60,2
57	Input Zem-HK EBS	92.673	4.974,5
58	Strom	30.624	660,6
59	Einsparung fossil HK	-90.655	-7.984,0
60	Mix Alternativ	57.169	3.348,9
61	Einsparung Mix Alternativ	-61.516	-5.417,7
62	Mix Fossil	8.486	747,4
63	Summe	-743.590	-29.239,3

GS-32		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-50.793	-4.714,0
SUMME GS-E-LVP	-343.522	-8.015,8
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
Transporte MBA	1.589	103,9
SUMME AV-W	22.215	3.446,9
Transport AV-W - Dep-R	141	9,2
SUMME EBS-P	-1.135	-618,3
Transport Zem-HK - Zem	920	60,2
SUMME Zementwerk	36.780	-3.670,3
Summe	-743.590	-29.239,3

GS-33		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	280	237,4
2 Sammlung LVP	429	363,3
3 Sammlung Papier	559	474,0
4 Sammlung Glas	402	340,3
5 Sammlung Biomüll	812	687,9
6 Sammlung Restmüll	498	422,2
7 Einsparung FE-Rec	-29.533	-2.804,8
8 Einsparung NE-Rec	-22.951	-1.967,4
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.042	22,5
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	156	3,4
11 <i>Transport Met-Um – Gr-Sh</i>	245	16,0
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	196	12,8
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	24	1,6
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	28	1,8
15 Einsparung Kst-Rec	-349.014	-8.210,3
16 Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17 <i>Transport LVP-S – EBS-P</i>	170	11,1
18 <i>Transport LVP-S – Kst-R</i>	1.408	92,1
19 <i>Transport LVP-S – AV-W</i>	50	3,3
20 <i>Transport Kst-R – AV-W</i>	106	6,9
21 Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22 Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23 <i>Transport Pap-S – Pap-F</i>	871	57,0
24 <i>Transport Pap-S – AV-W</i>	138	9,0
25 Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26 Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27 <i>Transport Gl-Um – Gl-S</i>	1.248	81,6
28 <i>Transport Gl-S – AV-W</i>	82	5,4
29 Einsparung Bio	-7.462	574,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31 Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	89	5,8
33 Abfall Input MBA aerob	248.301	-
34 Strom MBA	7.892	170,2
35 Diesel MBA	1.582	103,5
36 Prozessemissionen CH4, N2O MB	-	580,3
37 MBA Output MK	-131.226	-
38 MBA Output EBS-P	-49.007	-
39 MBA Einsparung Me-mix	-17.557	-1.582,4
40 Ablagerung Rottefraktion MBA	-	78,6
41 <i>Transport MBA-Zem</i>	2.116	138,4
42 <i>Transport MBA - EBS-P</i>	178	11,7
43 Input EBS-P HWR-Fraktion	100.341	-
44 Strom EBS-P	1.359	29,3
45 Diesel EBS-P	145	9,5
46 Zem-HK EBS	-92.673	-
47 Einsparung Fe	-925	-87,8
48 Einsparung NE	-4.599	-394,3
49 Einsparung PET	-3.090	-91,3
50 Einsparung FKN/PPK	-1.692	-83,7
51 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	920	60,2
52 <b>Abfall Input AV-W</b>	68.635	2.719,6
53 Zusatzbrennstoff	817	38,9
54 Strom	-27.862	-601,0
55 Wärme	-33.960	-1.320,6
56 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	52	3,4
57 Input Zem-HK EBS	92.673	4.974,5
58 Input MBA Output MK	131.226	6.209,5
59 Strom	101.046	2.179,7
60 Einsparung fossil HK	-90.655	-7.984,0
61 Einsparung fossil MK	-141.206	-12.436,0
62 Mix Alternativ	138.120	8.091,0
63 Einsparung Mix Alternativ	-148.625	-13.089,3
64 Mix Fossil	20.503	1.805,7
65 <b>Summe</b>	<b>-691.258</b>	<b>-38.387,6</b>

GS-33		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-50.793	-4.714,0
SUMME GS-E-LVP	-343.522	-8.015,8
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA aerob	59.985	-649,9
<i>Transporte MBA</i>	2.295	150,0
SUMME EBS-P	-1.135	-618,3
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	920	60,2
SUMME AV-W	7.629	836,9
<i>Transport AV-W - Dep-R</i>	52	3,4
SUMME Zementwerk	103.082	-10.248,9
<b>Summe</b>	<b>-691.258</b>	<b>-38.387,6</b>

GS-34		
	GJ	t CO2äq
1 Sammlung Metalle	280	237,4
2 Sammlung LVP	429	363,3
3 Sammlung Papier	559	474,0
4 Sammlung Glas	402	340,3
5 Sammlung Biomüll	812	687,9
6 Sammlung Restmüll	498	422,2
7 Einsparung FE-Rec	-29.533	-2.804,8
8 Einsparung NE-Rec	-22.951	-1.967,4
9 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.042	22,5
10 Energieaufwand Aufbereitung NE	156	3,4
11 <i>Transport Met-Um – Gr-Sh</i>	245	16,0
12 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	196	12,8
13 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	24	1,6
14 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	28	1,8
15 Einsparung Kst-Rec	-349.014	-8.210,3
16 Energieaufwand Aufbereitung	3.757	81,0
17 <i>Transport LVP-S – EBS-P</i>	170	11,1
18 <i>Transport LVP-S – Kst-R</i>	1.408	92,1
19 <i>Transport LVP-S – AV-W</i>	50	3,3
20 <i>Transport Kst-R – AV-W</i>	106	6,9
21 Einsparung Pap-Rec	-446.838	-14.117,8
22 Energieaufwand Aufbereitung	5.463	117,8
23 <i>Transport Pap-S – Pap-F</i>	871	57,0
24 <i>Transport Pap-S – AV-W</i>	138	9,0
25 Einsparung Glas-Rec	-33.713	-4.654,2
26 Energieaufwand Aufbereitung	279	6,0
27 <i>Transport Gl-Um – Gl-S</i>	1.248	81,6
28 <i>Transport Gl-S – AV-W</i>	82	5,4
29 Einsparung Bio	-7.462	574,1
30 Energieaufwand Aufbereitung	6.041	130,3
31 Energieaufwand Diesel	1.052	68,8
32 <i>Transport Bio-K - AV-W</i>	89	5,8
33 Abfall Input MBA-tr	248.301	-
34 Strom MBA-tr	5.000	107,9
35 Diesel MBA-tr	1.582	103,5
36 Prozessemissionen CH4, N2O	-	410,8
37 MBA-tr Output MK	-	-
38 MBA-tr Output EBS-P	-73.511	-
39 MBA-tr Einsparung Me-Mix	-17.557	-1.582,4
40 MBA-tr Output Trocknung	-161.553	-
41 <i>Transport MBA - EBS-P</i>	267	17,5
42 <i>Transport MBA - AV-W</i>	1.816	118,7
43 <b>Abfall Input AV-W</b>	231.112	8.908,3
44 Zusatzbrennstoff	2.750	131,1
45 Strom	-93.820	-2.023,8
46 Wärme	-114.354	-4.446,6
47 <i>Transport AV-W - Dep-RS</i>	167	11,0
48 Input EBS-P HWR-Fraktion	124.844	-
49 Strom EBS-P	1.706	36,8
50 Diesel EBS-P	183	11,9
51 Zem-HK EBS	-115.217	-
52 Einsparung Fe	-1.161	-110,3
53 Einsparung NE	-5.775	-495,0
54 Einsparung PET	-3.880	-114,7
55 Einsparung FKN/PPK	-2.125	-105,1
56 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.156	75,6
57 Input Zem-HK EBS	115.217	6.127,0
58 Strom	38.452	829,5
59 Einsparung fossil HK	-112.708	-9.926,2
60 Mix Alternativ	71.076	4.163,6
61 Einsparung Mix Alternativ	-76.481	-6.735,7
62 Mix Fossil	10.551	929,2
63 Summe	-788.048	-31.478,7

GS-34		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.980	2.525,1
SUMME GS-E-Me	-50.793	-4.714,0
SUMME GS-E-LVP	-343.522	-8.015,8
SUMME GS-E-Pap	-440.366	-13.934,0
SUMME GS-E-Glas	-32.104	-4.561,2
SUMME GS-E-Bio	-280	779,0
SUMME MBA-tr	2.263	-960,3
<i>Transporte MBA-tr</i>	2.083	136,2
SUMME AV-W	25.689	2.568,9
<i>Transport AV-W - Dep-R</i>	167	11,0
SUMME EBS-P	-1.425	-776,3
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.156	75,6
SUMME Zementwerk	46.105	-4.612,6
Summe	-788.048	-31.478,7

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
1 Grüne Tonne	871	738,1
2 Papier	332	281,2
3 Glas	140	118,6
4 Biotonne + Gewerbe Bio	964	817,2
5 Restmüll (Nassmüll)	145	123,0
6 Einsparung Bio	-4.540	349,3
7 Energieaufwand Strom	7.176	154,8
8 Energieaufwand Diesel	1.250	81,7
9 Einsparung Glas-Rec	-21.392	-2.953,3
10 Energieaufwand Aufbereitung	165	3,5
11 <i>Transport Gl-Um - Gl-S</i>	737	48,2
12 <i>Transport Gl-S - AV-W</i>	29	1,9
13 Einsparung Pap-Rec	-407.910	-12.887,9
14 Energieaufwand Aufbereitung	4.738	102,2
15 <i>Transport Pap-S - AV-W</i>	82	5,3
16 E-Folien Rec	-28.497	-576,6
17 E-Kunststoffarten Rec	-59.833	-1.632,7
18 E-PET-Rec	-31.158	-921,1
19 E-FKN-Rec	-13.772	-680,9
20 E-Mischkunststoffe Rec	-208.298	-4.241,6
21 Einsparung FE-Rec	-38.502	-3.656,6
22 Einsparung Al-Rec	-44.906	-3.773,0
23 Einsparung Cu-Rec	-10.272	-1.055,4
24 Energieaufwand Aufbereitung Fe	1.359	29,3
25 Energieaufwand Aufbereitung NE	423	9,1
26 <i>Transport Met-Um - Gr-Sh</i>	322	21,0
27 <i>Transport Gr-Sh - FE-Ind</i>	255	16,7
28 <i>Transport Po-Sh - NE-Ind</i>	66	4,3
29 <i>Transport SR-Me - AV-W</i>	43	2,8
30 Strom Sortieranlage	4.667	161,8
31 Strom Diesel f. Anlage	960	62,8
32 Ablagerung SR-SepSieb	-	60,1
33 Abfall Input AV-R	196.833	8.393,9
34 Zusatzbrennstoff	2.342	111,6
35 Strom	-79.904	-1.723,6
36 Wärme	-97.392	-3.787,1
37 Einsparung Me-Mix	-10.895	-981,9
38 <i>Transport Schlacke AV-R-RS-Dep</i>	165	10,8
39 Input EBS-P HWR-Fraktion	172.174	-
40 Strom EBS-P	2.419	52,2
41 Diesel EBS-P	259	16,9
42 Zem-HK EBS	-169.389	-
43 Einsparung Fe	-823	-78,2
44 Einsparung NE	-1.024	-87,8
45 Einsparung PET	-550	-16,3
46 Einsparung FKN/PPK	-151	-7,5
47 <i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.807	118,1
48 Input Zem-HK EBS	169.389	8.433,5
49 Strom	60.112	1.296,7
50 Einsparung fossil HK	-165.701	-14.593,2
51 Mix Alternativ	104.494	6.121,2
52 Einsparung Mix Alternativ	-112.440	-9.902,6
53 Mix Fossil	15.511	1.366,1
54 Summe	-757.122	-34.443,0

GS-2T		
	GJ	t CO2äq
SUMME Sammlung	2.452	2.078,2
SUMME GS-E-Bio	3.886	585,9
SUMME E-Glas	-20.462	-2.899,7
SUMME E-Pap	-403.091	-12.780,4
SUMME E-LVP	-341.559	-8.052,9
SUMME E-Me	-91.211	-8.401,6
Strom Sortieranlage	4.667	161,8
Strom Diesel f. Anlage	960	62,8
Ablagerung SR-SepSieb	-	60,1
SUMME AV-R	10.984	2.012,9
<i>Transport Schlacke AV-R</i>	165	10,8
SUMME EBS-P	2.916	-120,6
<i>Transport Zem-HK - Zem</i>	1.807	118,1
SUMME Zementwerk	71.365	-7.278,4
Summe	-757.122	-34.443,0

m%	
2,10%	VP Glas
7,50%	VP Papier B12
12,00%	NVP Papier B12
1,00%	VP Folien
2,00%	VP Hohlkörper - PE, PP
2,85%	VP PET
2,30%	VP Tetra-Pak
5,50%	VP Kunststoffe unsortiert
3,20%	NVP Kunststoffe unsortiert inkl. Har
3,70%	VP Fe - Weißblech
0,60%	VP Aluminium
0,62%	Buntmetalle
2,00%	Fe SPM
0,00%	NVP Aluminium
0,59%	Bauschutt, Inert
0,08%	Klein-EAG
18,00%	Restmüll HK
16,00%	Restmüll MK
16,87%	Siebdurchgang BalSep
3,09%	Sonstiges

Mischkunststoffe (Kunststoffe unsortiert)	
Verlust	20%
Recycelt	80%