

Modellgestützte Stoffflussanalyse der Ersatzbrennstoffherstellung aus gemischten Gewerbeabfällen

Asja Mrotzek

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT),
Oberhausen

Modelbased material flow analysis of RDF-production

Abstract

Since June 2005 it is not allowed to deposit untreated wastes on landfills. Therefore, investors built several plants to pre-treat waste and to produce refuse derived fuels (RDF) of wastes. RDF is used in the co-combustion in cement kilns and power plants and also in mono-incineration plants. This article shows first results of a modelbased simulation of the RDF-production process.

Abstract deutsch

Aufgrund des Ablagerungsverbots für unvorbehandelte Abfälle sind vermehrt Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus vermischten Abfällen gebaut worden. Ersatzbrennstoffe können entweder in Mitverbrennungsprozessen (Zementwerke, Kraftwerke) oder in Monoverbrennungsanlagen eingesetzt werden. Dieser Artikel zeigt erste Ergebnisse einer modellbasierten Simulation der Aufbereitungsprozesse von gemischten Abfällen zu Ersatzbrennstoffen.

Keywords

Ersatzbrennstoffe, Stoffflussanalyse, Gewerbeabfälle, TASI, Aufbereitung, Abfallablagereungsverordnung, Prozesssimulation

1 Einleitung

Zum 01.06.2005 wurden Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus Abfällen geplant und zeitnah in Betrieb genommen. Die Ersatzbrennstoffe werden in Zement- oder Kraftwerken energetisch verwertet. Mit der Erhöhung der Substitution von Regelbrennstoffen durch Ersatzbrennstoffe auf bis zu 80% der Feuerwärmeleistung (FWL) sind die Anforderungen an den Brennstoff insbesondere beim Chlorgehalt ($< 0,7\%$) und Heizwert ($> 21\text{ MJ/kg}$) gestiegen. Diese gestiegenen Anforderungen konnten bei der Planung vieler Anlagen nicht berücksichtigt werden, so dass bei der Inbetriebnahme nicht in allen Fällen alle Anforderungen an den EBS erfüllt worden sind. Durch Nachrüstungen bei der Anlagentechnik und Umstellungen beim Stoffstrommanagement können die Anforderungen heute überwiegend eingehalten werden. Die Herstellung eines dauerhaften qualitativ hochwertigen Brennstoffs ist gerade in der heutigen Marktsituation (Überkapazitäten an EBS) für den kontinuierlichen Absatz der Ersatzbrennstoffe entscheidend.

In diesem Artikel wird ein Verfahren zur modellgestützten Stoffflussanalyse der Ersatzbrennstoffherstellung vorgestellt. In Abhängigkeit von der Abfallzusammensetzung und der Anlagentechnik wird der Aufbereitungsprozess mit dem Modell simuliert und die Outputmengen und -qualitäten prognostiziert.

2 Aufbereitung und Einsatz von Ersatzbrennstoffen

2.1 Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen

Nach den Vorgaben des Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetzes (§ 4 (4)) beinhaltet die energetische Verwertung den Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff, wenn folgende Kriterien nach § 6 (2) eingehalten werden:

- Heizwert mindestens 11.000 kJ/kg,
- Feuerungswirkungsgrad mindestens 75%,
- Nutzung oder Abgabe der entstehenden Wärme,
- Ablagerung von bei der Verwertung anfallenden weiteren Abfällen nach Möglichkeit ohne weitere Behandlung.

Neben der Bezeichnung „Ersatzbrennstoff“ des KrW-/AbfG existieren noch vielfache weitere Bezeichnungen und Produktnamen für Brennstoffe, welche aus Abfällen hergestellt werden. Hierzu zählen u.a.

- BRAM – Brennstoff aus Müll,
- SBS[®] - Substitutbrennstoff (Markenname der RWE Umwelt für Brennstoffe aus Siedlungsabfällen),
- BPG[®] - Brennstoff aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen (Markenname der RWE Umwelt),
- Sekundärbrennstoff,
- RDF – Refuse derived fuel,
- HKF – Hochkalorische Fraktion,
- u.v.m.

Neben der Bezeichnung unterscheiden sich Ersatzbrennstoffe auch erheblich in Art und Umfang der Aufbereitung sowie in ihren physikalischen, chemischen und verbrennungstechnischen Eigenschaften. Die Anforderungen an den Brennstoff werden durch die anschließende Verwertung vorgegeben. Diese Anforderungen müssen bei der Aufberei-

tung des Ersatzbrennstoffs erfüllt werden. So werden bei der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen andere Ansprüche an den Brennstoff gestellt als bei der Monoverbrennung. Durch die Kapazitätsprobleme nach dem 01.06.2005 sind verstärkt die Planungen von Monoverbrennungsanlagen für heizwertreiche Abfälle, sogenannte EBS-Kraftwerke, in Diskussion. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, Ersatzbrennstoffe nach ihrem Absatzweg in hochkalorische (Zement- und Kraftwerke) und mittelkalorische Ersatzbrennstoffe (EBS-Kraftwerke) einzuteilen.

2.2 Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen

Der technische Aufwand der Aufbereitung richtet sich nach dem späteren Verwendungsweg für die Ersatzbrennstoffe und nach den eingesetzten Abfällen. Bei relativ homogenen Produktionsabfällen, die auch seitens ihrer chemischen und verbrennungstechnischen Eigenschaften für eine Mit- oder Monoverbrennung geeignet sind, besteht die Aufbereitung in der Regel aus Zerkleinerungsprozessen. Je heterogener die Abfallströme sind, desto größer sind die Anforderungen an die Technik bei der Aufbereitung. Neben einer mehrstufigen Zerkleinerung sind verschiedene Sortier- und Klassierprozesse für die Herstellung eines qualitativ hochwertigen Brennstoffs notwendig. Aufgrund des verstärkten Sortieraufwands steigen auch die Mengen der Outputströme, die nicht für den Brennstoffeinsatz geeignet sind. In Abbildung 1 ist ein beispielhafter Aufbereitungsprozess für gemischte Abfälle dargestellt.

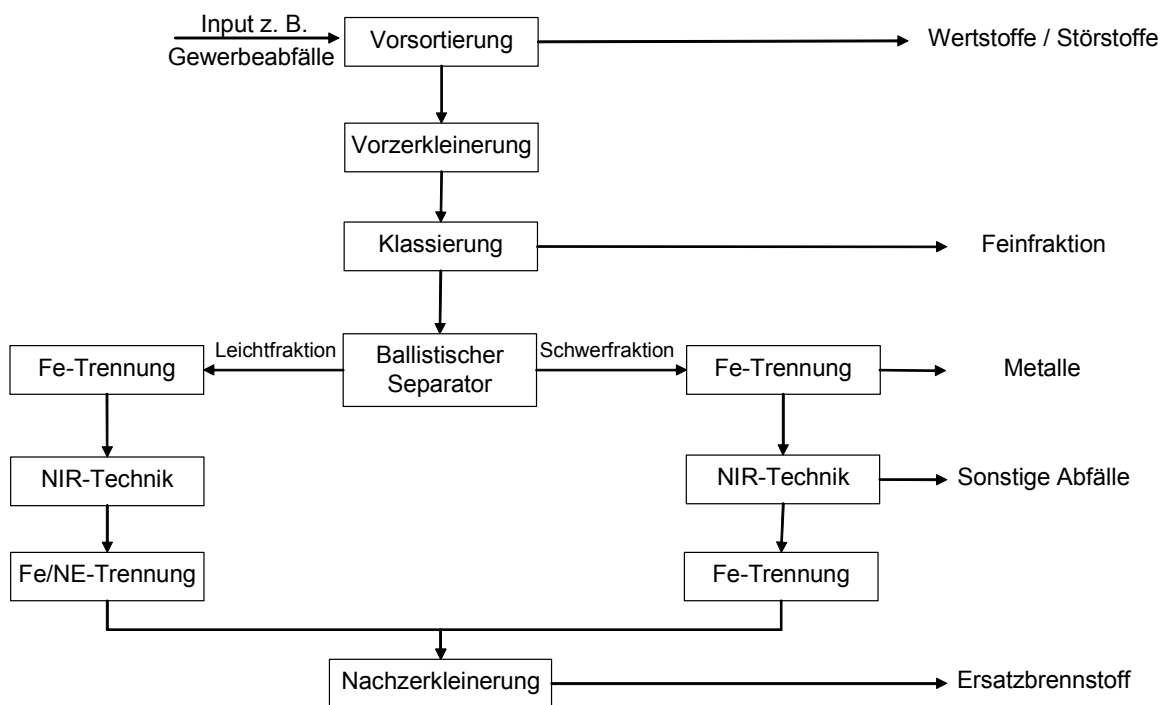


Abbildung 1 Verfahrensschema der EBS-Aufbereitung

In den EBS-Aufbereitungsanlagen werden die Abfälle in einer Vorsortierung von groben Störstoffen befreit und dann vorzerkleinert. Nach der Vorzerkleinerung erfolgt in der Regel zur Entlastung der nachfolgenden Anlagentechnik die Absiebung einer Feinfraktion (zwischen 15 und 50 mm). Diese Feinfraktion kann, abhängig vom Inputmaterial, schon eine erste Senke für Schadstoffe darstellen. Im Anschluss folgt die Aufteilung in eine heizwertreiche und eine heizwertärmere Fraktion. Hier werden neben Windsichtern auch ballistische Separatoren eingesetzt. Die Abreicherung von chlorhaltigen Materialien erfolgt über NIR-Technik. Dabei werden entweder als Brennstoff geeignete Materialien erfasst oder chlorhaltige Fraktionen aus dem Aufbereitungsprozess ausgeschleust. An mehreren Stellen des EBS-Aufbereitungsprozesses werden Eisen- und Nichteisenmetalle abgetrennt. Nach den Sortierprozessen werden die Ersatzbrennstoffe auf ihre Endkorngröße (ca. 15 bis 30 mm) zerkleinert. Bei der Aufbereitung von feuchten Abfallarten (z. B. Siedlungsabfälle) ist der Einsatz einer Trocknung zur Reduzierung des Wassergehalts im Ersatzbrennstoff notwendig.

2.3 Einsatz von Ersatzbrennstoffen

Ersatzbrennstoffe werden in der Mitverbrennung in Zement- und Kraftwerken sowie zukünftig vermehrt in EBS-Kraftwerken eingesetzt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anforderungen der einzelnen Verwertungsprozesse an den Ersatzbrennstoff.

Tabelle 1 Anforderungen an Ersatzbrennstoffe

	Einheit	Zementwerk	Kraftwerk	EBS-Kraftwerk
Heizwert	kJ/kg	> 20.000	> 18.000	12.000-16.000
Wassergehalt	Gew.-%	< 15	< 15 -25	< 30
Asche	Gew.-%	< 15	<15 -20	< 25
Chlor	Gew.-%	< 1	0,5 - 1,5	< 1 - 1,5
Schwermetalle	mg/kg _{TS}	nach BGS ¹	nach BGS ¹	

2.3.1 EBS-Einsatz in Zementwerken

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie ist auf den hohen Energieverbrauch bei der Herstellung von Zement zurückzuführen. Der theoretische thermische Energiebedarf liegt bei etwa 3 MJ pro produzierten Kilogramm Klinker. In den letzten Jahren ist der spezifische Energiebedarf optimiert worden. Eine weitere Optimierung

¹ Grenzwerte für Schwermetallgehalte für Ersatzbrennstoffe sind durch die Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe festgelegt (siehe www.bgs-ev.de)

des Energiebedarfs ist mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln nicht möglich (SCHMIDL, 2004).

Die Anforderungen an den Ersatzbrennstoff aus der Sicht der Zementindustrie richten sich an Form und Schadstoffgehalt sowie an die chemische Zusammensetzung der Brennstoffe. Die chemische Zusammensetzung spielt für die Rezeptur des Rohmehls eine entscheidende Rolle, da die Asche des Verbrennungsprozesses mit in den Klinker eingebunden wird. So wird bei einem hohen Eisenanteil im EBS (z. B. Altreifen) die Rezeptur des Rohmehls entsprechend eisenarm eingestellt. Die Form der Brennstoffe ist abhängig vom Einsatz der Brennstoffe im Drehrohr. Im Brennerkopf (Erstfeuerung: 2.000 °C) werden blasfähige Ersatzbrennstoffe wie Fluff und Tiermehl eingesetzt, während stückige Brennstoffe wie Altreifen und Pellets in der Zweitfeuerung bei der Calcination (ca. 850 °C) eingesetzt werden.

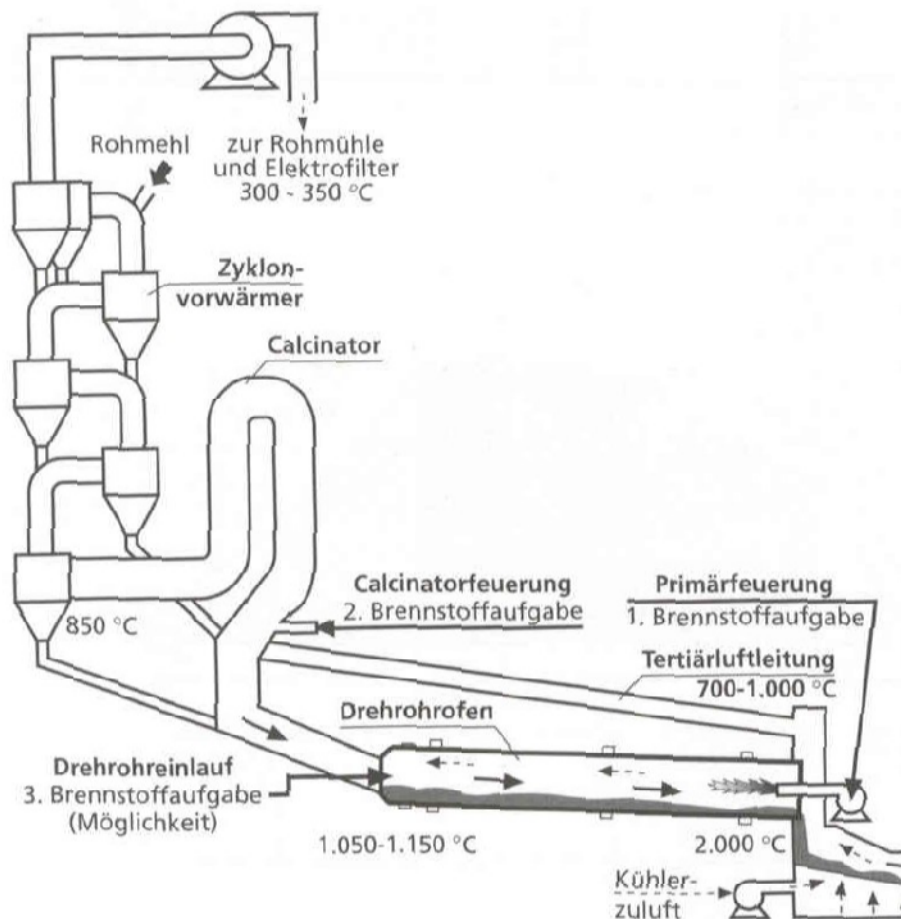


Abbildung 2 EBS-Einsatz im Zementwerk (THOMÉ-KOZMIENSKY, 2002)

2.3.2 EBS-Einsatz im Kraftwerk

Beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Kraftwerken muss die Mitverbrennung derart erfolgen, dass der Prozess der Stromerzeugung nicht negativ beeinflusst wird. Dies betrifft insbesondere die dampf- und rauchgasseitigen Betriebsparameter, die Emissi-

ongrenzwerte und die nachgelagerten Verwertungswege für Nebenerzeugnisse (z. B. Aschen). In Kraftwerken werden bereits seit einigen Jahren Ersatzbrennstoffe wie Tiermehl oder Papierschlämme eingesetzt. Ersatzbrennstoffe aus gemischten Abfällen werden vereinzelt im Versuchs- oder bereits im Dauerbetrieb eingesetzt. Dabei werden die Ersatzbrennstoffe entweder in den Kohlenmühlen mit der Kohle vermischt oder getrennt über den Brennerkopf in die Kohlenstaubflamme eingeblasen und mitverbrannt. Hierfür sind besondere Anforderungen an den Ersatzbrennstoff zu stellen. Dabei richten sich die Anforderungen vor allem an die Förderfähigkeit und das Zünd- und Ausbrandverhalten der Brennstoffe. Die maximale Korngröße liegt bei etwa 20 mm. Des Weiteren sind Voraussetzungen für eine pneumatische Förderung ein niedriger Asche- und Wassergehalt. Als störend haben sich Metalle, Hartkunststoffe, Holz und Styropor erwiesen.

Negative Auswirkungen auf die Emissionen sind bisher nicht aufgetreten. Ergebnisse bei Messungen des Kraftwerks Jänschwalde ergaben keine Emissionsänderungen bei allen anorganischen und organischen Bestandteilen. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass alle organischen Schadstoffe (Dioxine, Furane, PAK) wirkungsvoll in der Feuerung zerstört und die Schwermetalle überwiegend im E-Filter und in der Rauchgasentschwefelungsanlage abgeschieden werden (SIDAF, 2004).

2.3.3 EBS-Einsatz in Monoverbrennungsanlagen

Neben der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Zement- oder Kraftwerken werden Ersatzbrennstoffe zukünftig auch vermehrt in Monoverbrennungsanlagen energetisch genutzt. Zurzeit werden mehrere Projekte für EBS-Kraftwerke mit unterschiedlichen Kapazitäten geplant. Bei den Planungen werden vorwiegend zwei technische Feuerungskonzepte verfolgt: Zum einen die Verbrennung der mittelkalorischen Ersatzbrennstoffe auf einem wassergekühlten Rost, zum anderen der Einsatz einer Wirbelschichtfeuerung. Bei den Fragestellungen der Anlagengröße, der einzusetzenden Brennstoffe und der Anlagentechnik wird vor allem die betriebswirtschaftliche Betrachtung dieser Anlagen ausschlaggebend sein, wobei das Umfeld der Anlage wichtig ist. So stellt sich die Frage: Besteht eine Möglichkeit der Wärmeabgabe und können durch Einsatz von Ersatzbrennstoffen primäre Brennstoffe wie Erdgas oder Erdöl ersetzt werden?

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde am Standort der Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik, in Zusammenarbeit mit Industriepartnern und dem Fraunhofer Institut UMSICHT die Versuchsanlage MARS[®] errichtet. Die Verbrennungsanlage besteht aus einem wassergekühlten Rostsystem, das aufgrund der Kühlung auch für höhere Heizwerte einsetzbar ist. Zurzeit wird die Anlage um ein System zur Wärmeauskopplung (Thermoölübertrager) und eine Filtersystem mit Additiveindüsung erweitert. Erste Versuche nach den Umbaumaßnah-

men zur energetischen Nutzung von mittel- und hochkalorischen Ersatzbrennstoffen sind für den April 2006 geplant. Das Verfahrensschema der MARS[®]-Anlage nach den Umbaumaßnahmen ist in Abbildung 3 dargestellt.

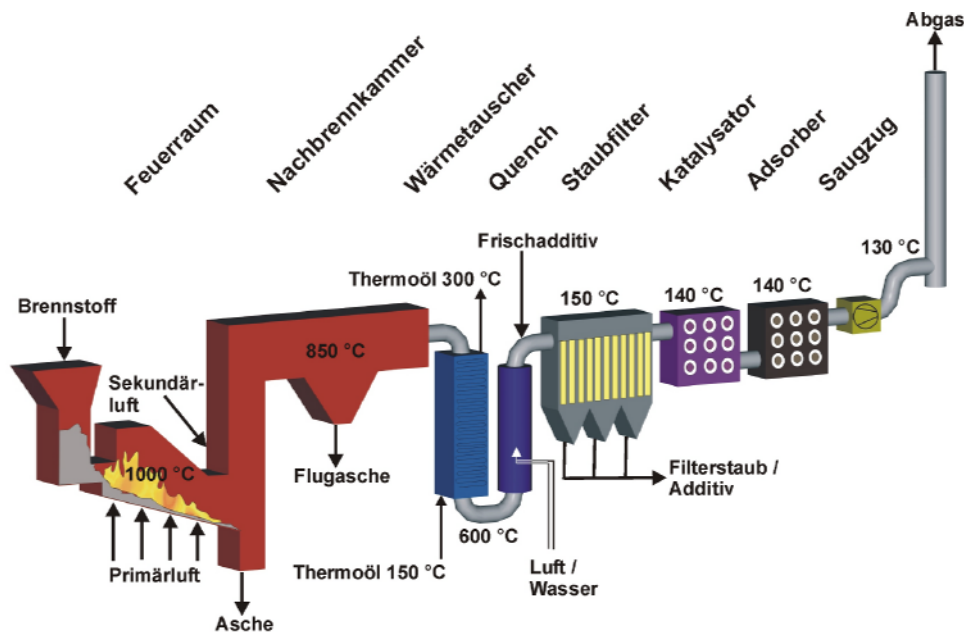


Abbildung 3 Verfahrensschema der MARS[®]-Anlage

3 Modellierung der EBS-Herstellung in MS[®] Excel[®]

Ziel der modellgestützten Stoffflussanalyse ist die Entwicklung eines Vorhersagemodells für Stoffströme und Produktqualitäten bei der Aufbereitung von Abfällen zu Ersatzbrennstoffen. Dazu wurde der Aufbereitungsprozess mit den einzelnen Aufbereitungstechniken in einem MS[®] Excel[®]-Modell abgebildet. Ausgehend von der Inputzusammensetzung, sollen über Transferfaktoren die einzelnen Outputströme ermittelt werden. Der Zugriff auf eine umfangreiche Stoffdatenbank mit chemischen und verbrennungstechnischen Informationen ermöglicht Aussagen über die Qualitäten der Outputströme. Derzeit wird das System der Aufbereitung von gewerblichen Abfällen zu Ersatzbrennstoffen betrachtet.

3.1 Stoffflussanalyse

Die Stoffflussanalyse stellt eine Untersuchungsmethode dar, mit der Stoffflüsse und zugehörige Prozesse von einzelnen Systemen, wie z. B. der Aufbereitung von Abfällen erfasst, verknüpft und modellhaft mathematisch oder grafisch abgebildet werden können. Dabei werden die ein- und austretenden Stoffströme eines Systems erfasst und in Beziehung gesetzt. Die Auswertung kann anhand eines mathematischen Modells zur Berechnung der Beziehungen zwischen ein- und austretenden Stoffströmen über mathematische Umrechnungen oder grafisch in Form eines Stoffflussdiagramms erfolgen.

Im Fall eines mathematischen Modells werden die Output- und Inputströme eines Prozesses in Beziehung gesetzt und die Umwandlung der Stoffströme während eines Prozesses berücksichtigt. In Abbildung 4 ist das System der Aufbereitung und Verwertung von EBS grafisch dargestellt.

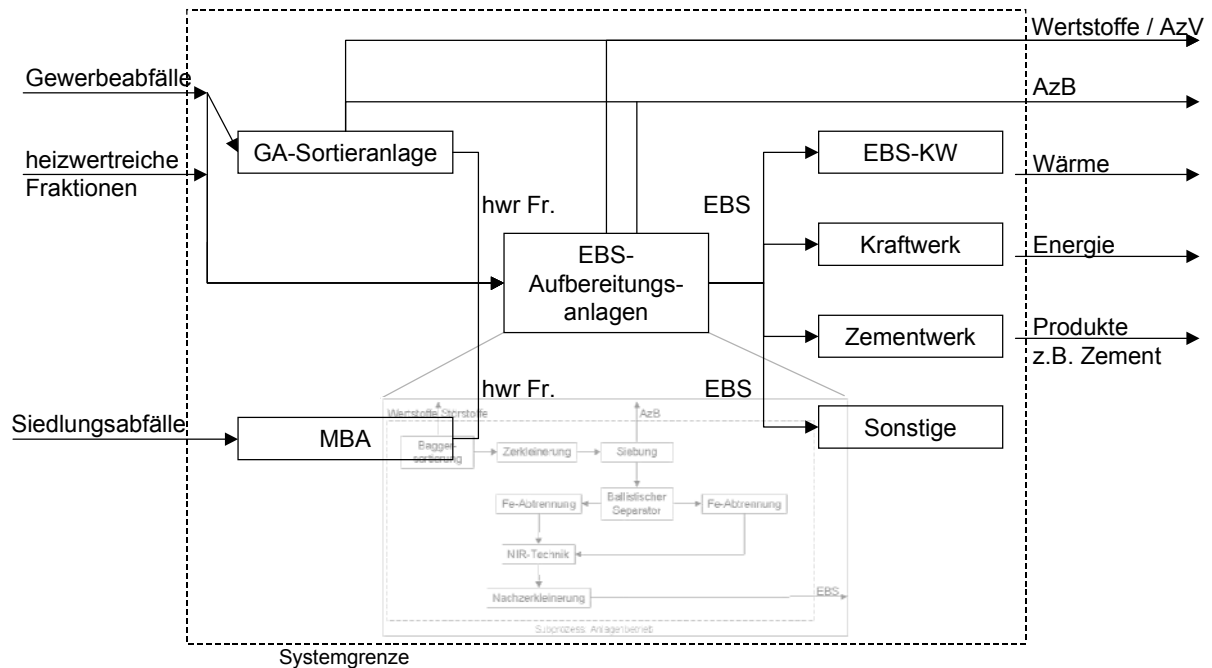


Abbildung 4 System der Aufbereitung und Verwertung von EBS

3.2 Beschreibung des Stoffstroms

Abfälle werden mit Abfallschlüsselnummern nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) beschrieben. In der AVV werden Abfälle nach ihrer Herkunft einzelnen Schlüsselnummern zugeordnet, wobei diese Zuordnung nicht immer eindeutig ist und auch keinen Rückschluss auf die stofflichen oder energetischen Eigenschaften des Abfalls zulässt. Die Abfallschlüsselnummer 19 12 12 umfasst sonstige Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen. Hierbei kann es sich sowohl um eine mittelkalorische Fraktion (z. B. Schwerfraktion aus der EBS-Aufbereitung) als auch um eine niederkalorische Fraktion (z. B. Siebdurchgang) handeln. Probleme, die hierdurch für den Anlagenbetrieb einer MVA entstehen können, sind u. a. in (BILITEWSKI ET AL., 2005) beschrieben. Die Eigenschaften des Abfalls werden im Wesentlichen durch seine Bestandteile, d. h. die Art und Menge der Einzelfractionen beeinflusst. Daher ist zur Beschreibung des Stoffstroms „Abfall“ eine genaue Kenntnis der Zusammensetzung notwendig. Zu diesem Zweck wurde ein Katalog mit unterschiedlichen, im Abfall enthaltenen, Fraktionen aufgestellt, mit dem der Stoffstrom genauer beschrieben wird. Diese Einzelfractionen weisen eine höhere Homogenität als das Gesamtgemisch auf und

können daher hinsichtlich ihrer rohstofflichen Eigenschaften genauer charakterisiert werden.

Zur Eingabe des Anlageninputs in das Modell ist eine Eingabemaske (s. Abb. 5) erstellt worden, durch die neben der Menge des Abfalls auch die Zusammensetzung abgefragt wird. Ist die Zusammensetzung des Abfalls nicht durch eigene Sortieranalysen bekannt, kann der Anwender aus einem Katalog an Standardzusammensetzungen auswählen. Diese Standardzusammensetzungen sind im Modell hinterlegt und stammen aus unterschiedlichen Sortieranalysen für verschiedene Abfallströme.

Gewerbeabfall Kunde 1

Bitte geben Sie die Zusammensetzung ihres Abfalls in Gew.-% ein oder wählen Sie eine Standardzusammensetzung aus!

Angaben zum Abfall | **Zusammensetzung** | Standardzusammensetzungen

Papier/Pappe/Karton	0	Fe-Metalle	0
Verbunde	0	NE-Metalle	0
PVC-haltige Kunststoffe	0	Hygieneabfälle	0
Kunststoffe	0	Holz	0
Folien	0	Inert	0
Schuhe/Leder/Gummi	0	Glas	0
Teppiche	0	Organik	0
Textilien	0	Feinmüll < 20mm	0
Schaumstoff		Sonstiges	

OK

Abbildung 5 Eingabe der Abfallzusammensetzung

Ausgehend von dem eingegebenen Anlageninput (Menge und Zusammensetzung), erfolgen die weiteren Berechnungen zur Stoffstromverteilung in der Anlage über Transferfaktoren.

3.3 Berechnung über Transferfaktoren

Die einzelnen Stoffströme der Anlage werden, ausgehend vom Eingangsstoffstrom über Transferfaktoren, berechnet. Hierfür wurden die einzelnen Aggregate hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung ihrer Outputströme bilanziert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurden Transferfaktoren ermittelt, die beschreiben, wie sich die einzelnen Fraktionen auf die Outputströme der Aggregate aufteilen.

Die Transferfaktoren der verschiedenen Aggregate sind in einer Datenbank im Modell hinterlegt. Neben eigenen Untersuchungen am Beispiel gewerblicher Abfälle sind in die Transferfaktorenermittlung auch Untersuchungsergebnisse von verschiedenen Aggregateherstellern eingegangen. Einschränkend ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der Untersuchungen bei anderen Einstellungen der einzelnen Aufbereitungsaggregate abweichen können. Faktoren, die die Trennung des Stoffstroms durch ein Aggregat beeinflussen, sind u. a.:

- Neigung der Ebenen im ballistischen Separator,
- Weißabgleich bei NIR-Geräten,
- Vereinzelung bei NIR-Geräten,
- Durchsatz der Einzelaggregate (Überfahren von Geräten),
- Verschleiß von Siebbelägen,
- Anordnung von Überbandmagneten.

Über die Berechnung mit Transferfaktoren werden die stoffliche Zusammensetzung und die Menge der einzelnen Stoffströme der modellierten Anlage berechnet. Die Aufteilung auf die verschiedenen Outputströme in Abhängigkeit des Anlageninputs ist entscheidend für die weitere Behandlung (Entsorgung oder Verwertung) der Stoffströme. Neben dem gewünschten Hauptprodukt „Ersatzbrennstoff“ fallen weitere Stoffströme zur stofflichen Verwertung, wie z. B. Holz oder Metalle, aber in der Regel auch ein mengenrelevanter Stoffstrom für die Müllverbrennung an. Da die einzelnen Entsorgungswege mit unterschiedlichen Kosten oder Erlösen verbunden sind, ist die Mengenaufteilung entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage.

3.4 Ermittlung relevanter Parameter für die Mitverbrennung

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden von den einzelnen Verwertern für Ersatzbrennstoffe unterschiedliche Anforderungen an den Brennstoff gestellt. Dies betrifft in erster Linie verbrennungstechnische und emissionsrelevante Parameter, wie z. B.

- Heizwert (Original- oder Trockensubstanz),
- Wassergehalt,
- Aschegehalt,
- Chlorgehalt,
- Anteil an Schwermetallen.

Zur Ermittlung dieser Parameter ist das Modell mit einer Stoffdatenbank hinterlegt. In dieser Datenbank sind für jede Fraktion des Stoffgruppenkatalogs chemische und verbrennungstechnische Parameter gesammelt. Die Daten stammen aus eigenen Analysen und aus unterschiedlichen Literaturstellen. Da Abfallanalysen in der Regel eine breite Streuung aufweisen und Ausreißer aufgrund der Probenahme- und Analyseverfahren nicht ausgeschlossen werden können, werden die chemischen und physikalischen Parameter zur Beschreibung des Stoffstroms mittels statistischer Werte berechnet. Für jeden Stoff werden in der Stoffdatenbank folgende Werte ermittelt:

- Anzahl der Analysenwerte,
- Minimum (der kleinste Wert der Analysenwerte),
- Maximum (der größte Wert der Analysenwerte),
- Mittelwert,
- 10. Quantil, d. h. 90% der Werte liegen über diesem Wert,
- 90. Quantil, d. h. 90% der Werte liegen unter diesem Wert,
- Median.

Das Stoffdatenblatt für die Fraktion „Holz“ ist in nachfolgender Abbildung aufgeführt.

Parameter	Einheit	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	10. Quantil	90. Quantil	Median
Wassergehalt	%	28	2,70	73,70	20	9	44	14,65
Heizwert	kJ/kg _{TS}	30	6.700	30.923	16610	13.070	20.054	15.700
Glühverlust	%	7	5,75	98,67	62	8	91	85,00
Chlor	mg/kg _{TS}	18	40	132.000	10.557	440	13.030	1.000
Schwefel	mg/kg _{TS}	13	0	5.000	1.484	500	4.400	1.000
Fluor	mg/kg _{TS}	12	0	7.200	1.660	0	5.000	150
Cadmium	mg/kg _{TS}	21	0,00	290,00	14,93	0,20	5,00	0,41
Thallium	mg/kg _{TS}	12	0,00	41,00	5,00	0,54	4,41	1,00
Quecksilber	mg/kg _{TS}	20	0,00	4,50	0,60	0,00	1,30	0,10
Antimon	mg/kg _{TS}	7	0,00	10,00	3,35	0,24	10,00	0,55
Arsen	mg/kg _{TS}	19	0,00	760,00	54,16	0,03	53,28	1,00
Blei	mg/kg _{TS}	21	1,10	320,00	71,97	4,30	218,30	29,00
Chrom	mg/kg _{TS}	19	0,00	3.100,00	290,72	1,92	840,00	14,50
Kobalt	mg/kg _{TS}	7	0,00	44,00	11,43	0,30	29,60	5,00
Kupfer	mg/kg _{TS}	22	0,01	1.100,00	86,23	2,35	165,00	16,45
Mangan	mg/kg _{TS}	7	20,00	120,00	70,86	27,20	111,60	69,00
Nickel	mg/kg _{TS}	19	0,00	60,00	12,29	0,95	18,93	8,96
Vanadium	mg/kg _{TS}	9	0,00	5,00	2,42	0,40	5,00	2,08
Zinn	mg/kg _{TS}	12	0,00	180,00	26,02	0,16	34,49	11,50

Abbildung 6 Stoffdatenblatt für die Fraktion „Holz“

Ausgehend von der stofflichen Zusammensetzung des Stoffstroms, werden über die Stoffdaten der Einzelfractionen die verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Parameter des Gesamtstoffstroms ermittelt. Für das Hauptprodukt „Ersatzbrennstoff“ erfolgt abschließend in der Prozesssimulation ein Abgleich zwischen den modellierten Werten (auf Basis der Median-Werte) und den Anforderungen des Absatzmarktes.

In Abbildung 7 ist der Modellierungsansatz zur Berechnung der stofflichen Zusammensetzung und der verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Parameter skizziert.

	Aggregat x			Aggregat y		
	Output 1	Output 2	Gesamt	Output 1	Output 2	Gesamt
Papier/Pappe/Kartonagen	0,5	0,5	1,0	0,2	0,8	1,0
Verbunde	0,3	0,7	1,0	0,8	0,2	1,0
PVC-haltige Kunststoffe	0,6	0,4	1,0	0,4	0,6	1,0
Kunststoffe	0,4	0,6	1,0	0,9	0,7	1,0
Folien	0,2	0,8	1,0	0,6	0,4	1,0
Schuhe/Leder/Gummi	0,5	0,5	1,0	0,2	0,8	1,0
Teppiche	0,6	0,4	1,0	0,6	0,4	1,0
Textilien	0,4	0,6	1,0	0,7	0,3	1,0
Matratzen	0,3	0,7	1,0	0,3	0,7	1,0
Fe-Metalle	0,4	0,6	1,0	0,8	0,2	1,0
NE-Metalle	0,4	0,6	1,0	0,4	0,6	1,0
Hygieneabfälle	0,1	0,9	1,0	0,2	0,8	1,0
Holz	0,9	0,4	1,0	0,1	0,9	1,0
Inert	0,6	0,4	1,0	0,2	0,8	1,0
Glas	0,7	0,3	1,0	0,6	0,4	1,0
Organik	0,6	0,4	1,0	0,5	0,5	1,0
Feinmüll < 20mm	0,5	0,5	1,0	0,6	0,4	1,0
Sonstiges	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0

	Zusammensetzung [Gew. %]	Zusammensetzung [Mg]
Papier/Pappe/Kartonagen	19,00	8.550
Verbunde	10,00	4.500
PVC-haltige Kunststoffe	3,00	1.350
Kunststoffe	13,00	5.850
Folien	12,00	5.400
Schuhe/Leder/Gummi	4,00	1.800
Teppiche	1,00	450
Textilien	3,00	1.350
Schaumstoff	0,00	0
Fe-Metalle	3,00	1.350
NE-Metalle	1,00	450
Hygieneabfälle	7,00	3.150
Holz	6,00	2.700
Inert	1,00	450
Glas	0,00	0
Organik	1,00	450
Feinmüll < 20mm	15,00	6.750
Sonstiges	1,00	450
Summe	100,00	45.000

Parameter	Einheit	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	10. Quantil	90. Quantil	Median
Wassergehalt	%	3	1	3	1,84	1,0	2,6	1,67
Heizwert	kJ/kg	3	230,00	180,00	166,10	170,70	20,054	15,700
Glühverlust	%	3	1	3	62,94	76,71	72,26	72,26
Chlor	mg/kg _{TS}	12	0	5.000	1484	500	4400	1.000
Schwefel	mg/kg _{TS}	12	0	7.700	1660	0	5000	150
Fluor	mg/kg _{TS}	21	0,00	14,93	0,20	5,00	0,41	0,41
Cadmium	mg/kg _{TS}	12	0,00	5,00	0,54	4,41	1,00	1,00
Thallium	mg/kg _{TS}	20	0,00	0,80	0,00	1,30	0,10	0,10
Quecksilber	mg/kg _{TS}	7	0,00	10,00	3,35	0,24	10,00	0,55
Antimon	mg/kg _{TS}	19	0,00	760,00	54,16	0,03	53,28	1,00
Arsen	mg/kg _{TS}	2	110	320,00	71,97	4,3	218,30	29,00
Blei	mg/kg _{TS}	11	0,00	3.100,00	290,72	1,82	840,00	14,50
Chrom	mg/kg _{TS}	1	0,00	44,00	11,43	0,0	29,60	5,00
Kobalt	mg/kg _{TS}	22	0,01	1.100,00	86,23	2,85	165,00	16,45
Kupfer	mg/kg _{TS}	7	20,00	120,00	70,86	2,20	111,60	69,00
Mangan	mg/kg _{TS}	19	0,00	60,00	12,29	1,95	18,93	8,96
Nickel	mg/kg _{TS}	9	0,00	5,00	2,42	0,40	5,00	2,08
Vanadium	mg/kg _{TS}	12	0,00	180,00	26,02	0,16	34,49	11,50
Zinn	mg/kg _{TS}							

Parameter	Einheit	10. Quantil	90. Quantil	Median
Wassergehalt	%	6,94	30,64	15,67
Heizwert	kJ/kg	10.769,50	24.284,26	16.947,82
Glühverlust	%	62,94	76,71	72,26
Chlor	Gew.-%	0,19	3,31	0,57
Schwefel	mg/kg _{TS}	470,93	4.211,95	1.339,40
Fluor	mg/kg _{TS}	18,05	2.450,21	189,33
Cadmium	mg/kg _{TS}	0,63	13,87	2,07
Thallium	mg/kg _{TS}	0,29	2,13	0,72
Quecksilber	mg/kg _{TS}	0,29	2,48	1,18
Antimon	mg/kg _{TS}	7,47	79,15	4,98
Arsen	mg/kg _{TS}	1,63	16,47	4,99
Blei	mg/kg _{TS}	35,70	829,35	116,29
Chrom	mg/kg _{TS}	70,22	723,77	283,24
Kobalt	mg/kg _{TS}	2,54	16,62	3,49
Kupfer	mg/kg _{TS}	62,14	1.549,57	202,77
Mangan	mg/kg _{TS}	209,60	448,56	180,96
Nickel	mg/kg _{TS}	21,70	180,31	80,80
Vanadium	mg/kg _{TS}	16,42	24,34	2,94
Zinn	mg/kg _{TS}	22,44	397,25	14,56

Abbildung 7 Modellierungsansatz

4 Stand der Arbeit / erste Simulationsergebnisse

Der Prozess der Abfallaufbereitung mit dem Ziel einen qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoff herzustellen, ist in einem MS® Excel®-Modell abgebildet. Erste Vergleiche mit der realen Stoffstromverteilung einer EBS-Aufbereitungsanlage zeigen, dass die Simulation der Mengenaufteilung auf die verschiedenen Outputströme im Rahmen der abfalltypischen Unsicherheiten möglich ist. Der Heizwert lässt sich im Mittel vorhersagen, allerdings ist die simulierte Schwankungsbreite zurzeit noch größer als die tatsächlichen

Schwankungen in den Tagesproben der erzeugten Ersatzbrennstoffe. Der Wassergehalt der erzeugten Ersatzbrennstoffe ist nicht nur abhängig von den Einzelwassergehalten der Fraktionen, sondern auch von der vorgelagerten Behandlung (Lagerung, Transport) der einzelnen Anlageninputströme. Hier ist eine Vorhersage nur eingeschränkt möglich.

Derzeit werden die Transferfaktoren des Modells durch Sortieranalysen der einzelnen Stoffströme einer EBS-Aufbereitungsanlage überprüft. Parallel erfolgt die Beprobung der Stoffströme und die Probenaufbereitung für die chemische Analyse. Aufgrund der Vielzahl der Stoffströme und der Mindestanzahl an Proben wird die chemische Analyse auf fünf Parameter (Heizwert, Chlor, Antimon, Chrom und Kupfer) beschränkt. Im Anschluss werden die realen Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Einzelstoffströme mit den simulierten Werten verglichen.

5 Literatur

- | | | |
|---------------------------------|------|--|
| Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.) | 2002 | Ersatzbrennstoffe 2. Verwerter-Qualitätskontrolle-Technik-Wirtschaftlichkeit. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, ISBN 3-935317-08-5. |
| Schmidl, E. | 2004 | 19. Netzwerktreffen. Ersatzbrennstoffe - vom Abfall zum Produkt. Mitverbrennung von hochkalorischen Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie. 16. und 17.11.2004, Dortmund. |
| SIDAF (Hrsg.) | 2004 | Abfallkolloquium 2004. Die Abfallentsorgung auf der Zielgeraden. Medienzentrum der TU Bergakademie, Freiberg, ISBN 3-934409-24-5. |
| Bilitewski et al. (Hrsg.) | 2005 | 10. Fachtagung. Thermische Abfallbehandlung. Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V., Dresden, ISBN 3-934253-33-4. |

Anschrift der Verfasser(innen)

Dipl.-Ing. Asja Mrotzek
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)
Osterfelder Straße 3
D-46047 Oberhausen
Telefon +49 208 85 98 1154
Email: asja.mrotzek@umsicht.fraunhofer.de
Website: www.umsicht.fraunhofer.de