

# Stoffflußanalyse für mechanische Abfallbehandlungsanlagen im Verbund

**Hannes Menapace, Wolfgang Staber, Alexander Curtis, Roland Pomberger, Michael Prochaska, Karl E. Lorber**

Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Montanuniversität Leoben, Saubermacher Dienstleistungsgesellschaft AG, Graz

## material flow analysis of combined mechanical waste treatment plants

### Abstract

The Austrian waste management has rapidly developed from a landfill oriented waste management to a material flow economy based on treatment and utilization plants to a sorting disposal economy. Within these developments the IAE has examined the mass flows for single plants (biological degradation, biogas, mechanical-biogenic treatment and burning, clinker brick production). By mature sampling plans and sorting campaigns for the first time single substances could be looked at more than two plants over four weeks switched behind each other in narrow coordination with the facility staff (line operation) and arrangement (storage and transports between the plants) now. Expressed abbreviatedly these mass flows can be described about process chains as material flow chains. So, optimisation potentials for the plant configuration can be shown and the pollutant transfer can be proved with this tool.

### Abstract deutsch

Die österreichische Abfallwirtschaft hat sich in den letzten 15 Jahren rasant von einer deponieorientierten Entsorgungswirtschaft über eine sortierende Abfallwirtschaft hin zu einer auf Verwertungsanlagen basierenden Stoffflußwirtschaft entwickelt. Seit dieser Entwicklung hat das Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE) für diverse Anlagen (Kompostierung, Biogas, MA/MBA und Verbrennung, Klinkerherzeugung) Stoffströme untersucht. Durch ausgereifte Probenahmepläne und Sortierkampagnen wurden jetzt in enger Abstimmung mit dem Anlagenpersonal (Anlagenbetrieb) und der Disposition (Lagerung und Transporte zwischen den Anlagen) Stoffströme über zwei hintereinander geschaltete Anlagen über vier Wochen betrachtet und bilanziert. Ziel war es, Optimierungspotentiale für die Anlagenkonfiguration aufzuzeigen und die Schadstoffentfrachtung nachzuweisen.

### Keywords

Abfall- und Stoffflußwirtschaft, Massenbilanz, thermische Behandlung, Sortieranlage, Ersatzbrennstoff, Abfallproben, Abfallaufbereitung, thermische Verwertung, stoffliche Verwertung

Waste and material management, mass balance, thermal treatment, sorting plant, substitute fuels, waste sample, waste treatment, thermal recovery, material recovery

## **1 Einleitung**

Die Methode der Stoffflußanalyse (ÖNORM S 2096 Teil 1, 2005) stellt ein wichtiges Instrument zur einfachen Beschreibung und Analyse von komplexen Systemen dar. Dazu sind alle gewonnenen Systemdaten entsprechend aufzubereiten und graphisch darzustellen. So wird es möglich, zielgerichtete Maßnahmen abzuleiten und Szenarien zur Optimierung vergleichbar zu machen.

Zwei zusammenhängende abfallwirtschaftliche Anlagen wurden mit der Methode der Stoffflußanalyse untersucht (PROCHASKA, M., MEIER, J., ET AL, 2005). Bei diesen Anlagen handelt es sich um eine Splittinganlage für Haus- und Gewerbeabfälle, welche einer Anlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen (= ThermoTeam Retznei) vorgeschaltet ist. Ziel war es, das Gesamtsystem auf die Stoffflüsse hin zu analysieren und zu bilanzieren, um die Anlage und die Qualität der Brennstoffe verbessern zu können.

## **2 Anlagenbeschreibung**

### **2.1 Splittinganlage**

In der Splittinganlage werden Gewerbemüll sowie Abfälle aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Fraktionen getrennt, welche primär als Inputmaterial für verschiedene Verwertungsschienen dienen sollen. Die Splittinganlage besteht aus einer Zerkleinerung, einem 80 mm Sieb, einem Windsichter, zwei Eisenabscheidern (einer in der Fraktion < 80 mm und einer im Schwergut des Windsichters) sowie einer Ballenpresse für das Leichtgut des Windsichters. Das Schwergut des Windsichters wird nochmals aufgegeben (Kreislaufführung).

### **2.2 ThermoTeam-Anlage Retznei**

Die ThermoTeam-Anlage besteht aus einem Vorzerkleinerer und einem Windsichter, der das Gut in ein Leichtgut und ein Schwergut trennt. Das Schwergut durchläuft vor der Nachzerkleinerung (< 10 mm) eine Abscheiderstation für ferromagnetische Stoffe und eine für paramagnetische Stoffe, eine Inertabscheidung war zum Versuchszeitpunkt keine eingebaut. Das Leichtgut wird nach dem Windsichter der Nachzerkleinerung (< 30 mm) zugeführt. Nach dem Bunker, der für die Versuche mit einer Plane überbrückt wurde, folgt die Aufbereitung mit einem Scheibensieb und zwei Eisenabscheidern. Das zum Zementwerk Retznei ausgelieferte Material wird nochmals von paramagnetischen Metallen entfrachtet.

### 3 Probenahmekonzept

#### 3.1 Splittinganlage

Von den Stoffströmen der Splittinganlage wurden über die Arbeitswoche hin Einzelproben gezogen. Für die Probenahmetätigkeiten mußte ein Probenahmeplan entwickelt werden, basierend auf den einschlägigen Normen (ÖNORM S 2123 Teil 1 und ÖNORM S 2123 Teil 3). Die Durchführung der Probenahme erfolgte durch das Anlagenpersonal selbst, welches die einzelnen Proben auch zu Sammelproben vermischte. Diese wurden für das ofenfertige Material tageweise sowie für die Metalle und die ThermoTeam Fraktion wochenweise getrennt gehalten.

Nach der Herstellung der Sammelproben wurden die Proben einer Sortierung unterzogen, um auf die in Tabelle 1 aufgelisteten Stoffinhalte schließen zu können.

**Tabelle 1** Untersuchte Fraktionen und Parameter – Splittinganlage Graz

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Schwermetalle	Brennstoff- charakterisierung
Ofenfertig < 80 mm	Fe, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb	Chlorgehalt
ThermoTeam, > 80 mm, Windsichteroberlauf, Leichtgut		Heizwert
ferromagnetisch > 80 mm		Glühverlust
ferromagnetisch < 80mm		Wassergehalt
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	Wieder aufgegeben	

Beim ofenfertigen Material erfolgte zunächst eine Zerkleinerung (Doppelwellenzerkleinerer) auf < 30 mm. Anschließend wurde die Probe durch „fraktioniertes Schaufeln“ auf 20 l verjüngt. Einen Überblick zum Probenahmeprogramm und die anschließende Aufbereitung bietet **Tabelle 2**.

**Tabelle 2** Proben und Aufbereitung - Splittinganlage Graz

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Probe	Aufbereitung
<b>Ofenfertig &lt; 80 mm</b>	ca. 600 l pro Tag	Zerkleinerung mit DWZ, Verjüngung auf 20 l durch Fraktioniertes Schaufeln, Störstoffaussortierung und Verwiegung, Sortierung der Störstoffe (vor Ort & im Labor)
<b>ThermoTeam, &gt; 80 mm, Windsichter- oberlauf, Leichtgut</b>	jeder 20. Ballen	Siehe Beschreibung ThermoTeam
<b>ferromagnetisch &gt; 80 mm</b>	ca. 250 kg pro Woche	Manuelle Sortierung in Eisen & Stahl, verzinkt, Kunststoff, Verbunde, Cu-hältig, Batterien und Akkumulatoren, Cu und Batterien wurden im Labor weiter sortiert
<b>ferromagnetisch &lt; 80mm</b>	ca. 100 kg pro Woche	
<b>Windsichterunter- lauf &gt; 80 mm, Schwergut</b>	nicht beprobt, im Kreis geführt	

In Abbildung 1 ist der Austrag einer angereicherten Versuchsfraction dargestellt. Bei der Beprobung wurde darauf geachtet, daß das Ziehen der einzelnen Proben aus einem fallenden Gutstrom erfolgte, um eine repräsentative Probe zu erhalten.

**Abbildung 1** Austrag einer angereicherten Versuchsfraction

Damit Fehler bezüglich des Probenmanagements von vornherein ausgeschlossen werden konnten, erfolgte sofort nach dem Ziehen der Probe eine Kennzeichnung. Dies wurde durch Zuordnung einer Probennummer sichergestellt (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2** Kennzeichnung des Outputs einer Aufbereitungsanlage, Aufbereitungstag 17.09.2004

Zur entsprechenden quantitativen Beurteilung der erzeugten Fraktionen, wurde der Output der Splittanlage über 4 Wochen im August/September 2004 untersucht. Durch den 4-wöchigen Beobachtungszeitraum konnte auf eine entsprechend große Datenmenge für die Bilanzierung zurückgegriffen werden. Die Proben, der in Tabelle 1 gezeigten Stoffströme, wurden in der Folge chemisch/physikalisch bzw. bei großen Stücken (vgl. Abbildung 3) optisch auf Schwermetalle und Parameter, die den Brennstoff charakterisieren, analysiert.



**Abbildung 3** Sortierung der Fraktion ferromagnetisch > 80 mm

Bei der Sortierung wurden die Gehalte teilweise abgeschätzt anstatt analysiert, da große Metallteile und andere grobe Störstoffe mit dem vorhandenen Aggregat nicht zerkleinert werden konnten. Die Abschätzungsmethodik ist in Tabelle 3 dargelegt.

**Tabelle 3** Methodik zur Bestimmung der Gehalte der Fraktionen - Splittinganlage Graz

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Bestimmung	Berechnung
Ofenfertig < 80 mm	chem. Analyse des Materials und der feinen Störstoffe	Analysenwerte über Anteile auf Gesamtmasse hochgerechnet
	Sortierung der groben Störstoffe	Cd: Akkumulatormasse*0,15 Hg: Knopfzellenmasse*0,3 Cu: Anteil optisch über Volumen und Dichte abgeschätzt Zn: Masse verzinkt*0,1
ThermoTeam, > 80 mm, Windsichteroberlauf, Leichtgut	Siehe Beschreibung ThermoTeam	
ferromagnetisch > 80 mm	Sortierung der Wertstoffe	Cd: Akkumulatormasse*0,15 Hg: Knopfzellenmasse*0,3 Cu: Anteil optisch über Volumen und Dichte abgeschätzt Zn: Masse verzinkt*0,1
ferromagnetisch < 80mm	Sortierung der Wertstoffe	
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	Nicht bestimmt, im Kreis geführt	

### 3.2 ThermoTeam-Anlage Retznei

Je nach Größe der entstehenden Stoffströme wurde entweder der gesamte Strom untersucht oder es wurden aus Einzelproben (jede Minute) über den Versuchszeitraum Sammelproben gebildet, die dann weiter untersucht wurden. Mittels der ermittelten Gehalte konnte über die Probenmassen auf die Masse der jeweiligen Stoffströme hochgerechnet werden. Bei der Sortierung wurden die Gehalte teilweise abgeschätzt anstatt analysiert. Die Abschätzungen verliefen analog wie jene, welche zuvor für die Splittinganlage beschrieben wurden (vgl. Tabelle 3).

Um die erzeugten Qualitäten beurteilen zu können, wurden ca. 5 % des ThermoTeam Material Outputs der Splittinganlage (Windsichter Leichtfraktion, Fe-entfrachtet), das entspricht ca. 7 t, auf der ThermoTeam Anlage aufbereitet und die Stoffströme untersucht. Sortierungen dieser Stoffströme bzw. von repräsentativen Proben der Stoffströme wurden in der Folge auf Schwermetalle (bzw. schwermetallhaltige Bauteile) und den Brennstoff charakterisierende Parameter hin chemisch/physikalisch analysiert (vgl. Tabelle 4).

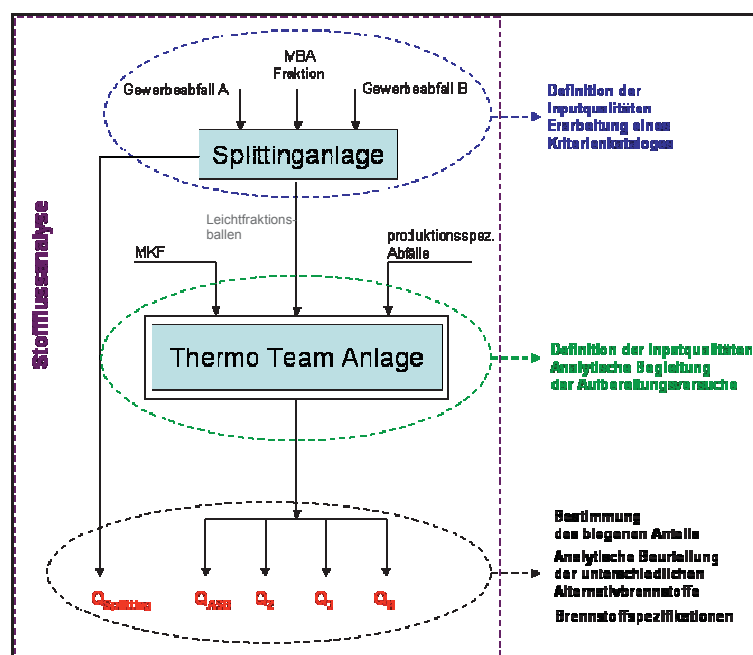
**Tabelle 4** Untersuchte Fraktionen und Parameter – ThermoTeam Retznei

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Schwermetalle	Brennstoff- charakterisie- rung
„ASB“-Produkt < 30 mm	Fe, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb	Heizwert Glühverlust Chlorgehalt Wassergehalt
ferromagnetisch Abscheiderstation 1		
Paramagnetisch, NFe-Abscheider		
ferromagnetisch Abscheiderstation 2		
ferromagnetisch Abscheiderstation 3		
Staub	Wird normalerweise ins Produkt zugege- ben, Stichprobe	
Produkt > 30mm	Wird normalerweise wieder aufgegeben, Stichprobe	

## 4 Stoffflußanalyse

### 4.1 Beschreibung des Untersuchungssystem

Für eine exakte Bilanzierung ist es notwendig, den Bilanzraum bzw. -grenze festzule-  
gen. Das zu bilanzierende System ist in Abbildung 4 dargestellt und bildet die Basis für  
die durchzuführenden Stoffflußanalysen.



**Abbildung 4** Prinzipielles Ablaufschema für die Stoffstromuntersuchungen

Die Inputströme der Splittinganlage sind Gewerbeabfälle und die MBA-Fraktion. Der in der Splittinganlage aufbereitete Strom „Ofenfertig < 80 mm“ wird einer thermischen Verwertung (Wirbelschichtöfen) zugeführt, er geht daher nicht als Input in die ThermoTeam-Anlage ein. Gleich verhält es sich mit den ferromagnetischen Fraktionen aus der Splittinganlage, die als Altmittel verwertet werden. Die Inputströme der ThermoTeam-Anlage sind, neben den Leichtfraktionsballen (vgl. Abbildung 2) aus der Splittinganlage, auch produktionsspezifische Abfälle und eine Mischkunststofffraktion (= MKF) aus der gelben Tonne / dem gelben Sack. Für die Stoffflußanalyse der ThermoTeam-Anlage wurden ca. 5 % des Outputs an Leichtfraktionsballen der Splittinganlage auf der Anlage aufbereitet und die Stoffströme untersucht. Der Outputstrom der ThermoTeam-Anlage (ASB-Produkt) wird im Zementwerk Retznei als Ersatzbrennstoff eingesetzt.

## **4.2 Bilanzierung und Interpretation der Ergebnisse**

Die Stoffflüsse werden im Anschluß für die Splittinganlage und die ThermoTeamanlage gemeinsam dargestellt. Für die Darstellung wurden die Ergebnisse aus den zuvor durchgeführten Probenahmen herangezogen. Die Daten wurden für alle 4 Wochen zusammengezogen und bildeten somit die Datenbasis. Für die Durchführung der Bilanzierung wurde auf die Richtlinien der ÖNORM S 2096 Teil 2 (2005) zurückgegriffen.

Da nicht alle Stoffflüsse gemessen wurden, mußte für einige Ströme eine Abschätzung (Lager, Wasserdampf, Staub) getroffen werden. Die anderen Stoffflüsse wurden von den bekannten Punkten aus stufenweise errechnet. Dabei ändert sich durch die Abtrennung von Stoffströmen die Bezugsbasis (Brennstofffluß) im Verlauf des Prozesses. Dies wurde in den Berechnungen einmal rekursiv berücksichtigt. Damit ist ausreichend Genauigkeit gegeben.

Mittels der – während des Beobachtungszeitraumes – erhaltenen Daten konnte eine Übersicht über die Input- und Outputströme der beiden untersuchten Anlagen erstellt werden. In der nachfolgenden Abbildung 5 ist das Grundkonzept für die erstellten Bilanzierungen dargestellt.



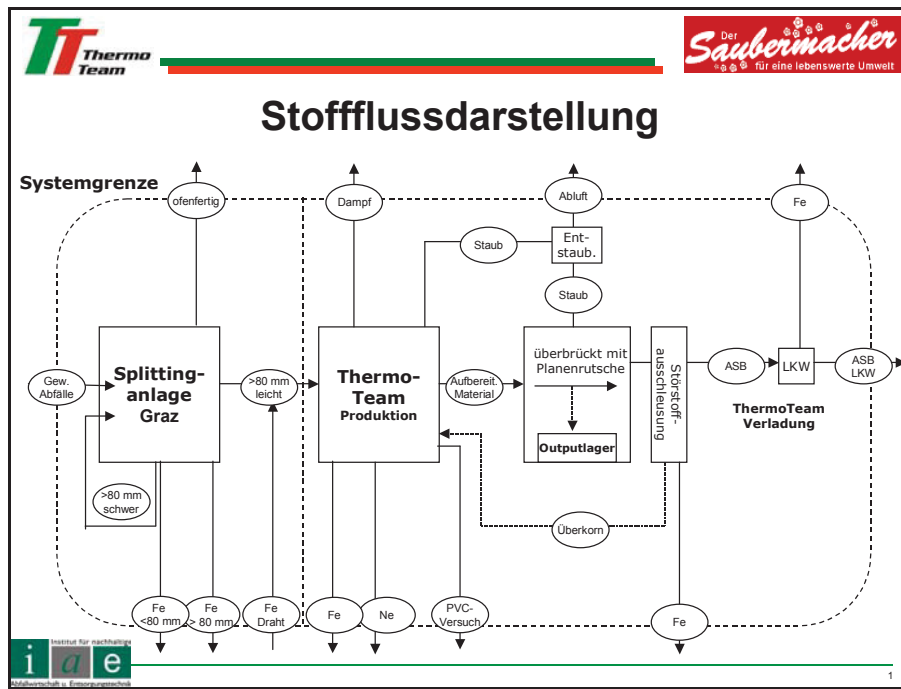


Abbildung 5 Grundkonzept für die Stoffflußdarstellung der untersuchten Anlagen

Abbildung 6 zeigt die Stoffflüsse für einen Untersuchungszeitraum von insgesamt 4 Wochen. Die Dampfverluste konnten aus längeren Massenbilanzen (2003, 2004) vom ThermoTeam übernommen werden, für die Splittinganlage wurde hierzu keine Annahme getroffen. Da in dieser Versuchsserie vor allem der Stoffstrom an Wert- und Schadstoffen interessiert, erfolgte keine Massenbilanzierung für andere Güter (z.B. Kunststoffanhaftungen).

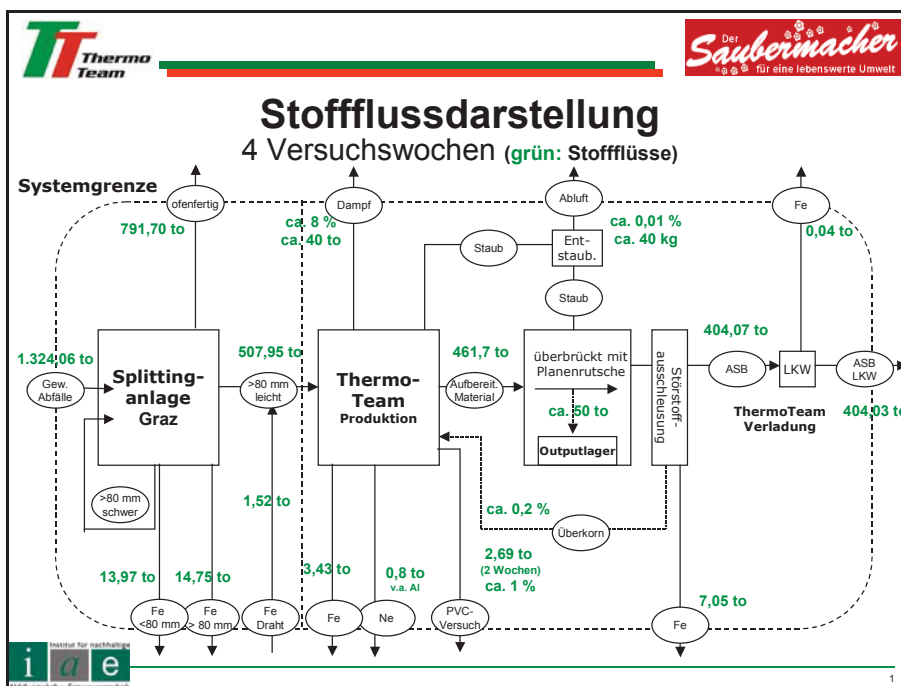


Abbildung 6 Stoffflußdarstellung von Splittinganlage und ThermoTeam Anlage, KW 36-39 2004

Anhand der durchgeführten Bilanzierungen konnten für einzelne Stoffe folgende Schlüsse gezogen werden:

Bei der Betrachtung der Eisenflüsse zeigte sich, daß nach wie vor einiges an Potential für die Entfrachtung der Brennstoffprodukte gegeben ist. Bei der Auswertung beziehen sich die zugeordneten %-Werte auf das jeweilige Gut, bei dem sie angegeben sind, so läßt sich die An-/Abreicherung im Zuge der Aufbereitung gut verfolgen.

Im Rahmen der durchgeführten Versuche war teilweise auch die PVC Abscheidung in Betrieb. Ein Vergleich mit den Ergebnissen von GLORIUS ET AL (2005) zeigt sich ebenfalls eine gute Anreicherung von PVC in der Fraktion mit 10-13% Cl. Aufgrund des geringen Massenstroms ist die Entfrachtung als Stofffluß aber gering. Es findet eine leichte Aufkonzentrierung von Chlor im Brennstoffprodukt statt.

Kupfer wird in erster Linie in den Brennstoffprodukten ausgebracht, etwa gleichbedeutend ist das Ausbringen als Stoffverbund (Motoren, Trafos) in der Eisenfraktion. Überraschend gering (nur in Spuren, einzelne Litzen) war das Ausbringen über die Nichteisenmetallabscheidung. In der Abbildung 7 ist eine aussortierte Cu-Fraktion abgebildet.



**Abbildung 7** Kupferfraktion, sortiert

Metallisches Zink wird über feine Störstoffe und beschichtete Eisenteile aus dem System ausgebracht. Durch den Einsatz von Zn-Stabilisatoren in Kunststoffen ist der Anteil an fein in den Brennstoffprodukten verteiltem Zink hoch, daher kann ein bedeutender Anteil nicht durch die Metallabscheidung erfaßt werden.

Cadmium konnte in der Form von Akkumulatoren in den Eisenflüssen optisch identifiziert und auf Basis von Literaturdaten der Cd-Gehalt der Akkumulatoren abgeschätzt werden. Auch der Cadmiumfluß als Stabilisator im PVC zeigt sich deutlich. Über den Rest an PVC in den Brennstoffen ist auch dort ein gewisser Cd-Fluß gegeben. Auch dies stimmt gut mit den von SKUTAN (2004) an anderen Anlagen ermittelten Gegebenheiten überein.

Quecksilber ist in alten Batterien und neuen Knopfzellen, sowie eventuell in Importprodukten aus Asien enthalten. Knopfzellen und Hg-Batterien konnten in den Eisenflüssen

identifiziert werden. Für die Stoffflußdarstellung nachteilig ist die hohe Bestimmungsgrenze, die trotz adaptiertem Aufschluß 0,5 mg/kg TS beträgt. Bei den Brennstoffproben wurde diese in allen Fällen unterschritten, jedoch kann der hochgerechnete Fluß an Quecksilber nur als „< ... kg“ angegeben werden. Die ermittelte Ausschleusung über die Eisenflüsse ist zumindest in derselben Größenordnung wie die Flüsse in den Brennstoffen.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorgestellten Projektes konnte der Nachweis erbracht werden, daß eine anlagenübergreifende Stoffstromanalyse prinzipiell machbar und sinnvoll ist. Dadurch wird es ermöglicht, Flüsse von Stoffen – und damit ihr Verhalten über mehrere Anlagen hinweg – genau zu erfassen. Somit können Optimierungspotentiale erkannt und in effizienter Weise ausgeschöpft werden, im Sinne der Optimierung der Stoffflüsse in einem Anlagenverbund. Es hat sich aber gezeigt, daß auf einen genauen Probenahmeplan und das zugehörige Management unbedingt zu achten ist. Weiters muß durch das Betriebspersonal eine konsequente Umsetzung der geforderten Maßnahmen gewährleistet sein, um fundierte Aussagen aus den erhaltenen Daten ableiten zu können.

## 6 Literatur

- |   |      |   |
|---|------|---|
| Prochaska, M., Meier, J., Lorber, K. E. | 2005 | Teilbericht zum Projekt „Entwicklung neuer Brennstoffqualitäten aus Abfall“ im Auftrag von Saubermacher Dienstleistungs AG, Montanuniversität Leoben  |
| ÖNORM S 2123 Teil 1                     | 2003 | Probenahmepläne für Abfälle; Teil 1: Beprobung von Haufen   |
| ÖNORM S 2123 Teil 3                     | 2003 | Probenahmepläne für Abfälle; Teil 3: Beprobung fester Abfälle aus Stoffströmen  |
| ÖNORM S 2096 Teil 1                     | 2005 | Stoffflußanalyse; Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft - Begriffe  |
| ÖNORM S 2096 Teil 2                     | 2005 | Stoffflußanalyse; Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft - Methodik  |
| Glorius, Hüskens                        | 2005 | Verminderung des Chlorgehaltes im Brennstoff durch neue Sortiertechniken, in Schriftenreihe des Instituts für Abfallwirtschaft und Altlasten, Band 40 Technische Universität Dresden, Dresden, ISBN 3-934253-33-4 |

Skutan                                      2004   Stoffflußanalysen an MBA und MA zur Restabfallbehandlung, in Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung 2004, Hrsg. Lorber, Staber, Novak, Prochaska, Maier, Kastl, Verlag Glückauf GmbH, Essen, ISBN 3-7739-5993-1

### **Anschrift der Verfasser(innen)**

Dipl.-Ing. Hannes Menapace, Dr. Wolfgang Staber, Dipl.-Ing. Michael Prochaska, Prof. Karl E. Lorber

Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik

Montanuniversität Leoben

Peter-Tunner-Straße 15

A-8700 Leoben

Telefon +43 3842 402 5101

Email    [iae@mu-leoben.at](mailto:iae@mu-leoben.at)

Website: [www.mu-leoben.at/iae](http://www.mu-leoben.at/iae)

Dipl.-Ing. Alexander Curtis, Dipl.-Ing. Roland Pomberger

Saubermacher Dienstleistungsgesellschaft AG

Conrad-von-Hötzendorf-Straße 162

A-8010 Graz

Telefon +43 59800 5003

Email    [office@saubermacher.at](mailto:office@saubermacher.at)

Website: [www.saubermacher.at](http://www.saubermacher.at)