

Stoffflußanalyse für mechanische Abfallbehandlungsanlagen im Verbund

H. M. Menapace, W. Staber, M. Prochaska & K. E. Lorber
Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

A. Curtis, R. Pomberger
SaubermacherDienstleistungs AG, Graz, Österreich

KURZFASSUNG: 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, Klinkererzeugung) 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.

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 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 Graz*

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

Nachfolgend sind die für die Beprobung erstellten Konzepte beider Anlagen dargelegt.

3.1 *Splittinganlage Graz*

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 teilweise 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 Abb. 1 aufgelisteten Stoffinhalte schließen zu können.

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

Abb. 1: Untersuchte Fraktionen und Parameter – Splittinganlage Graz

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 Abb. 2.

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Probe	Aufbereitung
Ofenfertig < 80 mm	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)
ThermoTeam, > 80 mm, Windsichter- oberlauf, Leichtgut	jeder 20. Ballen	Siehe Beschreibung ThermoTeam
ferromagnetisch > 80 mm	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
ferromagnetisch < 80mm	ca. 100 kg pro Woche	
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	nicht beprobt, im Kreis geführt	

Abb. 2: Untersuchte Fraktionen und Parameter – Splittinganlage Graz

In Abb. 3 ist der Austrag einer angereicherten Versuchsfraktion dargestellt. Bei der Beprobung wurde darauf geachtet, daß das Ziehen der einzelnen Proben aus einem fallenden Gutstrom erfolgte, um eine repräsentative Probe zu erhalten.



Abb. 3: Austrag aus einer angereicherten Versuchsfraktion

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.

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



Abb. 4: Sortierung einer Probe (ferromagnetisch > 80 mm)

Bei Vorliegen eines entsprechend hohen Anteils an Metallen in metallischer Form (vgl. Abb. 4) sind diese wegen der schlechten Zerkleinerbarkeit der Metallstücke mit konventionellen Analysemethoden kaum richtig bestimmbar (Skutan 2004). Ein weiteres Problem für die Zerkleinerungsaggregate (Verschleiß der Werkzeuge) stellt ein hoher Störstoffanteil dar. Bei der Sortierung wurden die Gehalte daher teilweise abgeschätzt anstatt analysiert. Die Abschätzungsmethodik ist in Abb. 5 dargelegt.

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	

Abb. 5: Abschätzungskriterien für metallische Komponenten

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 zu jenen, welche zuvor für die Splittinganlage beschrieben wurden.

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.

4 STOFFFLUßANALYSE

Für die Stoffflußanalyse erfolgte zunächst eine Definierung und Beschreibung der Anlagen. Darauf aufbauend erfolgte mit dem Datenmaterial aus den Untersuchungswochen die Erstellung der Bilanzen und die Interpretation der selbigen.

4.1 Beschreibung des Untersuchungssystem

Für eine exakte Bilanzierung ist es notwendig, den Bilanzraum bzw. -grenze festzulegen. Das zu bilanzierende System ist in Abb. 6 dargestellt und bildet die Basis für die durchzuführenden Stoffflußanalysen.

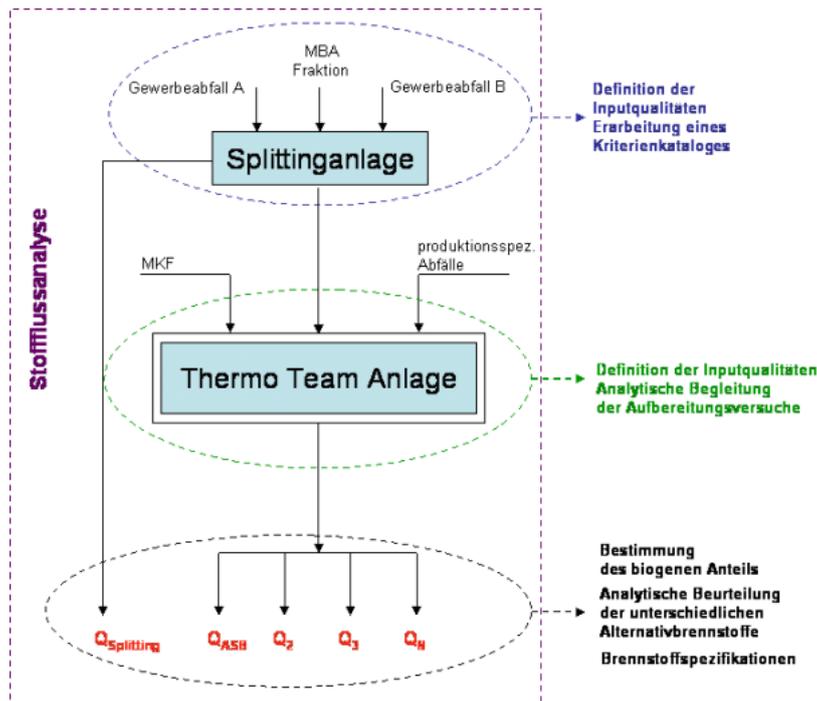


Abb. 6: Darstellung der zugrundeliegenden Bilanzräume für die Stoffflußanalyse

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 Thermo-Team-Anlage ein. Gleich verhält es sich mit den ferromagnetischen Fraktionen aus der Splittinganlage, die als Altmetall verwertet werden. Die Inputströme der ThermoTeam-Anlage sind, neben den Leichtfraktionsballen aus der Splittinganlage, auch produktionspezifische 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 Thermo-team-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.

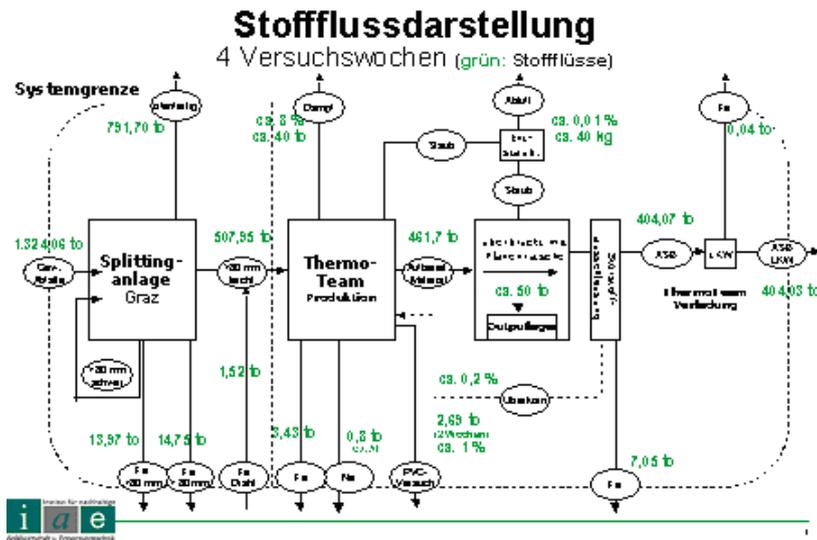


Abb. 7: Betrachtete Stoffflüsse über den Zeitraum von vier Wochen

Abb. 7 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 interessierte, erfolgte keine Massenbilanzierung für andere Güter (z.B. Kunststoffanhaftungen).

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 2004) zeigt 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. Diese wurde auch bei der später durchgeführten Stoffstrombilanzierung der Splittinganlage Wien-Oberlaa bestätigt (Menapace 2006).

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. (Oberbach 1995). 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.

Für die Fraktion < 80 mm der Splittinganlage wurde der biogene Anteil über die Selektive Löslichkeit und die ¹⁴C-Methode bestimmt und mit ca. 40% angegeben. Für die Anlage in Wien erfolgte eine Analyse des biogenen Anteils für alle Brennstoff-Fraktionen (Menapace 2006).

4.3 Transferkoeffizienten

Mittels der Transferkoeffizienten kann eine Aussage über die Verteilung eines bestimmten Stoffes auf die betrachteten Fraktionen getroffen werden, zudem dienen sie als Ausgangsbasis für die Beurteilung von Verdünnungen bzw. Anreicherungen von Stoffen. Der Koeffizient ist nach ÖNORM S2096, Teil 1 wie folgt definiert als: Anteil des gesamten in den Prozeß eingeführten Gutes oder Stoffes, der in den Output x transferiert wird. Die Summe der Transferkoeffizienten für einen Stoff muß immer 1 ergeben (vgl. ÖNORM S2096, Teil 2).

Nachfolgend werden die Koeffizienten für die beiden Probennahmen tabellarisch sowie in graphischer Form dargestellt.

Tab. 1: Transferkoeffizienten Splittinganlage

Fraktion	Masse [%]	Energieinhalt (H _v) [%]	Glas, Steine [%]	Cl [%]	Pb [%]	Zn [%]	Fe [%]	Cd [%]
Ofenfertig	59,8	44,0	98,2	45,6	62,5	54,0	53,0	29,7
ThermoTeam	38,0	56,0	1,8	54,4	37,5	24,0	15,0	67,6
Eisen	2,2					22,0	32,0	2,7

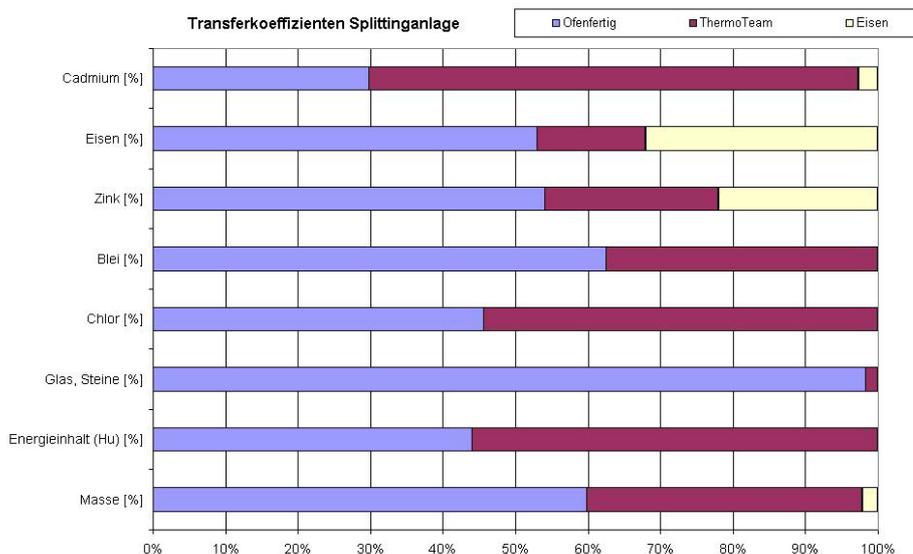


Abb. 8: Graphische Darstellung der Transferkoeffizienten - Splittinganlage

Anhand der Transferkoeffizienten können Rückschlüsse auf die Ab- bzw. Anreicherungen von Stoffströmen in den Fraktionen gezogen werden. So läßt der Cl-Anteil in der ThermoTeam-Fraktion von 54 % auf einen höheren Anteil von PVC in dieser Fraktion schließen. Zudem zeigt sich, daß diese (Leichtgut-)Fraktion nur zu 2 % des Störgutaufkommens (Glas, Steine) beiträgt.

In Tab. 2 sind die Koeffizienten für die ThermoTeam-Anlage eingetragen. Ein Vergleich der Eisenfraktion der beiden Anlagen zeigt die weitere Verringerung von unerwünschten Anteilen in der Brennstofffraktion (ASB), so hat die die Fe-Abscheidung in der TT-Anlage nur einen 2 %igen Anteil an der Gesamtmasse, beinhaltet aber 78 % des Fe-Aufkommens. Über die Fe-

Fraktion wird Cd in Form von NiCd-Akkus abgeschieden, wodurch sich der hohe Cd-Anteil von 64 % erklärt.

Tab. 2: Transferkoeffizienten ThermoTeam

Fraktion	Masse [%]	Energieinhalt (H _w) [%]	Glas, Steine [%]	Cl [%]	Pb [%]	Zn [%]	Fe [%]	Cd [%]
ASB verladen	79,5	90,6	90,5	84,0	89,0	84,0	13,5	28,0
ASB im Bunker	9,8	10,0	9,4	9,0	11,0	9,0	8,1	4,0
Eisen	2,1					7,0	78,4	64,0
Nichteisen	0,2							
PVC-Abtrennung Versuch	1,1	0,7	0,1	7,0				4,0
sonstige (Dampf, etc.)	7,3	1,3						

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.

LITERATUR

- Glorius, T., Hüskens, J. (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
- Menapace, H. M., Staber, W., Kienzl, N. (2006) Teilbericht zum Projekt „Stoffstrombilanzierung der Splittinganlage Wien-Oberlaa“. Im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG, Montanuniversität Leoben
- Oberbach, Karl (1995) *Sächtling, Kunststoff-Taschenbuch*. Ausgabe 26, Carl Hanser Verlag München Wien, ISBN 3-446-17855-4
- ÖNORM S 2123 Teil 1 (2003) *Probenahmepläne für Abfälle; Teil 1: Beprobung von Haufen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM S 2123 Teil 3 (2003) *Probenahmepläne für Abfälle; Teil 3: Beprobung fester Abfälle aus Stoffströmen*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM S 2096-2 (2005) *Stoffflußanalyse, Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Begriffe*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM S 2096-2 (2005) *Stoffflußanalyse, Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik*. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- Pomberger, R. (2004) Umsetzung der Deponie-VO – Kombination von Anlagen für Splitting, Ersatzbrennstoffproduktion und thermische Verwertung. in *Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung 2004*, Hrsg. Lorber, Staber, Novak, Prochaska, Maier, Kastl, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, ISBN 3-7739-5993-1
- Prochaska, M., Maier, J., Lorber, K. E. (2005) Teilbericht zum Projekt „Entwicklung neuer Brennstoffqualitäten aus Abfall“ im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG, Montanuniversität Leoben
- Skutan, S. (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 2004, ISBN 3-7739-5993-1

