

## **Ergebnisse der Biopuster-Demonstrationsanlage der BMA Stendal**

J. Franke, P. Spillmann, H. Eschkötter, G. Morscheck

### **119 Abfallwirtschaftlicher Ansatz zur Erfüllung der gesetzlichen Zielvorgaben**

Gesetzlich ist vorgegeben, dass kommende Generationen nicht belastet werden dürfen. Diese Vorgaben sind im Prinzip durch folgende Ansätze alternativ erfüllbar: Entweder werden die genutzten Stoffe im Kreislauf gehalten oder sie werden in naturintegrierbare Stoffe umgewandelt. Beide Ansätze sind allerdings idealisiert. Sowohl eine Kreislaufführung als auch eine Abfallbehandlung zur Naturintegration sind in der technischen Wirklichkeit stets mit Emissionen verbunden, und die vollständige Naturintegration ist bisher nur mit natürlichen organischen Substanzen ohne Industrieinfluss verwirklicht worden.

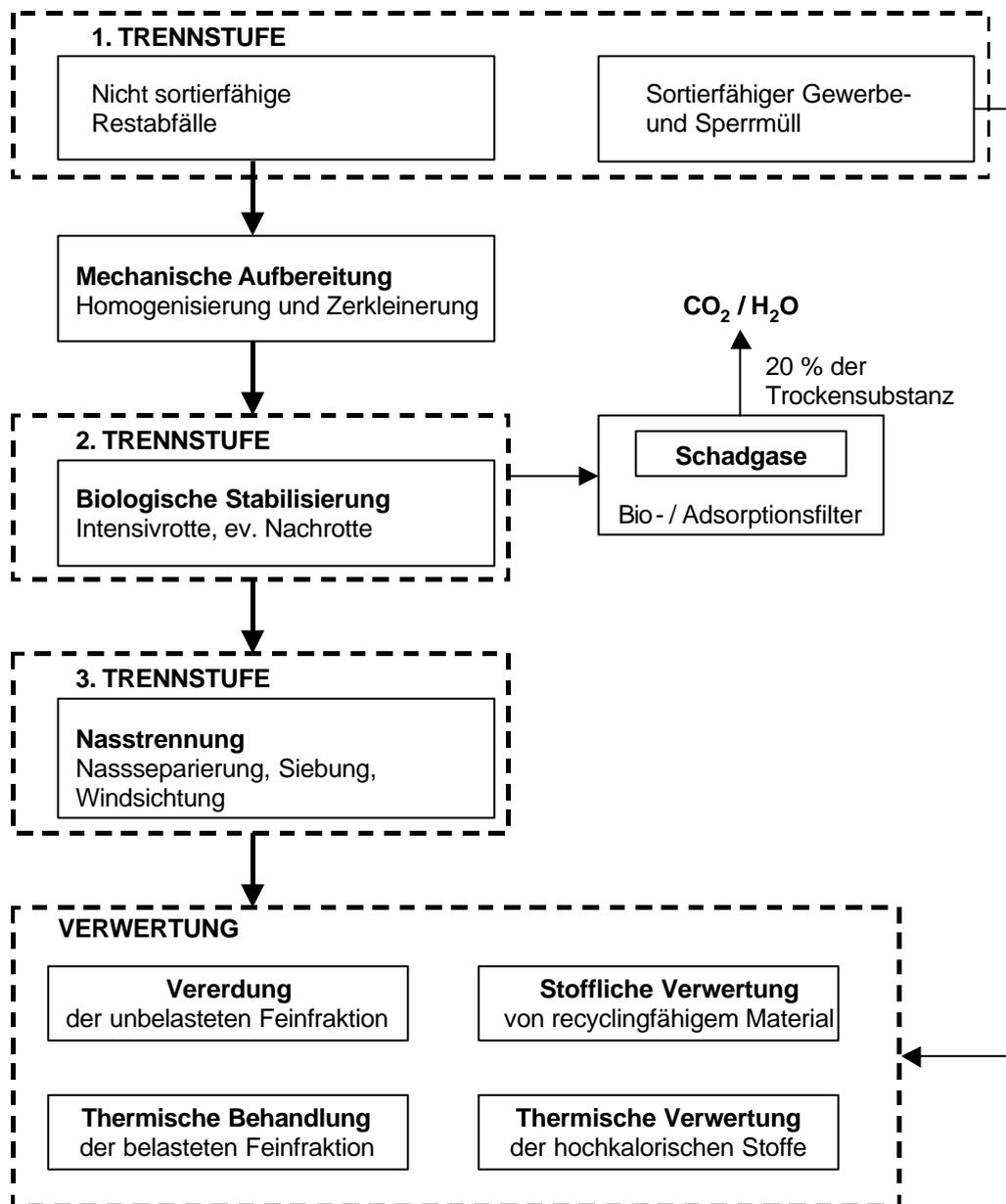
Sowohl die stoffliche Kreislaufführung als auch die Stoffbehandlung zur Naturintegration verlaufen um so erfolgreicher, je genauer die Stoffe bekannt sind. Deshalb wurde die Produktverantwortung eingeführt und schrittweise ausgedehnt. Unter diesen Voraussetzungen kommen Produkte erst auf den Markt, wenn auch die damit verbundenen Abfallprobleme gelöst sind. Dieses System passt sich allen wirtschaftlichen Änderungen an. Gelingt es, mit einfachen Mitteln den kommunalen Mischabfall so weitgehend zu trennen, dass die Teilströme den Anforderungen der Industrie genügen, können sie zusammen mit den industriellen Stoffen verwertet und behandelt werden. Kommunale Anlagen sind dann nur noch sinnvoll, wenn sie als Angebot auch im industriellen Netz tätig sind (Steinbrecht et al. 2000).

Im Maßstab 1:1 wurde in Stendal großtechnisch vorgeführt, dass die Trennung kommunaler Restabfälle durch eine Kombination biologischer und mechanischer Behandlungsschritte preisgünstig möglich ist und für die heizwertarme Fraktion die vorgesehenen Ablagerungskriterien der biologischen Behandlung eingehalten bzw. wesentlich übertroffen werden.

### **120 Prinzip des Verfahrens**

Das Verfahren (Prinzip s. Abb. 1) wird auf undefinierte Stoffgemenge angewandt, die am Entstehungsort mit sinnvollem Aufwand nicht weiter getrennt werden können.

Es beruht auf dem Grundprinzip einer intensiven biologischen Stabilisierung des Restabfalls bis zur Bildung wasserlöslicher, nicht haftender huminstoffähnlicher Substanzen ohne aufwendige mechanische Vorbehandlung (Homogenisierung in Chargemischern, Zerkleinerung z. B. mittels Wasserstrahl-schneidtechnik).



**Abb. 1** Verfahrensschema einer stoffstromspezifischen Abfallbehandlung durch Stofftrennung

Der aerobe Abbau treibt während der Hochtemperaturphase (ca. 80°C) die flüchtigen toxischen Stoffe wie Benzol zur gezielten Behandlung aus. Der Gasaustausch wird mit Unterdruck betrieben, so dass die Abgase vollständig gefasst und in einer Kombination von biologischen Filtern und Adsorptionsfiltern bis unter die Nachweisgrenze von Schadstoffen gereinigt werden können (Abb. 2).

Die biologische Nachstabilisierung mit Naturzug (z.B. "Kaminzug-Verfahren") erzielt eine Stabilität, mit der **alle** Eluatgrenzwerte der geltenden Vorschriften (TASi) ohne Erweiterung für die BMA ein-

gehalten werden können. Weitergehende Trennungen zu definierten Brennstoffen aus der hochkalorische Fraktion, der Mineralfraktion zu Baustoffen oder die Abtrennung des Sandes aus der erdähnlichen Fraktion sind Stand der Technik und werden bereits mit Industrieabfällen gewerblich durchgeführt.

## **121 Auswahl des Verfahrens**

Das Ziel der Abfalltrennung durch weitgehende biologische Stabilisierung kann mit jedem System erreicht werden, dass mechanisch den Restabfall störungsarm bis zur notwendigen Stabilisierung behandeln kann und dessen Abluft weitgehend gefasst und gereinigt werden kann. Im Landkreis Stendal wurde das "BioPuster"<sup>®</sup> Verfahren gewählt, weil es zur Beherrschung toxischer Gase während der biologischen Altlaststabilisierung entwickelt wurde, seit 1992 Stand der Technik ist, auf kleiner Fläche den Gasaustausch in Mieten bis zu 8 m Höhe in einem doppelt gekapselten System sicherstellen kann, dazu weniger als 20 % des z. Z. üblichen Gasdurchsatzes benötigt und nachweislich bereits an anderer Stelle die für BMA's vorgesehenen Grenzwerte erreicht hat (Spillmann et al. 1988). Außerdem muss das System nicht sofort gekauft, sondern kann auf Mietbasis zeitlich begrenzt betrieben werden.

Der maßgebende technische Unterschied zu anderen Anlagen besteht darin, dass die Zuluft mit Sauerstoff auf ca. 30 bis 40 Vol.-% O<sub>2</sub> angereichert und in variabel einstellbaren Takten und Drücken als Druckschwall „eingepustet“ wird, während die Abluft kontinuierlich mit 30 % Volumenüberschuss abgesaugt wird. Bei richtiger Anwendung entsteht dadurch insgesamt ein Unterdruck in der Miete, so dass an nicht völlig abgedichteten Kapseln die Luft von außen in die Miete strömt. Bezogen auf das Inventar bleibt dadurch auch das undichte System dicht („Versagen“ zur sicheren Seite).

Die Wirkung des Druckschwalls auf die Sauerstoffverteilung und die Sauerstoffanreicherung auf dem Umfang der Atmung wurden bereits früher u.a. von den Verfassern untersucht. Es wurde eine entscheidende Verbesserung der Zuluftverteilung und die nahezu vollständige Veratmung der Sauerstoffanreicherung nachgewiesen. Dadurch war es möglich, den Gasdurchsatz gegenüber anderen Verfahren um mehr als eine halbe Zehnerpotenz zu senken.

Die Wärme wird nicht über den Gasstrom, sondern über die Verdunstungskühlung abgezogen. Der Wasserverlust muss deshalb über eine Oberflächenbewässerung ausgeglichen werden und die Miete im Bereich der max. Speicherkapazität gehalten werden.

## **122 Aufbau und Betrieb der Anlage im Landkreis Stendal**

Nach Vorlage der Auswertung des Freiburger Versuches (Spillmann et al. 1998) beschloss der Landkreis Stendal auf Beschlussvorlage des Umweltamtes, Leitung Herr Dr. Franke, in einem Pilotversuch die Eignung des BIOPUSTER<sup>®</sup>-Verfahrens für die Bedingungen des Landkreises Stendal zu prüfen. Auf Antrag des Landkreises wurde das Pilotprojekt vom Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt (MRLU) gefördert (Franke, 1996).

Die mechanische Vorbehandlung beschränkte sich auf eine Grobzerkleinerung des Sperrmülls in einem 2-Wellen-Langsamläufer und eine Homogenisierung der Abfälle in einem Chargenmischer (hier: System KUKA=Aufbau eines Müllsammelwagens). Der intensive Teil des Rottevorgangs wurde mit dem für die Altlastsanierung entwickelten BIOPUSTER<sup>®</sup>-Verfahren (Spillmann, 1995) gekapselt durchgeführt (Abb. 2) (weitere Einzelheiten s. Spillmann et al. 1998).

Die Abgase wurden unverdünnt abgesaugt und mit hoher Effektivität einschließlich Adsorptionsfilterstufe gereinigt. In der Regelausführung erhalten die Boxen der Abbildung 2 noch ein Dach und Tore, so dass die Kapsel eingehaust ist (Österreichische Vorschrift, z.Z. Entwurf).

Die Gasreinigung wird so lange betrieben, bis die gasförmigen Emissionen ausgetrieben sind und die geplanten Grenzwerte für BMA's eingehalten werden. Ziel der Gasreinigung ist die Einhaltung der

17. BImSchV (vgl. Belastungen des Rohgases, Abb. 3a, mit den Filter-Passagen 3b u. 3c). Wird die Anlage unmittelbar mit einer dezentralen thermischen Abfallbehandlung von Teilströmen betrieben, werden die Gase thermisch behandelt.

Bestehende Bedenken zum Verfahren, vor allem zur biologischen Aktivität oberhalb 70 °C und zur möglichen Zunahme der Toxizität der Dioxine wurden ausgeräumt (vgl. z.B. Spillmann et al. 1998, Spillmann u. Eschkötter 1999).

Der Intensivrotte folgte eine Nachrotte (hier: Kaminzug) zur Bildung wasserunlöslicher organischer Substanzen. Der biologischen Stabilisierung folgten die Trennversuche: siebtechnisch im Maßstab 1:1, Nasseparierung mit unzerkleinerter Originalprobe in großem Labormaßstab.



**Abb. 2** Eingehauste, gekapselte Biologische Stabilisierung mit vollständiger Gasbehandlung zur nachfolgenden Stofftrennung, hier: Testausführung ohne Dach und Tore

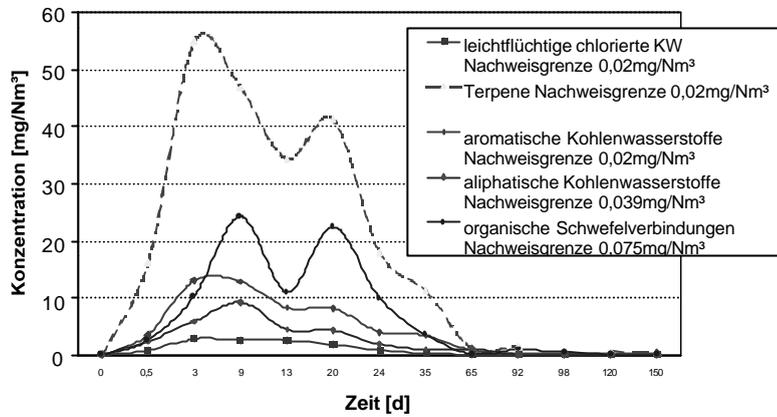
Die Gasreinigung wird so lange betrieben, bis die gasförmigen Emissionen ausgetrieben sind und die geplanten Grenzwerte für BMA's eingehalten werden. Ziel der Gasreinigung ist die Einhaltung der 17. BImSchV (vgl. Belastungen des Rohgases, Abb. 3a, mit den Filter-Passagen 3b u. 3c). Wird die Anlage unmittelbar mit einer dezentralen thermischen Abfallbehandlung von Teilströmen betrieben, werden die Gase thermisch behandelt.

Bestehende Bedenken zum Verfahren, vor allem zur biologischen Aktivität oberhalb 70 °C und zur möglichen Zunahme der Toxizität der Dioxine wurden ausgeräumt (vgl. z.B. Spillmann et al. 1998, Spillmann u. Eschkötter 1999).

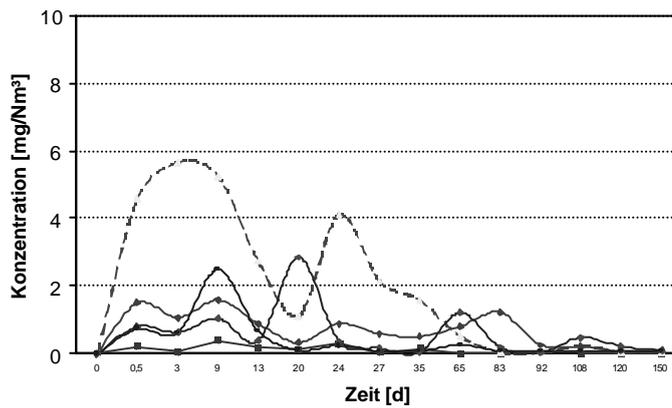
### 123 Beherrschung der Gasemission

Im Rahmen der verfügbaren Mittel konnte nur eine Auswahl toxischer Gase untersucht werden, die nach den z. Z. vorliegenden Kenntnissen vorrangig im Deponiegas zu beachten sind (Abb. 3). Die Dauer und Höhe der Emissionen sind in Abb. 3a dargestellt, die Filterleistung kann aus den Abb. 3b und 3c abgelesen werden. Die biologischen Filter senken die Emissionen erheblich, reichen aber er-

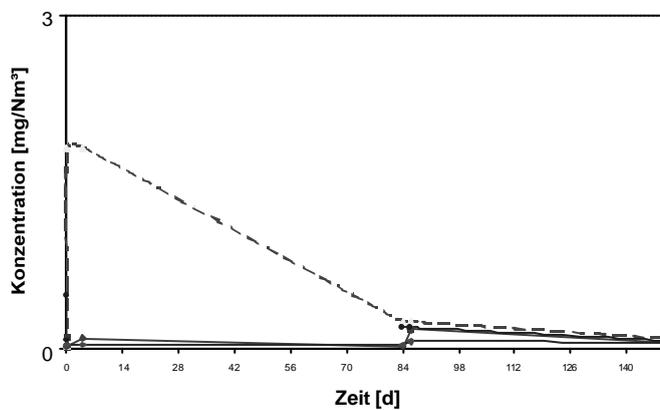
fahrungsgemäß nicht aus, wichtige toxische Stoffe wie Benzol auf unbedeutende Werte zu senken. Die hier gemessenen Belastungen nach dem Biofilter sind allerdings in Verfahren mit großem Luftdurchsatz infolge der Verdünnung mit z. Z. üblicher Technik gar nicht messbar .



**Abb. 3a** Belastungen des Rohgases



**Abb. 3b** Belastungen der Abluft nach der Passage des Biofilters



**Abb. 3c** Belastungen der Abluft nach der Passage des Aktivkohlefilters

### Abb. 3 Gasemissionen und Gasreinigung während der Intensivrotte

Die Adsorptionsfilter senkten die Emissionen auf unbedeutende Werte. Nach ca. 90 Tagen Heissrotte, ca. 70 bis 80 °C, sanken auch die Konzentrationen der Rohgase auf unbedeutende Werte, so dass bei niedrigeren Temperaturen in einer Deponie oder einer Nachrotte keine wesentlichen Umweltbelastungen durch toxische Gase zu erwarten sind.

#### 124 Eluierbare Stoffe

Die vorgesehenen Kriterien der TASI für biologische Vorbehandlung können bereits mit der Intensivrotte eingehalten werden.

Voraussetzung für eine abwasserfreie Nassseparierung ist eine so weitgehende biologische Stabilisierung, dass die Eluate mindestens die Grenzwerte der Deponieklasse II nach TASI ohne Erweiterung einhalten ( $< 100 \text{ mg/l}$ ).

Steht eine nach der TASI gedichtete und entwässerte Deponiefläche zur Verfügung, können ohne Erhöhung der Betriebskosten in Verbindung mit einer Nachrotte reproduzierbar die Eluatkriterien der Deponieklasse I mit Ausnahme des eluierbaren organischen Kohlenstoffs (Eluat-TOC) eingehalten werden. Der Eluat-TOC hält den Grenzwert der Deponieklasse II ein (Eluat-TOC  $< 100 \text{ mg/l}$ ) (Tabelle 1). Im Regelfall liegen die meisten Eluatwerte weit unter den Grenzwerten der Deponieklasse I. Die Differenzierung nach Siebschnitten ergibt für diesen Fall, dass die vorgesehenen Ersatzparameter der Feststoffkriterien für die biologische Abfallbehandlung noch erheblich verschärft werden, die Fein- und Mittelfraktion ohne weitere Behandlung als Deponieklasse II endgelagert werden können. In diesem Fall braucht nur die heizwertreiche Fraktion  $> 40 \text{ mm}$  gereinigt und differenziert zu werden.

Die Einhaltung der TASI-Grenzwerte garantiert nicht die dauerhafte Naturintegration des Materials. Strengere Kriterien wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für die technische Nutzung oder Verwendung als Verfüllmaterial in der Landschaft aufgestellt (LAGA - Merkblatt). Vergleicht man in diesem Beispiel das Inventar wichtiger Spurenelemente mit den Zuordnungswerten der LAGA (Tabelle 2), so lässt der Zinkgehalt auch einen eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherungen nicht zu. Auch das übrige Inventar hätte im günstigsten Fall für einen eingeschränkten Einbau ausgereicht. Da die huminstoffähnlichen Substanzen mit zunehmender Stabilität Schwermetalle komplexieren, kann die biologische Stabilisierung einen wesentlichen Beitrag zur Festlegung der Schwermetalle leisten. Deshalb wurden in Abb. 4 die Eluatbelastungen für Zink in Abhängigkeit zum Eluat-TOC für Proben mit unterschiedlicher Stabilisierung dargestellt und als Orientierungshilfe zur Bewertung die Eluatzuordnungswerte der LAGA als Grenzlinien eingetragen. Es ist eindeutig zu erkennen, dass nur dann eine deutliche Festlegung auf Werte für einen eingeschränkten Einbau nachweisbar ist, wenn der Eluat-TOC die z. Z. geltenden Grenzwerte für den Eluat-TOC der Deponieklasse II ( $100 \text{ mg/l}$ ) eindeutig unterschreitet. Deshalb ist es nicht sinnvoll, den für BMA's gut einhaltbaren Grenzwert von  $\text{TOC} \leq 100 \text{ mg/l}$  zu erhöhen. Für die erdähnliche Feinfraktion konnten sogar durch eine weitgehende biologische Stabilisierung trotz des hohen Inventars die Zuordnungswerte Z0 des Eluats für beliebigen Einbau für Blei mit  $\text{Pb} < 0,02 \text{ mg/l}$  und Zink mit  $\text{Zn} < 0,1 \text{ mg/l}$  eingehalten werden.

**Tab. 1** Feststoff und Eluatparameter im Vergleich zu den TASI-Grenzwerten und empfohlenen Zielwerten für die biologische Stabilität, erzielt nach 25 Wochen Intensivrotte und 3 Monaten Nachrotte (Feststoffkriterien) bzw. 8 Monaten Nachrotte (Eluatkriterien).

Parameter	Dimension	intensiv- und nachgerotteter Restabfall				Grenzwerte TASI	
		< 8mm	8 - 40mm	> 40mm	Gesamt	DK I	DK II
<b>Feststoff <sup>1)</sup></b>							
Glühverlust	<i>M-%TS</i>	20,3	20,3	33,5	<b>23,5</b>	3	5
Glühverlust korrigiert	<i>M-%TS</i>	12,8	18,9	16,7	<b>16,0</b>	-	-
TOC	<i>M-%TS</i>	13,3	12,2	14,7	<b>13,2</b>	1	3
Atmungsakt. in 96 h	<i>mg O<sub>2</sub>/gTS</i>	< 1	< 1	4,5	<b>&lt; 1,9</b>	5	Zielwerte für biologische Stabilisierung
Gasbildung in 35 d	<i>l/kgTS</i>	< 1	2	3	<b>&lt; 1,9</b>	20 (in 21 d)	
<b>Eluat <sup>2)</sup></b>							
pH-Wert	-	7,7	7,9	7,6	<b>7,7</b>	5,5-13,0	5,5-13,0
Leitfähigkeit	<i>µS/cm</i>	2420	1940	2160	<b>2182</b>	10.000	50.000
TOC	<i>mg/l</i>	44	44	61	<b>48</b>	20	100
Phenole	<i>mg/l</i>	0,01	0,02	0,024	<b>0,017</b>	0,2	50
As	<i>mg/l</i>	< 0,04	< 0,04	< 0,04	<b>&lt; 0,04</b>	0,2	0,5
Pb	<i>mg/l</i>	< 0,02	< 0,02	< 0,02	<b>&lt; 0,02</b>	0,2	1
Cd	<i>mg/l</i>	< 0,002	< 0,002	< 0,002	<b>&lt; 0,002</b>	0,05	0,1
Cr-VI	<i>mg/l</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	<b>&lt; 0,05</b>	0,05	0,1
Cu	<i>mg/l</i>	0,053	0,044	0,053	<b>0,05</b>	1	5
Ni	<i>mg/l</i>	< 0,02	< 0,02	< 0,02	<b>&lt; 0,02</b>	0,2	1
Hg	<i>mg/l</i>	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	<b>&lt; 0,0002</b>	0,005	0,02
Zn	<i>mg/l</i>	0,07	0,05	0,12	<b>0,07</b>	2	5
Fluorid	<i>mg/l</i>	0,12	0,15	0,12	<b>0,13</b>	5	25
Ammonium-N	<i>mg/l</i>	0,8	0,25	0,02	<b>0,41</b>	4	200
Cyanide (leicht freisetzbar)	<i>mg/l</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>&lt; 0,01</b>	0,1	0,5
AOX	<i>mg/l</i>	0,2	0,33	0,2	<b>0,25</b>	0,3	1,5
Wasserlöslicher Anteil	<i>M%</i>	0,19	0,16	0,2	<b>0,18</b>	3	6
CSB	<i>mg O<sub>2</sub>/l</i>	111	118	195	<b>134</b>	-	-
BSB <sub>5</sub>	<i>mg O<sub>2</sub>/l</i>	< 3	< 3	< 3	<b>&lt; 3</b>	-	-

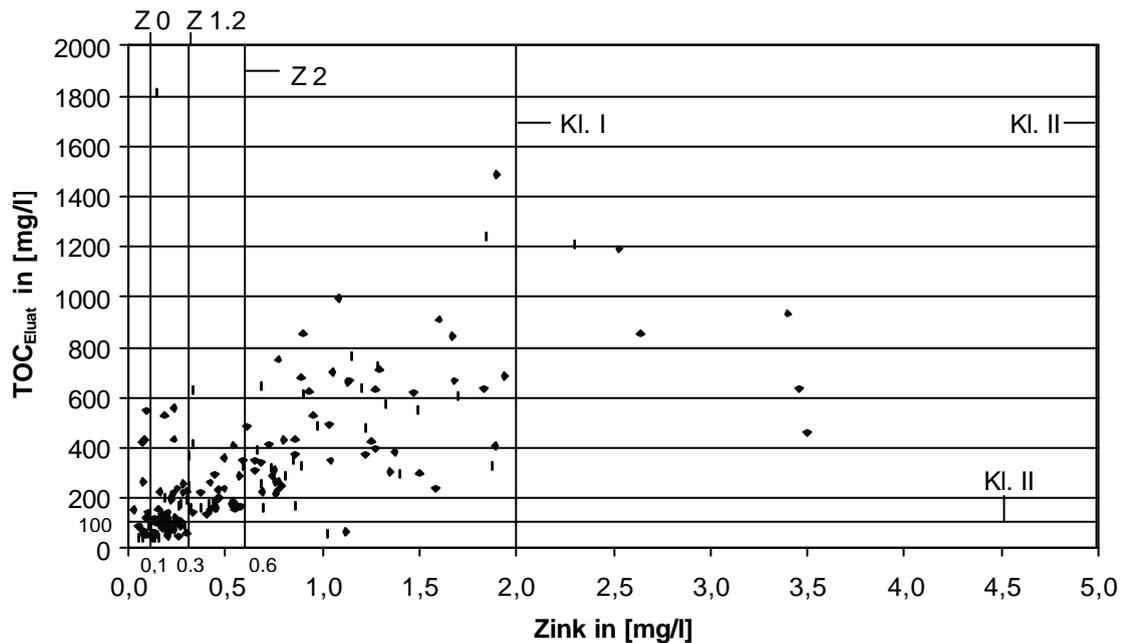
<sup>1)</sup> 3 Monate Hochrotte

<sup>2)</sup> 8 Monate Hochrotte

**Tab. 2** Vergleich des Inventars wichtiger Spurenelemente und der Summe extrahierbarer chlorierter organischer Substanzen (EOX) der intensiverrötenen, erdähnlichen Fraktion mit den z.Z. geltenden Ablagerungskriterien (LAGA-Richtlinie, TASI)

Elemente <sup>1)</sup>	Dimension	Min.	Mittel	Max.	Z 1.2	Z 2	Z 3/Z 4
Blei	mg/kg TS	280	490	680	300	1000	Eluat Tabelle I maßgebend
Cadmium	mg/kg TS	1,4	1,8	2,1	3	10	
Chrom	mg/kg TS	60	90	160	200	600	
Kupfer	mg/kg TS	150	180	200	200	600	
Nickel	mg/kg TS	40	45	50	200	600	
Zink	mg/kg TS	1500	2100	2700	500	1500	
EOX	mg/kg TS	7	9	15	10	15	

- <sup>1)</sup> erste Ergebnisse, Parameter noch nicht vollständig  
 Z 1.2 = eingeschränkter Einbau  
 Z 2 = eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungen  
 Z 3 = Deponieklasse I TASI  
 Z 4 = Deponieklasse II TASI



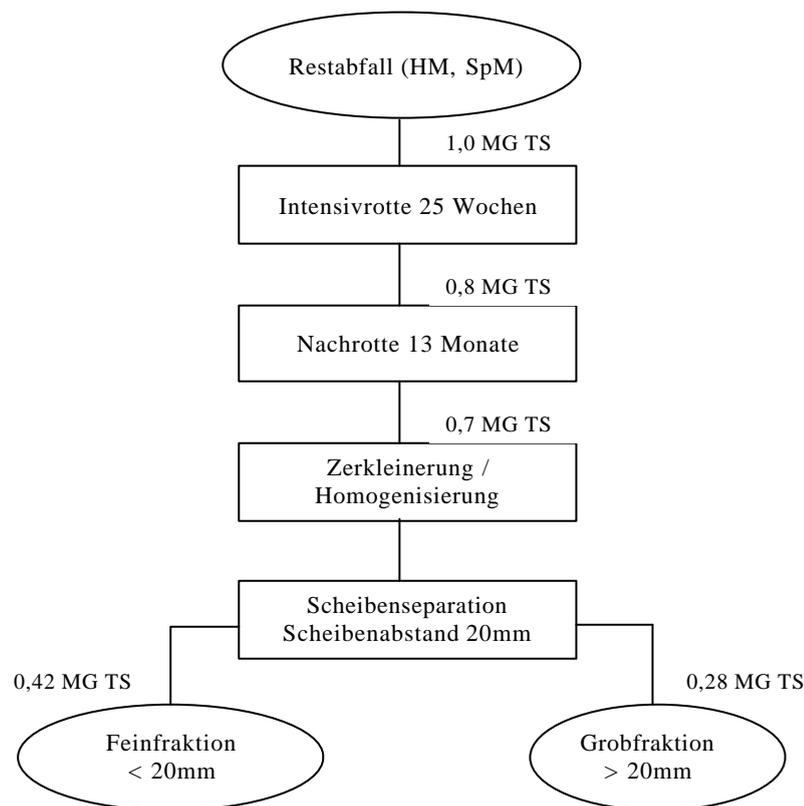
**Abb. 4** Zusammenhang zwischen TOC<sub>Eluat</sub> und Zink im Eluat des biologisch stabilisierten Restabfalls

## 125 Stoffliche Zerlegung

### 125.1 Siebtrennung ohne Stoffdifferenzierung

Nach den Betriebserfahrungen auf der Rotte-Deponie des Landkreises Schwäbisch-Hall, Leitung Dr. Haschemi, besteht die Möglichkeit, mit einem an Abfall angepassten Scheibenseparator (Fa. EuRec) durchgerottete Restabfälle preisgünstig und störungsarm mit guter Trennwirkung zu separieren. Aufgrund der Ergebnisse der Stabilitätsuntersuchungen (Kap. 6), differenziert nach Siebschnitten (Tab. 1), war aus der Sicht der Kriterien der ergänzten TASI der größte Nutzen bei kleinstem Aufwand zu erwarten, wenn mittels Scheibenseparator die Grobfraction >20 mm Scheibenabstand (keine Sieböffnung!) abgesiebt und u.U. noch von den Anhaftungen vor der thermischen Verwertung gereinigt wird. Die übrige Masse kann dann auf einer Deponie der Klasse II deponiert werden (Abb. 5). In diesem einfachsten Fall wären dann ohne Nachreinigung von 1 t Abfall**trocken**substanz des Ausgangsmaterials ca. 0,3 t thermisch verwertbar, ca. 0,4 t wären deponierbar. Ca. 0,3 t wurden biologisch vollständig abgebaut.

Weitere Differenzierungen ergaben, dass die Siebtrennung sowohl bezüglich der spezifischen Heizwerte als auch des Energiegehaltes der Fraktionen 20 mm eine weitere wesentliche Verbesserung nicht erzielt.



**Abb. 5** Massenbilanz für 1 Mg TS Restabfall nach Siebtrennung im Scheibenseparator mit 20 mm Scheibenabstand

## 125.2 Herstellung und Verwertung von Stoffströmen in Industriequalität

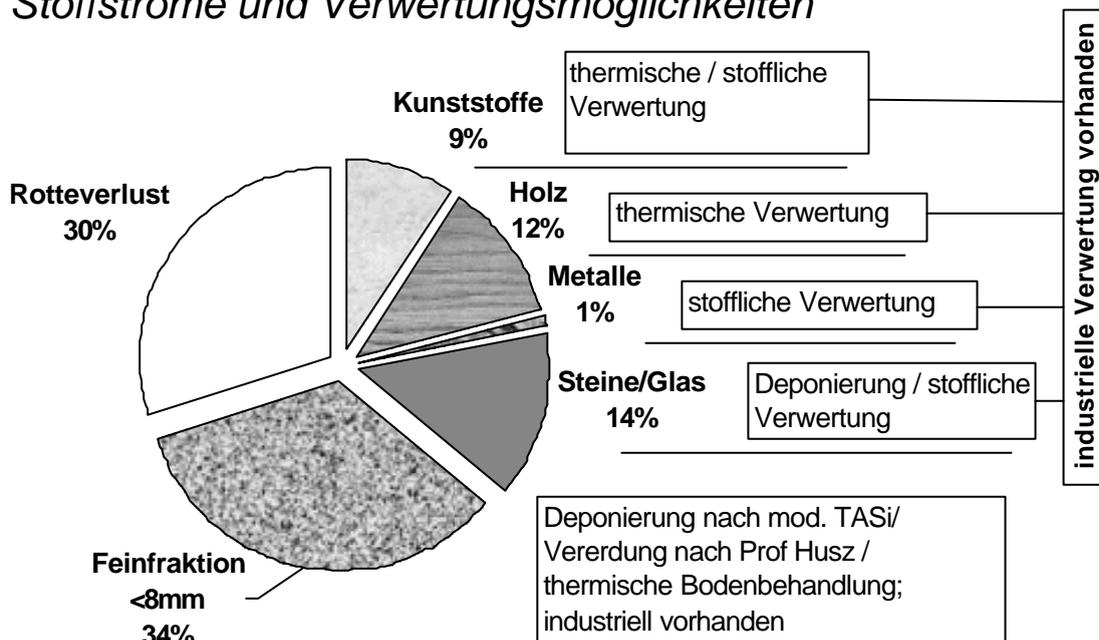
Bezogen auf 1 t Ausgangstrockensubstanz ergab die stoffliche Trennung folgende Anteile (Abb. 6):

- Feinfraktion 34 %
- Kunststoffe 9 %
- Holz 12 %
- Steine und Glas 14 %.

Durch die Trennung des gerotteten Restabfalls mit Hilfe der Nassseparierung in einzelne Stoffgruppen werden Stoffströme in Industriequalität erzeugt, die in den bereits vorhandenen Industrieanlagen kostengünstig verwertet werden können.

Rd. 1/3 der Ausgangstrockenmasse wird durch die biologischen Umsetzungsprozesse in CO<sub>2</sub> und Wasser umgewandelt und reduziert so den Anteil der weiterzubehandelnden Masse. Der Anteil an Steinen und Glas (14 %) ist weitestgehend von Anhaftungen befreit und kann stofflich verwertet werden (Einsatz im Straßenbau) oder nach z.Z. geltender TASI als Inertstoff deponiert werden. Der Anteil an Metallen kann ebenfalls einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Für die thermische Verwertung von Altholz existieren bereits zahlreiche Verwertungsbetriebe. Nach einer weiteren Aufbereitung der Kunststoffe (Pelletierung, Agglomerierung) kann ein hochwertiger Brennstoff erzeugt werden, der in bestehenden industriellen Anlagen auch in Hochtemperaturprozessen einsetzbar ist.

### Stoffströme und Verwertungsmöglichkeiten



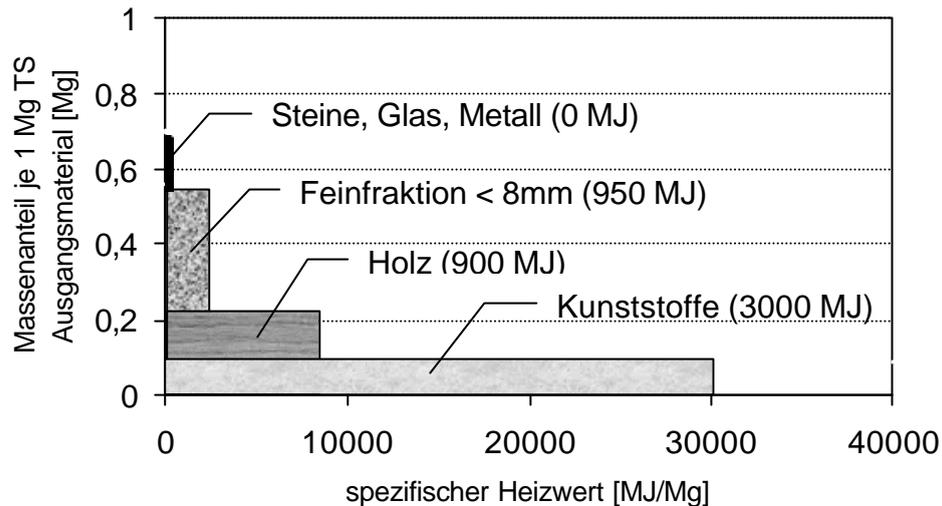
**Abb. 6** Getrennte Stoffgruppen und deren Verwertungsmöglichkeiten

Das Feinmaterial wird einer chemisch-physikalischen Analyse unterzogen und kann entsprechend den Eigenschaften weiter verwertet bzw. behandelt werden. Ist dieses Material chemisch unbelastet, kann es z.B. nach einem Verfahren von Prof. Husz vererdet werden und als Rekultivierungsschicht eingesetzt werden (praktiziert auf der Deponie "Am Langen Feld", Wien). Ergibt die Analyse eine chemische Belastung, kann das Material in industriellen Bodenbehandlungsanlagen kostengünstig thermisch

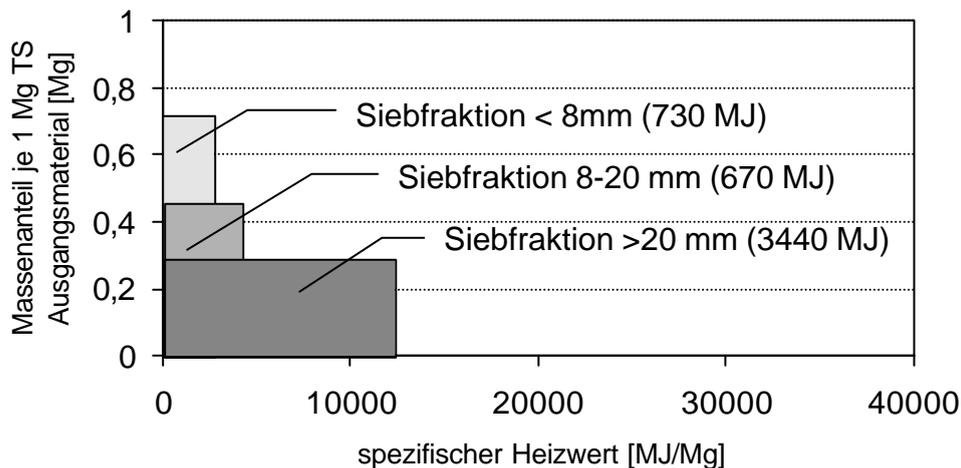
behandelt werden. Der Unterschied zur Verbrennung von unbehandeltem Restabfall ergibt sich aus den konstanten, definierten Eigenschaften des Feinmaterials, die einen kostengünstigen, effektiven Verbrennungsvorgang ermöglichen.

Die Ablagerungseigenschaften des Feinmaterials <8 mm erfüllen die diskutierten Parameter zur Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restabfall. Werden diese Parameter künftig in der TASI berücksichtigt, besteht die Möglichkeit, dieses Feinmaterial auch nach 2005 auf Deponien der Klasse II abzulagern.

### Energiegehalt der Stoffströme



### Energiegehalt der Siebfraktionen



**Abb. 7** Vergleich der Energiegehalte zwischen Siebtrennung und stofflicher Differenzierung

Der wesentliche Unterschied zur einfachen Siebtrennung besteht in der energetischen Differenzierung und der Eignung zur Verwertung der Stoffgruppen (Abb. 7):

- Im vorliegenden Beispiel bestehen nur ca. 10 % der Masse aus Kunststoffen, die aber mindestens die Hälfte der gesamten Energie enthalten und zu hochwertigen, definierten Brennstoffen für

Hochtemperaturprozesse weiterverarbeitet werden können. Etwa die gleiche Energie ist in der stofflich undefiniert ausgesiebten heizwertreichen Fraktion in der dreifachen Masse enthalten, die stofflich aufgrund der Beimengungen verfahrenstechnisch weiterhin als Müll einzustufen ist.

- Der Holzanteil ist mit 10 % TS für Restmüll ungewöhnlich hoch, im Vergleich zur thermischen Verwertung belasteter Hölzer in der Industrie aber unbedeutend und problemlos verwertbar.
- Im Gegensatz zur Holzfraktion ist die Siebfraktion 8- 20 mm nach gegenwärtig geltenden Bestimmungen als Abfall thermisch nicht verwertbar, sondern thermisch zu behandeln. Das ergibt zusammen mit der bodenähnlichen Feinfraktion einen thermischen Behandlungsbedarf von ca. 40 % TS im Falle der Siebklassifizierung, während unter gleichen Voraussetzungen im Falle der stofflichen Differenzierung nur noch 30 % TS thermisch zu behandeln sind. Diese Masse kann noch verringert werden, wenn eine Sandfraktion ausgeschleust werden kann (wird für das Beispiel z.Z. untersucht).
- Ca. 14 % TS sind im Falle der stofflichen Differenzierung ohne weitere thermische Behandlung als grobe Mineralfraktion in gewerblichen Anlagen verwertbar.

Der wesentliche Vorteil der hier vorgestellten einfachen stofflichen Differenzierung undefinierter Abfallgemenge besteht also darin, durch Senkung des thermischen Behandlungsbedarfs und Verbesserung der Verwertungsmöglichkeit die Kosten zu senken.

## 126 Kanalisierung der Schadstoffe

### 126.1 Spurenelemente

Abfälle, vor allem Klärschlämme, enthalten mehr mobilisierbare Spurenelemente als die meisten natürlichen Böden. Sie müssen zum Schutz kommender Generationen auf ein biologisch verträgliches Maß festgelegt werden. Das Verhältnis von Aufwand und Wirkung der Festlegung ist um so effektiver, je weiter die Spurenelemente in Teilströmen konzentriert werden können.

Die fein verteilten und deshalb bioverfügbaren Spurenelemente sind vorrangig im erdähnlichen Feinmaterial enthalten. Ferner sind Blei und Cadmium z.B. im PVC als Additive in alten Rezepturen und Kupfer als Holzschutzmittel in der Holzfraktion enthalten. Im Falle der einfachen Siebtrennung (Abb. 7 unten) werden durch den biologischen Abbau aus 30 % der Trockenmasse Rotteverluste, die Spurenelemente auf 70 % der Trockenmasse angereichert. Erst die stofforientierte Trennung (Abb. 7) konzentriert die Spurenelemente auf 34 % der Trockenmasse. Nur auf diesen Anteil müssen - falls notwendig - aufwendige Behandlungsverfahren angewandt werden.

1 % der Trockenmasse wurde metallisch zurückgewonnen, kupferhaltige Hölzer fallen im Bauwesen an, sind erkennbar und können vom Restabfall weitgehend ferngehalten werden. Cadmium und Blei sind nur noch in alten Kunststoffen, vor allem PVC, enthalten, die im Vergleich zu den Massenkunststoffen PE, PP und PS nur einen kleinen Massenanteil ausmachen und bei geeigneter Verwertung in Filtern gefasst werden.

Die Frage des noch notwendigen Behandlungsaufwandes für die Feinfraktion hängt u.a. vom Schwermetallgehalt und dessen Mobilisierbarkeit ab. Das Inventar liegt im untersuchten Fall (Tab. 2) erheblich über dem Gehalt eines natürlichen Bodens.

Betrachtet man die Aufgabe der Festlegung von Spurenelementen, insbesondere der Schwermetalle, aus der Sicht der Bodenkunde (Abb. 4), so wurde mit dieser biologischen Behandlung bereits eine weitgehende stabile Festlegung erreicht, die mit bodenkundlichen Behandlungsmethoden (z.B. Verfahren Husz) noch gesteigert werden kann. Eine weitgehend stabile humifizierte organische Substanz komplexiert nicht nur Schwermetalle, sondern bildet mit Tonmineralen stabile Komplexe, die z.B. saurem Regen mehr Widerstand leisten als reine Minerale. Eine undifferenzierte thermische Behand-

lung wäre deshalb zur Festlegung der Spurenelemente kontraproduktiv. Für hohe Schwermetallkonzentrationen existieren differenzierend arbeitende thermische Verfahren mindestens als Prototypen, die die Metalle zu Erzen aufkonzentrieren und zur Verwertung ausschleusen können (z.B. von Roll, Bremerhaven).

### **126.2 Organische Belastungen**

Die flüchtigen organischen Belastungen werden entweder im Adsorptionsfilter konzentriert und gezielt thermisch zerstört oder der Ansaugluft einer dazu geeigneten thermischen Behandlungsanlage beigemischt. Die nicht flüchtigen Stoffe werden auch im Falle der stofflichen Differenzierung (Abb. 7 oben) nur auf etwa die Hälfte der Ausgangstrockenmasse konzentriert, weil alle übrigen Stoffgruppen Sorptionsträger sind bzw. enthalten (Kunststoffe, huminstoffähnliche Substanzen, Ton) oder selbst Träger der toxischen Stoffe sind (behandelte Hölzer, Kunststoffe). Da die organischen Verbindungen im Gegensatz zu den Spurenelementen jedoch oxidiert werden können, ist die thermische Verwertung von Holz und Kunststoff in geeigneten Anlagen gleichzeitig eine weitgehende Zerstörung der darin enthaltenen organischen Schadstoffe. Differenziert im Sinne einer Abfallbehandlung ist deshalb ebenfalls - wie bei den Spurenelementen - nur noch ein Drittel der Ausgangstrockenmasse zu betrachten. Aufgrund regelmäßiger Analysen ortstypischer Leitbelastungen ist abzuwägen, ob die organischen Belastungen eine thermische Behandlung erfordern oder ob die stabile Festlegung der Schwermetalle durch Huminstoffe den höheren Stellenwert hat. Dabei ist vor allem für Industrieländer zu beachten, dass die bereits allgegenwärtige organische Grundbelastung der Umwelt auch durch eine ideale Abfallbehandlung nicht gesenkt werden kann.

### **126.3 Zusammenfassung der Schadstoffbetrachtung**

Der Aufwand der intensiven Abfallbehandlung wird durch die stoffliche Differenzierung auf ca. ein Drittel der Ausgangstrockenmasse verringert, deren Eigenschaften einem Boden sehr nahe kommen. Deshalb kann auch dieses Material analog zur Bodenbehandlung auf der Basis von Analysen und der daraus folgenden Bodenbehandlungsmethoden gezielt in die Umwelt eingepasst werden, ohne dass der hohe Aufwand zur Behandlung undefinierter Abfallgemische erforderlich wird.

## **127 Anwendungsmöglichkeiten für die Praxis**

Für die Praxis sind vor allem die wirtschaftlichen Vorteile interessant. Das hier vorgestellte Verfahren muss an die örtlichen Bedingungen genau angepasst werden, um die möglichen Vorteile auch tatsächlich erzielen zu können. Deshalb können hier keine allgemeinverbindlichen Kosten angegeben werden. Es wird aber zu verbindlichen Preisen und Qualitätsgarantien von anerkannten Firmen angeboten, wenn diese in einem konkreten Fall zur Abgabe eines Angebotes aufgefordert werden. Geht man von gleichen Qualitätsanforderungen an das Endprodukt aus, ergaben Vergleichsrechnungen in allen bisher kalkulierten Fällen einen eindeutigen Vorteil für die stofflich differenzierte Behandlung.

## 128 Literatur

- Franke, J. (1996):** Abfallwirtschaftskonzept mit integrierter mechanisch-biologischer Behandlung im Landkreis Stendal. - 1. Arbeitstagung des BMBF-Verbundvorhabens, Universität Potsdam 13./14. März 96
- Spillmann, P. (2000):** Stoffliche Sanierung von Altablagerungen. - In: Thomè-Kozmiensky: Restabfallentsorgung. - TK-Verlag, Neuruppin 200, ISBN 3-924511-91-8
- Spillmann, P. u. H. Eschkötter (1999):** Gewinnung hochwertiger Brennstoffe aus undefinierten Abfallgemengen.- In: B. Bilitewski, M. Faulstich, A. Urban (Hrsg.) (1999): Thermische Abfallbehandlung, Co-Verbrennung; Beiträge z. Abfallwirtsch. Bd. 9, S. 100-111; Eigenverlag d. Forums f. Abfallwirtschaft u. Altlasten e.V., ISBN 3-98051747-0
- Spillmann, P., H. Eschkötter, G. Morscheck (1998):** Neueste Ergebnisse der biologisch-mechanischen Abfallbeseitigung im LK Stendal mit Druck-Schwall-Belüftung (BIOPUSTER-Verfahren) - F. Krause, H. Haase (HRSG.): Tagung Siedlungsabfallwirtschaft 1998 "Restabfallbehandlung handeln statt abwarten", ISBN 3-930385-15-5, LOG/SCH, Magdeburg
- Steinbrecht, D., H. Geier, P. Spillmann, H. Eschkötter (2000):** Umweltgerechte Verbrennung definierter Teilströme aus Restabfällen in einer stationären Wirbelschichtfeuerung kleiner Leistung. - VDI-GET-Fachtagung "Wege des Abfalls", 10./11.Mai 2000 in Veitshöchheim

### Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Peter Spillmann  
H. Eschkötter  
G. Morscheck  
Universität Rostock  
Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz  
Institut für Landschaftsbau und Abfallwirtschaft  
18051 Rostock  
Sitz: Justus-von-Liebig-Weg 6  
Tel.: 0381 – 498 2154

Dr. Joachim Franke  
  
Landratsamt Stendal  
Hospitalstr. 1-2  
39576 Stendal