

Einflüsse der Kreislaufwirtschaft auf die thermische Abfallbehandlung

Bernt Johnke, Paul-Gerhard Mast, Michael Beckmann

Regelungen zur Kreislaufwirtschaft

Zur Unterstützung der Ziele der Kreislaufwirtschaft sind in den letzten Jahren Regelungen und Vereinbarungen getroffen worden, von denen erwartet wird, daß sie sich auch auf die Menge und Zusammensetzung des zur thermischen Behandlung gelangenden Abfalls zur Beseitigung auswirken. Neben dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sind hier die TA Siedlungsabfall, die Verpackungsverordnung, eine Selbstverpflichtung für die Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere, die Bioabfall-Verordnung, die Verordnung über die Entsorgung von Altautos und zur Schadstoffentlastung des Wirtschaftskreislaufes die Verordnung über die Entsorgung von Elektro- und Elektronikschrott sowie die Batterieverordnung zu nennen.

In Abbildung 1 sind die vorläufigen Zahlen der relevanten verwerteten Mengen an Wertstoffen (Verpackungen, Biomüll, Papier/Pappe/Karton) für das Jahr 1997 der Gesamtabfallmenge an Siedlungsabfällen aus dem Jahre 1993 und einer daraus (angenommenen) errechneten zu beseitigenden Rest-Siedlungsabfallmenge von 268 kg/E*a gegenübergestellt.

Thermische Behandlung und abfallwirtschaftliche Maßnahmen

Die in den 16 Bundesländern für die Beseitigung verbleibende Rest-Siedlungsabfallmenge weist eine Schwankungsbreite von 240 kg/E*Jahr bis 515 kg/E*Jahr

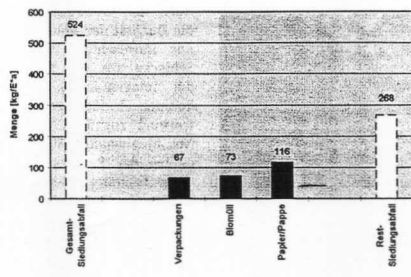


Abb. 1: Gegenüberstellung der Gesamt-Siedlungsabfallmenge aus 1993, der mengenrelevanten verwerteten Wertstoffmengen (1997) sowie der daraus errechneten (angenommenen)- Rest-Siedlungsabfallmenge zur Beseitigung [Angabe in kg/E*a]

auf. Interessant ist die Frage, ob von unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Siedlungsabfallentsorgung ein Einfluß auf die Abfallverbrennung feststellbar ist. Es wurde dabei zwischen Anlagen in Entsorgungsgebieten mit hohem (Szenario A) und niedrigerem (Szenario B) Anteil bei

der Verwertung unterschieden.

Einfluß von abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Szenario A: Es wurden 7 Anlagen ausgewählt, in deren Einzugsbereich der überwiegende Anteil der Gesamtabfallmenge in die Verwertung

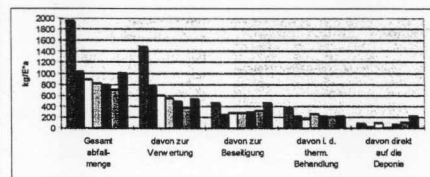


Abb. 2: Menge und Verteilung der Siedlungsabfälle in 7 Entsorgungsgebieten mit thermischer Abfallbehandlung und Deponie

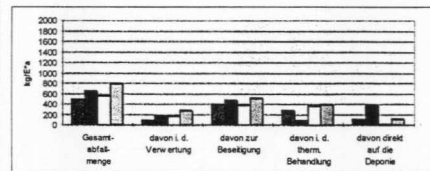
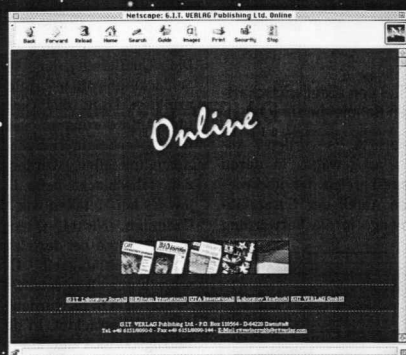
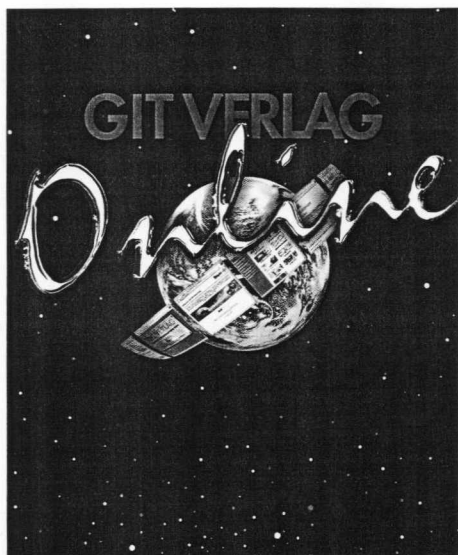


Abb. 3: Menge und Aufteilung der Siedlungsabfälle in vier Entsorgungsgebieten mit thermischer Abfallbehandlung und Deponie

geht (z. B. DSD, Bauschuttaufbereitung, Bio- und Grünabfälle, Altpapier/Pappe/Karton, Altmetall, Alttextilien, Altholz) und bei denen darüber hinaus eine getrennte Sammlung von Problemabfällen erfolgt. Die Gesamt mengen der Siedlungsabfälle im Einzugsbereich der 7 Anlagen und die Anteile der Entsorgungswege wurden jeweils aus den Länderabfallstatistiken der Jahre 1995 und 1996 entnommen und sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Verwertungs-raten bewegten sich bezogen auf den Gesamt abfall zwischen 54% und 76%. In allen Anlagen findet eine Schlacke- und Metallverwertung statt. Die Qualitäten der HMV-Schlacke aus allen 7 Anlagen erfüllen i.d.R. die Verwertungsanforderungen gemäß LAGA-Merkblatt. Lediglich in Ausnahmefällen wurden in der Rohschlacke beim Eluat jeweils bei Metallen wie Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Zink und bei der elektrischen Leitfähigkeit Überschreitungen festgestellt.

Szenario B: Es wurden vier Anlagen betrachtet, in deren Einzugsbereich der überwiegende Anteil der Gesamt abfallmenge als Rest-Siedlungsabfall in die Beseitigung gelangen (entweder Abfallverbrennungsanlage oder Deponie). Die getrennte Sammlung der Abfälle zur Verwertung erfolgte für DSD, Bauschuttaufbereitung, Bio-/Grünabfälle, Altpapier/Pappe/Karton, Altmetall, Alttextilien und Altholz. In allen Bereichen wurde eine getrennte Sammlung von Problemabfällen durchgeführt. Auch hier wurden die Gesamt mengen und die Aufteilung der Siedlungsabfälle auf Entsorgungswege jeweils aus den



Join us
in the World Wide-Web.
We will present your product
offer on our web site -
worldwide
<http://www.gitverlag.com>

Länderabfallstatistiken der Jahre 1995 und 1996 entnommen und in Abbildung 3 dargestellt. Bezogen auf die Gesamtabfallmenge überweg bei diesen vier Anlagen der Anteil der Abfälle, die zur Beseitigung gelangten. Dieser lag im Betrachtungszeitraum zwischen 82 % und 65 %. Auch hier unterschied sich die Qualität der Rohschlacke nur unwesentlich von der Schlacke aus den Gebieten der Anlagen im Fall A. Sie konnten ebenfalls einer Verwertung zugeführt werden. Nur in Ausnahmefällen kam es bei der Rohschlacke zu Überschreitungen beim Eluat jeweils einzelner Schwermetalle wie Blei, Zink, Cadmium, Kupfer und Quecksilber und bei der elektrischen Leitfähigkeit.

Gegenwärtige Situation der Abfallzusammensetzung

Trotz aller Bestrebungen, einzelne Abfallströme einer stoff- bzw. materialspezifischen Verwertung zuzuführen sowie besonders schadstoffhaltige Abfälle für die Beseitigung getrennt zu erfassen, ist festzustellen, daß immer noch ein großes Verwertungspotential im Rest-Siedlungsabfall enthalten ist. Neben der Erfassung der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen bei zwölf Abfallbehandlungsanlagen wurde bei Sortieranalysen an fünf dieser Anlagen (zwei Anlagen aus Szenario A und drei Anlagen aus Szenario B) im Rahmen des F&E-Vorhabens „Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände“ festgestellt, daß im Rest-Siedlungsabfall jeweils etwa 20 % der Fraktionen „wiederverwertbare Papiere und Papieren“ sowie „Vegetabilien“ (kompostierbare Bioabfälle) vorzufinden sind. Reine Problemabfälle machen nur einen geringen Anteil von knapp 2 % aus, hierin ist jedoch ein relativ hohes Schadstoffpotential enthalten. Zu

der Fraktion „Problemabfälle“ gehören beispielsweise Farben, Lacke und Medikamente (1,1 %), Batterien (0,1 %) und Elektro- sowie Elektronikschrott (0,3 %).

Es waren bei den Sortieranalysen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anlagen aus Szenario A und B erkennbar. Alle Ergebnisse lagen im Schwankungsbereich anderer, zum Vergleich herangezogener Sortieranalysen aus der Literatur.

Zusätzlich zu den Sortieranalysen wurden stichprobenartige Analysen von Rohschlackeproben durchgeführt. Die Ergebnisse lagen im Schwankungsbereich vergleichbarer Schlackeanalysen und es wurden nur in Einzelfällen für einzelne Eluatparameter Überschreitungen festgestellt.

Bei der Analyse einzelner Abfallfraktionen wurde nachgewiesen, daß Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, in praktisch allen Abfallfraktionen von Rest-Siedlungsabfällen vorkommen. Aufgrund ihres Vorkommens, ihres Verhaltens bei den unterschiedlichen Verfahren der Abfallbeseitigung sind die Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber sowie das Produkt der chlororganischen Chemie „Polyvinylchlorid“ (PVC) von besonderer Bedeutung. Deren Stoff- bzw. Materialstrom in der Kreislaufwirtschaft soll nachfolgend exemplarisch eingehender beschrieben werden.

Blei wurde bei den Untersuchungen über die Zusammensetzung der Restabfälle, die zur thermischen Behandlung gelangen, vor allem in den Fraktionen „Elektronikschrott“, „Feinmüll“, „gefärbtes Verpackungsmaterial“ und „Vegetabilien“ nachgewiesen. Bei Cadmium waren es vorrangig die Fraktionen „langlebige Kunststoffprodukte“ und „Verpackungsmaterialien“; Quecksilber fand sich im wesentlichen in den Fraktionen „Feinmüll“ und „Textilien“. Kupfer wurde hauptsächlich in den Fraktionen „Elektronikschrott“ und

„Feinmüll“ gefunden. PVC konnte immer wieder als konkretes Produkt im Restabfall gefunden werden.

Die hauptsächlichsten Einträger und die Bandbreite ihrer Schwermetall- und Chlorgehalte sind in Tabelle 1 genannt. Der Einfluß dieser Stoffe und ihrer Gehalte auf die Zusammensetzung und insbesondere das Elutionsverhalten der Schlacke hängt von der Flüchtigkeit der Stoffe, deren Verbleib in den einzelnen Pfaden (fest, flüssig, gasförmig), von den Bindungsformen der Schwermetalle und des Chlors bei der thermischen Behandlung sowie von der Makrozusammensetzung und der Mineralogie der Schlacke ab.

Stoffstrombetrachtungen in der Kreislaufwirtschaft

Spezifische Stoffstrombetrachtungen werden u.a. im Bericht der Enquete-Kommission durchgeführt. Zwischenzeitlich liegt eine aktuellere Datenbasis aus dem F&E-Vorhaben „Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber“ vor. Der in diesem Vorhaben ermittelte Verbleib der Stoffe Blei, Cadmium und Quecksilber und ihrer Verbindungen im Wirtschaftskreislauf wird nachfolgend dargestellt (Verbleib = Verbrauch + Import – Export).

Blei und Bleilegierungen

Blei wird im wesentlichen aus primären Bleivorprodukten wie Erzkonzentraten und dem Verhüttungs-Zwischenprodukt Werkblei gewonnen. Daneben wird Blei aus sekundären Vorstoffen wie Recyclingmaterialien (z.B. Bleischrott) zurückgewonnen. Die Bleibilanz für 1994 weist einen Verbleib von ca. 310 500 t Blei im Inland aus. Wie sich Blei auf Zwischenprodukte und auf Produkte verteilt, ist der Bleibilanz von 1994 zu entnehmen. Wieviel davon jährlich aus dem Kreislauf ausgeschleust, der Beseitigung

zugeführt wird und damit auch in die thermische Behandlung gelangt, ist bisher nicht abgeschätzt worden. Hier wird angenommen, daß ca. 1/5 des jährlichen Bleiverbrauchs oder ca. 60 000 t/a in die Beseitigung gelangen.

Cadmium und Verbindungen

Cadmium fällt fast ausschließlich in Verbindung mit anderen Metallen und zwar als Nebenprodukt bei der Zinkerzeugung und im geringen Umfang auch bei der Blei- und Kupfererzeugung an. Aus einer Tonne Zink können etwa 3 kg Cadmium gewonnen werden. Der Inlandsverbleib von Cadmium in Zwischenprodukten und Produkten betrug 1994 810,6 t. Wie sich der Verbleib aufteilt, ist in der Cadmiumbilanz dargestellt. Es wird geschätzt, daß davon etwa 1/4 oder 195 t/a in die Abfallentsorgung gelangt.

Quecksilber und Verbindungen

Metallisches Quecksilber wird i.d.R. in Metallflaschen aus Spanien u.a. Ländern importiert und in Deutschland zur Herstellung verschiedener Produkte eingesetzt. Es wird außerdem als Betriebsmittel benötigt (z.B. Amalgamverfahren). Der Inlandsverbleib von Quecksilber betrug 1993 147,0 t. Die Verteilung des Verbleibs auf Produkte und Zwischenprodukte ist aus der Quecksilberbilanz zu ersehen. Es wird geschätzt, daß ca. 1/10 oder ca. 15 t/a in die Abfallentsorgung gelangen.

Polyvinylchlorid (PVC)

Ein Material unseres Wirtschaftskreislaufs, das in den letzten Jahren in mehreren Studien sehr intensiv bewertet und bilanziert wurde, ist PVC. PVC ist mit einer jährlichen Produktionsmenge von ca. 1,21 Mio. t der mengenmäßig bedeutendste chlororganische Kohlenwasserstoff. Es ist zwar als Material toxisch und ökotoxikologisch unbedenklich; der „Lebensweg“ von PVC bis

Bleibilanz 1994

Eintrag:	475.700 t Blei (einschl. Import, Vorräte, Handel und Fertigblei im Inland)
Verbleib:	insgesamt 310.500 t Blei, davon
400 t	Antiklopfmittel
9.500 t	Legierungen
32.300 t	Halbzeuge
21.900 t	Formguß
7.600 t	Kabelmäntel
182.400 t	Akkumulatoren (z.B. 4%–5% Motorrad-, 12%–14% Antriebs-, 75%–80% Starter-Batterien, 4%–6% ortsfeste Batterien)
2.300 t	Elektrikallgias
5.400 t	TV-Bildröhren
48.000 t	Bleioxide u. Chemikalien (z.B. technisches Glas, Keramik, Farbpigmente, Stabilisatoren, Korrosionsschutzmittel, Elektrokeramik)
700 t	nicht aufgeführt
Austrag:	165.200 t Blei (Export von Produkten)

Cadmiumbilanz 1994

Eintrag:	3.079 t Cadmium (einschl. Import)
Verbleib:	insgesamt 810,6 t Cadmium, davon
104,3 t	Pigmente (davon für Kunststoffe 84,9 t, Fritten u. Glasuren 3,0 t, Keramikfarben 11,7 t, Anstrichstoffe 4,7 t)
91,0 t	Stabilisatoren
611,2 t	Batterien
3,2 t	Legierungen + Lote
2,4 t	Galvanotechnik
14,5 t	Gasindustrie
6,7 t	sonstige Produkte
2,7 t	Cadmium als Verunreinigung in Zink, Kupfer und Blei
134,0 t	Cadmium in Schlacken und an Recycling
1,1 t	Emissionen in Wasser und Luft
173,5 t	Deponie
-609,1 t	Vorräte Erzeugung + Verarbeitung (Verminderung des Bestandes beim Hersteller)
274,6 t	Bilanzdifferenz incl. Zunahme der Vorräte beim Handel

Austrag: 2.269,0 t Cadmium (Export)

Quecksilberbilanz 1993

Eintrag:	241,5 t Quecksilber (incl. Import, sekundäre Rohstoffen, nicht spezif. Herkunft)
Verbleib:	insgesamt 147,0 t Quecksilber, davon
26,2 t	Chloralkalelektrolyse (z.B. 0,4 t Hg in Fertigprodukten, 23,0 t Deponie, 2,8 t Luft)
0,1 t	Farben
18,6 t	Elektrotechnische Industrie (z.B. 4,4 t Leuchtstoffröhren, 14,2 t Batterien)
4,9 t	Kontrollinstrumente u. Apparatebau (z.B. 4,1 t Thermo-, Mano-, Barometer, 0,7 t Blutdruckmeßgeräte, 0,1 t Apparatebau)
29,2 t	Medizin (z.B. Dentalmedizin)
3,0 t	Chemikalien u. Reagenzien
10,0 t	sonstiger Quecksilberverbrauch
36,0 t	Recycling
19,0 t	Bestandsvermehrung
Austrag:	94,5 t Quecksilber (incl. Export)

Tab. 1: Gehalte von Schadstoffen in ausgewählten Fraktionen des Siedlungsabfalls

Stoff	min./max. Gehalte in ausgewählten Abfallfraktionen (mg/kg TS)*
Blei	NE-Metalle 7.370-15.900, Batterien 4.300-17.300,
	Shredderabfall 940-9.000, Keramik 30-3.970, Glas 170-628
	Kunststoff 40-602, Leuchtstoffröhren 488-504, Feinmüll 9,2-407
Cadmium	Platinen aus Elektronikschrott 326-395, Shredderabfall 23-300
	Kunststoff 12-151, Leuchtstoffröhren 90,5-116, Batterien 51,9-55,1
	Farben 50, Leder/Gummi 5-70, Bodenbeläge 0,3-44,7, Feinmüll 1-4,3
Quecksilber	Leuchtstoffröhren 512-566, Batterien 122-132, Platinen aus Elektronikschrott 17, Shredderabfall 6, Papier/Pappe 0,1-3
Chlorid	Shredderabfall 230.000-4.500.000, Kunststoffe 16.084-63.000, Batterien 16.000, Leder/Gummi 13.500-49.700, Papier/Pappe 1.100-6.100, Feinmüll 1.300-3.800, Textilien 2.700
Kupfer	Platinen aus Elektronikschrott 29.88-44.900, NE-Metalle 25.200-248.000, Eisenmetalle 222-15.800, Shredderabfall 3.200-12.000, Batterien 910-2.470, Leuchtstoffröhren 4550-4630

* Gehalte wurden den Tab. C.5 u. C.8 Abschlusbericht „Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände Phase 1“ entnommen

zur Entsorgung ist jedoch mit einer Reihe von Stoffströmen verbunden, die ein Gefährdungspotential aufweisen. PVC besteht zu 57 Gew.-% aus Chlor. Bei der energieaufwendigen Herstellung von Chlor und bei der weiteren Verarbeitung treten Emissionen von Chlororganika und Quecksilber auf. Zur Licht- und Temperaturstabilisierung müssen dem PVC Additive wie Blei, Cadmium und Organozinn, darüber hinaus auch Weichmacher wie Phthalate aber auch Farbpigmente zugesetzt werden. Die Entsorgung von PVC ist mit der Freisetzung dieser und anderer Stoffe verbunden, beispielsweise HCl bei der Verbrennung.

Eine Übersicht, in welchen Produktbereichen PVC in 1993 verbleib, ist in Tabelle 2 dargestellt. Von den 1,21 Mio. t PVC aus der Herstellung und Verarbeitung verblieben unter Berücksichtigung der Außenhandelsbilanz ca. 1 bis 1,1 Mio. t PVC in Produkten im Inland.

Schätzungen gehen davon aus, daß sich derzeit ca. 20 Mio. t PVC-Produkte in der Nutzungsphase und damit im Stoffkreislauf befinden. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzungsdauer von PVC-Produkten wurde für 1993 eine Abfallmenge von 515 000 t PVC angenommen. Da eine genaue Zuordnung von PVC-Abfällen zu Entsorgungswegen nur eingeschränkt möglich ist, können nur Größenordnungen angenommen werden. Der Hauptanteil der PVC-Abfälle wird derzeit noch auf Depo-nien abgelagert (ca. 300 000 t/a) oder gelangt in Hausmüllverbrennungsanlagen (ca. 150 000 t/a). Trotz des geringen Anteils des PVC (von ca. 1 %) an der Gesamtmenge des in Hausmüllverbrennungsanlagen gelangenden Rest-Siedlungsabfalls ist das PVC zu ca. 50 % für den Chlorgehalt im Abgas verantwortlich. Die Auslegung der in einer Siedlungsabfallverbrennungsanlage vorzu-haltende Abgasreinigungseinrichtung zur Einhaltung des HCl-Grenzwertes von 10 mg/m³ wird damit im wesentlichen vom PVC-Gehalt im Abfall mitbestimmt.

Nach Angaben des Dualen Systems Deutschland (DSD) wurden 1995 ca. 26 500 t PVC-Verpackungen im Rahmen der getrennten Sammlung nach der Verpackungsverordnung erfaßt (etwa 5 % PVC-Anteil von 530 000 t Kunststoffen). Nach der vollständigen Umsetzung der Verordnung wird damit gerechnet, daß sich der Anteil der eingesammelten PVC-Verpackungen auf ca. 70 000 t/a erhöht.

Von der chemischen Industrie wurden bisher ca. 30 000 t/a Verarbeitungskapazität für das werkstoffliche Recycling geschaffen. Davon entfallen ca. 50 % auf Alt-PVC-Produkte wie Fensterprofile. Konzepte für ein rohstoffliches Recycling

(z.B. Hydrierung von Mischkunststoffen, Monoverbrennung von PVC) werden von den Verbänden auf europäischer Ebene weiterentwickelt. Bestimmte Mengen an Altkunststoff wurden in den vergangenen Jahren in steigendem Umfang als Ersatzbrennstoff eingesetzt. Die Entsorgung von Mischkunststoffen im Hoch-ofenprozeß oder im Zementwerk wird mittelfristig mengenmäßig eher eine untergeordnete Rolle spielen, da sich erhöhte Chlorgehalte im Produktionsprozeß störend auswirken.

Relevante Quellen für Schwermetall- und Chloremissionen

Über den Verbleib und die Verteilung von Stoffen in der Abfallverbrennung gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen. Stellvertretend für die 5 Stoffe Blei, Cadmium, Quecksilber, Kupfer und Chlor, die mit dem Restabfall in die Abfallverbrennung gelangen, werden in der Literatur als Hauptpfade für Blei (mittelflüchtig) die Schlacke (75 ± 4 %) und der Filterstaub (25 ± 4 %), für Cadmium (leicht-flüchtig) der Filterstaub (92 ± 2 %) und die Schlacke (8 ± 2 %), für Quecksilber (leichtflüchtig) der Filterstaub (51 ± 6 %) und der Filterkuchen der sauren Abgas-wäsche (44 ± 6 %) und die Schlacke (4 ± 1 %) und für Kupfer (schwerflüchtig) die Schlacke (94 ± 1 %) und der Filterstaub (6 ± 1 %) genannt. Beim Chlor (leichtflüchtig) ist von einer Verteilung von 54 % in den sauren Wäscher, 37 % in

den Filterstaub und 10 % in die Schlacke auszugehen. Die Bandbreiten der Ge-halte von Blei, Cadmium, Quecksilber, Kupfer und Chlorid und der Konzentrationen im Eluat von Schlacke aus Sied-lungsabfallverbrennungsanlagen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Für alle aufgeführten Substanzen gilt, daß der Quellenbeitrag der Emissionen, die über den Reingaspfad emittiert werden, aufgrund der bei Abfallverbren-nungsanlagen installierten Abgasrein-igung, bezogen auf die Eintragsgehalte im Restabfall unter 1 % liegt. Nachfol-gend wird der Anteil der über den Luft-pfad abgegebenen Emissionen aus der Abfallverbrennung im Vergleich zu den Gesamtemissionen aller Quellen betrach-tet (Tab. 4–7).

Blei

Die Verteilung der Blei (Pb)-Jahres-emissionen auf stationäre Quellen ergibt folgendes Bild: Eisen & Stahl 174 t (z. B. Schmelzanlagen 33 t, Sinteran-lagen 58 t, Elektrostahlanlagen 57 t), En-ergieerzeugung 20,5 t (Kraftwerke, Stein- und Braunkohle, Briquetproduk-tion, Schwerölförderung), Kleinfeye-rungsanlagen 15 t (Braun- und Stein-kohle, Schwerölbrennstoff), Zementin-dustrie 4,7 t, Siedlungsabfallverbren-nungsanlagen 1,2 t (0,3 %)

Cadmium

Die Verteilung der Cadmium (Cd)-Jahres-emissionen auf stationäre Quellen ergibt

Tab. 2: Verbleib und Menge von PVC in Produkten (1993)

Lebens-dauer der Produkte	Produkt	verbrauchte Mengen 1993
kurz	Verpackungen, Pharma-Verpackungen	120.000 t/a
mittel	Weichfolien (für Möbel, Bücher, Freizeitartikel, Baufolien, technische Folien)	90.000 t/a
	Hartfolien	70.000 t/a
	Sonstige Weich-PVC-Anwendungen (Tapeten, Planen, Unterbodenschutz)	ca. 24.000 t/a (1992)
mittel bis lang	Kunstleder	ca. 36.000 t/a (1992)
	Fußbodenbeläge	69.000 t/a
	Kabelisolationen	94.000 t/a
extra lang	Rohre	315.000 t/a
	Fensterprofile	160.000 t/a
	Sonstige Profile	130.000 t/a

Tab. 3: Vergleich der Gehalte im Abfall und Verbleib in der Schlacke und im Eluat

Stoff	Gehalte im Abfall in g/t TR	Gehalte in der Schlacke in g/t TR	Konzentration im Eluat der Schlacke in mg/l
Blei Pb	500	600–5.200 (Δ 1600)	0,01–0,1
Cadmium Cd	10	0,1–82 (Δ 10)	0,0005–0,01
Quecksilber Hg	4	0,1–20 (Δ 0,6)	< 0,001
Chlorid Cl-	7500	300–6.300 (Δ 2700)	35–250
Kupfer Cu	500	200–7.000 (Δ 2200)	0,03–0,3
pH-Wert	9,0–11,7		
elektrische Leitfähigkeit (mS/cm)		1.000–6.000	

Δ durchschnittlicher Wert

Tab. 4: Bleimissionen in Deutschland 1990 und 1995

Emissionen	1990	1995
Blei Pb	2315 t/a	624 t/a
davon Verkehr	1480 t/a	240 t/a
und stationäre Quellen		384 t/a

folgendes Bild: Produktionsprozesse Eisen & Stahl 5 t, Nicht-Eisenindustrie 2,3 t, Energieerzeugung 1,42 t (Kraftwerke, Stein- und Braunkohle, Brikettproduktion, Schwerölförderung), Zementindustrie 0,16 t, Siedlungsabfallverbrennungsanlagen 0,03 t (0,3 %).

Quecksilber

Tab. 5: Cadmiummissionen in Deutschland 1990 und 1995

Emissionen	1990	1995
Cadmium Cd	30 t/a	11 t/a

Die Verteilung der Quecksilber (Hg)-Jahresmissionen auf stationäre Quellen ergibt folgendes Bild: Nicht-Eisenindustrie 7 t, Zementindustrie 5,6 t (bei Annahme: 1/3 Summengrenzwert), Energieerzeugung 5,1 t (Kraftwerke, Stein- und Braunkohle, Brikettproduktion, Schwerölförderung), Kleinförungsanlagen 3,8 t (Braun- und Steinkohle, Schwerölbrennstoff), Chloralkalielektrolyse 3 t, Zementindustrie 1,2 t (bei Annahme: tatsächliche Emission 0,017 mg/m³), Siedlungsabfallverbrennungsanlagen 1,2 t (4 %).

Tab. 6: Quecksilbermissionen in Deutschland 1990 und 1995

Emissionen	1990	1995
Quecksilber Hg	112 t/a	31 t/a

Chlorwasserstoff (HCl)

Die Ermittlung und Darstellung der Gesamtemissionen von Chlorwasserstoff und der Beitrag der wesentlichen Quellen ist in den letzten Jahren umweltpolitisch in den Hintergrund gerückt, da diese nicht zu den klimarelevanten Emissionen gehören. Es kann davon ausgegangen werden, daß der Anteil aus der Abfallverbrennung an den Gesamtemissionen zwischenzeitlich auf unter 0,75 kt/a zurückgegangen ist.

Tab. 7: Chlorwasserstoffmissionen in Deutschland 1986 (Abschätzung aus den Quellen: Stein- und Braunkohlefeuerungen 93,5 kt/a, Abfallverbrennung 17 kt/a, Zementindustrie 1,8 kt/a)

Emissionen	1986
Chlorwasserstoff HCl	~ 112 kt/a

Ergebnisse aus Verbrennungsversuchen mit ausgewählten Abfallfraktionen

Im Rahmen des UFOPLAN-Forschungsvorhabens „Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände – Phase II“ wurden Verbrennungsversuche an einem Chargenrost und einer Rost-Pilotanlage durchgeführt. Die Zielstellung bestand darin, den Einfluß der Abtrennung einzelner schwermetallhaltiger Abfallkomponenten von thermisch zu behandelnden Rest-Siedlungsabfällen im Hinblick auf die Eluate und Schwermetallgehalte der Schlacke zu untersuchen.

In einer Abfallbehandlungsanlage, in der die o.g. Sortieranalysen durchgeführt worden waren, wurden Abfallfraktionen für Verbrennungsversuche vorbereitet. Die Anlage liegt in einem Einzugsbereich mit geringem Verwertungsanteil (Szenario B). Die Sortieranalysen ergaben, daß die Abfallzusammensetzung repräsentativ für die zu untersuchenden Abfallbehandlungsanlagen ist.

Die Herstellung eines synthetischen Abfalls für Modelluntersuchungen an einem Chargenrost orientierte sich an Sortieranalysen. Es wurden Abfallproben mit besonders hohen Schwermetallgehalten durch Anreicherung, sowie mit besonders niedrigen Schwermetallgehalten durch den Einsatz gering belasteter Abfallfraktionen hergestellt. Die Elutionsseigenschaften der Schlacke waren unabhängig von der Zusammensetzung der synthetischen Abfälle. So bewirkten vergleichsweise hohe Gehalte einzelner Schwermetalle in der Schlacke keine Veränderung hinsichtlich der Elution. Die experimentell ermittelten Schwankungsbreiten der Feststoffgehalte der Schwermetalle in der Schlacke entsprachen überschlägig berechneten Werten. Es ergaben sich Hinweise darauf, daß die Abtrennung der Metalle bzw. sämtlicher hinsichtlich der Schwermetalle relevanten Abfallkomponenten zu einer geringfügigen Absenkung der Schwermetallgehalte in der Schlacke führen kann. Gleichzeitig wurde jedoch deutlich, daß diese Einflüsse im Vergleich zu der möglichen Schwankungsbreite der Schwermetallgehalte in der Schlacke von untergeordneter Bedeutung sind. Deutliche Änderungen der Prozessbedingungen durch Vergasung bzw. Sauerstoffanreicherung hatten bei diesen Versuchen keinen Einfluß auf die Gehalte der Schwermetalle in der Schlacke.

Das Probenmaterial für die Verbrennungsversuche an der Rost-Pilotanlage wurde durch Abtrennung einzelner Abfallfraktionen aus angeliefertem Rest-

Siedlungsabfall der ausgewählten Abfallbehandlungsanlage hergestellt. Im einzelnen wurden die folgenden Maßnahmen untersucht:

- Abtrennung aller Eisen- und Nicht-eisenmetalle
- Abtrennung der Feinmüllfraktion
- Abtrennung langlebiger Kunststoffprodukte
- Abtrennung von Gummi, Leder und Textilien
- Kombination der vier aufgeführten Maßnahmen

Zusätzlich wurde noch eine heizwertreiche Brennstofffraktion aus mechanisch-biologischer Abfallaufbereitung eingesetzt.

Bei den Verbrennungsversuchen an der Rost-Pilotanlage erfüllten alle Schlacken unabhängig von der Abtrennung einzelner Abfallkomponenten die Qualitätsanforderungen für eine weitere Verwertung. Die ermittelten Schwermetallgehalte in der Schlacke lagen ebenso wie die Emissionen der Schwermetalle im Abgas innerhalb der üblichen Schwankungsbreite der Angaben für unbehandelten Rest-Siedlungsabfall. Eine entscheidende Absenkung der Schwermetallgehalte in den Verbrennungsrückständen durch die vorgeschalteten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen wurde nicht erreicht.

Es bleibt somit festzuhalten, daß theoretische Überlegungen auf der Grundlage von Sortieranalysen und Verbrennungsversuche an einem Chargenrost bzw. an einer Rost-Pilotanlage übereinstimmend belegen, daß entsprechend der Heterogenität von Rest-Siedlungsabfall zahlreiche Möglichkeiten des Eintrages von Schwermetallen in die Schlacke bestehen. Eine Abtrennung von einzelnen bzw. allen hinsichtlich der Schwermetalle relevanten Abfallkomponenten hat keinen signifikanten Einfluß auf die Qualität der Schlacke bewirken können.

Zusammenfassung

Aus der Beschäftigung mit dem Thema Kreislaufwirtschaft, Stoffflüsse am Beispiel bestimmter Stoffe (Pb, Cd, Hg) und Materialien (PVC) und den Einflüssen von abfallwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Schlacke aus Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen zur Beseitigung ist deutlich geworden, daß die Stoff- und Materialströme jeweils unabhängig voneinander wirken. Eine Verbindung dieser Stoffströme durch nachhaltiges, umweltgerechtes Wirtschaften im Sinne einer ganzheitlichen Vorausschau von Beginn des Einsatzes über die Nutzung bis zur Beseitigung ist, wenn überhaupt, bisher nur in Ansätzen feststell-

bar. In der Regel sind dann aber vorrangig nicht Umweltschutzgründe sondern wirtschaftliche Gründe für dieses Handeln ausschlaggebend. Die weitaus größte Menge vieler Stoffe verbleibt über längere Zeiträume im Wirtschaftskreislauf. Wann diese Stoffe mengenmäßig ausgeschleust und damit für die Abfallwirtschaft relevant werden, wird im wesentlichen nicht von dieser bestimmt.

Aus der Sicht der Abfallentsorgung kann nicht abgeleitet werden, daß es aufgrund von Veränderungen bei der Restabfallzusammensetzung, die durch die bisher bekannten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen erreicht wurden, zu einer relevanten Schadstoffentlastung und dadurch zur Qualitätsverbesserung der HMV-Schlacke bei der Abfallverbrennung kommt. Die betrachteten Stoffflüsse der Kreislaufwirtschaft haben bisher keinen entscheidend verändernden Einfluß auf die Zusammensetzung der Restabfälle für die thermische Behandlung ausgeübt, so daß die Kreislaufwirtschaft damit keine Rücksicht auf die thermische Behandlung nehmen müßte. Der Stand der Technik der thermischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfällen in bestehenden Abfallverbrennungsanlagen ist i.d.R. ausreichend, um die aus der Sicht des Umweltschutzes aufgestellten Anforderungen für die Ablagerung auf der Deponie oder die Qualitätsanforderungen für die Verwertung der HMV-Schlacke sicherzustellen.

Literatur

- [1] Abschlußbericht Phase I des UFOPLAN-Forschungsvorhabens „Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der
- [2] Verbrennungsrückstände“, FKZ 103 10 903
- [3] Abschlußbericht Phase II des UFOPLAN-Forschungsvorhabens „Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände“, bisher unveröffentlicht, FKZ 103 10 903/01
- [4] Zwischenbericht der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“, 30.09.1993, Deutscher Bundestag 12. Wahlperiode, Drucksache 12/5812
- [5] Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen, vom 27. September 1994, BGBl. Nr.66, Jahrg. 1994, Teil I, Artikel 1: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG)
- [6] Novellierungsentwurf einer Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung -

VerpackV) Stand: 2. Juni 1998 einschließlich Begründung

- [7] UBA F+E-Berichte: Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber in die Umwelt, Bilanzen über Verbrauch und Verbleib, UFOPLAN-Nr. 106 01 047, LGA Bayern, Nürnberg, Band 1: Blei u. Cadmium von D. Balzer; Band 2: Quecksilber von A. Rauhut
- [8] Umweltgutachten 1998, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), Wiesbaden, Februar 1998
- [9] Kompost-Atlas 1998/99 Anlagenhandbuch, K. Wiemer, M. Kern, Witzhausen 1998 (Abfallwirtschaft: Neues aus Forschung und Praxis) ISBN 3-928673-23-8, 1.Auflage 1998, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzhausen
- [10] SCHACHERMAYER, E.: Stoffflüsse bei der klassischen Abfallverbrennung: Schadstoffsenke in den Abgasreinigungsrückständen, BMBF-Statusseminar „Stoffmanagement in thermischen Abfallbehandlungsanlagen“ 29.u.30. 1.1996 in Duisburg, IUTA
- [11] ACHTERNBOSCH, M., U. RICHERS: Stoffstromanalysen zur abwassererzeugenden und abwasserfreien Konzeption von „nassen“ Rauchgasreinigungssystemen, Müll und Abfall Nr. 4, 1998, S. 146-253, E. Schmidt Verlag Berlin
- [12] REIMANN, D. O.: Menge, Beschaffenheit und Verwertungsmöglichkeiten von MV-Schlacke - Gesamtübersicht, Beiheft Nr. 31, Müll u. Abfall, Entsorgung von Schlacken und sonstigen Reststoffen, 1994, E. Schmidt Verlag

Die Autoren

Bernt Johnke
Umweltbundesamt
Fachgebiet Thermische Abfallbehandlung
Seest. 6-10
D-13581 Berlin-Spandau

Dr. Paul-Gerhard Mast

Tauw Umwelt, Ingenieurbüro Berlin
Schlegelstraße 8
D-10115 Berlin

Dr. Michael Beckmann

CUTE Institut GmbH
Leibnitzstr. 21+23
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Europäischer Fachkongress

am 17. und 18. Juni '99
in Offenburg

Klimaschutz- und
Ressourcenmanagement in Europa

Sind wir auf dem richtigen Weg?

Die Themen im Überblick:

Mit Referenten aus ganz Europa

- Klimaschutz in Kommunen und in der Industrie
- Bauen und Wohnen
- Erneuerbare und Alternative Energien
- Effizientes Ressourcenmanagement
- Das Verkehrswesen im Umbruch

Die Partner:

- Klima-Bündnis der europäischen Städte *Allianza del Clima e. V., Frankfurt*
- Umweltbundesamt Berlin
- Internationaler Verband für öffentliches Verkehrswesen (UITP) *Brüssel*
- STZ Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- u. Raumtechnik Offenburg
- STZ Steinbeis-Transferzentrum Internationale Ansätze an der Universität Louis Pasteur, Strasbourg

Rahmenveranstaltung zur



Fachausstellung

"Mensch und Technik -
Mit der Umwelt leben"

vom 17. bis 20. Juni 1999

Bitte fordern Sie Informationen an:



Messe Offenburg GmbH
Postfach 21 10 - D-77611 Offenburg
Telefon (07 81) 92 26-0
Telefax (07 81) 92 26-77
E-Mail: info@messeoffenburg.de
Internet: www.messeoffenburg.de

FAMA



Weitere Informationen über Kenn-Nr. 242

Impact of Closed Substance Cycle Management on Thermal Waste Treatment

Bernt Johnke, Paul-Gerhard Mast, Michael Beckmann

Regulations on Closed Substance Cycle Waste Management

To further the objectives of closed substance cycle waste management, in Germany regulations have been enacted and agreements concluded which are expected to also affect the volume and composition of waste for disposal subjected to thermal treatment. In addition to the Closed Substance Cycle and Waste Management Act, mention should be made in this context of the Technical Instructions on Waste from Human Settlements, the Packaging Ordinance, a voluntary commitment to take back and recycle used graphical paper, the Biowaste Ordinance, the Ordinance on the Disposal of Used Motor Vehicles and, with the aim of relieving product cycles of pollutants, the Ordinance on the Management of Waste from Electrical and Electronic Equipment and the Batteries Ordinance.

Figure 1 contrasts the recovered amounts of high-volume recyclable materials (packaging, biowaste, paper/cardboard/carton) for 1997 (preliminary figures) with the total amount of municipal waste in 1993 and the amount of residual municipal waste for disposal which has been calculated (assumed) at 268 kg per capita and year [kg/c/y] on the basis of these figures.

Thermal Treatment and Waste Management

Annual quantities of residual municipal waste to be disposed of vary from 240 kg/p.c. to 515 kg/p.c. in the 16 federal states. A question of interest is whether differences in the framework conditions governing municipal waste management have an impact on waste incineration. In examining this question, a distinction was drawn between plants located in waste management areas with a high percentage (scenario A) and a low percentage (scenario B) of recovered waste.

Impact of Framework Conditions Governing Waste Management

Scenario A: Seven plants were selected, serving areas in which the predominant

proportion of the total waste volume is recovered (e.g. DSD recovery scheme, recycling of building rubble, bio- and green waste, used paper/cardboard, scrap metal, used textiles, waste wood) and in which in addition "problem" waste is collected separately. The total volumes of municipal waste in the areas served by these seven plants and the proportionate amounts going to different waste management routes were obtained from the 1995 and 1996 waste statistics of the respective federal states, and are shown in Figure 2. Recovery rates relative to total waste volume varied between 54 % and 76 %. Slag and metals are recovered in all plants. The slags from all seven MW incineration plants meet the quality requirements laid down in the LAGA Instructions for utilisation. Only in excep-

tional cases were raw slags found to exceed the permissible levels of metals such as lead, cadmium, nickel, zinc in eluate and for the eluate's electrical conductivity.

Scenario B: Four plants were studied, serving areas in which the predominant proportion of the total waste volume is disposed of as residual municipal waste (either by incineration or landfill). Waste for recovery was collected separately in these areas according to waste collected under the DSD scheme, building rubble, bio-/green waste, used paper/cardboard, scrap metal, used textiles and waste wood. Problematic waste was collected separately in all areas. As for case A, data on the total quantities of municipal waste and their distribution among waste management routes were ob-

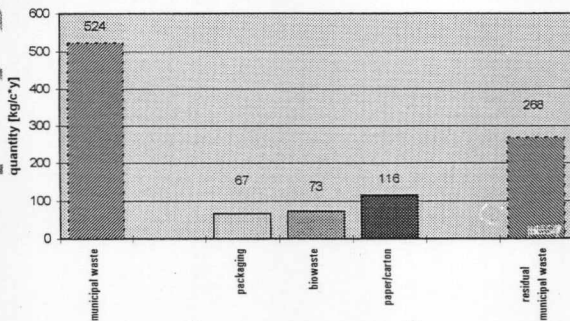


Fig. 1: Comparison of total waste volume in 1993, recovered amounts of high-volume recyclable materials (1997) and the amount of residual municipal waste for disposal calculated (assumed) therefrom [in kg per capita and year]

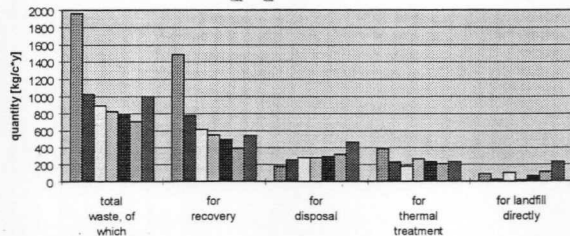


Fig. 2: Volume and distribution of municipal waste in seven waste management areas with thermal waste treatment and landfill

[31] A) Johnke, B.; Mast, P.-G.; Beckmann, M.: Einflüsse der Kreislaufwirtschaft auf die thermische Abfallbehandlung. UTA Umwelt Technologie Aktuell 1 (1999), S. 39-43.

B) Johnke, B.; Mast, P.-G.; Beckmann, M.: Impact of Closed Substance Cycle Management on Thermal Waste Treatment. UTA International 1 (1999), S. 36-44.

tained from the 1995 and 1996 waste statistics of the respective federal states. They are shown in Figure 3. In the case of these four plants, waste for disposal accounted for the predominant proportion of total waste, the proportion ranging from 82 % to 65 % in the period considered. The raw slag did not differ significantly in quality from the slag of scenario A plants. It too was fit to be channelled into a recycling system. Only in exceptional cases did the raw slag exceed the permissible levels of individual metals such as lead, zinc, cadmium, copper and mercury in eluate and for the eluate's electrical conductivity.

Current waste composition status

In spite of all efforts aimed at channelling individual waste streams into substance- or material-specific recycling systems and establishing systems for the separate collection of particularly heavily polluted waste for disposal, it can be seen that residual municipal waste still exhibits vast recovery and pollution potential. In addition to the determination of local waste management conditions at twelve waste treatment plants, sorting analyses were carried out at five of these plants (two from scenario A, three from scenario B) within the framework of an R+D project entitled: "Influence of waste composition on pollutant content and quantity in combustion residues". It was found in these analyses that residual municipal waste contains the fractions "recyclable paper and cardboard" and "vegetable waste" (compostable biowaste) at a rate of about 20 % each. While problematic waste only accounts for a small proportion of just under 2 %, it has a relatively high pollutant potential. Items belonging to the fraction "problematic waste" are, for example, paints, varnishes and pharmaceuticals (1.1 %), batteries (0.1 %) and waste from electrical and electronic equipment (0.3 %).

The sorting analyses showed no significant differences between scenario A and scenario B plants. All results were within the range of variation found in other sorting analyses drawn upon from the literature for comparison.

In addition to sorting analyses, analyses of raw-slag samples taken on a random basis were carried out. The results were within the range of variation found in comparable slag analyses. Only in isolated cases were permissible levels exceeded for individual eluate parameters.

In analysing individual waste fractions, pollutants, notably heavy metals, were shown to be present in virtually all fractions of residual municipal waste.

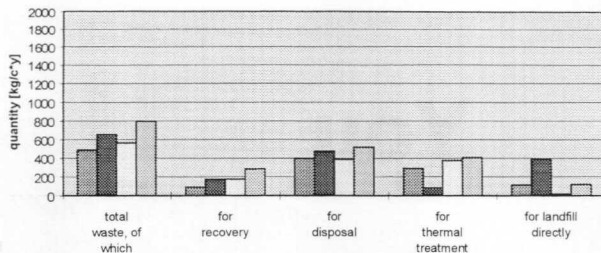


Fig. 3: Volume and distribution of municipal waste in four waste management areas with thermal waste treatment and landfill

Due to their occurrence and their behaviour in the various waste disposal processes, the heavy metals lead, cadmium and mercury as well as the organochlorine-chemistry product "polyvinyl chloride" (PVC) are of particular relevance. In the following, the substance or material flows of these substances in the waste management cycle will exemplarily be dealt with in greater detail.

In investigating the composition of residual waste going to thermal treatment, lead was found mainly in the fractions "waste from electronic equipment", "fine waste" (material < 20 mm), "coloured packaging material" and "vegetable waste". Cadmium was primarily contained in the fractions "long-lived plastic products" and "packaging materials". Mercury was found essentially in the fractions "fine waste" and "textiles". Copper was contained mainly in the fractions "waste from electronic equipment" and "fine waste". PVC was found again and again in residual waste, as a concrete product.

Table 1 shows the main sources of input and the ranges of heavy metal and chlorine concentrations in them. The influence of these substances and their

concentrations on the composition and, especially, the elution behaviour of slags depends on the volatility of the substances, their fate in the various pathways (solid, liquid, gaseous), the binding properties of heavy metals and chlorine during thermal treatment and the macro-composition and mineralogy of the slags.

Analysis of Substance Flows in Closed Substance Cycle Management

Specific substance flows have been analysed in the report by the Enquete Commission, among others. A more recent data base is now available from the R+D project "Inputs of Lead, Cadmium and Mercury". The domestic fate of the substances lead, cadmium and mercury and their compounds in production and material cycles is described in the following (domestic quantity = consumption + import - export).

Lead and lead alloys

Lead is essentially obtained from primary lead products such as ore concentrates and from the metallurgical intermediate product raw lead. Lead is also recovered from secondary recyclable

Tab. 1: Concentrations of pollutants in selected fractions of municipal waste

Substance	Minimum/maximum concentrations in selected waste fractions (mg/kg dry matter)*
Lead	Non-ferrous metals 7,350-15,900; batteries 4,300-17,300; shredder waste 940-9,000; ceramics 30-3,970; glass 170-628; plastics 40-602; fluorescent tubes 488-504; fine waste 9.2-407;
Cadmium	Printed circuit boards from electronic waste 326-395; shredder waste 23-300; plastic 12-151; fluorescent tubes 90.5-116, batteries 51.9-55.1; paints 50; leather/rubber 5-70; floor covering 0.3-44.7; fine waste 1-4.3;
Mercury	Fluorescent tubes 512-566; batteries 122-132; printed circuit boards from electronics waste 17; shredder waste 6; paper/cardboard 0.1-3;
Chloride	Shredder waste 230,000-4,500,00; plastics 16,084-63,000; batteries 16,000; leather/rubber 13,500-49,700; paper/cardboard 1,100-6,100; fine waste 1,300-3,800; textiles 2,700;
Copper	Printed circuit boards from electronic waste 29,88-44,900; non-ferrous metals 25,200-248,000; ferrous metals 222-15,800; shredder waste 3,200-12,000; batteries 910-2,470; fluorescent tubes 4,550-4,630;

* The figures were taken from Tables C.5 and C.8 of the final report: "Influence of waste composition on pollutant content and quantity in combustion residues, phase I"

materials (e.g. lead scrap). The 1994 lead balance shows about 310,500 tonnes of lead remaining in Germany that year. The distribution of lead among intermediate and final products can be seen from Lead Balance, 1994. No estimates have been made to date of how much of these amounts is channelled out of the cycle and into a disposal system each year, thermal treatment included. It is assumed here that about one-fifth of annual lead consumption, or about 60,000 t/a, is fed to a disposal system.

Cadmium and cadmium compounds

Cadmium arises almost exclusively in combination with other metals, namely, as a by-product of zinc manufacture and, to a small extent, in lead and copper manufacture. About 3 kg of cadmium can be won from 1 tonne of zinc. Domestic consumption of cadmium in intermediate and final products amounted to 810.6 tonnes in 1994. The fate of this amount is detailed in Cadmium Balance, 1994. It is estimated that one-quarter thereof, or 195 t/a, reaches a waste management process.

Mercury and mercury compounds

Metallic mercury is mostly imported in metal bottles from Spain and other countries and used in Germany for the manufacture of a variety of products. It is also needed as an operating material (e.g. in chlor-alkali electrolysis according to the mercury-cell process). Domestic consumption of mercury amounted to 147.0 tonnes in 1993. The distribution of this amount among products and intermediate products is detailed in Mercury Balance, 1993. It is estimated that one-tenth thereof, or about 15 t/a, reaches a waste management process.

Polyvinyl chloride (PVC)

PVC is a material in the economic cycle which in a number of studies has been subjected to in-depth assessment and input/output analyses (e.g. BLAU 1992, Prognos 1994, Tötsch 1990). At an annual production volume of approx. 1.21 million tonnes, it is the quantitatively most important chlorinated organic hydrocarbon. As material, it poses no toxicological or ecotoxicological risks. However, the "life-cycle" of PVC up to its disposal is associated with diverse substance flows which pose a potential hazard. PVC has a chlorine content of 57 percent by weight. Emissions of organochlorine compounds and mercury arise in the energy-intensive manufacture and during further processing of chlorine. To render it light- and temperature-resistant, PVC must be provided

with additives such as lead, cadmium and organotin. Further additives include plasticizers such as phthalates and colouring pigments. Emissions of these and other substances arise during the management of PVC waste, e.g. HCl in incineration.

Table 2 provides an overview of the distribution of PVC among product categories for 1993. Of 1.21 million tonnes from manufacture and processing, 1 to 1.1 million tonnes of PVC went into domestic products and the remainder was exported.

It is estimated that some 20 million tonnes of PVC products are currently in their use phase and hence in the material cycle. Taking into account the differences in the service lives of PVC products, the quantity of PVC waste in 1993 was estimated at 515,000 tonnes. As an exact allocation of PVC waste to waste management routes is possible to some extent only, estimates can only be made of orders of magnitude. At present, the main proportion of PVC waste still goes to landfills (about 300,000 t/a) or to MW incinerators (about 150,000 t/a). Although PVC only accounts for small percentage (about 1 %) of the total quantity of residual municipal waste reaching MW incinerators, it is responsible for some 50 % of the chlorine content in the flue gas. The waste's PVC content thus is one of the decisive factors determining the dimensioning of the flue gas cleaning system to be installed at a MW incinerator to meet the HCl limit value of 10 mg/m³.

According to data provided by Duales System Deutschland (DSD), in 1995 some 26,500 t of PVC packaging was collected in the framework of the separate-collection scheme established under the Packaging Ordinance (about 5 % PVC of 530,000 t of plastics). The share of collected PVC packaging is expected to increase to about 70,000 t/a once the Ordinance has been fully implemented.

A materials-recycling capacity of about 30,000 t/a has been created to date by the chemical industry. Used PVC products such as window profiles account for about 50 % of this capacity. Work to further develop chemical-recycling concepts (hydrogenation of mixed plastic waste, mono-incineration of PVC) is being done by associations at the European level. In recent years, used plastics have increasingly been used as substitute fuels. In quantitative terms, the use of mixed plastic waste in blast furnaces and cement works will likely play a secondary role in the medium term because of the negative effect of elevated chlorine concentrations on the production process.

Relevant Sources of Heavy Metal and Chlorine Emissions

The fate and distribution of substances in waste incineration has been the subject of a multitude of studies. For the substances lead, cadmium, mercury, copper and lead which reach waste incineration via residual municipal waste, the following main pathways are mentioned in the literature: for lead (medium volatile), slag (75 ± 4 %) and filter ash (25 ± 4 %); for cadmium (highly volatile), filter ash (92 ± 2 %) and slag (8 ± 2 %); for mercury (highly volatile), filter ash (51 ± 6 %), filter cake from flue-gas scrubbing for acid removal (44 ± 6 %) and slag (4 ± 1 %); and for copper (non-volatile), slag (94 ± 1 %) and filter ash (6 ± 1 %). The estimated distribution of chlorine (highly volatile) is 54 % flue-gas scrubbing for acid removal, 37 % filter ash and 10 % slag. The ranges of the content of lead, cadmium, mercury, copper and chloride in waste as well as of the concentrations of these substances in the eluate of slag from municipal waste incinerators are shown in Table 3.

As a result of the flue gas cleaning systems installed at waste incinerators,

Tab. 2: Distribution and quantities of PVC in products

Service life of product	Product	Consumption in 1993
Short	Packaging, pharmaceuticals packaging	120,000 t/a
Medium	Flexible films (for furniture, books, leisure articles and for construction and technical applications)	90,000 t/a
	Rigid films	70,000 t/a
	Other flexible-PVC applications (wall covering, tarpaulins, automobile undercoating)	approx. 24,000 t/a (1992)
Medium to long	Synthetic leather	approx. 36,000 t/a (1992)
	Flooring	69,000 t/a
	Cable insulation	94,000 t/a
Very long	Pipes	315,000 t/a
	Window profiles	160,000 t/a
	Other profiles	130,000 t/a

the emissions of the above substances in treated gas amount to less than 1% of their content in the waste input. In the following, waste incineration's share of emissions to the atmosphere is discussed in relation to the total emissions from all sources (Tables 4 to 7).

Lead

The distribution of annual lead emissions among stationary sources shows the following picture: iron and steel 174 t (e.g. melting plants 33 t, sinter plants 58 t, electric steel production plants 57 t), energy production 20.5 t (power stations, lignite and coal, briquette manufacture, fuel oil firing), small combustion plants 15 t (lignite and coal, fuel oil), cement industry 4.7 t, municipal waste incinerators 1.2 t (0.3 %) (Tab. 4).

Cadmium

The distribution of annual cadmium emissions among stationary sources shows the following picture: iron and steel production processes 5 t, non-ferrous metal industry 2.3 t, energy production 1.42 t (power plants, coal and lignite, briquette production, fuel oil firing), cement industry 0.16 t, municipal waste incinerators 0.03 t (0.3 %) (Tab. 5).

Mercury

The distribution of annual mercury emissions among stationary sources shows the following picture: non-ferrous metal industry 7 t, cement industry 5.6 t (assuming 1/3 of summative limit value), energy production 5.1 t (power plants, coal and lignite, briquette manufacture, fuel oil firing), small combustion plants 3.8 t (lignite and coal, fuel oil), chlor-alkali electrolysis 3 t, cement industry 1.2 t (assuming the actual emission of 0.017 mg/m³), municipal waste incinerators 1.2 t (4 %) (Tab. 6).

Hydrogen chloride (HCl)

In environmental policy, determining and reporting total emissions of hydrogen chloride and contributions made by major sources has lost in importance in recent years, as they are not among the emissions which contribute to climate change. It can be assumed that waste incineration's contribution to the total emission has meanwhile dropped to 0.75 kt/a (Tab.7).

Results of Incineration Experiments Using Selected Waste Fractions

As part of the UFOPLAN research project: "Influence of waste composition on the pollutant content and quantity in combustion residues - Phase II", inciner-

Tab. 3: Comparison between pollutant levels in waste and in slag and eluate [Ø average value]

Substance	Levels in waste in g/t dry matter	Levels in slag in g/t dry matter	Concentration in eluate of slag [mg/l]
Lead Pb	500	600–5,200 (Ø 1,600)	0.01–0.1
Cadmium Cd	10	0.1–82 (Ø 10)	0.0005–0.01
Mercury Hg	4	0.1–20 (Ø 0.6)	< 0.001
Chloride Cl ⁻	7,500	300–6,300 (Ø 2,700)	35–250
Copper Cu	500	200–7,000 (Ø 2,200)	0.03–0.3
pH value	-	9.0–11.7	-
Electrical conductivity (µS/cm)	-	1,000–6,000	-

Tab. 4: Lead emissions in Germany in 1990 and 1995

Emissions	1990	1995
Lead Pb	2,315 t/a	624 t/a
of which, traffic and stationary sources	1,480 t/a	240 t/a
		384 t/a

Tab. 5: Cadmium emissions in Germany in 1990 and 1995

Emissions	1990	1995
Cadmium Cd	30 t/a	11 t/a

Tab. 6: Mercury emissions in Germany in 1990 and 1995

Emissions	1990	1995
Mercury Hg	112 t/a	31 t/a

Tab. 7: Hydrogen chloride emissions in Germany in 1986 (estimate for the sources: coal and lignite fired combustion plants 93.5 kt/a, waste incineration 17 kt/a, cement industry 1.8 kt/a)

Emissions	1986
Hydrogen chloride HCl	~ 112 kt/a

ation experiments have been carried out on a batch grate and at a grate firing pilot plant. The aim was to study the influence which the removal of individual heavy-metal containing waste constituents from residual municipal waste to be subjected to thermal treatment has on slag eluates and heavy metal loading of the slag.

At a waste incinerator at which the sorting analyses discussed earlier had been performed, waste fractions were pretreated for incineration experiments. The plant is located in an area with a low percentage of recovered waste (scenario B). The sorting analyses showed that the composition of the waste is representative of the waste treatment plants investigated.

The results of sorting analyses were used as a basis for the preparation of a synthetic waste for model experiments on a batch grate. Waste samples with a particularly high and a particularly low heavy-metal content were produced by enrichment or the use of waste fractions with a low heavy-metal content, respectively. The elution properties of the slag was found to be independent of the composition of the synthetic wastes. For example, comparatively high heavy metal

concentrations in slag did not result in any changes with respect to the elution. The heavy-metal solids content in slag determined in the experiments varied within the range of calculated values. There were indications that separation of the metals or of all waste components containing heavy metals in relevant amounts can cause a slight decrease of heavy metal concentrations in slag. It also was shown, however, that this influence is of secondary importance when compared with the possible range of variation of heavy metal concentrations in slag. Marked changes in process conditions by gasification or oxygen enrichment did not have any influence on heavy metal concentrations in slag in these experiments.

The sample material for the incineration experiments in the grate firing pilot plant was produced by separating individual waste fractions from the residual municipal waste delivered to the waste treatment plant selected. The following measures were examined:

- separation of all ferrous and non-ferrous metals
- separation of the fine waste fraction
- separation of long-lived plastic products

- separation of rubber, leather and textiles
- combination of the above four measures.

In addition, use was made of a high calorific fuel fraction obtained from biomechanical waste treatment.

In the incineration experiments in the grate firing pilot plant, all slags met the quality requirements for further utilisation irrespective of the separation of individual waste components. The heavy metal concentrations in slag and flue gas were within the normal range of variation of results obtained for untreated residual municipal waste. A significant reduction in heavy metal concentrations in slag was not achieved through the waste management measures carried out prior to incineration.

Thus, theoretical considerations based on sorting analyses and incineration experiments on a batch grate and a grate firing pilot plant consistently confirm that in line with the heterogeneity of residual municipal waste heavy metals can reach slag in a variety of ways. The separation of individual or all waste constituents con-

taining heavy metals in relevant amounts could not be shown to have a significant influence on the quality of the slag.

Summary

In dealing with the topics "closed substance cycle management", "substance flows" taking certain substances (Pb, Cd, Hg) and materials (PVC) as examples, and the influence of waste management measures on the slag from plants for the thermal treatment of waste for disposal, it was shown that the flows of substances and materials in these areas are independent of one another. A joint consideration of these flows through sustainable, environmentally sound management practices, in the sense of holistic anticipatory action from production through use to disposal, as yet can only be seen in a rudimentary form, if at all, and is then motivated primarily by economic considerations, and not environmental. It is true of many substances that by far the largest proportion of the quantity produced remains in the economic cycle for extended periods of time. When large

quantities of these substances are to be channelled out of the cycle and then become of relevance for the waste management sector is a matter over which this sector essentially has no control.

From the viewpoint of waste management, it is not warranted to conclude that changes in the composition of residual waste which may have been effected by the waste management measures hitherto taken would cause a decrease in pollutant content and thus an improvement in the quality of the slag from municipal waste incinerators. For the substance flows considered, the measures taken towards closed substance cycle management so far have not had a significant influence on the composition of residual waste going to thermal treatment, so that nothing suggests that thermal treatment is a factor that would have to be taken into consideration in this field. The state of the art of thermal treatment of residual municipal waste in existing plants is, as a rule, sufficient to ensure that MWI slag meets landfill criteria or the quality requirements established for utilisation.

Lead Balance, 1994

Input: 475,700 t of lead (including import, stocks, trade and finished lead in Germany)

Domestic fate: Total of 310,500 t of lead, of which

400 t	antiknock agents
9,500 t	alloys
32,300 t	semi-finished products
21,900 t	casting
7,600 t	cable coating
182,400 t	accumulators (e.g. 4-5 % motorcycle batteries, 12-14 % traction batteries, 75-80 % starter batteries, 4-6 % stand-by battery units for emergency power supply)
2,300 t	lead crystal
5,400 t	TV picture tubes
48,000 t	lead oxides and chemicals (e.g. technical glass, ceramics, colour pigments, stabilisers, anticorrosive agents, electroceramics)
700 t	not specified

Output: 165,200 t of lead (export of products)

Cadmium Balance 1994

Input: 3,079 t of cadmium (including import)

Domestic fate: Total of 810.6 t of cadmium, of which

104.3 t	pigments (of which, 84.9 t for plastics, 3.0 t for frits and glazes, 11.7 t for ceramic dyes, 4.7 t for paints stabilisers
91.0 t	batteries
611.2 t	alloys and solders
3.2 t	electroplating
2.4 t	glass industry
14.5 t	other products
6.7 t	cadmium as impurity in zinc, copper and lead
2.7 t	cadmium in slag and going to recycling
134.0 t	emissions to water and air
1.1 t	landfill
173.5 t	stocks in production and processing (reduction of manufacturers' stocks)
- 609.1 t	balance difference (including increases in distributors' stocks)
274.6 t	

Output: 2,269 t of cadmium (export)

Mercury Balance 1993

Input: 241.5 t of mercury (including import, secondary raw materials, non-specified sources)

Domestic fate: Total of 147.0 t of mercury, of which

26.2 t	chlor-alkali electrolysis (e.g. 0.4 t Hg in finished products, 23.0 t landfill, 2.8 t emissions to air)
0.1 t	paints
18.6 t	electrotechnical industry (e.g. 4.4 t in fluorescent tubes, 14.2 t in batteries)
4.9 t	monitoring instruments and apparatus manufacture (e.g. 4.1 t thermo-, mano- and barometers, 0.7 t blood pressure instruments, 0.1 t apparatus manufacture)
29.2 t	medical uses (e.g. dental)
3.0 t	chemicals and reagents
10.0 t	other mercury uses
36.0 t	recycling
19.0 t	stock increase
Output:	94.5 t of mercury (including export)

Direct from producer – freshly pressed.

KANZ, Lindau



INFO-HOTLINE:
+49 (0) 75 53 / 82 22 00

The vast quantities of all kinds of waste and residual materials which accrue every day must be disposed of quickly, efficiently and above all professionally. You can rely on HSM to help you. On the one hand, with an efficient and comprehensive choice of horizontal and vertical baling presses and fully automatic press systems up to a pressing power of 75 tons. And, on the other hand, with a bale format which guarantees optimum use of truck loading volumes. This not only saves time but money. Interested? We will be pleased to advise you.



fully automatic
baling press
HSM VK 75

HSM
Paper Shredders
Baling Presses

HSM Pressen GmbH + Co. KG
Postfach 1163 • D-88678 Salem
Tel. +49 (0) 75 53 / 82 20 • Fax +49 (0) 75 53 / 82 21 60
e-mail: info@hsm-online.de • <http://www.hsm-online.de>

References

- (1) Phase I final report of the UFO-PLAN research project: "Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände", FKZ 103 10 903
- (2) Phase II final report of the UFO-PLAN research project: "Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände", FKZ 103 10 903/01
- (3) Interim report of the Enquete Commission on the Protection of Humanity and the Environment: "Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft", 30. 09. 1993, Deutscher Bundestag, 12. Wahlperiode, Drucksache 12/5812
- (4) Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Waste Avoidance, Recovery and Disposal Act), of 27 September 1994, BGBl. No. 66 (1994), Part I, Article 1: Act for Promoting Closed Substance Cycle Waste Management and Ensuring Environmentally Compatible Waste Disposal (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/ AbfG)
- (5) Ordinance on the Avoidance of Packaging Waste (Verpackungsverordnung - VerpackV), draft amendment of 2 June 1998 including rationale
- (6) Reports from UBA research projects: Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber in die Umwelt, Bilanzen über Verbrauch und Verbleib, UFOPLAN no. 106 01 047, LGA Bayern, Nürnberg, Volume 1: D. Balzer; Blei und Cadmium; Volume 2: Quecksilber (author: A. Rauhut)
- (7) Umweltgutachten 1998, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), Wiesbaden, February 1998
- (8) Kompost-Atlas 1998/99 Anlagenhandbuch, K. Wiemer, M. Kern, Witzenhhausen, 1998 (Abfallwirtschaft: Neues aus Forschung und Praxis) ISBN 3-928673-23-8, first edition, 1998, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhhausen
- (9) Schachermayer, E.: Stoffflüsse bei der klassischen Abfallverbrennung: Schadstoffsenke in den Abgasreinigungsrückständen. BMBF-Statusseminar „Stoffmanagement in thermischen Abfallbehandlungsanlagen, 29/30 Jan. 1996, Duisburg, IUTA
- (10) Achternbosch, M. and Richers, U.: Stoffstromanalysen zur abwassererzeugenden und abwasserfreien Konzeption von "nassen" Rauchgasreinigungssystemen, Müll und Abfall No. 4, 1998, pp. 146-253, E. Schmidt Verlag, Berlin
- (11) Reimann, D. O.: Menge, Beschaffenheit und Verwertungsmöglichkeiten von MV-Schlacke - Gesamtübersicht, Supplement No. 31, Müll und Abfall, Entsorgung von Schlacken und sonstigen Reststoffen, 1994, E. Schmidt Verlag

The Authors

Bernt Johnke
Umweltbundesamt
Seckstraße 6-10
D-13581 Berlin-Spandau

Dr. Paul-Gerhard Mast
Tauf Umwelt, Ingenieurbüro Berlin
Schlegelstraße 8
D-10115 Berlin

Dr. Michael Beckmann
CUTEC Institut GmbH
Leibnitzstraße 21+23
D-38678 Clausthal-Zellerfeld

For more info circle No. **235**