

Sortierung in der Abfallwirtschaft: Wie gross ist ihr Beitrag zu einem ressourcenschonenden und umwelt- verträglichen Stoffhaushalt?

PETER BACCINI und PAUL H. BRUNNER, Dübendorf

Zusammenfassung

Die Erfassung von Wertstoffen durch Separatsammlungen erbringt *qualitativ* die erforderlichen Trennleistungen. *Quantitativ* erreicht sie jedoch nicht jenes Mass, welches notwendig wäre, um die Behandlungsanlagen in naher Zukunft wesentlich entlasten zu können. Die bisherigen Erfahrungen mit Separatsammlungen von Schadstoffen zeigen einen unbedeutenden Beitrag zur Verbesserung der Umweltqualität, sind jedoch ökonomisch extrem aufwendig. Die Verwertung durch mechanische Sortieranlagen erreicht die schweizerischen Qualitätsziele noch nicht. Somit werden durch diese Triageanlagen weder Umweltbelastungen vermindert noch Endlager oder Ressourcen geschont.

Résumé

La collecte séparée de matières recyclables produit *qualitativement* le rendement de séparation requis. *Quantitativement*, elle n'atteint cependant pas l'ordre de grandeur nécessaire pour décharger, de manière significative, les installations d'incinération. Les expériences faites jusqu'ici avec les collectes séparées de contaminants, révèlent qu'elles ne contribuent que de façon négligeable à l'amélioration de la qualité de l'environnement, et qu'elles sont en plus extrêmement coûteuses. Le recyclage moyennant des systèmes mécaniques de triage n'atteint pas encore les objectifs suisses de qualité. Par conséquent, ces installations de triage ni réduisent les nuisances portées à l'environnement, ni évitent un stockage définitif ou l'utilisation de ressources.

Abstract

Separate collection of reusable fractions of municipal solid waste (MSW) results in products of good qualities but of low yields. The mass of residual MSW is not decreased to an extent where lower capacities for MSW treatment are required. The separate collection of hazardous materials has proven to be expensive and inefficient: Existing experience shows, that the quality of the residual MSW is not improved by these collections. The products of available mechanical sorting systems do not comply with the national regulations for resources for composting or fuel-incineration. Based on today's knowledge, such sorting systems do neither attenuate material fluxes to water, air and soil nor diminish the need for landfill sites or primary resources.

1. Einleitung

Eine grobe Analyse der Stoffflüsse in der schweizerischen Volkswirtschaft der achtziger Jahre führt zu folgender Beurteilung [1, 2].

– Die mengenmässig bedeutendsten Materialflüsse führen in die privaten und öffentlichen Haushalte, welche sich stofflich nicht im Gleichgewicht befinden, sondern stetig wachsen. Sie bilden das grösste «stoffliche Zwischenlager» der gesamten Volkswirtschaft.

– Die grössten *Ressourcepotentiale* (Wertstoffe und Energie) und die grössten *Schadstoffpotentiale* (z.B. Schwermetalle, Halogene, xenobiotische Verbindungen) in den aktuellen Abfallflüssen liegen in den *Siedlungsabfällen* und in den Abfällen der Baubranche, wiederum gemessen im Rahmen der gesamten Volkswirtschaft.

Stofflich gesehen sind Wohlstandsgesellschaften wie die Schweiz Überflusgesellschaften, d.h. es besteht ständig ein genügendes und preiswertes Angebot von Gütern auf der Versorgungsseite, so dass praktisch keine ökonomische Notwendigkeit besteht, Wertstoffe in Abfällen zu recyklieren. Ausnahmen bilden solche Wirtschaftszweige, welche im harten marktwirtschaftlichen Konkurrenzkampf eindeutige betriebswirtschaftliche Vorteile mit rezyklierten Stoffen erzielen, z.B. mit Eisenschrott in der Stahlproduktion oder mit Altglas in der Herstellung von Glasgebinden.

Mit der Einführung des Umweltschutzgesetzes [3] wurden Bund und Kantone verpflichtet, auch Vorschriften zu erlassen, was aus den Abfallflüssen wie zu verwerten ist (Art. 30, 31 und 32). Hinter dieser Verpflichtung steht der politische Wille, auch in einer Überflusgesellschaft Ressourcen zu schonen. Im Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft [4] wurden die Grundsätze für solche Vorschriften formuliert: Die Abfallwirtschaft soll nur drei Produkttypen produzieren, nämlich umweltverträgliche, endlagerfähige und wiederverwertbare (*Abbildung 1*). Die erste Gruppe ist stofflich grob charakterisiert mit der Verordnung über Abwassereinleitungen [5], der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) [6] und der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) [7], die zweite mit der neu im Entwurf vorliegenden Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) [8]. In der letzteren sind nebst den oben erwähnten Grundsätzen auch erste Verwertungs- (Art. 3) und Separatsammlungsvorschriften (Art. 10, 11 und 12) festgehalten. Von einiger Bedeutung ist dabei die «Kann-Vorschrift» in Art. 3, Abs. 3:

«Sie (die Behörde) kann vom Inhaber von Abfällen verlangen, dass er diese der Verwertung zuführt, wenn dies *technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist und eine im Vergleich zur Beseitigung kleinere Umweltbelastung resultiert.*»

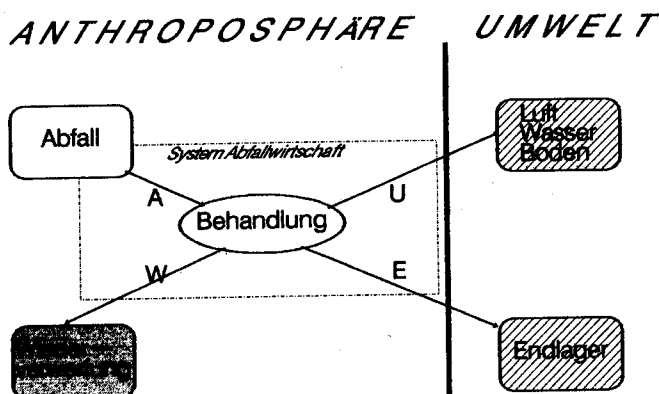


Abbildung 1 Die Abfallbehandlung (Sortierung, Verbrennung, Kompostierung usw.) als Drehscheibe für den Stofffluss zur Wiederverwertung, zum Endlager oder zu Luft, Wasser und Boden.

Abfälle zu verwerten bedeutet, die Flüsse in die Umwelt und/oder in die Endlager zu reduzieren (*Abbildung 1*). Im folgenden wird diese Massnahme auch mit dem Begriff «Verminderung» charakterisiert. Unter «Vermeidung» versteht man alle Massnahmen, die die Produktion von Abfällen reduzieren, z. B. Stoffverbote oder freiwilliger Konsumverzicht.

Es stellt sich somit die Frage, welche diesbezüglichen Erfahrungen heute vorhanden sind, um gemäss den obgenannten Grundsätzen verwerten zu können. Die organisatorisch technische Lösung zur Wiederverwertung kennt zwei Varianten, die *Separatsammlung* und die *mechanische Sortierung*. Im folgenden wird die gestellte Frage am Beispiel der Siedlungsabfälle diskutiert, weil dazu genügend Datenmaterial vorhanden ist.

2. Die Separatsammlung (Trennung an der Quelle)

Vier Beispiele für die in der Schweiz praktizierten Separatsammlungen sind in *Tabelle 1* aufgeführt. Die gut eingespielten Glas- und Papiersammlungen zeigen Rücklaufquoten in die Wiederverwertung von etwa 40 % (gerundete Zahlen). Zwei Voraussetzungen müssen erfüllt werden:

1. Der separierte Wertstoff muss die minimalen Qualitätsanforderungen des nachfolgenden Prozesses und der Endprodukte erfüllen können. So darf zum Beispiel das grüne Altglas nur wenig mit andersfarbigen Gläsern verunreinigt sein, damit wieder die gleiche Grünglasqualität erreicht werden kann. Die aus Altpapier wiedergewonnenen Faserstoffe können hauptsächlich in der Karton- und Wellpappenherstellung zu 80–100 % eingesetzt werden. Für andere Produkte (Druck- und Schreibpapiere) verlangt der Konsument Qualitäten, die nur mit hohen Anteilen (> 90 %) neuer Fasern erreicht werden können. Ähnliche Verhältnisse gelten heute für rezyklierte Kunststoffe (Thermoplaste). Die wiedergewonnenen Granulate zeigen Qualitäten, die nur für bestimmte Einsatzgebiete taugen.
2. Produkte aus rezyklierten Wertstoffen brauchen Märkte. Diese für eine Marktwirtschaft triviale Feststellung bedarf einer Rechtfertigung. Schon heute werden in der

Schweiz 100 % der grünen Verpackungsgläser aus separat gesammeltem Altglas hergestellt. Eine Erhöhung des Grünglasflusses bedeutet, dass Vetropack ihren Markt vergrössert oder dass Glasdeponien aus den Überschüssen errichtet werden.

Eine ähnliche Situation gilt für Altpapier. Auch hier zeigt der Markt Sättigungerscheinungen. Im Gegensatz zu Glas kann Altpapier wegen biologischen Abbauprozessen nicht längere Zeit gelagert werden. Der nächste Schritt wäre eine verbesserte Verfahrenstechnik, um die Qualitäten des aufgearbeiteten Altpapiers zu verbessern. Andernfalls drängt sich eine Verbrennung des überschüssigen Altpapiers in Kehrlichtverbrennungsanlagen auf, um wenigstens die Energie zu nutzen. Die dazu benötigten Verbrennungskapazitäten sind allerdings nicht vorhanden.

Die Rücklaufquote von Kunststoffen ist noch klein. Die gegenwärtig tiefen Erdölpreise ermöglichen auch niedrige Neugranulatpreise. Zudem erschweren protektionistische Verbandsnormen (z. B. hohe Reissfestigkeit für Kehrlichtsäcke, Farbtöne für Isolationsrohre) die Anwendung von Rezykliergranulaten.

Die Verwendung von separat gesammelten pflanzlichen und tierischen Abfällen zur Herstellung von Kompost, eine in den Agrargesellschaften seit Urzeiten angewandte Methode zur Bodenverbesserung, ist heute in urbanisierten Wohlstandsgesellschaften wieder neu im Ansteigen. Auch für die dichtbesiedelte Schweiz bestehen theoretisch keine Kapazitätsgrenzen, d. h. sämtliche biogenen Abfälle, separat gesammelt, könnten via Kompostierung auf landwirtschaftlichen Böden verwertet werden.

Quantitative Untersuchungen mit koordinierten Separatsammlungsaktionen von Wertstoffen in Gemeinden (z. B. Hinwil im Kanton Zürich) [9] zeigen eine Verminderung des gesamten Siedlungsabfallflusses von 10–20 % im Vergleich zu anderen Gemeinden. Diese Reduktion konnte primär auf die ausgewiesenen Mehrleistungen in der Separatsammlung zurückgeführt werden. Eine damit ausgelöste Abfallreduktion durch Konsumreduktion, d. h. eine eigentliche Vermeidung (siehe oben), konnte nicht beobachtet werden. Wichtig ist das in diesen Untersuchungen

Tabelle 1 Beispiele der Wiederverwertung durch Separatsammlungen in der Schweiz (Stand 1987).

Gut	gesammelt mit dem Siedlungsabfall (SA)		gesammelt in Separatsammlungen (SS)		Wertstoff	Recycling	
	[kg/ExJahr]	Anteil am Gesamtfluss in %	[kg/ExJ]	Anteil am Gesamtfluss in %		Prozess	Produkt
Verpackungsglas	30 1)	60	20	40	Glas	Glashütte	Verpackungsglas
Papier / Karton Zeitungspapier	120 2)	60	80	40	Cellulose	Papierherstellung	Altpapier
Küchen- und Gartenabfall	110 3)	95	5	5	Kohlenhydrate Proteine Nährstoffe	Kompostierung	Humus
Kunststoffe	50 4)	94	3 5)	6	Polypropylen Polyäthylen u.ä.	Extruder	Granulat

1) 8 % von SA_{tot}

2) 32 % von SA_{tot}

3) 29 % von SA_{tot}

4) 13 % von SA_{tot}

5) Fa. Polyrecycling, vor allem Industrie- u. Gewerbeabfälle

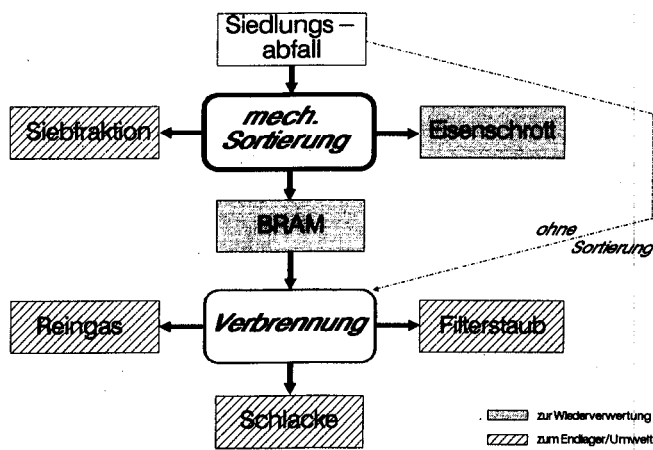


Abbildung 2 Sortieranlagen erzeugen Produkte, die in nachfolgenden Prozessen als Ausgangsprodukte dienen. Diese Produkte müssen eine Qualität besitzen, die es ermöglicht, dass die nachfolgenden Prozesse umweltverträgliche Endprodukte erzeugen (z. B. Kompost, Abgase, Materialien für ein Endlager). Siebfraktionen aus Sortieranlagen müssen nachbehandelt werden, bevor sie in einem Endlager deponiert werden können.

erhaltene Ergebnis, dass nur etwa ein Drittel der Bevölkerung spontan nach erstem Aufruf die Separatsammlung verstärkt, ein zweites Drittel erst nach intensiver Informations- und Aufklärungstätigkeit sich anschliesst und das letzte Drittel passiv bleibt. Resultate aus deutschen Studien bestätigen diese Resultate. Ergänzend muss hervorgehoben werden, dass der ökonomische Anreiz zur Wertstoffsammlung in Privathaushalten sehr gering ist. Wer schon heute verursachergerecht für die Entsorgung seiner Siedlungsabfälle bezahlen muss (z. B. mit Kehrichtsackgebühr) und konsequent Wertstoffe separat sammelt, kann in einem vierköpfigen Haushalt durch 50%ige Reduktion («Verminderung») etwa 50 bis 100 Franken jährlich einsparen (berücksichtigt ist im oberen Wert noch der eingesparte Kompost). Es ist deshalb gerechtfertigt, den heutigen Stand der Verminderung durch Separatsammlungen als Folge einer ökologisch orientierten Grundhaltung, teilweise gestützt durch soziale Kontrollen, zu deuten.

Die wenigen Untersuchungen mit Separatsammlungsaktionen von potentiellen Schadstoffen, sogenannte Sondermüllsammlungen für Haushaltungen (z. B. Farben, Lösungsmittel, Altöl, Pestizide, usw.) zeigen insgesamt bescheidene Ergebnisse (Beispiel Landkreis Heidenheim, BRD) [10]. Die Kosten für solche Aktionen liegen zwischen 500 bis 2000 Fr./Tonne. Da die Ausbeute, gemessen am gesamten Sondermüllpotential, nur bei einigen Prozent liegt, d. h. < 1 kg/Kopf und Jahr, ist dieser hohe ökonomische Einsatz zur kurzfristigen Erreichung einer umweltverträglichen Entsorgung schlecht angelegt. Er muss als pädagogischer Aufwand gebucht werden, um dem Bürger sein eigenes Zwischenlager an Sondermüll zu zeigen. Eine optimal funktionierende Kehrichtverbrennungsanlage mit weitergehender Rauchgasreinigung (zurzeit immer noch eine Rarität in der Schweiz) könnte diese Fraktionen im Kehrichtsack ohne Umweg über Separatsammlungen gleichwertig, aber fünf bis zehnmal billiger entsorgen. Die dabei entstehenden Emissionen sind men-

genmässig völlig unbedeutend im Vergleich mit den ohnehin bei der Verbrennung von Siedlungsabfällen entstehenden Emissionen.

Folgerungen

Separatsammlungen von Wertstoffen sind betriebswirtschaftlich, volkswirtschaftlich und ökologisch vorteilhaft, wenn die spezifischen Qualitätsziele erreicht und Märkte für die separat gesammelten Produkte geschaffen werden können. Die damit erzielte Verminderung der noch zu behandelnden Siedlungsabfälle ist relativ gering und ihre chemische Zusammensetzung wird dadurch im allgemeinen nicht wesentlich verändert. Auch bei erhöhten Rücklaufquoten im nächsten Jahrzehnt werden trotzdem mindestens die gleichen Kapazitäten an Verbrennungsanlagen für die Siedlungsabfälle notwendig sein. Die Rücklaufquote ist bis heute und auch in nächster Zukunft nicht nur durch den Markt, sondern auch durch das Verhalten des Einzelnen und der sozialen Gruppe bestimmt. Eine mit dem Separatsammeln gekoppelte Konsumreduktion kann nicht beobachtet werden.

3. Die mechanische Sortierung (Trennung gemeinsam gesammelter Siedlungsabfälle)

Mechanische Sortieranlagen werden hergestellt mit dem Ziel, aus der Gesamtheit der Siedlungsabfälle eine möglichst hohe Wertstoffschöpfung zu erreichen und gleichzeitig die Fraktionen gezielt mit erwünschten Inhaltsstoffen anzureichern (z. B. organischer Kohlenstoff für Kompostrohmaterial oder Brennstoffe) bzw. unerwünschte Komponenten auszuscheiden (z. B. Schwermetalle wie Cadmium und Quecksilber). Somit sollen in Sortieranlagen

1. der Stofffluss W (Abbildung 1) zur Wiederverwertung stark erhöht werden,
2. Stoffe aussortiert werden, die nach einer einfachen Nachbehandlung über die Pfade U und E unter Einhaltung der Qualitätsziele an die Umwelt abgegeben werden können.

In der Liste der Beurteilungskriterien solcher Anlagen steht die Trennleistung für verschiedene Güter und Stoffe an erster Stelle vor dem Energiebedarf und der Wirtschaftlichkeit. Wenn die erforderlichen Trennleistungen (und damit die geforderte Qualität der Sortierprodukte) nicht erreicht werden können, erübrigt sich die Prüfung der nachfolgenden Kriterien. Es sollen zwei Anlagentypen diskutiert werden. Die erste wird einer Kehrichtverbrennungsanlage vorgeschaltet, um BRAM (Brennstoff aus Müll) zu produzieren. Die zweite wird eingesetzt, um Kompostrohmaterial herzustellen.

Die in Abbildung 2 schematisch dargestellte Sortieranlage wurde in der Schweiz als Versuchsanlage im Massstab 1:1 als Vorspann zu einer vorhandenen KVA eingesetzt. Sie besteht im wesentlichen aus einer mechanischen Zerkleinerung (Rotationsschere), einer nachfolgenden Siebtrommel, aus der zwei Feinfraktionen abgeschieden werden, und einem Magneten, der aus der groben Fraktion (BRAM) noch die Eisenteile abtrennt. Mit der Verteilung der Masse und der Elemente Kohlenstoff (Träger der che-

Tabelle 2 Massen- und Elementverteilung in einer KVA ohne (o) und mit (m) vorgeschalteter mechanischer Sortieranlage. Quelle: EAWAG-Projekt Nr. 30-320 (1988).

Parameter	Verteilung auf die Produkte, in % des behandelten Abfalls				
	Siebfraktion	Schlacke	Filterstaub	Reingas	
Masse	o	0	22	1	77
	m	22	9	1	68
Kohlenstoff	o	0	1	<0.1	99
	m	14	1	0.1	84
Fluor	o	0	49	34	17
	m	75	6	15	4
Chlor	o	0	10	10	80
	m	18	4	12	65
Cadmium	o	0	21	78	1
	m	21	29	43	5
Quecksilber	o	0	2	16	82
	m	46	7	15	31

mischen Energie), Fluor, Cadmium und Quecksilber auf die drei resp. vier Produkte soll die Wirkung der Anlage illustriert werden (Tabelle 2). Es gelingt, 86 % des Kohlenstoffes in die BRAM-Fraktion zu transferieren und 75 % des Fluors sowie 46 % des Quecksilbers in die Siebfraktionen zu leiten. Bei Chlor gelingt dies nur zu 18 % [11]. Diese Trennleistung genügt aber nicht, um in der nachgeschalteten Verbrennungsanlage auf eine weitergehende Rauchgasreinigung verzichten zu können. Es ist zwar möglich, die ohne Sortieranlage erzeugten Emissionswerte von Fluor und Quecksilber unter die LRV-Grenzwerte zu bringen (Tabelle 3a). Hingegen wird die notwendige Reduktion von Chlor bei weitem nicht erreicht und der Cadmium-

fluss wird sogar erhöht, weil das neue Brennmaterial (BRAM) mit höherem Heizwert und grösserer spezifischer Oberfläche zu grösseren Staubkonzentrationen im Reingas führen kann. Die Sortieranlage erzeugt zudem eine Siebfraktion (Massenanteil 22 %, Tabelle 2), deren chemische Zusammensetzung sich nicht wesentlich von jener des Ausgangsmaterials unterscheidet (Tabelle 3b). Dieses Material hat keine Endlagerqualität. Es sollte ebenfalls durch Verbrennung vollständig mineralisiert werden. Gesamthaft gesehen bringt also eine solche Anlage nicht genügend Trennleistungen und keinen Vorteil gegenüber der reinen Verbrennung ohne Vorsortierung. Der zweite Anlagentyp dient zur Herstellung eines Roh-

Tabelle 3a Vergleich der Reingasemissionen einer KVA mit und ohne vorgeschalteter Sortieranlage (die kursiven Werte überschreiten die Grenzwerte der Eidg. Luftreinhalteverordnung LRV). Quelle: EAWAG-Projekt Nr. 30-320 (1988).

	Emissionen, in [mg/m ³]				
	Fluor	Chlor	Cadmium	Quecksilber	Staub
ohne Sortierung	5.1	1000	0.02	0.38	22
mit Sortierung	1.8	590	0.12	0.07	170
Grenzwert LRV	5	30	0.1	0.1	50

Tabelle 3b Vergleich der Konzentrationen ausgewählter Elemente im Siedlungsabfall und in mechanisch sortierten Siebfraktionen. Quelle: EAWAG-Projekt Nr. 30-320(1988).

	Konzentration, in [g/kg]					
	Kohlenstoff	Fluor	Schwefel	Kupfer	Zink	Cadmium
Siedlungsabfall	350	0.21	1.5	0.75	1.0	0.014
Siebfraktion (vgl. Abb. 3)	230	0.76	2.5	1.3	1.8	0.013

Tabelle 4 Berechnete maximal tolerierbare Schwermetallgehalte im Kompostrohmaterial.

	Gehalte in [mg/kg TS]				
	Blei	Cadmium	Kupfer	Quecksilber	Zink
Gehalt im Siedlungsabfall					
Mittelwert	780	13	460	4	1900
Bereich	400-1000	7-16	300-700	1-5	800-2700
Kompostgrenzwerte					
BRD	150	2.5	150	3.2	375
CH	150	3	150	3	500
Berechnete max. tolerierbare Gehalte im sortierten Kompostrohmaterial ¹⁾	125	2.5	125	2.5	420

TS: Trockensubstanz

¹⁾ Wassergehalt SA 30 %, Kompost 45 %; Abbau während der Kompostierung 20 % des Kompostrohmaterials; Basis für Berechnungen sind CH-Grenzwerte.

materials für die Kompostierung. Er unterscheidet sich in den Hauptteilen nicht wesentlich von der ersten Anlage. Der Markt bietet Systeme mit der Abfolge «Mahlen-Trocknen-Sieben-Windsichten» an. Auf die verfahrenstechnischen Aspekte soll hier nicht eingegangen werden. Nur die bisher durch Grossversuche ermittelten Trennleistungen sollen verglichen werden.

Die schweizerische Stoffverordnung [12] setzt Qualitätsziele für Kompost, so dass die erforderliche Trennleistung solcher Anlagen berechnet werden kann. In *Tabelle 4* werden die Konzentrationen von fünf Schwermetallen im Siedlungsabfall mit den Kompostgrenzwerten und den daraus berechneten Konzentrationen für das zu produzierende Kompostrohmaterial verglichen. Daraus folgt auch die erforderliche Reduktion in % bezüglich eines Elementes. In *Abbildung 3* werden für verschiedene Sortiersysteme

me die in kontrollierten Versuchen gemessenen Reduktionen mit der Zielgrösse verglichen. Bei den untersuchten Anlagen handelt es sich um eine grosstechnische Müllsortieranlage in Wien [13], um eine Versuchsanlage der Firma ORFA in Leibstadt (Kanton Aargau) [14, 15] und um die separate Einsammlung von kompostierbarem Material und die anschliessende Kompostierung in Murimoos (Kanton Aargau) [16]. Es zeigt sich, dass für Metalle wie Kupfer, Zink und Blei diese Leistungen in den Versuchen B und C nahezu erreicht werden können, weil diese Elemente trotz Mischungsprozessen sich schon in den Ausgangsmaterialien primär in den schweren Fraktionen befinden.

Diese Voraussetzung ist bei Elementen wie Cadmium nicht gegeben (dazu gehören auch noch Elemente wie Arsen, Selen und Zinn), welche schon fein verteilt in leichte-

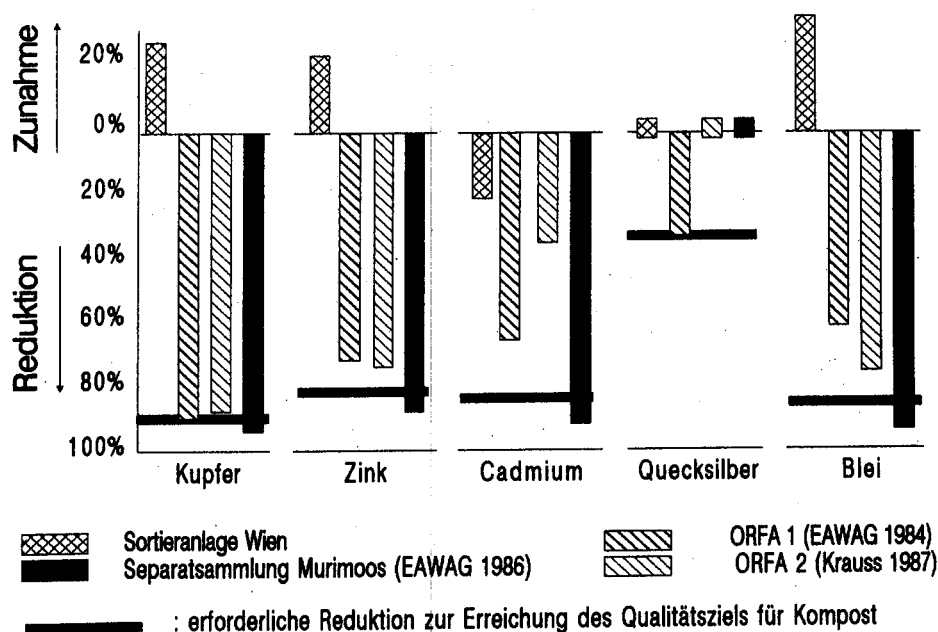


Abbildung 3 Im Gegensatz zu Separatsammlungen wurden in Sortieranlagen die notwendigen Reduktionen an Metallen zur Herstellung von Kompostrohmaterial bisher nicht erreicht. Die Zunahme einzelner Metalle beim Versuch in Wien beruht darauf, dass durch das Sortierverfahren in der Kompostfraktion Kupfer, Zink und Blei angereichert wurde.

ren Fraktionen eingeführt werden. Damit stösst das mechanische Sortierverfahren an grundsätzliche Grenzen. Die heute zur Verfügung stehenden Daten zeigen denn auch, dass für durchschnittlichen Siedlungsabfall die erforderliche Trennleistung zur Produktion von qualitativ genügendem Rohmaterial nicht erreicht wird. Mit der separaten Sammlung der biogenen organischen Fraktionen des Siedlungsabfalls wird hingegen dieses Ziel erreicht (Pfeil S Murimoss in *Abbildung 3*).

Folgerungen

Mechanischen Sortieranlagen für Siedlungsabfälle gelingen nicht jene Trennleistungen, welche zur Erreichung stofflicher Qualitäten der in der Schweiz anzustrebenden Produkte notwendig sind. Es werden zudem neue Nebenprodukte mit signifikanten Massenanteilen produziert, die wiederum einer weiteren Behandlung zugeführt werden müssen. Es muss auch hervorgehoben werden, dass mit den hier angeführten Beispielen nur die heute bekannten Schadstoffindikatoren angesprochen sind. Die breite Palette der synthetischen organischen Verbindungen in Abfällen ist erst Gegenstand neuerer Untersuchungen. Ihre Resultate werden das Spektrum der Qualitätsziele noch erweitern. Dies dürfte die Aufgabe der mechanischen Sortierung noch mehr erschweren.

Literaturverzeichnis

- [1] *Baccini P.* und *Brunner P. H.*: «Long-term implications of the land disposal of the residuals from the management of municipal and industrial solid wastes»; Proc. of the 10th Annual Madison Waste Conference, Univ. of Wisconsin-Madison, 1987.
- [2] *Baccini P.*, *Brunner P. H.*: «Neue Ziele für die Abfallwirtschaft. Strategien und Verfahren auf dem Prüfstand», Neue Zürcher Zeitung Nr. 227, 29.9.1988.
- [3] Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 7.10.1983.
- [4] *EKA, Eidg. Kommission für Abfallwirtschaft*: «Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft», Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 51 (1986), BUS, 3003 Bern.
- [5] *Schweiz. Bundesrat*: «Verordnung über Abwassereinleitungen», Bern (1975).
- [6] *Schweiz. Bundesrat*: «Luftreinhalte-Verordnung (LRV)», Bern (1985).
- [7] *Schweiz. Bundesrat*: «Verordnung über Schadstoffe im Boden» (VSBo)», Bern (1986).

- [8] *Eidg. Departement des Innern*: «Technische Verordnung über Abfälle (TVA)», Entwurf August 1988 (zurzeit in Vernehmlassung).
- [9] *Suter E., Zimmermann U.*: «Der Hinwiler Versuch», KEZO, 8340 Hinwil, 1988.
- [10] *Roth H.*: «Sammlung von schadstoffhaltigem Hausmüll im Landkreis Heidenheim», Müll und Abfall 15 (12), 320-323 (1983).
- [11] *Hämmerli H., Zimmerli R., Mönch H., Baccini P.*: «Flux de masses et d'éléments dans l'usine d'incinération de Cottendart avec et sans chaîne mécanique de tri», EAWAG-Bericht Projekt-Nr. 30-320, Januar 1988.
- [12] *Schweiz Bundesrat*: «Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV)», Bern (1986).
- [13] *Bilitewski B., Lorber K. E., Kümmlee G.*: «Bilanz eines Aufbereitungsprozesses», Müll und Abfall 17 (1985), Nr. 11, S. 369-376.
- [14] *Wasmer H. R., Hämmerli H., Krähenbühl M., Baccini P.*: «Stoffbilanz und Transferfunktionen einer Müllsortieranlage», EAWAG-Bericht Projekt-Nr. 30-311, 1985.
- [15] *Krauss P.*: «Heavy metal concentration and -amount in highly mechanized plants to produce compost and RDF», Recycling international 1 (Hrsg. K. J. Thomé-Kozmiensky), EF-Verlag, Berlin (1986).
- [16] *Obrist W.*: persönliche Mitteilung, EAWAG, 1988.

Adresse der Verfasser:

EAWAG, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abt. Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf



Prof. Dr. Peter Baccini



Dr. Paul H. Brunner

* * *