Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 102 (1984)
Heft: 15

Artikel: Neue Wege der Abfallbewirtschaftung
Autor: Obrist, Walter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75442

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Neue Wege der Abfallbewirtschaftung

Von Walter Obrist, Dübendorf

Obwohl der Kehricht wertlos ist, enthält er ein wertvolles Potential an Rohstoffen und Energie, das bereits erfolgreich genutzt wird. Die bekannten Methoden stossen heute an Grenzen des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit, so dass neue Verfahren erprobt werden. Erfolgreich sind die Rohstoffrückgewinnung (z. B. Brennstoff oder Baustoffe) und die getrennte Sammlung, doch der wirksamste Umweltschutz wäre die Reduktion der Abfallmengen. In allen Fällen bleibt die Deponie unumgänglich. Sie ist als letzte Verfahrensstufe in die ganze Abfallbewirtschaftung einzubeziehen, da jedes neue Verfahren die Qualität der Reststoffe stark beeinflusst.

Vor- und Nachteile konventioneller Methoden

Umweltbelastung

Die drei bisher üblichen Behandlungsmethoden sind im Laufe der letzten Jahrzehnte vor allem in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht auf einen hohen Entwicklungsstand gebracht worden. Der Beeinträchtigung der Umwelt wurde erst in jüngster Zeit vermehrt Rechnung getragen. Jede Abfallbehandlung ist aber mit *Emissionen* verbunden, wie sie vereinfacht in Tab. 1 dargestellt sind.

Dabei sind diejenigen Schadstoffe von Bedeutung, welche nahe an oder über allfällige *Grenzwerte* steigen können. Dies kann bei Inhaltsstoffen des Deponiesickerwassers, beim Rauchgas der Verbrennung und beim Geruch der Kompostierung der Fall sein. Die Abgase der Kehrichtverbrennung erreichen in den schweizerischen Anlagen Werte für Hg, F und Cl, welche die Grenzwerte der Bundesrichtlinien übersteigen (vgl. Tab. 2). Diese Richtlinien werden aufgrund des Umweltschutzgesetzes in naher Zukunft in eine *Verordnung* überführt. Es wird somit notwendig werden, die Verbrennungsanlagen mit *zusätzlichen Rauchgasreinigungssystemen* auszurüsten, wie dies schon in den Städten Lausanne und Luzern geschehen ist. Daraus werden sich allerdings Zusatzkosten in der Grössenordnung von 20 bis 30 Fr./t ergeben.

Stoff- und Energierückgewinnung

Schon vor der Ölkrise von 1973 wurde erkannt, dass die in den Abfallstoffen enthaltenen Wertstoffe und Energieträger ein *beachtliches Potential* darstellen, welches besser genutzt werden sollte. Vor allem die schon weit entwickelte Verbrennungstechnik optimierte die Energienutzung noch beträchtlich und hat heute einen anerkannt hohen Stand erreicht. Mit sehr vielen Rückschlägen haben dagegen die jüngeren Methoden der Stoffverwertung durch Sortieren zu kämpfen. Neben technischen Problemen (welche heute bei einigen Verfahren überwunden sind) spielen hier die Absatzmöglichkeiten für Sekundärrohstoffe eine ausschlaggebende Rolle. Es ist heute grundsätzlich möglich, den grössten Teil des Energie- oder Rohstoffpotentials von Siedlungs- und Industrieabfällen einer sinnvollen Nutzung zuzuführen. Die genaue Zusammensetzung des Kehrichts in der Schweiz wurde anhand von 100 Probenahmen von je 1 t in den Jahren 1982 und 1983 untersucht. Die in Tab. 3 dargestellten und mit deutschen Resultaten in Vergleich gesetzten Ergebnisse zeigen, dass im Kehricht grössere Mengen verwertbarer Stoffe vorliegen. Der heutige Brennwert von Kehricht beträgt in der Schweiz etwa 9000 bis 10 000 kJ/kg.

Wirtschaftlichkeit

Ein *Vergleich der Gesamtkosten* (d. h. ohne Abzug von Subventionen) der kommunalen Abfallbehandlung zeigt, dass die geordnete Deponie Kosten von etwa 20–40 Fr./t gegenüber 40–80 Fr./t bei Verbrennung, Kompostierung oder kombinierten Anlagen aufweist. Infolge erhöhter Anforderungen durch bestehende oder zukünftige Vorschriften (z. B. Abdichtung und Sickerwasserbehandlung bei der Deponie, Rauchgasreinigung bei der Verbrennung) werden diese Zahlen noch weiter ansteigen. Für *neue Behandlungsmethoden* sind damit zwar *Richtwerte* gesetzt, die wenn möglich zu unterbieten sind. Beim heutigen Stand der Umweltbelastung und der Ressourcenverknappung ist es aber

Tabelle 1. Umweltbelastung bei konventionellen Abfallbehandlungsmethoden [1]

Behandlungsmethode	*Raumbedarf*	*Abwasseranfall m³/t Rohmüll*	*Abgasmenge*
Deponie	1,25	0,35	180
Verbrennung	0,35	0,10	5000
Kompostierung	0,44	0,12	180

Tabelle 2. Beispiel von Emissionswerten der Kehrichtverbrennung [2]

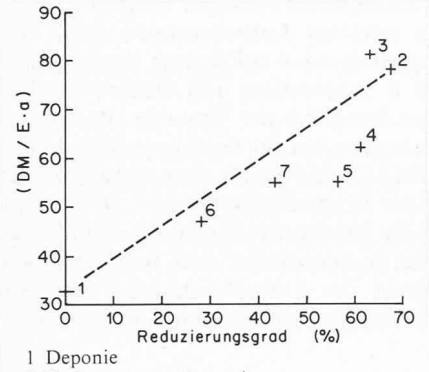
		Emissionswerte [g/m³]	
		KVA Zürich 1	Bundesrichtlinien
Gase	Chlorwasserstoff	0,620	0,100
	Fluorwasserstoff	0,0089	0,005
Feststoffe	Staub	0,0045	0,050
	Blei + Zink	0,00045	0,005
	Cadmium	0,000009	0,0001
	Quecksilber	0,00027	0,0001

Tabelle 3. Gewichtsanteile der Stoffgruppen in Siedlungsabfällen, CH und D, in % [3]

Stoffgruppe	*BRD* 1979/80	*Schweiz* 1982/83	
Karton	4,1	8,5	9,1
Papier	14,6	15,5	18,5
Papierverbundstoffe	1,2	1,7	2,7
Magnetische Metalle	3,5	4,6	4,7
Nichtmagn. Metalle	0,4	0,7	0,8
Glas	11,6	5,7	7,8
Kunststoffe	6,1	10,7	12,9
Textilien	1,5	2,6	6,7
Mineralien	2,9	1,1	2,1
Holz, Leder, Knochen	2,3	2,8	2,6
Verbundstoffe	0,8	0,9	0,9
Rest	51,0	45,0	–
Küchen- und Gartenabfall	–	–	30,5
Total	100,0	99,8	99,3
Anzahl Kehrichtproben	2860	60	1

Tabelle 4. Kostendaten von Sortier- und Vergärungsverfahren. (1–6 sind Kennziffern für mitteleuropäische Firmen)

Verfahren		*BRAM* 1	*BRAM* 2	*BRAM* 4	*Kompost aus org. Fraktion* 5	*Methan* 6
Jahresmenge	[t/a]	105 000	65 000	40 000	40 000	50 000
Produktmenge	[t/a]	43 000 + Eisen	15 000 + Eisen + Kompost	22 400	25 000	$3{,}8 \times 10^6$ [m³/a]
Personal		13	14	10	11	13
Laufzeit	[h/d]	7	14	23	23	24
Arbeitstage	[d/a]	250	250	250	250	365
Auslastungsfaktor		0,7	–	–	–	–
Gesamtkosten	[Fr./t]	34	37	3.50	9.40	38
Produktkosten	[Fr./t]	81	50	100	80	–



1 Deponie
2 Verbrennung + Deponie
3 Pyrolyse + Deponie
4 Brennstoff aus Müll + Kompostierung + Deponie
5 getrennte Sammlung + Kompostierung + Deponie
6 getrennte Sammlung + Deponie
7 Kompostierung + Deponie
DM/E·a = D-Mark pro Einwohner und Jahr

Bild 1. Kosten verschiedener Abfallbehandlungsverfahren in Abhängigkeit zur Mengenreduktion [4]

mehr denn je nötig, diese Aspekte vermehrt in die Beurteilung mit einzubeziehen. Die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens soll nicht mehr alleiniger Massstab sein, da die externen Kosten oft nicht bezifferbar sind. In Tab. 4 sind aktuelle Kostendaten von europäischen Firmen aufgeführt.

In einer neuen Publikation aus der BRD finden sich Angaben über die gesamten Entsorgungskosten und das Verhältnis zur Ersparnis von Deponievolumen (Bild 1). Daraus ergibt sich, dass die getrennte Sammlung in Kombination mit einer Einfachkompostierung günstig abschneidet. Die getrennte Sammlung allein führt zu einem geringeren Reduzierungsgrad, verursacht dafür aber auch niedrigere Kosten. Der Mehraufwand für Sammlung und Transport wird dabei in Deutschland auf etwa 6 bis 9 DM/E·a beziffert [5]. Die Verfahrenskombinationen Kompostierung/Resteverbrennung und getrennte Sammlung sind in dieser Darstellung nicht aufgeführt.

Wichtigere neue Behandlungsverfahren

Pyrolyse (Entgasung)

Nicht mehr neu, aber *noch im Entwicklungsstadium* stehend, ist die Entgasung von organischen Abfallstoffen. Man erhoffte sich davon eine optimale Volumenreduktion und die Gewinnung heizwertreicher Gase oder Öle bei gleichzeitiger Minimierung der zu reinigenden Abgase (dank geschlossener Prozessführung). Heute wird die Pyrolyse *für homogene organische Abfallstoffe* (z. B. Kunststoff, Gummi) als geeignet betrachtet, nicht aber für Siedlungsabfälle.Entsprechende Versuchsanlagen sind in der BRD seit kurzem in Betrieb. Bei Bewährung wäre ein Einsatz solcher Verfahren für die organischen Reststoffe aus der Kompostierung oder von Sortierverfahren u. U. möglich. Bisherige Resultate lassen erwarten, dass die metallischen Schadstoffe wie z. B. Pb, Cd, Hg fast vollständig in den kokshaltigen Pyrolyserückstand eingebunden werden. Hingegen enthalten die Schwelgase noch einige unerwünschte Bestandteile, wie z. B. Schwefelwasserstoff, Halogenwasserstoffe, Ammoniak sowie organische Stickstoff- und Schwefelverbindungen. Als prüfenswert wird auch die Pyrolyse von Klärschlamm angesehen.

Chemische Behandlung

Noch *im Versuchsstadium* befindet sich ein rein chemisches Verfahren, welches mit Hilfe der Hydrolyse in Druckreaktoren die Kohlehydrate der organischen Abfallstoffe in Alkohole umwandelt. Daneben sollen Lignin, Protein, Futtermittel, Pflanzendünger und mineralische Reststoffe anfallen, die ebenfalls verwertet werden können. Es sollen Anlagegrössen von 3 bis 350 t/h Rohstoff-Trockenmasse möglich sein mit einer Äthanolproduktion von 400 resp. 40 000 l/h. Das Verfahren kann im Moment mangels genügender Praxiserfahrung noch nicht beurteilt werden.

Vergärung organischer Abfallfraktionen

Die abbaubaren organischen Komponenten der Siedlungsabfälle, mit oder ohne Klärschlammzugabe, werden einem Vergärungsprozess mit methanbildenden Bakterien unterworfen. Es werden ein für Wärmeerzeugung nutzbares Gas, Sekundärrohstoffe (mineralische Stoffe, Metall, Kunststoffe) und ein vermutlich landwirtschaftlich verwertbarer Restschlamm produziert.

Die *Sortierung des Kehrichts* geschieht in ähnlicher Weise wie bei den reinen Sortierverfahren. Die Trennung wird aber auf die Abscheidung der genannten Fraktionen beschränkt. Die abbaubaren organischen Anteile werden mit Wasser oder Klärschlamm zu einem Gemisch angesetzt, zerkleinert und in Reaktoren fermentiert. Die Vergärung kann ein- oder zweistufig erfolgen, die Prozessführung meso- oder thermophil (etwa 35 resp. 55 °C). Es wird ein brennbares Gas (Gemisch aus CH_4 und CO_2) erzeugt in Mengen von etwa 100 m³/t.

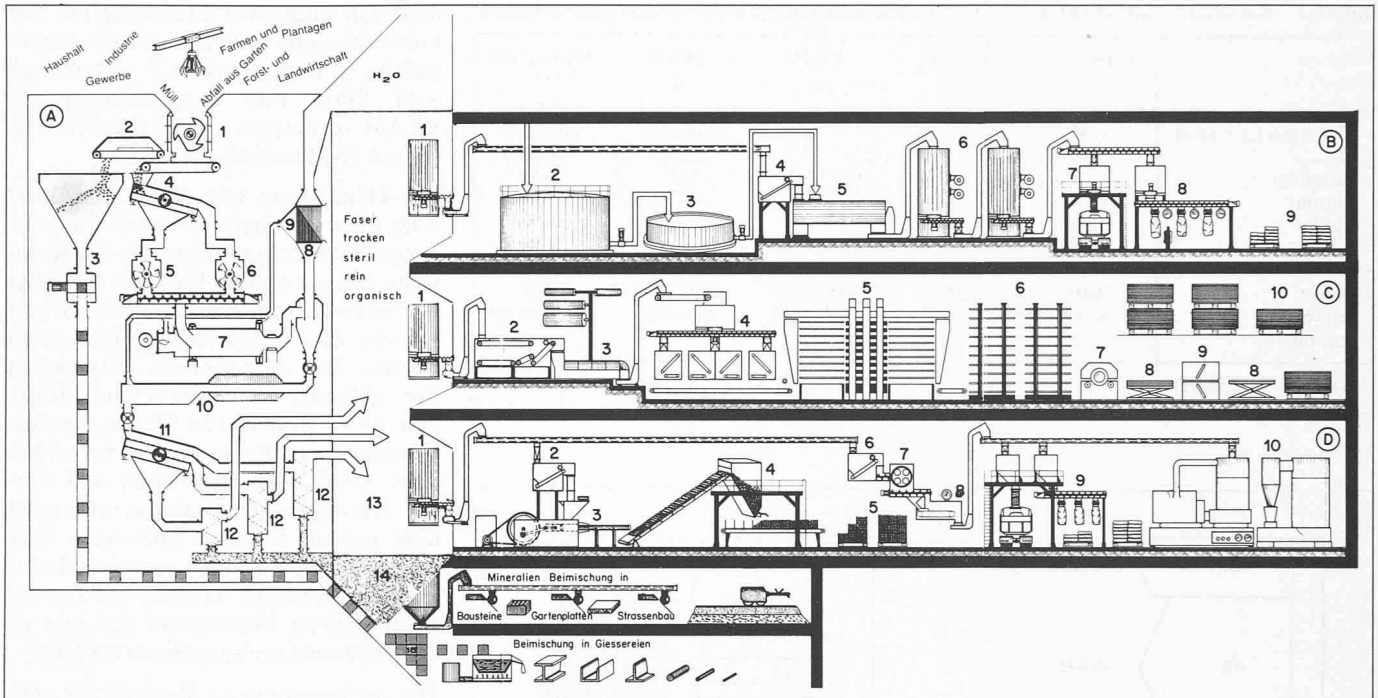
Die Auswirkungen auf die Umwelt können in engem Rahmen gehalten werden und betreffen vor allem die *Unterbringung der Restschlämme*. Anstelle der landwirtschaftlichen Verwertung kann auch die Deponie in Frage kommen (vgl. dazu auch Bild 3).

Die Entwicklung dieser Verfahren ist zurzeit in vollem Gange. Alle Angaben sind daher vermutlich noch Änderungen unterworfen. Seit kurzem wird nun auch eine *Variante mit Feststoffvergärung* angeboten. Für kleinere Anlagen und mit Beimischung von landwirtschaftlichen Abfällen könnte dieses Verfahren in Frage kommen. In den 40er Jahren waren ähnliche Anlagen in Europa und Nordamerika schon in Betrieb. Heute werden in Japan und den USA erste Pilotanlagen des Nassverfahrens erprobt und in Südfrankreich eine Feststoffanlage erstellt.

Der Erfolg von Vergärungssystemen wird neben technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten stark davon abhängen, ob und wie die im Restschlamm *vorhandenen Nährstoffe sinnvoll genutzt* werden können. Die Energieausbeute beträgt etwa die Hälfte derjenigen bei der Kehrichtverbrennung, wobei allerdings eine teilweise lager- und transportfähige Energieform vorliegt.

Sortierverfahren

Seit etwa einem Jahrzehnt wird versucht, das Gemisch der Siedlungsabfälle mit Hilfe *mechanischer Trennverfahren* zu sortieren und *verwertbare Stoffe zurückzugewinnen* (Bild 2). Dabei wur-



Standardanlagen

Typ I 80 t Müll/Tag
Typ II 150 t Müll/Tag
Typ III 220 t Müll/Tag
Typ IV 370 t Müll/Tag
Typ V 560 t Müll/Tag

A. Rohstoffherstellung

1 Zerkleinerung
2 Metallausscheidung
3 Metallpaketierung
4 Materialaufteilung
5 Granulator
6 Fasermühle
7 Trocknung - Sterilisation
8 Abluftreinigung
9 Wärmerückführung
10 Stabilisierung
11 Trennung
12 Separierung
13 Fasersilierung
14 Granulatsilierung
15 Altmetallager

B. Düngehumus

1 Faserbunker
2 Schlammtank
3 Reaktor
4 Dosierung
5 Mischung
6 Fermentation
7 Düngerverlad
8 Absackung
9 Düngerversand

C. Pressprodukte

1 Faserbunker
2 Dosierung
3 Beleimung
4 Streuung
5 Verpressung
6 Kühlung
7 Schneiden
8 Stapeln
9 Schleifen
10 Lager/Versand

D. Briketts und Pellets

1 Faserbunker
2 Dosierung
3 Brikettierung
4 Verpackung
5 Lager/Versand
6 Dosierung
7 Pelletisierung
8 Kontrolle
9 Verpackung
10 Pyrolyse

Bild 2. Schema der Sortieranlage System ORFA

den technisch verschiedene Wege eingeschlagen und je nach Zielsetzung unterschiedliche Produkte erzeugt:

A. Gewinnung von Sekundärrohstoffen und Wertstoffen (Glas, Metall, Papier, Futtermittel, Kunststoffe u. a.)
B. Erzeugung von lagerfähigen Energieträgern (BRAM-Herstellung, BRAM = Brennstoff aus Müll)
C. Herstellung von Kompostrohstoff oder Deponiegemisch

In der Gruppe A wurden neben den heute üblichen trockenen früher auch Nassverfahren entwickelt, die sich aber nicht durchsetzten. Die heute angebotenen Systeme stellen meist eine Kombination der genannten Gruppen mit z. T. unterschiedlichen Ausbaumöglichkeiten dar. Es sind auch Einfachmethoden vorhanden, die z. B. auf einer Deponie aufgebaut sind und gewisse Wertstoffe abtrennen können.

Die *wesentlichen Prozesse* der Verfahrenstechnik sind:

- Siebung
- Zerkleinerung
- Sortierung durch Sichtung und ballistische Abscheidung
- Magnetabscheidung
- Trocknung
- Verdichtung

Je nach angestrebtem Endprodukt werden diese Teilverfahren zu *Kombinationen* zusammengestellt. Für eine gute Abtrennung von Sekundärrohstoffen und die BRAM-Herstellung sind recht aufwendige maschinelle Einrichtungen notwendig. Die aufzubringende Prozessenergie beträgt etwa 10–20 Prozent der nutzbaren Abfallenergie.

Einige Anlagen zur *Wertstoffgewinnung* stehen in Italien (z. B. Rom, Perugia) seit mehreren Jahren, erst kürzere Zeit in anderen europäischen Ländern in Betrieb. Während die italienischen Werke bei offenbar günstigen Sekundärrohstoffpreisen arbeiten können, werden aus Mittel- und Nordeuropa Schwierigkeiten im Absatzmarkt gemeldet. Mehrere Anlagen werden mit Forschungs- und Entwicklungszuschüssen der öffentlichen Hand unterstützt. In der Schweiz ist keine Anlage geplant.

Die *Herstellung von BRAM* wurde in den letzten Jahren intensiv weiterentwickelt. Daran sind auch mehrere Schweizer Firmen beteiligt. Ziel der Verfahren ist ein Brennstoff mit höherem Heizwert als Kehricht, niedrigem Wasser- und Aschegehalt, möglichst geringen Schadstoffgehalten, guter Lager- und Transportfähigkeit sowie niedrigen Ansprüchen an das Feuerungssystem. Das Endprodukt ist pulverförmig oder wird in Pellets oder Briketts verpresst.

Bei unserer heutigen Kehrichtzusammensetzung ist ein BRAM-Anteil von bis zu 45% gewinnbar, bei einem möglichen Heizwert von etwa 16–18 gegenüber 9–10 MJ/kg bei Rohkehricht. An mineralischen Reststoffen fallen etwa 15% an (Materialbilanz siehe Bild 3). Leider ist bei den heute angebotenen Systemen noch ein *beträchtlicher Schadstoffgehalt* festzustellen. Die wenigen erhältlichen Daten von mitteleuropäischen Herstellern sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die weitere Entwicklung der BRAM-Verfahren ist im Gange. Entscheidend wird sein, ob die Technik so verbessert

Tabelle 5. Schadstoffgehalte von BRAM-Produkten. (1–4 sind Kennziffern für mitteleuropäische Firmen)

	BRAM 1	BRAM 2	BRAM 3	BRAM 4	Kehricht CH
Zink [mg/kg = ppm]	1140			500–1000	440–2300
Blei	416			30–320	600–2000
Cadmium	12,6			3–7	3–12
Chrom	324			30–170	
Kupfer	938			70–280	120–780
Nickel	424				3–90
Chlor	9660	2800	2000–6000	2000–6000	4000
Schwefel	3340	1400	2000–4500	600–900	3000–30000
Fluorid	156				
Heizwert [MJ/kg]			14,6–18,8	14–18	8,5–10

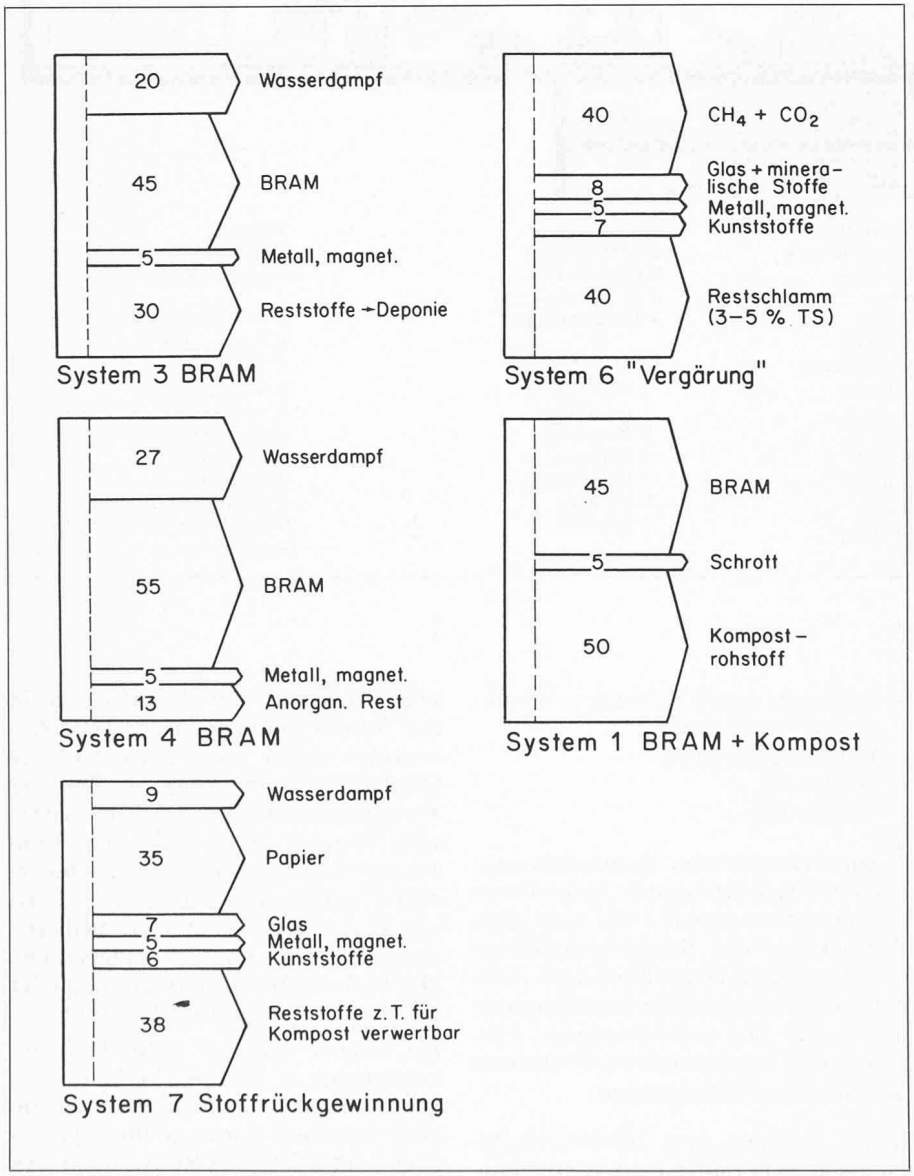


Bild 3. Materialflüsse neuartiger Verfahren mit Sortierung. (1–7: Kennziffern für Firmen)

werden kann, dass die *Verbrennung ohne zusätzliche Rauchgasreinigung* möglich sein wird. Versuche zum Einsatz von BRAM in Drehrohröfen der Zementindustrie sind bisher positiv verlaufen, da die basische Atmosphäre hier wie ein Trockenreinigungsverfahren wirkt und gewisse Schadstoffe ausscheidet. Für die Anwendung in konventionellen Ofenanlagen wird der Zusatz geeigneter Absorptionsmittel wie z. B. Kalk geprüft. Eine Weiterentwicklung besonderer Art stellt die Verkokung dar. Dabei wird versucht, mit Hilfe der thermischen Behandlung ein auch im Freien gut lagerfähiges Produkt mit ähnlichen Eigenschaften wie konventionelle feste Brennstoffe herzustellen. In Europa sind z. Z. mindestens acht Pilot- und Praxisanlagen für BRAM in Betrieb, in der Schweiz existieren erst Pilotanlagen.

Die Herstellung von *Kompostrohstoff oder Deponiematerial* ist auch eine sehr junge Entwicklung. Eine für die Kompostierung geeignete Fraktion kann bei Sortierverfahren in ähnlicher Weise wie die BRAM-Herstellung gewonnen werden. Ziel wäre hier die Abtrennung der abbaubaren organischen Stoffe, d. h. im Unterschied zu BRAM die Ausscheidung von Kunststoffen, bei zu hohem Anteil auch von Papier und Karton. Die organische Fraktion muss auch eine lockere Struktur aufweisen oder mit Zusätzen wie z. B. Landwirtschaftsabfällen gemischt werden, um für die nachfolgende Mietenrotte geeignet zu sein. Klärschlammzugabe ist möglich.

Die Aufbereitung zu Material für optimierten Deponiebetrieb mit Gasgewinnung kann in einfacher Weise geschehen. Die dabei anfallende Grobfraktion kann der Verbrennung zugeführt werden [6].

Getrennte Sammlung von Wertstoffen

Durch die Separierung beim Abfallerzeuger und die getrennte Einsammlung der Komponenten lassen sich Wertstoffe gewinnen, die wiederum als Sekundärrohstoffe Verwendung finden. Damit sind folgende *Vorteile* verbunden:

- Gewinnung eines sauberen, homogenen Materials mit guten Rohstoffeigenschaften und einem gewissen Marktwert;
- Verzicht auf energie- und personalintensive Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren;
- Wegfall resp. geringere Menge zu deponierender Reststoffe.

Anderseits entstehen aber auch *Nachteile*, insbesondere ein grösserer Transportaufwand mit den damit verbundenen höheren Emissionen.

Es werden zurzeit folgende *Systeme* unterschieden:

A. *additive Systeme:* Die Einsammlung geschieht nicht durch die kommunale Kehrichtabfuhr, sondern durch den Altstoffhandel. Entweder holt er die Wertstoffe direkt beim Erzeuger oder in einer Sammelstelle (z. B. Container) ab.

B. *teilintegrierte Systeme:* Die Einsammlung ist organisatorisch in die Entsorgung integriert, es werden

aber besondere Behälter für die Wertstoffe eingesetzt, und die Abholung erfolgt separat (z. B. sog. «grüne Tonne» in der BR Deutschland).

C. *vollintegrierte Systeme:* Im Rahmen der gleichen Abfuhrorganisation werden gleichzeitig Wert- und Reststoffe abgeführt (z. B. Sack im Behälter, Mehrkammersystem).

Das additive System ist in der Schweiz vor allem für Papier, Glas und Textilien bekannt und wird in zunehmendem Masse auch für Aluminium und Batterien benützt. Je nach der Preissituation wird dieses System attraktiver und wirtschaftlicher. Es hat sich heute gut eingespielt und entlastet die öffentliche Hand. Die Gemeinden haben nur noch für die Sicherstellung der regelmässigen Abfuhr und die Publikation der Termine zu sorgen. Die integrierten Systeme stehen in verschiedenen Varianten vor allem in der BR Deutschland in Erprobung. Bei positivem Resultat können entsprechende Verfahren in naher Zukunft praxisreif werden. Bisher scheinen die besonders bezeichneten, farbigen Tonnen am ehesten erfolgversprechend. Darin werden bestimmte Wertstoffe gesammelt, beispielsweise im «grünen Behälter» von 240 l Inhalt ein Gemisch von Papier und Glas, das bei der Verwertungsfirma kombiniert mechanisch-manuell in die beiden Komponenten aufgetrennt wird. Aufgrund des hohen spezifischen Volumenangebotes kann der Abholrhythmus auf zwei oder drei Wochen angesetzt werden.

In der Schweiz sind die teil- und vollintegrierten Systeme noch praktisch unbekannt, mit Ausnahme einer Versuchsphase in Morges während der siebziger Jahre. Nun sollen ab 1984 in der Region Zürich Oberland Versuche mit dem Ziel der möglichst vollständigen separaten Erfassung von Glas, Metall und organischen Abfällen durchgeführt werden. Zur Vorbereitung dieses Programmes wird neben den technischen Arbeiten auch eine intensive Information der Öffentlichkeit durchgeführt. Es ist ausdrücklich vorgesehen, die Zahl der Sammelfahrten insgesamt nicht höher als bisher zu halten. Damit würde ein gewichtiges Argument gegen die getrennte Sammlung entfallen: die höheren Lärm- und Abgasemissionen wegen zusätzlicher Transporte.

Die Art der Einsammlung und der Sortierung bewirkt auch unterschiedliche Schwermetallgehalte in der organischen Fraktion. Nach *Tabasaran* [7] sind die niedrigsten Schadstoffanteile dann zu erwarten, wenn der Kehricht im Haushalt separiert und getrennt eingesammelt wird. Blei und Zink liegen in diesem Fall mit 0,7 mg Pb/kg TS und 29 mg Zn/kg TS sehr niedrig. Bei gemischter Sammlung und manueller Sortierung steigen die Werte auf 11,7 resp. 119 mg/kg. Wird der Kehricht gemischt eingesammelt und mechanisch mit Vibrationssieb sortiert, erhöhen sich die Anteile nochmals spürbar auf 96 resp. 416 mg/kg. Ähnliche Auswirkungen zeitigt auch die maschinelle Zerkleinerung.

Mengen- und Schadstoffreduktion

Aus der Sicht des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung wäre die *Verminderung der Abfallmengen* zweifellos die wirksamste Strategie. Kurzfristig kann sie aber aus folgenden Gründen nicht rasch zu gewichtigen Ergebnissen führen:

- technisch: Die Umstellung von Produktionsverfahren ist zeitraubend und aufwendig; neue, langlebigere Güter müssen vielfach noch entwikkelt werden;
- wirtschaftlich: Ein hoher Konsum ermöglicht die billigere Massenproduktion (allerdings unter Ausklammerung der externen Folgekosten), womit die Abfallmenge weiter steigen wird;
- gesellschaftlich: Die Konsumgewohnheiten lassen sich vermutlich nur langsam ändern, solange der Einzelne eine Beeinträchtigung des Lebensstandards und des sozialen Status befürchtet.

Die Entwicklung zu einem umweltgerechteren gesellschaftlichen Verhalten ist ein langwieriger Prozess; er sollte möglichst bald und kräftig eingeleitet werden. Ansätze dazu sind vorhanden und sollten auch von der öffentlichen Hand gefördert werden. Dazu gehört die Schaffung von Orientierungshilfen für ein abfallwirtschaftlich sinnvolles Verhalten, die Marktsicherung und fiskalische Erleichterungen, die Unterstützung und Förderung von Forschung und Entwicklung sowie auch einer zweckdienlichen Motivation der Konsumenten und Produzenten.

Mittelfristig können folgende Anstrengungen bzw. Marktentwicklungen wirksam werden:

- *Glasverpackung:* Durch die vermehrte getrennte Glassammlung und die Einführung von Zirkulationsflaschen kann der Glasanteil im Müll von gegenwärtig 6–9% um etwa die Hälfte gesenkt werden;
- *Kunststoffverpackung:* Aus Gründen der Kostensteigerung und der Rohstoffverknappung ist ein Rückgang dieser Verpackungsart möglich. Auch das neue Umweltschutzgesetz wird in dieser Richtung Eingriffsmöglichkeiten schaffen;
- *langlebigere Güter:* Bei entsprechender Nachfrage werden solche in gewissen Bereichen vermehrt hergestellt (Fahrzeuge, Geräte). Staatliche Anstösse sind aber vermutlich notwendig.

Auch die *Reduktion umweltschädlicher Inhaltsstoffe* sind aufgrund des Umweltschutzgesetzes voranzutreiben. Dies kann durch Vorschriften über die Zusammensetzung von Produkten oder durch nachträgliche Ausscheidung gefährlicher Stoffanteile geschehen. Der erstgenannte Weg wird in Schweden mit dem teilweisen Kadmiumverbot beschritten. Bei uns wird vermutlich in erster Stufe ein freiwilliger Ersatz bzw. Verzicht angestrebt.

Um gezielt Schadstoffe reduzieren zu können, ist es wichtig zu wissen, in welchen Stoffgruppen hohe Anteile vorliegen. Dazu sind in den letzten Jahren insbesondere in der BRD einige Untersuchungen durchgeführt worden. Die Resultate einer sehr aufwendigen schwedischen Erhebung stellt Tab. 6 dar. Es zeigt sich, dass die Fraktionen Feinanteil, Metalle, Kunststoffe, Gummi und Leder übermässig hohe Gehalte aufweisen. Eine Abtrennung dieser Stoffgruppen würde eine wesentliche Entlastung mit sich bringen.

Auswirkungen auf die Deponie

Die neuen Verfahren bewirken z. T. *starke Veränderungen* in Art und Menge der anfallenden Produkte und Reststoffe. Da ein erhöhter Anteil verwertbarer Stoffe angestrebt wird, sind die zu deponierenden Reststoffmengen meist kleiner als bei der konventionellen Kehrichtverbrennung mit etwa 30–35 Gewichts-% Schlackenanfall. In Bild 3 sind die Materialflüsse einiger Sortier- und eines Vergärungssystems dargestellt.

Bei den BRAM-Verfahren (Bild 3) fallen je nach System und Kehrichtzusammensetzung 13 bis 30% Reststoffe an. Diese sind vorwiegend mineralischer Natur (sog. Schwerteile), teilweise mit Kunststoffteilen durchmischt. Die Ablagerung in Klasse 3 (= Anforderungen wie für Kehrichtdeponien) ist daher angezeigt. Es werden Anstrengungen unternommen, diese Reststoffe zu einem Baumaterial aufzubereiten und zu verfestigen.

Die Sortierung von Wertstoffen (Bild 3) ergibt ebenfalls Reststoffe im Umfang

Tabelle 6. Schadstoffgehalte von Hausmüllkomponenten [7]

Komponente	*Schwermetalle* [mg/kg TS]					*Elementaranalyse* [kg/kg TS]					
	Cd	Cr	Hg	Pb	Zn	C	H_2	0_2	N_2	S	Cl
Kunststoffe PVC	13	4	0,2	221	179	0,4	0,08	-	-	-	0,51
PE	0,1	23	0,04	102	60	0,85	0,15	-	-	-	-
Verschiedenes	0,3	1,7	0,2	5	58	0,92	0,08	-	-	-	-
Zeitungs-, Schreib- und Packpapier	0,1	3,7	0,15	13	145	0,47	0,07	0,46	-	-	-
Zeitschriften	0,2	3	0,09	17	157	0,44	0,06	0,49	-	-	-
Karton, Pappe	0,2	3,7	0,04	13	255	0,47	0,07	0,46	-	-	-
Karton mit Kunststoffüberzug	0,5	33	0,06	127	277	0,47	0,07	0,46	-	-	-
Schwer verschm. Papier	0,5	6,7	0,03	22	140	0,47	0,07	0,46	-	-	-
nativ Organisches	0,3	4,7	0,08	12,7	174	0,52	0,1	0,34	0,03	0,003	0,008
Textilien	0,4	3,6	0,3	6,3	152	0,57	0,18	0,13	0,11	-	-
Gummi und Leder	11	1175	0,29	391	4645	0,69	0,26	-	0,01	0,01	0,02
Eisen-Metalle	0,2	165,5	0,5	3778	222	-	-	-	-	-	-
Nichteisen-Metalle	83	238	2,9	630	19300	-	-	-	-	-	-
Glas	-	342	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feinanteile	1,2	13	0,07	138	588	-	-	-	-	-	-
Gesamtmüll	1,67	62,4	1,53	317	505	0,43	0,07	0,27	0,006	0,0004	0,005

von 10–40%, deren organischer Feinanteil für die Kompostierung geeignet ist. Die kombinierten Verfahren für BRAM + Kompost (Bild 3) können die Restanteile auf 10–20% reduzieren.

Die weitere Entwicklung dieser Verfahren wird zwar einen noch höheren Verwertungsgrad anstreben, aber vermutlich stets noch einen zu deponierenden Anteil aufweisen. Die Verwendung aufbereiteter Reststoffe im oder auf dem Boden (Baumaterial, Kompost, Restschlamm) muss zudem auf allfällige Auslaugungen untersucht werden, bevor sie generell zugelassen wird. Anderseits wird auch bei den konventionellen Methoden versucht, die Reststoffe Schlacke und Kompost derart aufzubereiten (z. B. Baumaterial), dass weniger Deponievolumen beansprucht werden muss. In allen Fällen abzulagernder Reststoffe wird bisher Deponieklasse 3 als nötig erachtet, bei den Rückständen aus der weitergehenden Rauchgasreinigung wird die Frage zurzeit abgeklärt, ob evtl. Klasse 4 (= erhöhte Anforderungen wie für Sonderabfalldeponien) notwendig sei.

Für eine gesamthafte Beurteilung der neuartigen Behandlungsverfahren fehlen heute noch einige Daten und vor allem Erfahrungen aus der Praxis. Es kann aber festgehalten werden, dass bei mindestens gleich hoher stofflicher oder energetischer Nutzung geringere Emissionen, vor allem luftseitig, möglich zu sein scheinen. Daher sollten die vorhandenen Pilot- oder Praxisanlagen genau geprüft werden.

Folgerungen

1. Von den in den letzten Jahren entwickelten neuen Abfallbehandlungsverfahren können sich die Sortierung und die getrennte Sammlung bisher am ehesten behaupten. In bezug auf Umweltbelastung, Ressourcenschonung und Wirtschaftlichkeit sind sie auch teilweise in der Lage, Verbesserungen gegenüber den konventionellen Verfahren herbeizuführen.
2. Die Verwertung (insbesondere Vermarktung) von aus Siedlungsabfällen rückgewonnenen Sekundärrohstoffen bereitet Schwierigkeiten wegen niedriger Materialqualität. Die Verarbeitung zu BRAM ist interessant, weil damit ein lagerfähiger Brennstoff mit annähernd gleichem Energieinhalt wie bei der Verbrennung erzeugt wird.
3. Die getrennte Sammlung bietet vorwiegend organisatorische Probleme, kann aber am ehesten zu niedrigeren Umweltbelastungen führen.
4. Die angebotenen Systeme sind im praktischen Betrieb gründlich zu testen und wenn nötig weiterzuentwickeln.
5. An Reststoffen für die Deponie fallen bei den meisten alternativen Verfahren geringere Mengen an als bei den konventionellen. Die qualitative Zusammensetzung ist zum Teil andersartig und muss daher in den Auswirkungen auf die Deponievorgänge noch näher untersucht werden. Deponieklasse 3 ist voraussichtlich in den meisten Fällen erforderlich.

Literatur

[1] *Tabasaran, O.* (Hrsg., 1982): Abfallbeseitigung und Abfallwirtschaft, VDI-Verlag, Düsseldorf.
[2] *Baltensperger, M.* (1983): «Müll, wohin?». Phoenix 1, 1, 34–36.
[3] Aktion saubere Schweiz 1983: Recycling-Tagung, Weinfelden, 3. Mai 1983, Tagungsdokumentation.
[4] *Eppinger, R.* (1983): «Beurteilung abfallwirtschaftlicher Modelle aus der Sicht der Wasserwirtschaft». Tagungsmanuskript Univ. Tübingen 16.9.1983.
[5] *Schenkel, W.* (1983): «Sind Abfallbeseitigungspläne noch zeitgemäss?». Müll und Abfall *15*, 9, 227–232.
[6] *Gandolla, M.; Grabner, E.* (1983): «Wege für eine zukünftige Optimierung einer Deponie». Wasser, Energie, Luft, 10, 241–244.
[7] *Tabasaran, O.* (1983): «Separierung schwermetallhaltiger Hausmüllkomponenten durch Absieben». Manuskript zum 45. abfalltechnischen Kolloquium «Schadstoffentfrachtung kommunaler Abfälle», Stuttgart-Büsnau, 14. Okt. 1983.

Überarbeiteter Vortrag, gehalten an der Tagung der Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL) und der Schweiz. Interessengemeinschaft der Abfallbeseitigungsorganisationen (SIAO) vom 25. Oktober 1983 in Zürich zum Thema «Die geordnete Deponie».

Adresse des Verfassers: Dr. *W. Obrist*, wissenschaftlicher Adjunkt der Abteilung «Feste Abfallstoffe» der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), 8600 Dübendorf.