

# Die Müllverbrennung – unverzichtbarer Bestandteil einer nachhaltigen Abfallwirtschaft

Prof. Dr. Paul H. Brunner, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien

## Kurzfassung

In den letzten hundert Jahren hat der Umsatz an Konsum- und Investitionsgütern in Österreich sehr stark zugenommen. Gleichzeitig hat sich auch die Art und Zusammensetzung dieser Güter erheblich verändert. Heute übertreffen die vom Menschen verursachten Stoffumsätze bereits die natürlichen Stoffflüsse in Boden, Wasser und Luft.

Alle Güter werden eines Tages zu Abfall und müssen entweder wiederverwertet oder entsorgt werden. Auch wenn viele Abfälle in einen Konsumkreislauf zurückgeführt werden können, bleibt immer ein Rest, der zu entsorgen ist. Dies gilt insbesondere für die Schadstoffe, für die eine Kreislaufführung unerwünscht ist, und die schon aus Qualitätsgründen aus den Recycling-Produkten ferngehalten werden müssen.

Werden organische Abfälle deponiert, so entstehen Sickerwässer, die während Jahrhunderten zu reinigen und zu kontrollieren sind. Dies entspricht nicht den Zielen der österreichischen Abfallwirtschaft, in denen gefordert wird, dass die Ablagerung von Abfällen kein Gefährdungspotential für kommende Generationen darstellen darf. Auch eine mechanisch-biologische Vorbehandlung verändert die langfristig in einer Deponie ablaufenden Reaktionen nicht wesentlich und verkürzt die Jahrhunderte dauernde Nachsorgephase nicht.

Werden die Abfälle in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt, so können folgende Vorteile damit erreicht werden: Organische Schadstoffe werden mit maximalem Wirkungsgrad zerstört. Anorganische Schadstoffe werden konzentriert und können immobilisiert und abgelagert werden. Dank höchstentwickelter Abgasreinigungstechnologie entstehen bei der Verbrennung nur noch umweltverträgliche Emissionen. Mit modernen Messmethoden kann der Verbrennungsprozess dauernd überwacht werden; dadurch wird verhindert, dass ungeeignete Abfälle in den Ofen gelangen, die zu Umweltbelastungen führen können. Das zu deponierende Volumen an Abfällen wird um den Faktor 10 verringert. Je nach Standortbedingungen können gegen 75 % der in den Abfällen enthaltenen Energie genutzt und zum Ersatz fossiler Brennstoffe verwendet werden.

Die Müllverbrennung ist damit ein notwendiges Glied in der Stoffbewirtschaftungskette. Sie ermöglicht, dass die große Menge an aus der Erdkruste gewonnenen Rohstoffen auf umweltverträgliche Art und Weise wieder an die Erdkruste zurückgegeben werden kann. Für Schwermetalle stellt sie die beste Möglichkeit zur Ausschleusung aus dem Konsumkreislauf dar. Kein anderes abfallwirtschaftliches Verfahren ist derzeit in der Lage, die Aufgabe eines „Schadstoff-Filters“ zwischen den menschlichen Aktivitäten und der Umwelt derart wirkungsvoll wie eine Müllverbrennungsanlage zu erfüllen.

# 1 Die Abfallwirtschaft als Spiegel der Versorgung

## 1.1 Stoffumsätze und Stofflager nehmen zu!

Im Laufe der zivilisatorischen Entwicklung nahm der Stoffwechsel des Menschen um Größenordnungen zu: Der heutige Österreicher verbraucht im Haushalt pro Jahr rund 100 Tonnen an Gütern. Zwei Drittel davon sind Wasser, die für Reinigungszwecke und den Transport der Fäkalien eingesetzt werden. Ein Fünftel sind Brennstoffe, dazugehörige Verbrennungsluft und Abgase. 10 % bestehen aus Baumaterialien, Holz, Metallen sowie natürlichen und synthetischen Polymeren wie Zellulose und Kunststoffen. Lediglich 1 Prozent des gesamten Stoffumsatzes im Haushalt dient der Ernährung des Menschen, und weniger als ein Tausendstel sind Verpackungen.

Über Jahrhunderte hat der Mensch einen Bestand an festen Gütern von etwa 300 Tonnen pro Kopf angehäuft. Dieses sogenannte *Lager* dient in erster Linie der Infrastruktur für "Wohnen" und "Transport" und besteht aus langlebigen Bauwerken wie Gebäuden, Straßen sowie Verkehrs- und Kommunikationsmitteln. In diesen Lagern befinden sich grosse Mengen an Stoffen, die heute bereits als umweltschädlich bekannt und für viele Anwendungen verboten sind, wie z.B. FCKWs oder Quecksilber. Wegen ihrer Langlebigkeit werden diese Stoffe erst in Jahren bis Jahrzehnten in der Abfallwirtschaft zu behandeln sein. Eine Vermeidungsstrategie kann die Entsorgungsproblematik dieser Schadstoffe nicht lösen, hier hilft nur hochentwickelte Entsorgungstechnik.

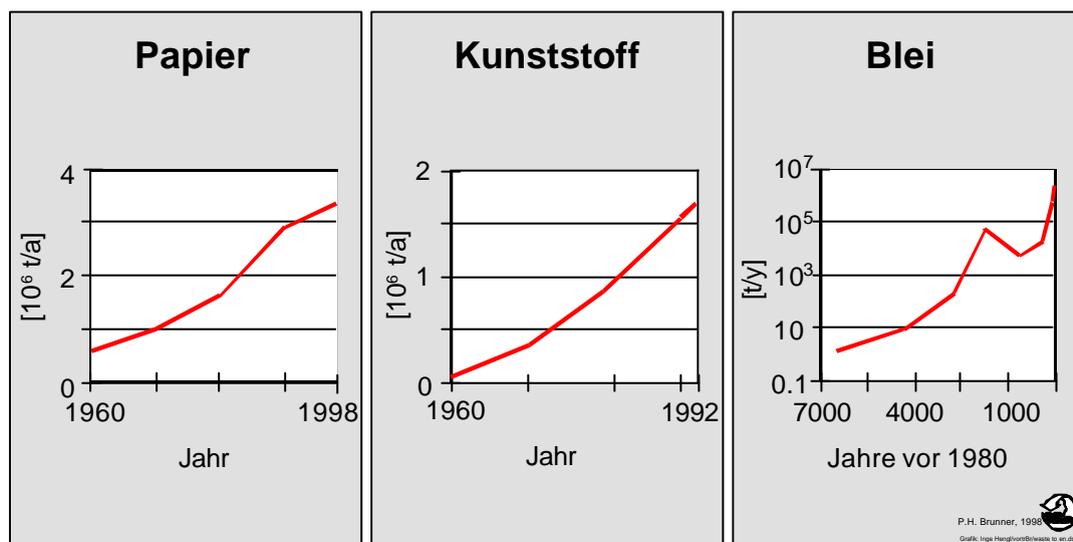


Abb. 1: Die Produktion und der Konsum von Gütern und Stoffen nehmen dauernd zu: In den letzten 40 Jahren hat sich die österreichische Produktion an Papier verdreifacht, an Kunststoffen verzehnfacht. Die Gewinnung von Blei aus der Erdkruste ist in den letzten 7000 Jahren weltweit auf drei Millionen Tonnen pro Jahr angestiegen. Alle diese Materialien werden eines Tages nach x Kreisläufen umweltverträglich zu entsorgen sein.

Im Vergleich zu den Zahlen über die Stoffmengen in Infrastruktur und Lagern nehmen sich die Mengen an Abfällen aus Haushaltungen bescheiden aus: Je nach Einzugsgebiet und Sammelsystem werden pro Einwohner und Jahr zwischen 0,2 bis 0,4 Tonnen Hausmüll und Abfälle aus Separatsammlungen erfasst. Mengenmäßig wichtiger sind die Sammlung und Reinigung der 70 Tonnen Abwässer und die Behandlung des entstehenden Klärschlammes. Das Problem der 20 Tonnen Abgase, die jährlich pro Einwohner durch Verkehr, Raumheizung und Industrie emittiert werden, wird hauptsächlich nach dem Verdünnungsprinzip gelöst. Auffallend ist, dass die Zahlen über Verbrauch, Lager und Abfälle nicht übereinstimmen;

d.h. unser Wissen über den Gebrauch von Gütern, ihren Verbleib und die Entstehung von Abfällen ist noch unvollständig. Dies trifft insbesondere für die langlebigen Güter zu, für die die Differenz zwischen Konsum (>8 t/Ea) und Abfall (2.5 t/Ea) besonders groß ist.

Bezogen auf *einzelne Stoffe* wie z.B. Blei oder Polyethylen ist das Wachstum des Umsatzes um Größenordnungen höher als für den gesamten Güterumsatz. Die globale pro Kopf Förderung von Blei und anderen Schwermetallen hat seit der ersten Gewinnung um den Faktor 100 bis 1000 zugenommen. Viele der in der Vergangenheit gebrauchten Stoffe (z. B. Wasser- und Gasleitungen, Kabel) sind immer noch im Bestand respektive Lager der „Anthroposphäre“<sup>1</sup> vorhanden, obschon sie ihre ursprüngliche Funktion nicht mehr erfüllen. Es wird heute angenommen, dass die Mengen an potentiellen Rohstoffen und Schadstoffen, die in unseren Siedlungen eingebaut sind, wesentlich größer sind als diejenigen Mengen, die bereits über die Abfallwirtschaft in letzte Senken (Deponien, Böden, Sedimente) geleitet wurden. Dies bedeutet, dass die zukünftige Abfallwirtschaft noch mehr Abfälle zu bewirtschaften haben wird als dies heute der Fall ist!

Infolge der grossen Anstrengungen zum Schutze der Umwelt wird die Menge an Emissionen und Abfällen bei der Produktion von Gütern immer geringer. Da die Menge der produzierten Güter jedoch stetig ansteigt, nimmt die Bedeutung der Konsumprodukte und in der Folge der Konsumabfälle dauernd zu. Bereits heute sind die Abfälle der Endverbraucher wichtiger als die Produktionsabfälle!

Der Verbrauch von Gütern und die Entstehung von Abfällen ist nicht nur ein quantitatives Problem, sondern mehr noch ein qualitatives Thema: Wie sind die Güter des Gebrauchs und der Lager sowie die Abfälle *stofflich*<sup>2</sup> zusammengesetzt? Diese Frage ist deshalb zentral, weil die Ziele des Umweltschutzes, die Ziele der Abfallwirtschaft und teilweise auch die Ziele der Rohstoffnutzung *stofflich* definiert sind: Umweltbeeinträchtigungen entstehen meist nicht allein aufgrund der *Menge* eines Gutes, sondern wegen bestimmter darin enthaltener Stoffe (Abwässer sind nicht per se schädlich, sondern ihre Inhaltsstoffe wie Schwermetalle oder Phenole können Schäden verursachen). Abfälle sind als Gut zwar ein Massen- und Volumenproblem bei der Sammlung, dem Transport, der Behandlung und in der Deponie. Die Kosten der Bewirtschaftung sind auch von diesen Massen abhängig. Wichtiger jedoch sind ihre Inhaltsstoffe: Wegen dem Gehalt an Schwermetallen und organischen Verbindungen kann Hausmüll nur in thermischen Anlagen, die mit einer weitergehenden Rauchgasreinigung ausgerüstet sind, behandelt und verwertet werden. Da in einer Deponie der organische Kohlenstoff von Abfällen über Jahrzehnte bis Jahrhunderte abgebaut wird, und Stoffe wie Stickstoff, Chloride und spezifische Kohlenstoffverbindungen leicht mobilisierbar sind, müssen aus stofflichen Gründen die Sickerwässer langfristig gefasst und gereinigt werden. Erze werden praktisch nie zur Neige gehen, aber ihr Gehalt an wertvollen Stoffen wie Eisen, Zink oder Blei wird mit zunehmender Erzausbeutung immer geringer werden, bis der Stoffgehalt der vom Menschen geschaffenen „Erze“ im Lager der Anthroposphäre sowie in den Deponien größer sein wird als in den verbliebenen natürlichen Erze.

## 1.2 Die vom Menschen in Umlauf gebrachten Stoffmengen übertreffen die natürlichen Stoffflüsse

Infolge des grossen wirtschaftlich/technischen Wachstums in den letzten Jahrhunderten sind heute die vom Menschen geschaffenen Stoffumsätze in vielen Bereichen grösser als die natürlichen Stoffflüsse. Abb. 2 zeigt dies anhand der globalen Flüsse und Lager des Schwermetalls Cadmium: Der „anthropogene“ Anteil des weltweiten Cadmiumflusses ist

---

<sup>1</sup>Anthroposphäre: Der menschliche Bereich, auch Technosphäre genannt, in der die Produktion und der Konsum von Gütern und Dienstleistungen geschieht. Die Anthroposphäre ist in die Umwelt eingebettet und tauscht mit dieser Stoffe, Energie und Informationen aus.

<sup>2</sup>Als *Stoffe* werden im Folgenden chemische Elemente und deren Verbindungen bezeichnet. *Güter* sind handelbare Substanzen mit einem positiven oder negativen ökonomischen Wert; sie sind aus einem oder mehreren Stoffen zusammengesetzt

dreimal grösser als der „geogene“ (natürliche) Anteil. Die Folge davon ist, dass die Konzentration dieses schon in geringen Mengen toxischen Schwermetalls im Boden zunimmt. Da ein grosser Teil des Cadmiums in langlebigen Gütern (Bodenbelägen oder Abwasserrohren aus PVC, wiederaufladbare Batterien und Akkumulatoren) eingesetzt wird, steigt das Lager in der Anthroposphäre dauernd an. In Zukunft werden deshalb viel grössere Mengen an Cadmium zu entsorgen sein, als dies durch Verdünnung über die natürlichen „Förderbänder“ Wasser und Luft möglich ist. Es werden neue Rezepte benötigt, um diese grossen Stoffmengen von Wasser, Boden und Luft fernzuhalten. Das Verdünnungsprinzip, das beispielweise für Natrium oder Chlorid immer noch geeignet ist, Stoffe „loszuwerden“, genügt für die Schwermetalle nicht mehr. Auch für Kohlenstoff (Treibhauseffekt und Klimaveränderung) und für Stickstoff (Grundwasserbeeinträchtigung und Eutrophierung) sind die Grenzen der Verdünnung erkennbar. Generell gilt, dass heute die Grenzen der wirtschaftlichen Entwicklung weniger durch die Verfügbarkeit der Stoffe als durch die Möglichkeit, Stoffe wieder umweltverträglich loszuwerden, gesetzt werden.

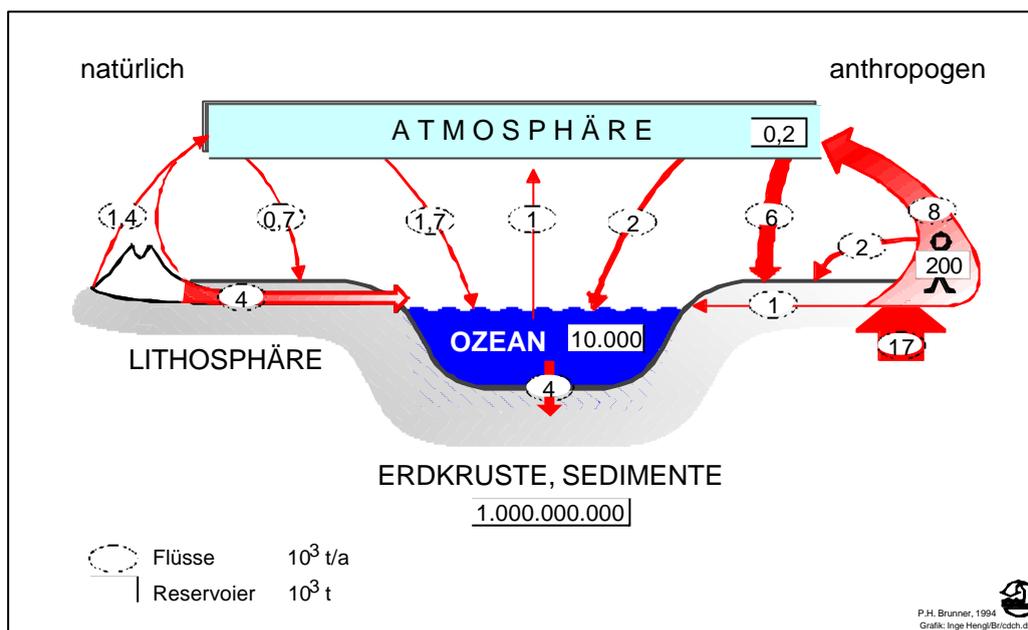


Abb. 2: Die vom Menschen geschaffenen Stoffumsätze sind in vielen Bereichen grösser als die natürlichen Stoffflüsse. Das Beispiel Cadmium zeigt die starke Anreicherung von Schwermetallen im rasch wachsenden „Lager“ von Akkumulatoren, Kunststoffen und anderen Gütern, die erst nach Jahrzehnten zu entsorgen sein werden. Die durch den Menschen entstehende Cadmiumbelastung des Bodens ist rund zehn mal grösser die natürlichen Flüsse auf den Boden. Der Emissionen in die Atmosphäre resultieren aus der relativ hohen Flüchtigkeit von Cadmium und der Tatsache, dass weltweit noch viele technische Anlagen mit ungenügender Abgasreinigung ausgerüstet sind.

Zusammenfassend zeigen hochentwickelte, gut versorgte Regionen wie Kärnten heute einen überwiegend linearen Stoffwechsel, der von einem hohen, immer noch wachsenden Umsatz and Konsumprodukten geprägt ist, dessen Input wesentlich grösser ist als der Output, dessen Bestand an Stoffen dauernd wächst, und der die natürlichen Flüsse je nach Stoff weit übertrifft. Die Konsequenz dieses Stoffwechsels sind grosse, heute und zukünftig ansteigende Abfallmengen, die einerseits als wertvolle Rohstoffe genutzt werden können. Andererseits können aber nicht alle Güter im Kreislauf geführt werden, da sie bei jedem Kreislauf an Qualität verlieren (Altpapier: Zellulosefasern werden kürzer und können nicht mehr zu hochwertigem Papier verarbeitet werden) und zum Teil auch mit Schadstoffen verunreinigt sind (Schwermetalle und organische Verbindungen in Kunststoffen). Für diese Abfälle,

die nicht zu vermeiden sind, da sie bereits in den „Lagern“ existieren, braucht es zuverlässige, umweltverträgliche Verfahren der Entsorgung.

## 2 Die Ziele der Abfallwirtschaft – wohin mit den steigenden Stoffflüssen nach der Nutzung?

### 2.1 Wie reagiert die Abfallwirtschaft auf den großen Stoffumsatz?

In Österreich wurden im Bundesabfallwirtschaftsgesetz folgende *Ziele für die Abfallwirtschaft* formuliert:

- Schutz von Mensch und Umwelt
- Schonung von Rohstoff- und Energiereserven
- geringstmöglicher Verbrauch an Deponievolumen
- kein Gefährdungspotential für nachfolgende Generationen durch Deponien (Vorsorgeprinzip)

In der Vergangenheit wurde versucht, diese Ziele allein mit punktförmigen Maßnahmen am Ende der Kette Produktion-Konsum-Abfall zu erreichen. Das Resultat bestand vor allem im Verschieben der Probleme: Unkontrollierte Ablagerungen außerhalb der Siedlungsgebiete lösten die hygienischen Probleme in den Städten, verursachten aber eine Verschmutzung des Bodens und der Gewässer auf dem Lande; die Verbrennungsanlagen der 60er Jahre entlasteten die Deponien, belasteten aber Luft und Böden der Umgebung; die Kompostierung des Hausmülls erlaubte eine teilweise Nutzung der vorhandenen Nährstoffe, führte allerdings in kurzer Zeit zu schwerwiegenden Schadstoffbelastungen der Böden usw.

Welches ist nun die Aufgabe der Abfallwirtschaft angesichts des beschleunigten anthropogenen Stoffwechsels? Einerseits soll sie die effiziente Nutzung der bereits ausgebeuteten Ressourcen ermöglichen, und andererseits hat sie die langfristige Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. „Nutzung“ und „Umweltverträglichkeit“ sind miteinander verknüpft: Bei jedem Verfahren zur Verwertung von Abfällen entstehen aus thermodynamischen Gründen auch Emissionen und Rückstände, die zu verdünnen und/oder endzulagern sind. Bei thermischen Verfahren sind dies beispielsweise Kohlendioxid zur Verdünnung, und Blei in Filterstäuben zur Endlagerung oder ev. zukünftiger Nutzung. Auch bei jedem Recyclingverfahren muss es deswegen entweder Emissionen, abzulagernde Reststoffe und Produkte geben, die je nach Verfahren und Input mehr oder weniger verschmutzt sind.

Grundsätzlich sind die Ziele der Abfallwirtschaft durch Vermeidung, Verwertung und Entsorgung zu erreichen. *Die Kreislaufwirtschaft per se ist in Österreich kein Ziel.* Recycling soll dann angewendet werden, wenn dies die wirtschaftlichste und effizienteste Maßnahme darstellt, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Aus ökonomischer oder naturwissenschaftlicher Sicht besteht keine Priorität für stoffliche oder energetische Verwertung. Die Erfolgskontrolle in der Abfallwirtschaft sollte sich infolgedessen nicht in erster Linie auf Recyclingraten konzentrieren, sondern darauf, in welchem Ausmaß die Ziele Umweltschutz und Ressourcenschonung erreicht werden. Beispielsweise: Welches sind die gesamten Emissionen der Abfallwirtschaft, wie groß ist insgesamt die stoffliche und energetische Nutzung von Abfällen, welche Deponievolumina werden benötigt und wie lange sind die Nachsorgezeiträume für Deponien? Eine wichtige, derzeit noch wenig beachtete Frage ist, in welche letzte Senke Stoffe wie z.B. Schwermetalle zu lenken sind. Zukünftig sollen diejenigen Verfahren bevorzugt werden, denen es gelingt, die größtmögliche Menge an Stoffen in die richtige Richtung (Verwertung und Endlager resp. andere geeignete letzte Senke) zu steuern.

Da in den wiederverwertbaren Abfällen nicht nur Wertstoffe, sondern auch Schadstoffe enthalten sind, sind auch die logistischen und technischen Möglichkeiten zu schaffen, diese Schadstoffe wieder aus dem Produktions- und Konsumkreislauf herauszufiltern. Derzeitige

Bewertungsmethoden berücksichtigen noch nicht, wie Spurenstoffe in einem Recyclingprozess auf die Produkte aufgeteilt werden, ob Konzentrationseffekte oder Verdünnungen von Schadstoffen stattfinden. Deshalb sind zusätzlich zu den üblichen technischen Qualitätskriterien für Sekundärrohstoffe auch ökologische Kriterien zu entwickeln, die Verfahren belohnen, in denen die Schadstoffe nicht via Produkte im Kreislauf geführt, sondern gezielt als Reststoffe aus dem Kreislauf ausgeschleust werden.

Neuere Bewertungsmaßstäbe wie die Stoffkonzentrierungseffizienz berücksichtigen die ungleichen Verteilungen von Stoffen in unterschiedlichen abfalltechnischen Verfahren.

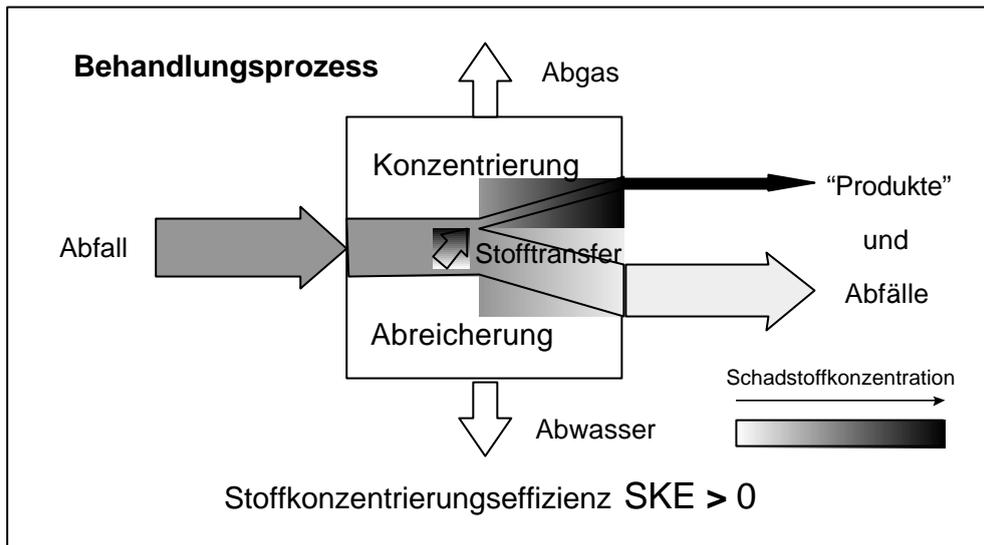


Abb. 3: Verschmutzte Abfälle zu behandeln bedeutet, diese von Schadstoffen zu entfrachten. Dies geschieht durch eine Umverteilung von Schad- und Nutzstoffen bei der Abfallbehandlung. Die Reststoffe der Behandlung können dann entweder Produkte (Sekundärerz, Sekundärbaustoff) oder im Vergleich zum Abfallinput Abfälle mit besseren Deponieeigenschaften sein (Endlagerqualität, geringes Volumen). Für Restmüll erreicht die Müllverbrennung die Ziele „Stoffkonzentrierung“ und „Volumenverminderung“ besser als jedes andere Verfahren.

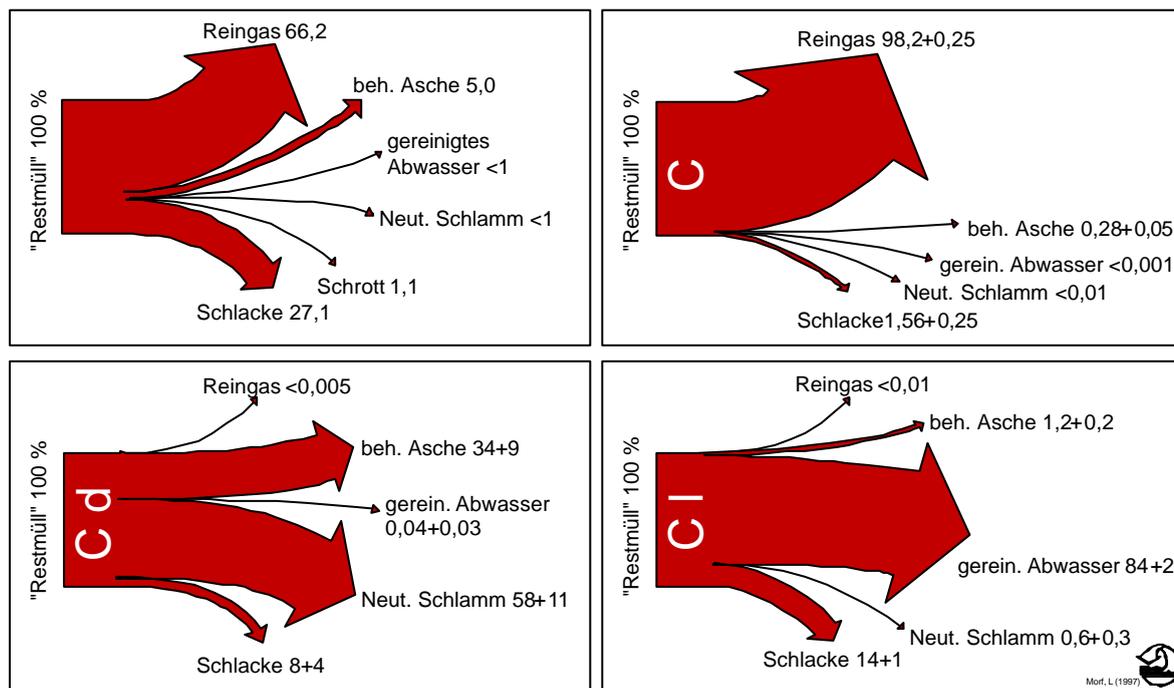


Abb. 4: Verteilung des Restmülls auf die Produkte einer Müllverbrennungsanlage: Die Hauptprodukte sind das gereinigte Abgas (66%), die Schlacke (27%) und die Rückstände der Abgasreinigung (<6%). Je nach ihrem chemisch-physikalischen Verhalten werden Stoffe unterschiedlich in den Verbrennungsprodukten angereichert. Kohlenstoff wird über das Abgas emittiert; es trägt nur wenig zum Treibhauseffekt bei, da es vorwiegend aus biogenem Kohlenstoff besteht, und die bei der Oxidation freiwerdende Energie genutzt wird. Cadmium wird in den Produkten der Abgasreinigung angereichert, und könnte stofflich verwertet werden (vgl. Abb. 8). Das mobile und wasserlösliche Chlorid verlässt vorwiegend mit dem gereinigten Abwasser die MVA.

## 2.2 Die Abfallwirtschaft ist nach stofflichen Gesichtspunkten auszurichten

Obwohl auch hygienische und andere Aspekte von Bedeutung sind, sind die Ziele der Abfallwirtschaft doch in erster Linie *stofforientiert*. Es sind Stoffe, d.h. einzelne chemische Elemente oder deren Verbindungen, die zu unerwünschten Emissionen führen, die die Deponietauglichkeit gefährden oder die als Wertstoffe für eine Wiederverwertung in Frage kommen. Dies bedeutet, dass vorrangig die Inhaltsstoffe eines Abfalls über dessen weiteres Schicksal als Sekundärrohstoff oder als Deponiegut entscheiden müssen. Es ist nicht die frühere Gebrauchsfunktion eines zu Abfall gewordenen Gutes, die bei der Verfolgung der Ziele der Abfallwirtschaft zu beachten ist (beispielsweise die Funktion „Verpackung“ bei Kunststoffen oder „Informationsübertragung“ bei Papier), sondern der stoffliche Inhalt eines Abfalls, beispielsweise Polyethylen oder Zellulose. Umweltbedrohung wie auch Ressourcenpotential werden durch Schadstoffe und Wertstoffe begründet, die in Gebrauchsgütern unterschiedlichster Funktion vorhanden sein können. Werden Sammelsysteme auf Funktionen von Gütern ausgerichtet, erfolgt keine optimale Konzentration an Stoffen. Werden sie nach stofflichen Gesichtspunkten ausgerichtet, können diese effizienter und umweltverträglicher bewirtschaftet werden. Bei der Sammlung von Papier beispielsweise ist die Reinheit und Faserlänge der Zellulose für die Wiederverwertung wesentlich wichtiger als der frühere Verwendungszweck des Konsumgutes „Papier“. Es ist notwendig, die Sammlung von Papier nicht nur nach quantitativen, sondern auch nach qualitativen Gesichtspunkten zu optimieren; dies kann zu einer effizienteren und umweltschonenderen Papierwirtschaft führen.

## 2.3 Nur wenn der gesamte Stoffhaushalt bekannt ist, können wirkungsvolle abfallwirtschaftliche Maßnahmen gesetzt werden!

Um Ressourcen optimal und effizient zu nutzen, sind Maßnahmen in der Abfallwirtschaft am *gesamten volkswirtschaftlichen Stofffluß* zu messen. Konzepte zur Verwertung und Verfahren zum Schutze der Umwelt sind dann ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll, wenn sie maßgeblich zur *gesamthaften* Ressourcenschonung und Emissionsminderung beitragen. Die sektorale Betrachtungsweise einzelner Teilströme oder Stofflager kann zu Lösungen führen, die bezogen auf die *gesamten* Flüsse und Lager wenig wirksam und teuer sind. Als Beispiel dienen abfallwirtschaftliche Maßnahmen im Bereich der Kunststoffabfälle (Abbildung 5):

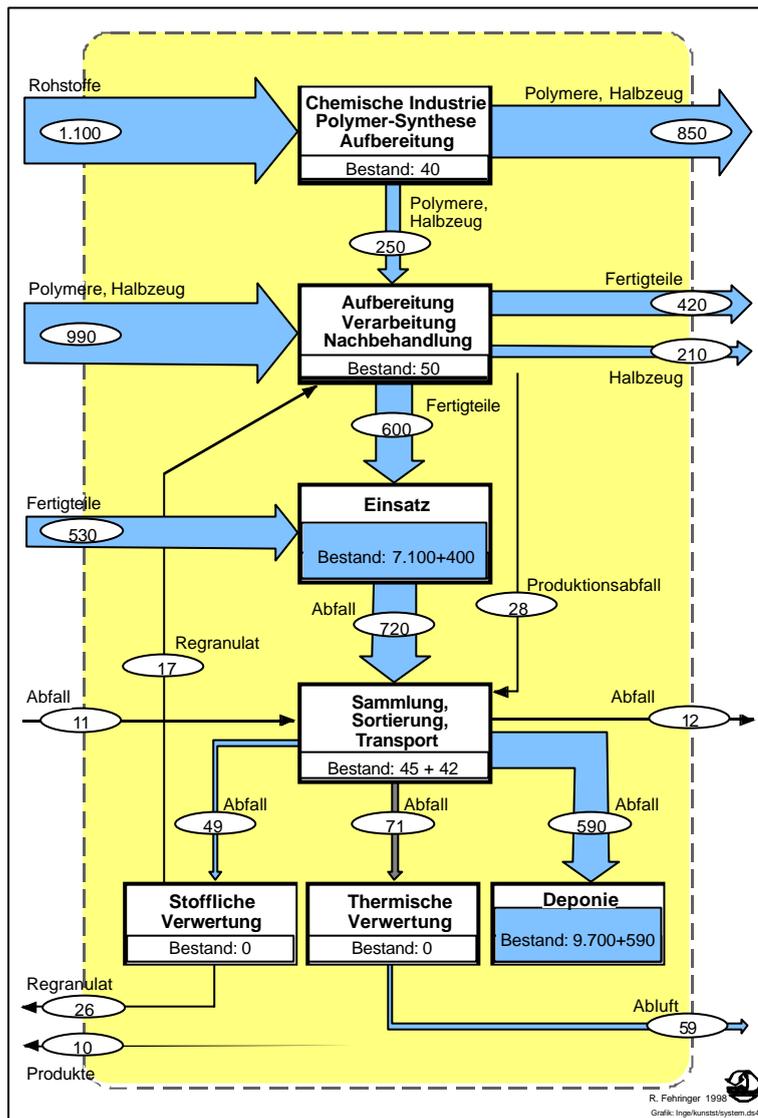


Abb. 5: In Österreich werden jährlich 590.000 Tonnen Kunststoffabfälle (entsprechend rund einer halben Million Tonnen Erdöl) deponiert. Sie enthalten mehrere Tausend Tonnen Schadstoffe. Von der Verpackungsverordnung sind nur ca. 5-10 % aller Kunststoffabfälle betroffen. Die Deponierung von Kunststoffen widerspricht den Zielen „Schutz der Umwelt“, „optimale Ressourcennutzung“, und „Nachsorgefreie Deponie“. Infolge ihrer stofflichen Zusammensetzung können viele Kunststoffe nicht stofflich verwertet werden, es soll aber ihr Energieinhalt genutzt werden. Aufgrund ihrer Schadstoffgehalte sind wesentliche Anteile der Kunststoffabfälle nur in Müllverbrennungsanlagen mit hochentwickelten Abgasreinigungssystemen oder in ähnlichen Anlagen zu verbrennen.

In Österreich hat es sich beispielsweise gezeigt, dass die Auswirkungen der derzeitigen Verpackungsverordnung auf den gesamten Kunststoffhaushalt Österreichs gering sind und bei hohen Kosten nur rund 7 % aller Kunststoffabfälle betreffen. Der weitaus größte Kunststofffluss endet nach wie vor auf Deponien. Im Hinblick auf Ressourcenschonung und nachsorgefreie Deponie wäre die vordringlichste Maßnahme, diese rund 500 000 Tonnen Erdöl, die in Österreich jährlich in Form von Kunststoffen auf Deponien vergraben werden, energetisch zu nutzen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Optimierung der derzeitigen Sammlung von Kunststoffabfällen notwendig. Dabei kommt der Sortenreinheit und Sauberkeit der Abfälle sowie der Flächendichte ihres Anfalls eine zentrale Bedeutung zu. Die Herkunft (Verpackung oder Nicht-Verpackung) ist von geringerer Bedeutung. Aus Haushaltungen sollen nur noch diejenigen Kunststoffabfälle separat gesammelt werden, die nach einer kostengünstigen Se-

parierung sortenrein stofflich verwertet werden können. Der Rest lässt sich über die vorhandenen gemeinsamen Sammelschienen effizienter thermisch verwerten. Wichtiger ist die Erfassung von Kunststoffen aus dem Gewerbe, weil hier sowohl die Sortenreinheit wie die Flächendichte meist höher sind. Auch bei voller Ausschöpfung aller wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten können in Summe kaum mehr als 30 % der Kunststoffabfälle stofflich verwertet werden.

### 3 Welchen Beitrag leisten thermische Verfahren zur Erreichung der Ziele?

Es wird immer notwendig sein, nicht mehr wiederverwertbare Stoffe in den „letzten Senken“ Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre und Deponie unterzubringen. Viele der organischen Chemikalien, die in den langlebigen Publikumsprodukten enthalten sind, sind weder verwertbar noch umweltverträglich. Sie müssen vor ihrer Deponierung oder Emittierung in unschädliche Verbindungen umgewandelt werden. Durch die thermische Behandlung einschließlich Nachbehandlung werden aus Abfällen Rückstände erzeugt, die bei der Deponierung wesentlich weniger Emissionen verursachen als andere Verfahren und die der Forderung nach „Nachsorgefreier Deponie“ am nächsten kommen. Die Müllverbrennung einschließlich moderner Rauchgasreinigung ist derzeit die zuverlässigste Methode mit dem größten Wirkungsgrad, um organische Verbindungen in Abfällen zu mineralisieren, d.h. zu Kohlendioxid und Wasser umzuwandeln. Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung können die refraktären organischen Verbindungen nicht abgebaut werden, d.h. die langfristigen Probleme der Deponienachsorge bleiben für diese Substanzen trotz der Vorbehandlung dieselben. Die Nachsorgefreiheit, die beispielsweise im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz gefordert wird, ist nicht gegeben. Der hervorragende, in den letzten 70 Jahren durch kontinuierliche Weiterentwicklung perfektionierte Emissionsstandard moderner MVAen ist eine sehr hohe Meßlatte für andere Verwertungs- und Entsorgungsverfahren (Abbildung 6). Die meisten dieser Verfahren müssen erst noch beweisen, dass sie dieselben Standards einhalten sowie ebenfalls Stoffe den geeigneten letzten Senken zuordnen können wie die moderne MVA.

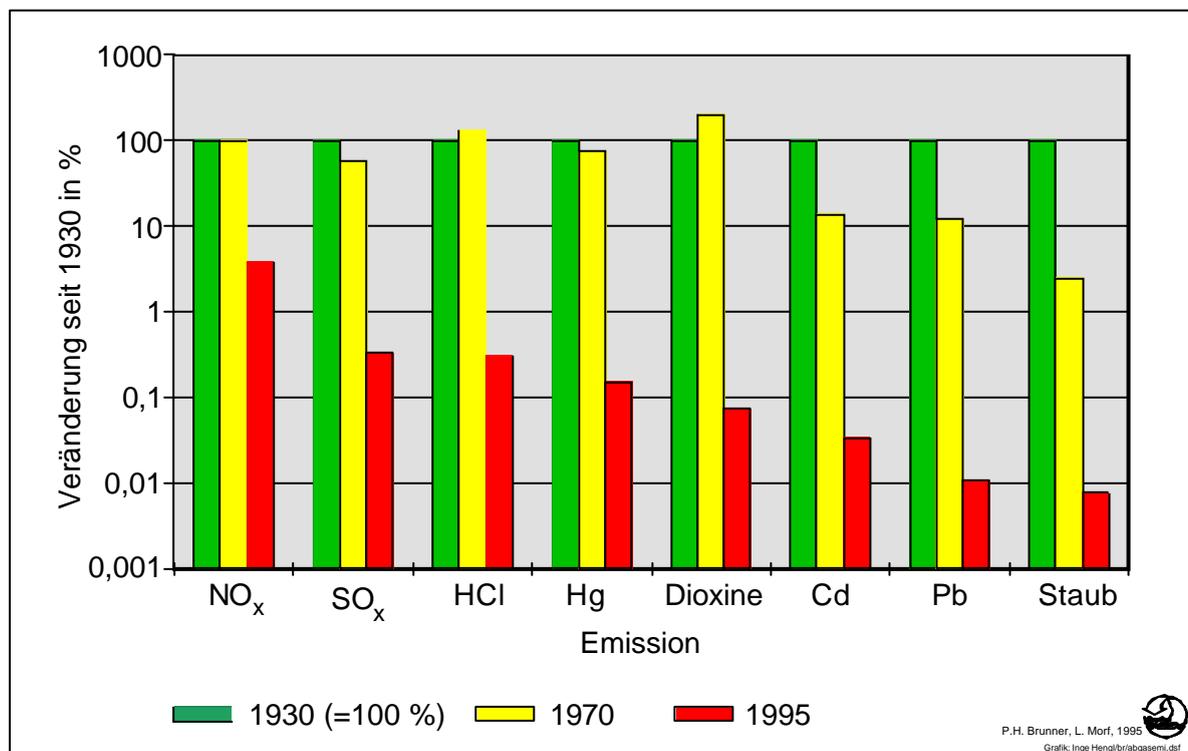


Abb. 6: Entwicklung der Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen in den vergangenen 70 Jahren, in logarithmischem Maßstab. Die Emissionen je Tonne verbrannten Mülls haben für

Staub um mehr als das 10.000 fache abgenommen, für die meisten Schwermetalle um mehr als das Tausendfache, für Salzsäure und Schwefeloxide um mehr als das Hundertfache. Man erkennt die extremen Fortschritte insbesondere für die wichtigen Schadstoffe wie Cadmium und Quecksilber (vgl. Abbildung 7).

Grobe Abschätzungen zeigen, dass ein beträchtlicher Teil einzelner Schwermetalle über den Hausmüll entsorgt werden (Abbildung 7). Beispielsweise findet man rund 20-40 % des nationalen Cadmiumverbrauchs Österreichs im kommunal eingesammelten Restmüll. Die Abfallwirtschaft ist somit ein wichtiges Förderband für dieses und andere Schwermetalle. Metalle findet man auch in organischen Gütern, z.B. als Additive in Kunststoffen und als Pigmente auf Holz etc. Verfahren der Abfallwirtschaft müssen in der Lage sein, diese großen Metallmengen entweder umweltverträglich in einen Kreislauf zurückzubringen, oder aber Reststoffe zu erzeugen, die langfristig nachsorgefrei abgelagert werden können.

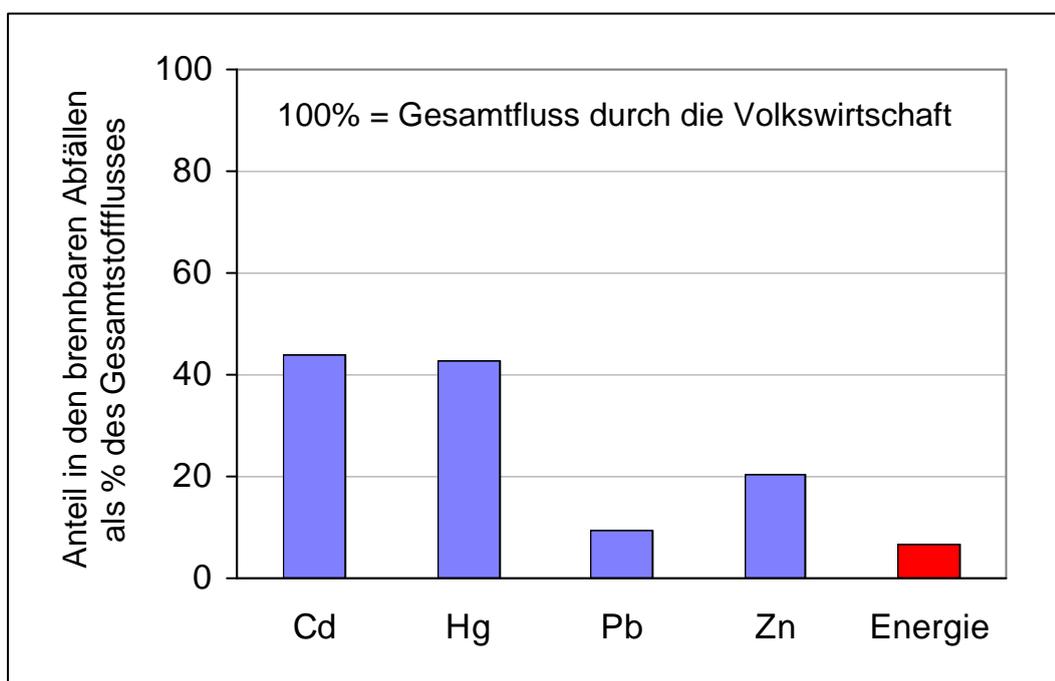


Abb. 7: Anteil ausgewählter Schwermetalle in brennbaren Abfällen Österreichs am Gesamtfluß durch die österreichische Volkswirtschaft (= 100%). Der Energieinhalt dieser Abfälle ist im Vergleich zum (Schad)stoffgehalt weniger bedeutend. Daraus folgt, daß bei der Bewirtschaftung brennbarer Abfälle und insbesondere Restmüll stoffliche Kriterien gegenüber energetischen den Vorrang haben.

In zahlreichen Vergleichstudien wurden den thermischen Verfahren andere Konzepte gegenübergestellt. In der Studie „ASTRA“ wurden der Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft mit möglichen zukünftigen Szenarien (Müllverbrennung, Müll-Splitting, Mechanisch-Biologische Behandlung, industrielle Verbrennung etc.) verglichen. Zur Bewertung wurden die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes herangezogen, die jedoch zuerst konkretisiert werden mussten. Neben Kriterien der Luftthygiene, der Ressourcennutzung wurden auch die „letzten Senken“ für Stoffe mitberücksichtigt. Das heißt, es wurden Verfahren, die Stoffe in geeignete letzte Senken lenken, dafür belohnt, und andere Verfahren, die das stoffliche Problem nicht „bis zum Ende lösen“, dafür bestraft. Eine geeignet letzte Senke für Chlor ist beispielsweise die Donau, weil auch im schlechtesten Fall die aus allen brennbaren Abfällen stammende Chlorfracht nur einen kleinen Anteil an der gesamten anthropogenen Salzfracht der Donau und des Schwarzen Meeres ausmachen würde. Eine ungeeignete letzte Senke für lösliches Chlorid wäre die Deponie, da der Weg des Chlorids über das Grund-

wasser zu den Fließgewässern langfristig ein größeres Risiko darstellt als die kontrollierte Direkteinleitung in ein Fließgewässer. Für große Mengen an Schwermetallen wurde als geeignete letzte Senke die Untertagedeponie betrachtet, unter der Annahme, dass dort Metalle durch geologische Schranken für immer von der Hydrosphäre abgeschlossen sind.

Der Vergleich der verschiedenen Szenarien ergab eine starke Überlegenheit der thermischen Verfahren gegenüber den mechanisch-biologischen Varianten. Die Kosten der Verbrennungsvariante sind nur unerheblich größer, falls bei beiden Szenarien keine Vorinvestitionen berücksichtigt werden. Da in Österreich jedoch in Verbindung mit Deponiebetrieben bereits zahlreiche Kompostierungsanlagen bestehen, die möglicherweise mit geringem Aufwand in MBAs umgebaut werden können, hätten diese Varianten in der Praxis einen Kostenvorteil. Allerdings ist bereits abschätzbar, dass durch die neue, in Ausarbeitung befindliche Verordnung über mechanisch-biologische Anlagen erhebliche zusätzliche Kosten entstehen werden.

Ein ähnlicher Vergleich wurde auch bezüglich der Treibhauswirksamkeit verschiedener abfallwirtschaftlicher Szenarien durchgeführt. Auch hier zeigten sich die hervorragenden Möglichkeiten der thermischen Abfallbehandlung und –verwertung: Bei einer Neuausrichtung der österreichischen Abfallwirtschaft in Richtung thermische Verfahren könnten fast die Hälfte (44%) der Treibhausgasemissionen, die die Bundesregierung zu reduzieren sich verpflichtet hat (13%), allein durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen vermieden werden.

#### **4 Vom Bergbau zum Stadtbau – thermische Verfahren leisten stoffliche Beiträge**

In Zukunft ist der Stoffhaushalt als Ganzes zu optimieren. Die Ziele des Umweltschutzes und der optimalen Ressourcenbewirtschaftung sind nicht mehr durch isolierte Einzelmaßnahmen, sondern durch integrierte Konzepte zu erreichen. Zukünftig sind Stoffflüsse in einer Region so zu lenken, dass sie *langfristig* umweltverträglich sind, und dass sie eine dauerhafte Nutzung der Rohstoffe gewährleisten. Maßnahmen in der Abfallwirtschaft sind insbesondere auf die großen Bestände an Stoffen in der Anthroposphäre auszurichten. Wie eingangs erwähnt, wurden und werden in Österreich sehr große Mengen an langlebigen Gütern angehäuft, die zukünftig zu entsorgen sein werden. Damit diese Güter eine lange Lebensdauer erreichen, wurden sie gegen den Angriff der Atmosphäre, der Witterung, von biologischen Organismen und von anthropogenen Stoffen geschützt, wobei der Schutz oft durch die Beimischung von Schadstoffen erfolgte. Betrachtet man z.B. die Kunststoffe, so erkennt man, dass die Menge an Stabilisatoren wie Blei und Cadmium in den langlebigen Kunststoffen um ein Vielfaches größer ist als in den kurzlebigen Verpackungskunststoffen.

Die Bewirtschaftung der großen Stofflager ist wichtiger als die Befassung mit den raschen „Durchläufen“ (z.B. Verpackungen), die zwar sichtbarer, aber in ihrer Menge und Zusammensetzung weniger bedeutend sind. Die in den Lagern bereits vorhandenen Schadstoffe können nicht mehr „vermieden“ werden, sondern müssen zukünftig mit zuverlässigen Verfahren umweltverträglich entsorgt werden. Hier haben die thermischen Verfahren eine wichtige Funktion: Sie müssen die stofflichen „Altlasten“ energetisch verwerten und stofflich entsorgen, d.h. in eine Qualität umwandeln, die in einer Deponie auch langfristig umweltverträglich abgelagert werden kann. Dies betrifft viele organische und anorganische Chemikalien, die in der Vergangenheit noch ohne ökologische Kriterien zu beachten gestaltet und in Produkten wie Kunststoffen, Baumaterialien, Holz etc. eingesetzt wurden.

Die Lager stellen andererseits auch ein Ressourcenpotential dar: Derzeit befinden sich beispielsweise in der Stadt Wien Kupferbestände in der Größenordnung von 30 Milliarden Dollar, die jedoch aufgrund ihrer großen, wenig bekannten Verteilung nicht effizient genutzt werden können. Neuere Studien zeigen am Beispiel Blei, welche bleihaltigen Güter bereits zu Weltmarktpreisen wiederverwertet werden können (Starterbatterien aus Pkws), und welche derart verteilt sind, dass ihre derzeitige Wiedergewinnung nicht wirtschaftlich ist (Wasser- und Abwasserleitungen, Kabel). Die Vision besteht darin, zukünftig urbane Stofflager gezielt

aufzubauen und so zu bewirtschaften, dass die langfristige Nutzung über Generationen möglich und wirtschaftlich wird. Dies setzt voraus, dass zukünftig vermehrt Kriterien des umweltverträglichen und ressourcenschonenden urbanen Stoffhaushaltes bei der Gestaltung von Gütern, Verfahren und Systemen berücksichtigt werden. Der „Stadtbau“ (das heißt die Wiedergewinnung der stofflichen Ressourcen einer Stadt) könnte damit den „Bergbau“ sinnvoll ergänzen und langfristig großteils ersetzen. Hier könnte man die provokante Frage stellen, ob es nicht möglicherweise ökonomisch und ökologisch vorteilhaft wäre, viele heute getrennt behandelte Abfälle wie Hausmüll, Elektronikschrott, Problemstoffe, Batterien, Kfz-Shredderrückstände usw. über eine gemeinsame Sammelschiene in thermischen Anlagen zu konzentrieren, und durch metallurgische Prozesse neben der Energie auch die Metalle wieder zu gewinnen und einem neuen industriellen Kreislauf zu zuführen.

Die neuen Entwicklungen bei den thermischen Verfahren gehen dahin, Stoffe in einzelnen Outputfraktionen zu konzentrieren und dadurch auch die stoffliche Verwertung zu ermöglichen. In Abbildung 8 wird ein Zukunftsszenario zur Wiederverwertung von Metallen durch thermische Prozesse aufgezeigt. Derzeit sind solche Verfahren noch nicht wirtschaftlich. Sie demonstrieren jedoch, dass die Möglichkeiten der stofflichen Verwertung dank thermischer Abfallbehandlung noch nicht ausgereizt sind, und dass es sich bei der Müllverbrennung um eine zukunftsfähige Technologie handelt.

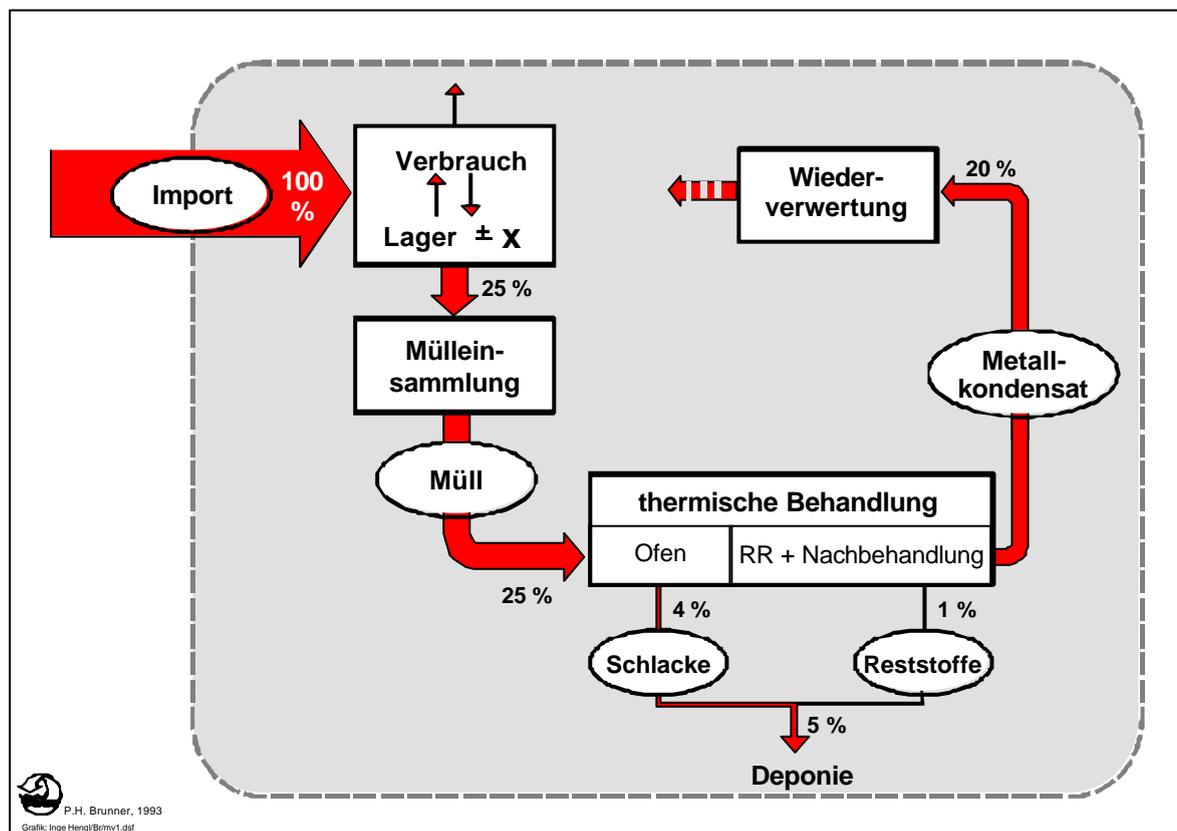


Abb.8: Cadmiumfluss durch die Österreichische Volkswirtschaft: Dank der grossen Aufkonzentrierung einzelner Schwermetalle im Filterstaub von Müllverbrennungsanlagen könnte es zukünftig möglich werden, durch eine Nachbehandlung der Filterstäube Metalle wie Cadmium stofflich zu verwerten. Immerhin könnte dadurch ein Fünftel des jährlichen Imports an Cadmium gewonnen werden. RR: Rauchgasreinigung.

Die jährlich in Österreich anfallenden Abfälle, die als Brennstoffe in Frage kommen können je nach Herkunft große Mengen an Schwermetallen enthalten. Sie stellen daher einen Materialstrom dar, den es a priori mit Sorgfalt zu bewirtschaften gilt. Es zeigt sich, daß die optimale

Bewirtschaftung dieser Abfälle nach stofflichen und erst in zweiter Linie nach energetischen Kriterien erfolgen zu hat. Der größte Teil dieser Abfälle weist geringe Schadstoffgehalte auf (z.B. Cd <1 mg/kg) und kann daher als Produkt zur energetischen oder stofflichen Verwertung eingestuft werden. Die meisten dieser "sauberen" Abfälle werden heute schon stofflich verwertet. Das derzeit vorhandene Wissen über die Gesamtheit der brennbaren Abfälle zeigt jedoch auch, daß ein beträchtlicher Anteil der brennbaren Abfälle eine hausmüllähnliche und belastete Zusammensetzung aufweist; dieser Anteil trägt beinahe die gesamte Belastung an Schwermetallen. Aus der Sicht einer AWG konformen Stoffwirtschaft müssen diese Abfälle sorgfältig und umweltverträglich behandelt werden. Sie sind in erster Linie als Abfälle und nicht als Produkte und Brennstoffersatz einzustufen. Behandeln bedeutet organische Schadstoffe zu zerstören und anorganische Schadstoffe zu konzentrieren. Verfahren die auf dem Verdünnungsprinzip basieren können diese Abfälle nicht umweltverträglich behandeln. Für solche Verfahren der stofflichen oder energetischen Verwertung eignen sich ausschließlich gering kontaminierte Abfälle. Vor diesem Hintergrund ist es nicht mehr zu argumentieren, daß der Verwertung gegenüber der Behandlung generell der Vorzug zu geben ist. Die den Zielen des AWG entsprechende umweltgerechte und ressourcenschonende Behandlung hausmüllähnlicher Abfälle ist eine verfahrenstechnisch hoch anspruchsvolle und notwendige Aufgabe.