

# Die Funktion der Abfallwirtschaft in einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft

Paul H. Brunner

## 1 Einleitung

Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement sind eng miteinander verbunden: Einerseits wird nur zu Abfall, was früher einmal als Ressource ausgebeutet und genutzt wurde. Andererseits können Abfälle verwertet werden und als Recyclingmaterialien primäre Ressourcen ersetzen. Infolge des hohen Stoffumsatzes moderner Volkswirtschaften nehmen Abfallmengen und damit die Möglichkeiten der Verwertung als Sekundärressourcen zu. Es steigen aber auch die in Verkehr gebrachten Schadstoffmengen an, die nur durch eine gezielte abfallwirtschaftliche Behandlung aus dem Verkehr gezogen und umweltverträglich entsorgt werden können.

Der Unterschied zwischen einem Abfall und einem Produkt liegt in der Regel nur im ökonomischen Wert und nicht in dessen stofflicher Zusammensetzung: Ein ausgedienter, zu Abfall gewordener Rechner besteht in der Regel zum Zeitpunkt der Entsorgung aus denselben Substanzen wie beim Kauf. Die Kunst der Abfallwirtschaft besteht darin, die in den Abfällen vorhandenen wertvollen Stoffe auf wirtschaftliche Weise in einen ökonomischen Kreislauf zurückzuführen, und die Schadstoffe gezielt zu „eliminieren“. Diese Aufgabe ist deshalb zunehmend schwieriger, weil erstens moderne Güter vermehrt aus komplexen Mischungen vieler Stoffe bestehen, und zweitens der Wert von Gütern nicht mehr primär durch deren stoffliche Zusammensetzung bestimmt wird (die Stoffe in einem modernen Produkt nehmen einen immer geringeren Anteil des Verkaufspreises ein), sondern durch den „Wissensanteil“ eines Gutes: Der Wert eines hochtechnologischen Produktes wie einem Speicherchip besteht nicht in den stofflichen Komponenten, sondern in der Technologie der Produktion und in der Funktion des Chips; beide ändern sich rasch. Der zu Abfall gewordene Speicherchip hat deshalb einen geringen Wert, weil sein „Wissensanteil“ durch die nächste Generation Speicher wertlos wurde, der rein materielle Wert gering ist, und oft Schadstoffe in geringen Mengen die Wiederverwertung respektive Entsorgung erschweren. Stoffe pendeln deshalb zwischen der Abfallwirtschaft und der Ressourcenwirtschaft hin und her, gesteuert vorwiegend durch ökonomische, technologische und zunehmend auch legislative Maßnahmen.

Die gesetzlich vorgegeben Ziele der Abfallwirtschaft in Österreich sind: 1. Der Schutz von Mensch und Umwelt, 2. die Schonung von Ressourcen (Stoffe, Energie, Raum), und 3. die Nachsorgefreiheit von Deponien. Diese allgemeinen Ziele werden durch weitere, spezifische Ziele wie Klimaschutz ergänzt. Bei der Verfolgung der Ziele sind gemäß dem österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz die Grundsätze der Vermeidung, der Verwertung und der Entsorgung zu beachten. In gut entwickelten Volkswirtschaften ist der Schutz der Menschen durch die Abfallwirtschaft seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts gewährleistet. In weniger entwickelten Regionen der Welt ist die Gewährleistung von gesunden hygienischen Bedingungen immer noch die primäre, noch nicht überall gelöste Aufgabe der Abfallwirtschaft. Im Europa des 21. Jahrhunderts steht die Verwertung von Abfällen wie auch die Nachsorgefreiheit im Vordergrund. Beide Aufgaben dienen dem Schutz der Umwelt, aber auch der Schonung der Ressourcen.

In der vorliegenden Arbeit wird die Funktion der Abfallwirtschaft in einer den Zielen der Nachhaltigkeit, (hier: dem langfristigen Umweltschutz und der optimalen Ressourcennutzung) verpflichteten Volkswirtschaft untersucht. Es wird Art und Umfang des „anthropogenen Metabolismus“, d. h. des vom Menschen verursachten Stoffumsatzes dargestellt. Einerseits werden die Auswirkungen des modernen Metabolismus auf die Abfallwirtschaft gezeigt; andererseits wird dargelegt, welche abfallwirtschaftlichen Strategien, Prioritäten und Maßnahmen notwendig sind, damit die Abfallwirtschaft ihre Ziele – die auch Bestandteile der Ziele einer nachhaltigen Volkswirtschaft sind – erreichen kann.

## **2 Das Verständnis des anthropogenen Metabolismus als Vorbedingung für eine zielorientierte Abfallwirtschaft**

Abfallwirtschaftliche Maßnahmen, die isoliert und nicht vor dem Hintergrund des gesamten volkswirtschaftlichen Stoffumsatzes getroffen werden, sind meist wenig wirksam und unwirtschaftlich. Als Beispiel dient die Sammlung von Verpackungsmaterialien, bei der mit hohen Kosten nur geringe Anteile der gesamten Kunststoff- oder Papierabfälle gesammelt werden. Ein effizienterer und wirksamerer Steuerungsansatz besteht darin, stofforientierte Sammelsysteme aufzubauen, bei denen gezielt Kunststoffe oder Zellulose erfasst werden, unabhängig davon, ob sie als Verpackungsmaterial eingesetzt wurden (stofforientierte anstatt funktionsorientierte Sammlung) [Bogucka und Brunner, 2007].

Um wirksame, zielorientierte Maßnahmen gestalten zu können, müssen deshalb die gesamten Flüsse und Bestände von Gütern und Stoffen bekannt sein. Umfangreiche, in den letzten 20 Jahren durchgeführte Forschungsarbeiten über die der Abfallwirtschaft vorgelagerten Stoffflüsse und -lager zeigen folgendes Bild des „anthropogenen Metabolismus“, d. h. des Stoffumsatzes und der Stoffbestände moderner Volkswirtschaften.

## **Wachsende Stoffflüsse**

Der Stoffumsatz nimmt zu. Vergleicht man den Haushalt eines prähistorischen Jäger und Sammler mit demjenigen eines heutigen Europäers, so hat sich der gesamte Güterumsatz um mehr als verzehnfacht. Inkludiert man in die Berechnung auch die Stoffe, die für Infrastruktur und für die Bereitstellung der Güter notwendig sind, beträgt die Zunahme rund das Dreißigfache. Zusätzlich zu dieser pro Kopf Steigerung kommt noch das Bevölkerungswachstum von zwei bis drei Zehnerpotenzen. Betrachtet man den Umsatz einzelner (chemischer) Elemente, so ist die Steigerung des Umsatzes noch viel dramatischer: Beispielsweise hat sich die Gewinnung von Blei in den letzten 7000 Jahren um sechs bis sieben Zehnerpotenzen erhöht. Dies gilt für viele Elemente, die als innovative Werk- und Wirkstoffe eingesetzt werden, und die neue Funktionen von Gütern ermöglichen.

## **Zunehmende Komplexität**

Die Anzahl an Stoffen, die sich im täglichen Gebrauch befinden, wächst rasch und beträgt derzeit rund 100.000. In der wissenschaftlichen Literatur beschrieben sind bereits rund 20 Millionen Substanzen, und pro Jahr kommen etwa 0.5 Millionen hinzu [Sacher, 2001]. Moderne Produkte sind ein komplexes Gemisch aus sehr vielen anorganischen und organischen Werk- und Wirkstoffen. Während dies früher eher hochtechnische Produkte wie Elektrogeräte und Kommunikationsmittel betraf, trifft dies heute in zunehmendem Maße auch für Massengüter wie Baustoffe zu, die aus Gründen der sparsameren Produktion (Verwendung von Abfallstoffen), besseren Verarbeitbarkeit, der längeren Lebensdauer und neuer Funktionen aus zahlreichen, früher nicht verwendeten Stoffen zusammengesetzt sind.

## **Akkumulation großer Stoffbestände**

In den meisten Regionen der Welt sind die Einträge an Gütern (Investitionsgüter wie Baumaterialien, Verkehrsmittel; Konsumgüter; Werk- und Wirkstoffe etc.) wesentlich

größer als die Austräge an Exportgütern, Abfällen und Emissionen, die die Region verlassen. Dies liegt in erster Linie im Wachstum des Gebrauchs von langlebigen Gütern begründet: Der Güterimport nimmt zu, aber der Export (die Entstehung von Abfällen) liegt auf dem wesentlich tieferen Niveau welches dem Import vor Jahrzehnten entspricht und nimmt nur zeitverzögert zu. Ausnahmen sind exportorientierte Bergbauregionen, in denen Rohstoffe gewonnen und exportiert werden, oder Regionen, die sich aus ökonomischen Gründen in einer Schrumpfungphase befinden, und in denen die Exporte/Abfälle die neu eingesetzten Importe überwiegen können. Als Resultat des Ungleichgewichtes  $\text{Input} > \text{Output}$  nimmt der Bestand an Gütern zu. In Wien beispielsweise beträgt der pro-Kopf Materialbestand rund 350 Tonnen, mit einer jährlichen Zunahme von 4–10 Tonnen, entsprechend einer Verdoppelungszeit des Lagers von 40–90 Jahren [Obernosterer et al., 1998]. Das langlebige Stofflager ist von großer Bedeutung für eine Nachhaltige Wirtschaftsweise, bestimmt es doch die stoffliche und energetische Zukunft einer Region. Beispielsweise ist die Menge an emittierten klimarelevanten Gasen direkt abhängig von der Art der langlebigen Baustoffsubstanz (Wärmedämmung) und der zur Verfügung stehenden Verkehrsinfrastruktur (Verbrauch von fossilen Treibstoffen). Eine Reduktion der Emission an Klimagasen kann nur durch eine massive Änderung der langlebigen Güter bewerkstelligt werden, was wiederum nur über größere Zeiträume umzusetzen ist.

### **Anthropogene Stoffflüsse übersteigen geogene Stoffflüsse**

Für einige Stoffe wie Cadmium ist der vom Menschen verursachte Umsatz bereits größer als der natürliche durch Erosion und Verwitterung [Bergbäck, 1992]. Dies trifft insbesondere für die regionale Ebene aber auch für die Erde als Ganzes zu. Am ausgeprägtesten ist die Dominanz der anthropogenen Stoffflüsse in Städten. Von Bedeutung ist sie in erster Linie für Stoffe mit hoher Toxizität: übersteigt die vom Menschen in Umlauf gebrachte Menge eines toxischen Stoffes die natürlichen Flüsse dieses Stoffes, so ist die Gefahr einer Beeinträchtigung von Mensch und Umwelt gegeben. Wie das Beispiel des Kohlendioxids und anderer Treibhausgase zeigt, ist jedoch auch bei nicht toxischen Substanzen eine massive Umweltgefährdung dann möglich, wenn der vom Menschen verursachte Beitrag zu groß wird. Je nach Stoff ist diese Grenze individuell verschieden, und je nach chemischer Spezifizierung in der der Stoff angewendet wird ist eine akute oder nur potentielle zukünftige Bedrohung gegeben.

## **Anthropogene Stoffflüsse sind vorwiegend linear**

Die große Masse der anthropogenen Stoffflüsse (Wasser, Luft, Energieträger, Baustoffe) ist linear, führt von den Quellen (Erdkruste, Bergbau, chemische Synthese) über die Nutzung zu den Senken (Deponien, Boden, Luft, Gewässer, Sedimente) und entspricht nicht einer Kreislaufführung. Während dem dies je nach regionalen und klimatischen Gegebenheiten ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein kann (im Alpenraum mit 1200 mm Regen besteht kein Bedarf nach Recycling des Trinkwassers), können in der Regel dank Kreisläufen große Mengen an Energie, Stoffen und „Landschaft“ eingespart sowie die Umwelt geschützt werden. Wichtig ist die Feststellung, dass die bisher etablierten Kreisläufe z. B. von Eisen, Kupfer, Papier und Glas wirtschaftlich und ökologisch zwar sehr wertvoll sind, jedoch erst einen kleinen Teil des gesamten Stoffumsatzes umfassen. Eine massive Kreislaufführung würde eine neue industrielle Revolution bedeuten; vor ihrer Einführung ist es notwendig, diejenigen Güter und Stoffe zu identifizieren, für die eine Kreislaufführung ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist. Auch ist das Ausmaß des wünschbaren Recyclings zu hinterfragen: Jedenfalls sind geschlossene Kreisläufe aus thermodynamischen Gründen nicht möglich, Stoffverluste sind unvermeidlich. Auch haben Autoren bereits 1974 am Beispiel von Kupfer darauf hingewiesen, dass auch Recyclingstrategien Grenzen kennen, und ab einem Optimum ein höherer Grad der Wiederverwertung vorwiegend aus energetischen, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen kontraproduktiv wird [Stumm und Davis, 1974].

## **Emissionen der Endverbraucher übersteigen Emissionen der Produktion**

Das industrielle Zeitalter war gekennzeichnet durch massive Emissionen aus Produktionsprozessen. Dank wissenschaftlichen Erkenntnissen über die Zusammenhänge von Ursache und Wirkung, wachsendem Bewusstsein der Bevölkerung über den Wert einer gesunden Umwelt, neuen Technologien zur Emissionsminderung, wirtschaftlicher Potenz zum Ergreifen kostspieliger Maßnahmen sowie wirksamen Gesetzen zum Schutze der Umwelt gelang es innerhalb von mehreren Jahrzehnten, industrielle und gewerbliche Emissionen stark zu verringern. Heute sind die durch den Endverbraucher (Konsument, Dienstleister) verursachten Emissionen für die meisten Stoffe bereits größer als die durch Produktionsprozesse verursachten Stoffflüsse in die Umwelt [Anderberg, 1989]. Dies hat Konsequenzen für die Prioritätensetzung von Maßnahmen zum Schutze der Umwelt. Es ist notwendig, Umweltschutz vermehrt auf Produktemissionen auszurichten. Dies ist deshalb schwieriger als industrieller Um-

weltschutz, weil dies bedeuten kann, dass nicht einfach hinten an Produktionsprozessen Filtersysteme eingebaut werden, sondern dass Produkte neu gestaltet oder sogar durch gänzlich andere ersetzt werden müssen.

### **3 Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft**

#### **Wachsende Abfallmengen**

Der steigende Stoffumsatz in Produktion und Verbrauch bedeutet, dass auch in der Abfallwirtschaft zukünftig mit einem größeren Massenumsatz zu rechnen ist. Diese Feststellung trifft insbesondere für langlebige Güter zu: Derzeit ist der Input an Materialien in den Baubestand Österreichs rund zehnmal größer als die Menge an Baurestmassen, die jährlich aus dem Baubestand entstehen. Nach Ablauf der Lebenserwartung der Bauwerke werden diese zu Baurestmassen. Infolge des hohen Wachstums des Einsatzes von Baumaterialien in den letzten zwei Jahrzehnten werden in rund zwei weiteren Jahrzehnten große Mengen an Baurestmassen anfallen. Die bereits früher erwähnte Stoffbilanz von Wien zeigt, dass der totale Fluss an Stoffen in das „Lager“ Wiens derzeit wesentlich größer ist als der Abfallfluss. Da auch dieses Lager eines fernen Tages zu Abfall werden wird, kann man bereits heute voraussagen, dass die zukünftig in Wien entstehende Menge an Abfällen viel größer sein wird als heute.

#### **Dauernde Änderung der Abfallzusammensetzung**

Nicht nur werden die Abfallmengen stark zunehmen, aufgrund der zunehmenden Komplexität der stofflichen Zusammensetzung der Gebrauchs- und Verbrauchsgüter wird sich auch die Abfallzusammensetzung ändern. Die einzelnen Abfälle werden aus einer Vielfalt an Stoffen bestehen, und es wird eine große Herausforderung darstellen, mit physikalischen, chemischen oder biotechnologischen Verfahren aus den Abfällen einerseits saubere Wertstoffe und andererseits ein wertstoffarmes Schadstoffgemisch zu gewinnen. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben ist damit zu rechnen, dass punktuell weniger Schadstoffe in der Produktion von Gütern eingesetzt werden (z. B. Cadmium und Quecksilber). Andererseits werden aber dank Technologieschüben neue Stoffe zum Einsatz gelangen, deren Umweltverhalten noch nicht bekannt ist, und die möglicherweise neue Probleme für die Abfallwirtschaft bieten (z. B. Nanotechnologie). Jedenfalls wird es auch in Zukunft hochtechnologischer Verfahren wie der Verbrennung bedürfen um insbesondere organische Schadstoffe – möglichst unter Energiegewinn-

nung – zu entsorgen. Ebenso werden, trotz Verboten und stark eingeschränktem Einsatz dieser Metalle, auch in Zukunft große Mengen an Cadmium, Quecksilber und anderer Schadstoffe zu entsorgen sein, da die Lager an langlebigen Gütern erst nach Jahrzehnten in die Entsorgung gelangen. Dies betrifft beispielsweise Kunststoffe im Bauwesen, die mit Cadmium, Blei oder Zinn stabilisiert wurden, und die dank dieser Additive eine lange Lebenserwartung aufweisen, sodass sie erst nach 20–40 Jahren als Abfälle anfallen.

Generell wird die Abfallwirtschaft immer durch die Produktion von neuen Stoffen herausgefordert werden. Es ist weder sinnvoll noch möglich, von der Seite der Abfallwirtschaft her massiv auf die Produktion von Gütern einzuwirken; dies würde die Möglichkeiten zur Innovation und zur Entwicklung neuer Produkte zu stark einschränken. Angezeigt scheint die Einflussnahme der Abfallwirtschaft auf die Produktion dort, wo durch die Anwendung eines Stoffes unverhältnismäßig hohe (monetäre oder ökologische) Kosten der Entsorgung anfallen. Ein Beispiel stellt der Bereich der Kernenergie dar, bei der die Entsorgungsfrage nach wie vor ungelöst ist, und (auch deshalb) die Kernfusion als Alternative zur Kernspaltung prioritär erforscht wird.

### **Vom Bergbau zum „Stadtbau“ („urban mining“)**

Stoffe können nicht vernichtet werden, sie können höchstens transformiert und transportiert werden. Die Summe an Stoffen auf der Erde ist konstant: Werden Erze aus dem Boden gewonnen und in Städten für Bauwerke, Infrastruktur und Konsumprodukte eingesetzt, so finden sie sich zwar nicht mehr als Erze im Boden, aber dafür als Stoffe in der Stadt. Je nachdem wie die Stoffe in die Stadt eingebaut wurden, können sie in Zukunft einfacher, d. h. mit weniger Aufwand an Energie, Stoffen und Umweltschutz wiedergewonnen und genutzt werden. Je mehr die natürlichen Ressourcen zur Neige gehen, desto mehr neue, anthropogene Ressourcen findet man in der Stadt.

In Zukunft sind die Ressourcen gesamthaft zu nutzen: Die urbanen Stoffbestände werden attraktive Lagerstätte sein, die weit weniger als heute durch primäre Ressourcen zu alimentieren sind. Wird das Wissen über die urbanen Lagerstätte beim Bau der Lager aufgezeichnet und bewahrt, werden bei der Gestaltung der langlebigen Güter Prinzipien der späteren Nachnutzung beachtet, und werden neue Technologien zur wirtschaftlichen Verwertung und Aufarbeitung dieser sekundären Ressourcen entwickelt, so werden sich die aus dem städtischen Lager zu gewinnenden sekundären Ressourcen den primären als wirtschaftlich überlegen erweisen. Diese Vision muss allerdings auf den Entwicklungszustand einer Region Rücksicht nehmen: Es ist nicht

möglich, in einer sich in rascher Entwicklung befindlichen Volkswirtschaft wie das heute beispielsweise China und Indien darstellen, die benötigten Ressourcen aus dem urbanen Lager zu gewinnen. Dazu sind die urbanen Lager viel zu klein. China und Indien werden zuerst ihre Stoffbestände aufbauen bis sie in die Nähe einer pro Kopf Stoff-Sättigung im Ausmaß europäischer oder nordamerikanischer Größenordnungen kommen, und werden erst dann, wie dies heute in Europa der Fall ist, eine neue Ressourcenpolitik, die sich vermehrt auf den anthropogenen Stoffbestand abstützt, entwickeln können.

### **Saubere Kreisläufe, die neue Herausforderung**

Derzeit sind die meisten Stoffflüsse linear, mit vielen anderen Stoffen vermischt, wachsend und im Verhältnis zu den natürlichen Flüssen bereits teilweise von ähnlicher Größenordnung. In Zukunft wird es eine primäre Aufgabe der Abfallwirtschaft (wie auch der gesamten Volkswirtschaft) sein, Stoffe im Kreislauf zu führen. Dadurch können, wie bereits erwähnt, die bei der Gewinnung von primären Rohstoffen entstehenden Umweltbelastungen vermieden werden, und es werden weniger Energie und Hilfsstoffe für die Produktion von Rohstoffen gebraucht. Indem das „urban mining“ tatsächlich in der Stadt, wo sich die sekundären Ressourcen befinden, erfolgt, kann die Abwärme der oft energieintensiven Rohstoffaufbereitung sinnvoll genutzt werden (z. B. Fernwärme/Kühlung), und es können in Anbetracht des oft weit entfernten primären Bergbaus erhebliche Transportkilometer eingespart werden. Dadurch, dass diese industriellen Prozesse wieder neu in der Stadt angesiedelt werden, ist auch gesichert, dass der beste Stand der Technik bezüglich emissionsmindernder Maßnahmen angewendet wird, etwas, was beim Erzabbau fernab der Zivilisation weniger gewährleistet ist.

Eine spezielle Herausforderung für die Kreislaufwirtschaft stellt das zunehmend komplexere Stoffgemisch heutiger Produkte dar. Es ist notwendig, Systeme zu entwickeln, die zuverlässig Wertstoffe von Schadstoffen trennen können. Solche Systeme bestehen aus technologischen, logistischen, ökonomischen und legislativen Komponenten. Es braucht neue Prozesse und Verfahren, die nach stofflichen Gesichtspunkten diskriminieren können. Die derzeit auf dem Markt befindlichen physikalischen, chemischen und biotechnologischen Technologien haben noch nicht gezeigt, dass sie diese Aufgabe zuverlässig unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erbringen können. Angepasst an diese neu zu entwickelnden Trennverfahren sind Sammelsysteme zu gestalten, die optimale Vorbedingungen für den technischen und wirtschaftlichen Be-



trieb der Verwertungsverfahren schaffen. Um die Rahmenbedingungen zu setzen sind gesetzliche Maßnahmen erforderlich, beispielsweise über den Schadstoffgehalt von Recyclingprodukten. Derzeit werden Verwertungsverfahren, die Schadstoffe im Kreis führen, nicht bestraft, sondern eher belohnt, da sie sich nicht mit der Entsorgung der auszuschleusenden Schadstoffe belasten müssen. Über Produkthanforderungen technischer und ökologischer Art ist sicherzustellen, dass saubere Produkte am Markt bevorzugt werden, und schadstoffhaltige Recyclingprodukte verschwinden. Zur ökologischen Bewertung der Verfahren sind neue, über die standardisierte Lebenszyklusanalyse hinausgehende Methoden anzuwenden, die in der Lage sind, die Verteilung der Schad- und Wertstoffe einzelner Verwertungsverfahren und -systeme zuverlässig zu beurteilen, beispielsweise die Analyse der Stoffkonzentrierungseffizienz [Rechberger, 2001]. Um das Ziel „saubere Kreisläufe“ zu erreichen, sind umfangreiche Anstrengungen notwendig, insbesondere die technologische und die gesetzgeberische Ebene stehen vor großen Herausforderungen.

### **„Letzte Senken“ als ultimative Aufgabe der Abfallwirtschaft**

Während dem Wertstoffe im Kreis geführt werden können, stellt sich die Frage, was mit den Schadstoffen geschehen soll. Einerseits können diese derart aufkonzentriert werden, dass sie wiederum in einem Wirtschaftskreislauf genutzt werden können. Dies ist beispielsweise denkbar für Cadmium, Blei und Zink, welche zusammen mit anderen atmosphilen Metallen bei der Verbrennung von Restmüll als Filterrückstand der Entstaubung anfallen, und wiedergewonnen werden könnten. Andererseits wird es immer Stoffe geben, deren Wert zu gering ist, dass sie rezirkuliert werden, sei es weil sie in einer zu geringen Menge anfallen, weil sie mit anderen Stoffen vergesellschaftet sind, oder weil sie aus toxikologischen Gründen aus dem Verkehr gezogen werden müssen. Letzteres ist derzeit für Quecksilber der Fall: In den USA wird ein Exportverbot für dieses flüchtige Metall diskutiert, damit die globale Umweltbelastung reduziert werden kann indem kein amerikanisches Hg mehr in dissipativer Form beispielsweise bei der Goldwäsche in unterentwickelten Regionen eingesetzt wird. Die Frage lautet, wohin mit dem Hg und anderen Schadstoffen, wenn sie nicht rezirkuliert werden können?

Für die langfristig umweltverträgliche Ablagerung von Schadstoffen bedarf es „letzter Senken“ Eine letzte Senke ist ein Ort auf der Erde, in dem Stoffe eine sehr lange Aufenthaltszeit haben (>10.000 Jahre). Beispielsweise sind Meeressedimente Senken für Karbonate, aber auch für andere Stoffe wie Cadmium. Das Meer selber ist eine

Senke für Chloride. Geologische Formationen wie Salzstöcke können letzte Senken sein für anorganische, nicht abbaubare Schadstoffe, wenn gewährleistet wird, dass sie weiterhin vom Wasserhaushalt abgetrennt bleiben. Obertägige Deponien sind nur beschränkt letzte Senken. Aufgrund biogeochemischer Prozesse ist damit zu rechnen, dass über lange Zeiträume viele Stoffe in der Deponie mobilisiert und ausgewaschen werden können.

Wichtig ist die Frage der Kapazitäten von Senken: Beispielsweise muss der Boden Schadstoffe über die Luft und aus direkten Einträgen (Landwirtschaft, Abwasser- und Abfallwirtschaft) aufnehmen. Je nach Bilanz von Eintrag und Austrag (Ernte, Auswaschung, Versickerung usw.) reichern sich Stoffe im Boden an. Die meisten Böden in gut entwickelten Regionen akkumulieren Schadstoffe, die Zeit bis zum Erreichen von ökologisch definierten Grenzwerten nimmt ab. In stadtnahen Böden können Grenzwerte teilweise bereits nach wenigen Jahren überschritten werden [Rebernik, 2007]. Auch die Kapazitäten von Luft und Wasser als Medien zur Verdünnung von Schadstoffen sind begrenzt. Diese Grenzen sind umso mehr ein Problem, als die Konsummissionen zunehmen. Werden Grenzen sichtbar, können bei Konsummissionen oft nicht einfach Filter eingebaut werden, sondern müssen neue Stoffe und teilweise auch neue Güter eingesetzt werden. Die Korrosion und Verwitterung der Oberfläche einer Stadt kann nur durch langfristige, ursächliche Maßnahmen auf ein umweltverträgliches Maß reduziert werden [Rebernik, 2007].

Für alle Stoffe, die der Mensch der Erdkruste entnimmt respektive synthetisiert, braucht es eine letzte Senke. Dies kann für organische Substanzen ein thermischer Prozess sein, der die chemischen Verbindungen zu Wasser und Kohlendioxid transformiert, die in die Senken Gewässer und Atmosphäre abgegeben werden können. Für anorganische Stoffe, die nicht rezirkuliert werden, braucht es Deponien, die entweder langfristig vom Wasserhaushalt abgetrennt werden können (Salzstöcke, Untertagedeponien), oder die ausschließlich mit immobilisierten und wasserunlöslichen Reststoffen („Endlagerqualität“, „Steine“) beschickt werden. Es ist zu beachten, dass geologische Prozesse, beispielsweise im alpinen Raum, Deponien durch Erosion in Zeiträumen von 10.000 Jahren teilweise wegtransportieren können.

Die Gewinnung und Nutzung von Stoffen muss in einem ökologisch bestimmten Verhältnis zur Kapazität der Senken stehen. Es gibt bereits mehrere Beispiele, die darauf hinweisen, dass möglicherweise die Kapazität der Senken eher begrenzend wirkt für die Nutzung eines Stoffes als die Verfügbarkeit des Stoffes. Man könnte von den Senken als ultimative begrenzende Ressourcen sprechen. Das eklatanteste Beispiel stellt sicher der Kohlenstoff dar: Nach heutigen Erkenntnissen reichen die fossilen

Energiequellen (falls Gas, Öl, Kohle und vor allem Ölschiefer alle genutzt werden) noch für mehr als hundert Jahre. Allerdings gehen die Experten davon aus, dass dies einen Klimawandel zur Folge hätte, dessen negative Folgen den Nutzen der Energiegewinnung bei der Oxidation des Kohlenstoffs übertreffen. Weitere Beispiele sind DDT und FCKW: Beide Stoffe und Stoffklassen wurden aus dem Verkehr gezogen, da die notwendigen Senken in der Biosphäre respektive Stratosphäre nicht vorhanden sind, und einerseits Biozönosen, andererseits die stratosphärische Ozonschicht geschädigt werden. Neuestes Beispiel einer fehlenden Senke als Kriterium für ressourcenpolitische Entscheide ist das bereits erwähnte Quecksilber [Hogue, 2007].

#### **4 Konsequenzen und Schlussfolgerungen**

Vorrangige Aufgabe der Abfallwirtschaft vor dem Hintergrund der aktuellen Ressourcenwirtschaft ist die Gestaltung sauberer Kreisläufe und das zur Verfügung stellen langfristig umweltverträglicher letzter Senken. Zu diesem Zweck muss das entsprechende stoffliche Wissen über Abfälle, Transformations- und Transportprozesse geschaffen und angewendet werden. Derzeit finden abfallwirtschaftliche Entscheide häufig auf der Ebene der Güter (Abfälle) statt. Zukünftig müssen vermehrt die in den Abfällen befindlichen Stoffe (chemische Elemente respektive Verbindungen) berücksichtigt werden, da sie als Wert- oder Schadstoffe über den Wert eines Abfalls entscheiden. Notwendig sind neue Verfahren zur Verwertung (einschließlich Logistiksysteme), die gezielt auf die optimale Nutzung von Wertstoffen und auf die größtmögliche Eliminierung von Schadstoffen ausgerichtet werden.

Die Frage der letzten Senken muss gesamtheitlich beantwortet werden, da nicht nur die Abfallwirtschaft sondern auch die ganze Volkswirtschaft mit Produzenten, Dienstleistern und Konsumenten auf verfügbare Senken angewiesen ist. Die Abfallwirtschaft kann einen wesentlichen Beitrag zur Verfügbarkeit von Senken leisten. Dazu muss sie allerdings zuerst ihre Hausaufgaben erledigen, die Begriffe „letzte Senken“ und „Endlagerqualität“ sauber definieren, und Verfahren entwickeln, Endlagerqualität herstellen zu können respektive diese Qualität messen und beurteilen zu können.

Eine wichtige Aufgabe der Abfallwirtschaft besteht auch darin, Signale an die Produktion zu geben: Notwendig sind Gestaltungsgrundsätze für die Produktion von Gütern, die bewirken, dass Güter am Ende ihrer Lebensdauer als Abfall wirtschaftlich und umweltverträglich verwertet, und – falls nicht rezirkulierbar – auch entsorgt wer-

den können. Mit der „Gestaltung sauberer Kreisläufe“, mit dem „zur Verfügung stellen von langfristig umweltverträglichen letzten Senken“, und mit „Signalen an die Produktgestaltung“ erfüllt die Abfallwirtschaft eine wichtige Funktion für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement.

## Literatur

- Anderberg, S. (1989) Flow and Distribution of Chromium in the Swedish Environment: A New Approach to Studying Environmental Pollution, *Ambio*, 18, 4, 216–220.
- Bergbäck, B. (1992) Industrial Metabolism: The Emerging Landscape of Heavy Metal Emissions in Sweden, Ph.D. Thesis, Linköping University, Sweden.
- Bogucka, R., Brunner, P.H. (2007) „Goal oriented evaluation method for assessment of plastic waste management – Case studies: Austria and Poland“, Poster, International Conference Decision Support for Waste Management in the EU (HOLIWAST), 11.–12. Juni 2007, GIG – Główny Instytut Górnictwa, Krakau, Poland
- Hogue, C. (2007) Mercury Excess – Congress and EPA probe possibility of long-term storage of liquid metal, *Chemical and Engineering News*, July 2, Volume 85, Number 27, 21–23.
- Obernosterer, R., Brunner, P.H., Daxbeck, H., Gagan, T., Glenck, E., Hendriks, C., Morf, L., Paumann, R., Reiner, I. (1998) Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy – Case Study Report – The City of Vienna, Forschungsprojekt im Rahmen des EC Environment and Climate Research Programme (1994–1998) Research Theme 4 – Human Dimension of Environmental Change, Contract no.: ENV4-CT96-0230, Institute for Water Quality and Waste Management, University of Technology, Vienna.
- Rebernik, G. (2007) Methode zur Analyse und Bewertung der SF von Oberflächen einer Stadt, Dissertation, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Anfallwirtschaft, TU Wien.
- Rechberger, H. (2001) An entropy based method to evaluate hazardous inorganic substance balances of waste treatment systems, *Waste Management & Research*, Vol. 19, No. 2, 186–192.
- Sacher, O. (2001) Klassifizierung organischer Reaktionen mittels neuronaler Netze zur Anwendung in Reaktionsvorhersage und Syntheseplanung, Dissertation Universität Erlangen, Nürnberg.
- Stumm, W. und Davis, J. (1974) Kann Recycling die Umweltschädigung vermindern? In: *Recycling – Lösung der Umweltkrise*, Hrsg.: Gottlieb Duttweiler-Institut Rüschlikon, Verlag Ex Libris, Zürich, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, 29–41.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Umwelt - Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Brunner Paul H.

Artikel/Article: [Die Funktion der Abfallwirtschaft in einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft. 7-18](#)