



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



# Die Chancen der Stoffflussanalyse im Hinblick auf übergeordnete abfallwirtschaftliche Planungen

Barbara Zeschmar-Lahl, Uwe Lahl

## 1 Nachhaltige Entwicklung und Stoffflussanalyse – eine kurze Einführung

1972 erschien *Limits to Growth – Die Grenzen des Wachstums* –, die als eine der Ur-Studien zur nachhaltigen Entwicklung gilt. Sie entstand auf Initiative von und mit Unterstützung des Club of Rome. Erstellt wurde sie von einem Team von 17 Wissenschaftlern am MIT Massachusetts Institute of Technology. Die vier Hauptautoren sind (waren) Dr. Donella H. Meadows (gestorben 2001), ihr Mann Dr. Dennis L. Meadows, Dr. Erich K. O. Zahn und Peter Milling. Der Club of Rome nahm in der veröffentlichten Buch-Version eine kritische Würdigung dieser Studie vor und kam u.a. zu folgendem Schluß [1]:

*„Wir stellen fest, dass das Problem der Entwicklung auf weltweiter Ebene so eng mit anderen globalen Aufgaben verknüpft ist, dass eine übergreifende Strategie zur Lösung aller bedeutenden Probleme erarbeitet werden muss, besonders auch der, die sich **aus der Einwirkung des Menschen auf seine Umwelt ergibt.**“*

1980 erschien der *Bericht an den Präsidenten der USA – Global 2000* –, der ebenfalls die verschiedenen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen von Umweltzerstörung, Bevölkerungswachstum und sozialer Ungerechtigkeit beschrieb. US-Präsident Carter beauftragte umgehend den nationalen Rat für Umweltqualität und sein State Department damit, ein Handlungsprogramm zu entwickeln, das den in *Global 2000* aufgezeigten Problemen effektiv entgegenzutreten sollte, und binnen eines halben Jahres lag dieses Programm – *Global Future: Time to Act* – vor, wurde aber unter dem neuen US-Präsidenten Reagan nicht mehr weiter verfolgt [2].

Auf internationaler Ebene ging es dagegen voran. 1983 wurde die *World Commission on Environment and Development (WCED, Weltkommission für Umwelt und Entwicklung)* von den Vereinten Nationen als unabhängige Sachverständigenkommission ins Leben gerufen. Sie erhielt den Auftrag, einen Perspektivbericht zu



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



langfristig tragfähiger, umweltschonender Entwicklung im Weltmaßstab bis zum Jahr 2000 und darüber hinaus zu erstellen. Der 1987 veröffentlichte, nach der WCED-Vorsitzenden benannte *Brundtland-Report* mit dem programmatischen Titel *Unsere gemeinsame Zukunft (Our Common Future)* – beeinflusste die internationale Debatte über Entwicklungs- und Umweltpolitik maßgeblich und war einer der auslösenden Hauptfaktoren für die Umweltkonferenz (*Erdgipfel*) in Rio de Janeiro 1992 [3]. Im *Brundtland-Report* wurde erstmals das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung beschrieben, eine Entwicklung, *die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen* [4].

Mit der auf dem Erdgipfel in Rio de Janeiro 1992 verabschiedeten *Agenda 21* [5] wurde den Regierungen der einzelnen Staaten detaillierte Handlungsaufträge gegeben, um einer weiteren Verschlechterung der Situation des Menschen und der Umwelt entgegenzuwirken und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen sicherzustellen. So waren sie z.B. gefordert, auf nationaler Ebene die Umsetzung der nachhaltigen Entwicklung in Form von Strategien, nationalen Umweltplänen und nationalen Umweltaktionsplänen zu planen und zu initiieren.

Als zweites europäisches Land nach den Niederlanden hat Österreich im Jahr 1994 einen Nationalen Umweltplan (NUP) verabschiedet. Dieser stellte im Kapitel 3.2. Ressourcenmanagement unter Punkt 5 Rohstoff/Abfall fest [6]:

*Die heutigen Kenntnisse über Stoffströme sind ungenügend. Sie reichen nicht aus, um Stoffflüsse so zu steuern, daß sie langfristig umweltverträglich sind, und daß ihr Ressourcenpotential optimal genutzt werden kann. Die Resultate der Arbeitsgruppe haben gezeigt, daß nur für wenige Branchen eine ausgeglichene Güterbilanz vorhanden ist; bei den meisten Branchen ist der Input wesentlich größer als der Output, d.h. es werden vor allem große Stoffmengen in der Anthroposphäre akkumuliert. Österreichweit übertreffen die Mengen an eingesetzten Stoffen die Abfälle um rund eine Größenordnung. Über die Zusammensetzung der Lager (Gebäude, Infrastruktur, für Kommunikation, Transport, Dienstleistung, usw.) ist nichts bekannt.*

Der NUP fordert daher eine aktive Bewirtschaftung der Stoffe nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und der langfristigen Umweltverträglichkeit [7]:



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Die Abfallwirtschaft ist in erster Linie nach stofflichen Kriterien auszurichten. Von den vier Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes betreffen drei stoffliche Gesichtspunkte: Der Schutz des Menschen und der Umwelt bedeutet die Begrenzung der Einwirkung von Schadstoffen. Die Schonung von Rohstoffen und Energie bezieht sich wiederum auf Stoffe wie Eisen, Aluminium, Polyethylen, etc. Die Forderung nach nachsorgefreier Deponie bedeutet im Kontext des Umweltschutzes ebenfalls die Begrenzung von Stoffkonzentrationen im Deponiegas und Sickerwasser. **In Zukunft sind alle (technischen und logistischen) Verfahren und Systeme der Abfallwirtschaft daraufhin zu untersuchen und zu vergleichen, wie sie Stoffströme verändern.** Als Beispiel für den Stand des Wissens können die vorhandenen Kenntnisse über die Transferfunktionen von Stoffen bei der Müllverbrennung dienen. **Für die Planung der zukünftigen Abfallwirtschaft sind diese Kenntnisse unabdingbar.**

## 2 Die Stoffflussanalyse als Instrument für eine nachhaltige Entwicklung

Die in *Grenzen des Wachstums* und *Global 2000* aufgezeigten Probleme beschäftigten auch die Wissenschaft, insbesondere zwei Schweizer Chemiker an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich. Prof. Dr. Peter **Baccini** und Dr. Paul H. **Brunner** sahen sich – wie sie in ihrem Vorwort zu *Metabolism of the Anthroposphere* [8] schildern – immer wieder mit zwei Fragen konfrontiert:

1. Wie viel Zeit verbleibt, um den vom Menschen verursachten gefährlichen Einflussnahmen auf unsere wichtigsten Rohstoffe, auf Wasser, Luft und Boden, effektiv zu verringern?
2. Was sollte in erster Priorität unternommen werden, um für den Menschen und die Biosphäre gefährliche anthropogene Materialflüsse zu verhindern?

Um die innerhalb der *Anthroposphäre* – das ist das vom Menschen durch seine biologischen und kulturellen Bedürfnisse geprägte Umfeld, die Summe seiner Aktivitäten – und die zwischen dieser und der Geosphäre (Erdkruste, Hydro- und Atmosphäre) und der Biosphäre (Ökosysteme ohne den Menschen) ablaufenden Stoffwechselprozesse klären zu können, entwickelten Baccini und Brunner ein Instrument, das sie „material flux analysis“, Stoffflussanalyse (SFA), nannten, schon damals mit besonderer Betonung der Abfallwirtschaft. Ihr 1991 darüber veröffentlichtes Buch *Metabolism of the Anthroposphere* [8] ist letztlich die Grundlage, auf der das neue ÖWAV-Regelblatt 514 – *Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft* basiert.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 3 Die Stoffflussanalyse als Instrument anlagenbezogener abfallwirtschaftlicher Untersuchungen

Die von Baccini und Brunner [8] eingeführte und u.a. von Rechberger [9] weiterentwickelte Stoffflussanalyse zur Bilanzierung von Güter- und Stoffflüssen wurde seither auf der Ebene von Güter- und Stoffbilanzierungen abfallwirtschaftlicher Anlagen mit Erfolg angewandt:

Aus oder für **Österreich** liegen Stoffflussanalysen für verschiedene abfallwirtschaftliche Anlagen vor, z.B. für

- Müllverbrennungsanlagen [10, 11, 12],
- Baurestmassenaufbereitungsanlagen [13],
- Zementwerke [14],
- mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen [15, 16],
- eine rein mechanische Restabfall-Splittinganlage [17].

In der **Schweiz** verlangt die Richtlinie des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) „Entsorgung von Abfällen in Zementwerken“ [[18], Punkt 5.1b], dass Zementwerke, die zugelassene Abfälle entsorgen, ...

„(2) mit den nötigen Messungen und **Stoffflussberechnungen** sicherstellen (müssen), dass sowohl die Anforderungen an die Abluftqualität (...) als auch die Anforderungen an die Qualität des Klinkers und des Zementes bezüglich der Schadstoffgehalte eingehalten werden.“

Im **deutschen Bundesland Nordrhein-Westfalen** wurde im Oktober 2000 die SFA für die immissionsschutzrechtliche Genehmigung der Mitverbrennung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen und Zementwerken per Erlass eingeführt und hat sich mittlerweile in verschiedenen Genehmigungsverfahren bewährt [19, 20, 21, 22, 23]. Auf Basis einer Auswertung der mittels SFA durchgeführten Verfahren hat das Umweltministerium von Nordrhein-Westfalen unlängst einen *Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kraft- und Kalkwerken* [24] herausgegeben.

# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



## 4 Die Stoffflussanalyse als Instrument übergeordneter abfallwirtschaftlicher Planungen

Schon in ihrem Basiswerk *Metabolism of the Anthroposphere* [8] konnten Baccini und Brunner anhand ihrer fiktiven Region METALAND darstellen, dass die SFA auch – wie vom österreichischen NUP gefordert – für die Ermittlung und Bewertung regionaler und überregionaler Stoffflüsse geeignet ist. So liess sich mittels SFA feststellen, dass in METALAND z.B. für Cadmium der Bestand an Gütern – insbesondere Cadmium-stabilisiertes PVC, cadmierte Stahlprodukte, Cadmiumpigmente und Batterien – mehr als 50 % des im Umlauf befindlichen Cadmiums trug und damit das größte Lager darstellte, größer noch als die Abfallwirtschaft. Selbst bei einem sofortigem Cadmiumverbot würde die im Bestand der Region verteilte Cadmiumfracht noch eine langjährige Entsorgungsphase für große Materialmengen nach sich ziehen.

Die SFA wurde in Österreich Ende der neunziger Jahre auf spezielle übergeordnete abfallwirtschaftliche Fragestellungen angewandt:

- Projekt ASTRA [25], 1997: Szenarien für die Entsorgung brennbarer Abfälle in Österreich im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und Ressourcennutzung
- Projekt PRIZMA [26], 1999: Beurteilung des Einsatzes von Abfallbrennstoffen in Zementdrehrohröfen in stofflicher Hinsicht (Emissionen, Produktqualität, Stoffflüsse) mit dem Ziel, sogenannte Positivlisten zu erstellen.

Ein anderes Projekt mit der Anwendung der SFA auf eine übergeordnete abfallwirtschaftliche Fragestellung haben die Autoren im Jahr 2000 für ein deutsches Landesumweltministerium durchgeführt. Konkret ging es um die Frage, welche ökologischen Auswirkungen mit unterschiedlichen Entwicklungsszenarien für die Entsorgung von Siedlungsabfällen in einem Bundesland verbunden sein werden.





# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



## 5 Entwicklungsprognose für die Entsorgung von Siedlungsabfällen eines deutschen Bundeslandes mittels SFA

### 5.1 Aufgabenstellung

In einer vom baden-württembergischen Umweltministerium beauftragten Studie [27] wurde untersucht, in welchem Umfang die in definierten Abfällen enthaltenen Schadstoffe über unterschiedliche Prozesse im System Technosphäre verbleiben oder in Zielmedien verteilt werden. Veranlassung für den Auftraggeber war der vom BMU im Dezember 1999 vorgelegte Entwurf einer Abfallverwaltungsvorschrift (AbfallVwV) [28], die eine vergleichsweise unkritische Förderung der Kreislaufwirtschaft vorsah. Dadurch wären *Scheinverwertungswege* (z.B. Sortieranlage vor Deponie) und eine energetische Verwertung auf niedrigem Umweltniveau begünstigt worden.

### 5.2 Modellbildung

Im Rahmen der Studie für das Umweltministerium wurde die SFA dazu eingesetzt, auf der Basis typischer Technikkonzepte und bekannter Kennzahlen für Prozesse die Schadstoffflüsse für unterschiedliche Abfallarten aus Baden-Württemberg in Entwicklungs- bzw. Entsorgungsszenarien zu berechnen. Die Anwendung der SFA und die Ergebnisse für die Siedlungsabfallentsorgung werden im Folgenden dargestellt.

Unter Prozesse werden beispielsweise Beseitigungsanlagen wie Deponien oder diverse Verwertungsanlagen wie etwa Sortieranlagen verstanden. Bei den Zielmedien werden von den eigentlichen klassischen Umweltmedien wie Wasser oder Luft relevante *Lagerräume* unterschieden, da hier Schadstoffe auf längere Zeit (Deponien) oder auf Dauer (Senke) von Umweltmedien ferngehalten werden. Eine Zwischenstellung nehmen in Erzeugnisse eingebrachte Schadstoffe ein, wenn die Erzeugnisse irreversibel in Umweltmedien verteilt werden. In dieser Studie wurden die folgenden Zielmedien betrachtet:

- Luft (Umweltmedium),
- Wasser (Umweltmedium),
- Boden (Umweltmedium),
- Erzeugnis (Umweltmedium),
- Deponie (Lagerraum)
- Senken (Lagerraum).

# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



- Luft:** Das Zielmedium Luft ist relevant für alle betrachteten Prozesse einschließlich mechanisch-biologischer Abfallbehandlung (MBA) und Deponien.
- Wasser:** Das Zielmedium Wasser ist relevant für alle nicht abwasserfreien Prozesse wie MBA, Kraftwerke und Deponien.
- Boden:** Die Abfallverwertung im Straßen- und Landschaftsbau wird dem Umweltmedium Boden zugerechnet, ebenso wie die unabgedichteten Deponien.
- Erzeugnis:** Hierunter werden Erzeugnisse wie Klinker/Zement aus Zementwerken oder REA-Gips aus Kraftwerken verstanden. Für die Stoffflussanalyse sind die Erzeugnisse von Bedeutung, die im Rahmen der Nutzung oder postkonsum irreversibel in Umweltmedien wie Boden oder Wasser verteilt werden. Erzeugnisse, die wieder in die Produktion zurückgeführt werden – z. B. NE-Metalle für das stoffliche Recycling –, bleiben hingegen innerhalb der Systemgrenzen der Technosphäre (s.u.).
- Deponie:** Unter Deponie wird lediglich die entsprechend TA Siedlungsabfall (TASi) ausgestattete gekapselte Deponie (Dichtung, Sickerwasserfassung und Reinigung) verstanden, inkl. Vorbehandlung nach TASi entsprechend TASi-Fristen.
- Senken:** Als Senke wird zum einen die Untertagedeponie eingestuft. Zum anderen wird für organische Stoffe die Mineralisierung als Senke betrachtet.

Betrachtet werden die Schadstoffflüsse in wahrscheinlichen Entwicklungsszenarien und dies jeweils für die Jahre **2002**, **2006** und **2010**. Betrachtungsraum ist die Bundesrepublik Deutschland.

Bild 1 zeigt schematisch die Struktur der Untersuchung inkl. der betrachteten Systemgrenzen. Es wird deutlich, dass die Abfallströme bzw. Stoffflüsse nicht auf das Land Baden-Württemberg zu beschränken sind. Selbst Wechselwirkungen mit benachbarten Nationalstaaten sind im Prinzip einzubeziehen. Abfallimporte nach und -exporte aus Deutschland werden aus Vereinfachungsgründen als für das Gesamtergebnis ausgeglichen angenommen (Import = Export) und daher außer Betrachtung gesetzt.

Es gelten weiterhin folgende Abschneidekriterien:

- Stoffflüsse aus Hilfsmitteln für die Abfallbehandlung, die als Abfälle anfallen oder wieder zur Produktion aufgearbeitet werden, sowie

# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



- Stoffflüsse aus der Aufbereitung von Abfällen, die mit dem Ziel der weiteren Verwertung dieser Fraktion abgetrennt werden (z.B. Metallschrott), bleiben als „vernachlässigbare“ Fraktionen unberücksichtigt.

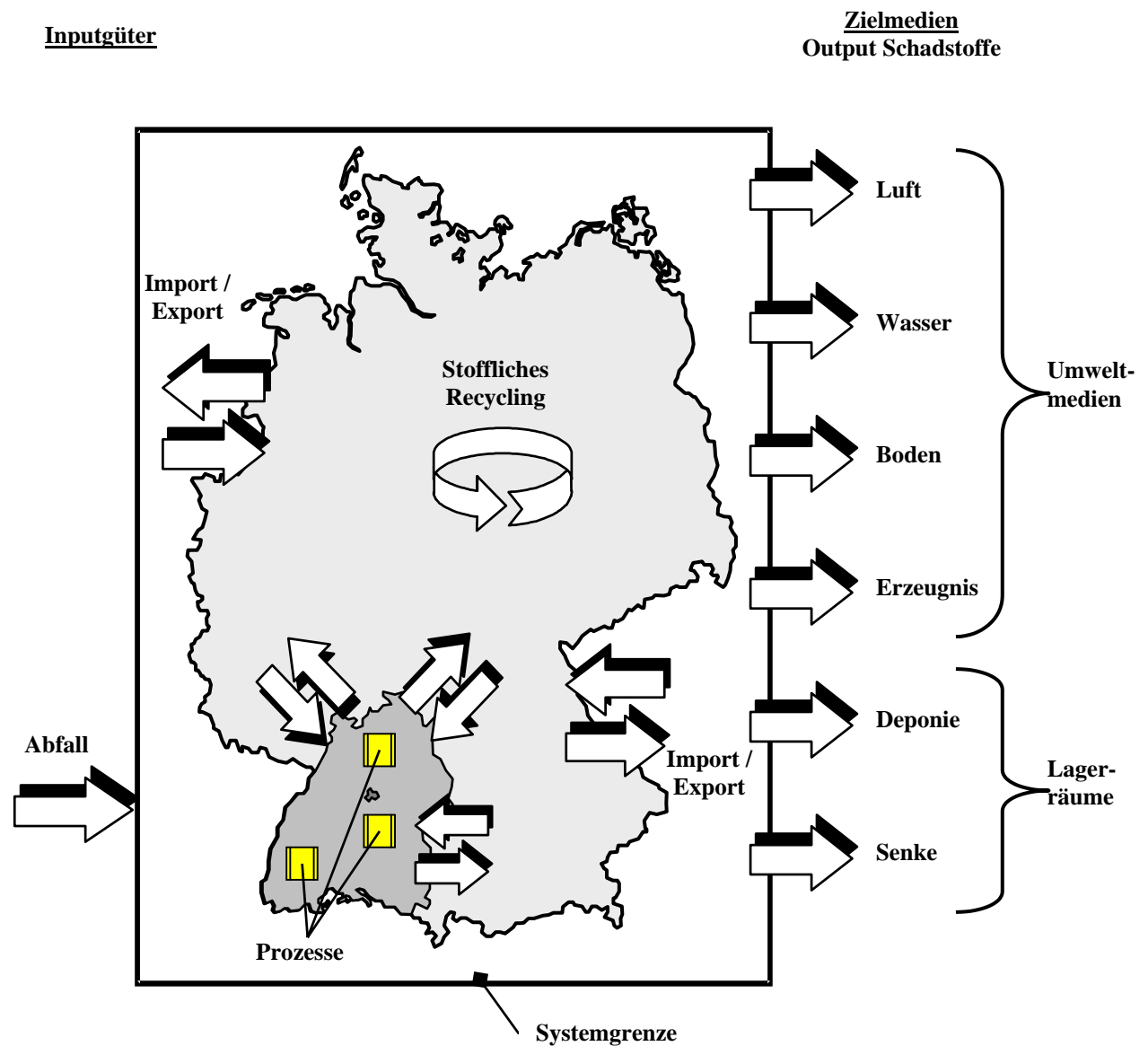


Bild 1: Stoffflussanalyse unterschiedlicher abfallwirtschaftlicher Szenarien

Die Stoffflussanalyse liefert in dem hier gewählten Anwendungsfall Erkenntnisse, welche Schadstofffrachten im jeweiligen Entwicklungsszenario in welches Umweltmedium eingetragen werden.





## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Als Inputgröße für die Berechnungen ist entscheidend, welche Schadstoffpotenziale die jeweils zu betrachtende Abfallart aufweist. In diesem Zusammenhang ist festzulegen, welche Schadstoffe für die durchzuführende ökologische Analyse von Bedeutung sind. Diese Entscheidung hängt maßgeblich von den zu betrachtenden Prozessen ab. So spielen organische Schadstoffe für den Prozess „thermische Anlage“ in der Regel eine geringe Rolle. Dies ist anders, wenn Deponien oder biologische Behandlungsverfahren betrachtet werden. Um alle relevanten Prozesse abzudecken, werden im Folgenden sowohl organische als auch anorganische Schadstoffe betrachtet. Als anorganische Schadstoffe sind insbesondere Schwermetalle von Bedeutung. Weiter sind die Elemente Chlor und Schwefel von Relevanz. Bei den organischen Schadstoffen sind flüchtige Stoffe, die in das Umweltmedium Atmosphäre/Luft verlagert werden, von den wasserlöslichen Stoffen zu unterscheiden. Letztere werden in das Umweltmedium Grund- bzw. Oberflächenwasser verlagert. Schließlich sind Schadstoffe zu betrachten, die in einem Prozess neu gebildet werden (de novo-Synthese). Als Siedlungsabfälle werden die beiden Gruppen Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle betrachtet.

### 5.2.1 Inputmaterial

#### 5.2.1.1 Hausmüll

Hausmüll stellt ein relativ heterogenes Abfallgemisch dar. Bei der Datenerhebung des Schadstoffgehaltes von Hausmüll ist dieser Aspekt als Problem anzusprechen. Belastbare Ergebnisse werden durch das Analysieren großer Probemengen erzielt. Hier sind Untersuchungen von der TU Wien anzusprechen, in denen die Belastung von Restabfall über die Outputstoffflüsse von MVAs bestimmt wurde [10, 11]. Allerdings ist dies nur für einen Ausschnitt der relevanten Schwermetalle durchgeführt worden (Cd, Hg, Pb, Cu). Ergänzend wurden Daten aus verschiedenen deutschen Quellen herangezogen [29] sowie durch Untersuchungen, die das organische Schadstoffpotenzial näher beschreiben [30]. So wurden neben den Schwermetallen auch flüchtige organische Stoffe (VOC) sowie wasserlösliche organische Stoffe (Elutionspotenzial, ELU) abgeschätzt.

Tab. 1 zeigt die für die Berechnungen abgeleiteten Belastungswerte für Hausmüll.



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 1: Mittlere Schadstoffbelastung (anorganisch und organisch) von Hausmüll, in Milligramm pro Tonne Frischsubstanz (vgl. auch [29])

Parameter	mg/Mg FS
Chlor (Cl)	8.730.000
Schwefel (S)	3.300.000
Cadmium (Cd)	8.500
Thallium (Tl)	100
Quecksilber (Hg)	1.800
Antimon (Sb)	38.000
Arsen (As)	5.000
Blei (Pb)	410.000
Chrom (Cr)	50.000
Kobalt (Co)	5.000
Kupfer (Cu)	450.000
Mangan (Mn)	350.000
Nickel (Ni)	22.000
Vanadium (V)	6.000
Zinn (Sn)	110.000
Flüchtige organische Verbindungen (VOC <sup>1</sup> )	1.000.000
Elutionspotenzial (ELU <sup>2</sup> )	45.000.000

1 flüchtige organische Stoffe

2 wasserlösliche organische Stoffe

## 5.2.1.2 Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle (hmäGA)

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (hmäGA) setzen sich nach der hier unterstellten Definition aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Sortierresten, Baustellenmischabfällen und Fehlwürfen aus dem Bereich der produktionsspezifischen Abfälle zusammen. Es gibt nur wenige detailliertere aktuelle Untersuchungen zur branchenspezifischen Herkunft und Zusammensetzung von hmäGA. Aus unterschiedlichen Datensätzen (s.u.) lässt sich ein repräsentativer vermischter hausmüllähnlicher Gewerbeabfall modellieren (vgl. Tab. 2).



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 2: Mittlere Schadstoffbelastung vermischter hausmüllähnliche Gewerbeabfälle inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle (modelliert) (mg/Mg FS)

Parameter (mg/Mg FS)	DSD- Sortierreste (vgl. [29])	schadstoffarme heizwertreiche gewerbliche Abfälle in		Modellierung Gruppe 5; (hier: Holz, Kunststoffe, Textilien) [21]	Baustellen- mischab- fälle	hmäGA in Österreich, Projekt MBRVV, [31]	Mittelwert gerundet (Modell- Gewerbe- abfall)
		Deutschland (ABANDA etc., vgl.[32])	Österreich (ASTRA) (vgl. [25])				
Chlor	24.400.000	20.600.000	7.551.000	6.139.000	75.000.000	4.865.000	26.700.000
Schwefel	2.600.000	2.200.000	6.105.000			7.786.000	3.600.000
Cadmium	10.000	7.500	12.300	4.900		1.200	8.700
Thallium	90	0		140			100
Quecksilber	440	1.400	740	40		410	700
Antimon	42.000	730.000		8.400		1.116.500	260.000
Arsen	3.100	1.500		850		2.500	1.800
Blei	260.000	210.000	218.800	38.800		314.300	182.000
Chrom	93.000	380.000		34.000		380.400	170.000
Kobalt	9.700	440				8.700	5.100
Kupfer	540.000	2.900.000		10.700		1.075.100	1.200.000
Mangan	110.000	17.000		77.800		330.800	68.000
Nickel	55.000	11.000		10.900		190.200	26.000
Vanadium	17.000	0		5.100		16.130	7.400
Zinn	79.000	39.000		17.800		58.600	45.000
VOC <sup>1</sup>							1.000.000
ELU <sup>2</sup>							45.000.000

<sup>1</sup> flüchtige organische Stoffe, hier: Daten wie Hausmüll

<sup>2</sup> wasserlösliche organische Stoffe, hier: Daten wie Hausmüll

## 5.2.2 Prozess-spezifische Kenngrößen

Für die verschiedenen betrachteten Prozesse waren die spezifischen Kenngrößen zu ermitteln und festzulegen.

### 5.2.2.1 Müllverbrennungsanlagen (MVA)

Die in Deutschland betriebenen Müllverbrennungsanlagen (MVA) weisen einen vergleichsweise hohen Standard der Abgasreinigung auf. Aus Betreiberangaben (Mittelwert für Baden-Württemberg aus [33]), den bekannten Anlagenbilanzierungen und den Belastungen der eingebrachten Abfallarten s.o.) wurden für die Stoffflussanalyse die Transferfaktoren ins Reingas und in die Fraktion der Fe-/NE-Metalle errechnet.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Die Transferfaktoren in die Rückstände Staub/ RGR / Schlacke wurde die Summe der Transferfaktoren Reingas und Fe/NE-Metalle ergänzt zu 1 (ausgenommen VOC und ELU) angesetzt. Die Details sind in [27, 34] wiedergegeben.

### 5.2.2.2 Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA)

Die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) ist unter dem Aspekt Stoffstrommanagement als eine Anlage anzusehen, die verschiedene Stoffströme erzeugt, im Unterschied zur MVA beispielsweise aber keine eigentliche Endbehandlung darstellt. Für die MBA ist das Beherrschen der flüchtigen organischen Schadstoffe in den betrachteten Abfallarten das herausragende Thema.

MBAs sollten entsprechend der damals im Verfahren befindlichen 30. BImSchV betrieben werden. Diese Anlagen reduzieren die VOC-Emissionen auf unter 55 g/Mg FS [35]. Die Massenflüsse (Deponie, hochkalorische Fraktion) wurden maßgeblich durch die Anforderungen aus der Ablagerungsverordnung bestimmt (insbesondere Ho-Regelung). Da es in Deutschland bei den existierenden MBAs noch keine hinreichenden Erfahrungen mit der Einhaltung dieser Vorgaben gab, wurde auf die Kennwerte einer österreichischen MBA zurückgegriffen (MBA Kufstein der Fa. Thöni).

Für den Schwermetallinput ist eine geringfügige Emission flüchtiger Elemente zu beachten. Ansonsten findet lediglich eine Verteilung der Schwermetallfracht auf die Outputströme statt. Von uns wird weiter unterstellt, dass MBAs diesen Standards eine funktionstüchtige NE-Metallabtrennung durchführen müssen, um einen verkehrsfähigen Ersatzbrennstoff (EBS) erzeugen zu können. Dies führt zu einer Schwermetallentfrachtung der hochkalorischen Fraktion.

Für die flüchtige Organik (VOC) wurde unterstellt, dass die Vorgaben der 30. BImSchV eingehalten werden. Für die wasserlöslichen organischen Schadstoffe wurde, in Anlehnung an eigene Untersuchungen [36] und die Anforderungen der Ablagerungsverordnung, ein Abbau von 90 % durch die biologische Behandlung der Deponiefraktion angenommen (Eluat vor Behandlung: 1.000–5.000 mg/l, nach Behandlung < 250 mg/l).

Tab. 3 zeigt die von uns abgeschätzten Transferfaktoren für eine MBA nach dem Stand der Technik. Die Daten wurden aus unterschiedlichen Datenquellen abgeleitet. Die Transferfaktoren sind jeweils auf die Inputwerte des Gesamtabfalls bezogen.



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 3: Transferfaktoren (TF) Stand der Technik-MBA (1 = 100 %), a = eigene Schätzungen auf Basis von [37]

Parameter	TF Luft	TF Deponiefraktion [38, 39]	TF Hochkalorische Fraktion [38, 39, 40]	TF Fe-, NE-Metallabtrennung (und sonstiges) [38] oder ergänzt zu 1
Chlor	0,004 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,046
Schwefel	0,01 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	0,06
Cadmium	<0,001 <sup>a</sup>	0,38	0,47	0,15
Thallium	<0,001 <sup>a</sup>			
Quecksilber	0,05 <sup>a</sup>	0,44	0,30 <sup>a</sup>	0,21
Antimon	<0,001 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,75 <sup>a</sup>	0,10
Arsen	<0,001 <sup>a</sup>	0,55	0,37	0,08
Blei	<0,001 <sup>a</sup>	0,46	0,30	0,24
Chrom	<0,001 <sup>a</sup>	0,32	0,35	0,33
Kobalt	<0,001 <sup>a</sup>	0,29	0,23	0,48
Kupfer	<0,001 <sup>a</sup>	0,14	0,20 <sup>a</sup>	0,66
Mangan	<0,001 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,55
Nickel	<0,001 <sup>a</sup>	0,19	0,14	0,67
Vanadium	<0,001 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,40
Zinn	<0,001 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,50
VOC <sup>1</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,001		
ELU <sup>2</sup>		0,1 <sup>a</sup>		

<sup>1</sup> flüchtige organische Stoffe

<sup>2</sup> wasserlösliche organische Stoffe

Für die Sensitivitätsbetrachtung wurde untersucht, welche Auswirkungen eintreten, wenn sich Bestrebungen verschiedener Interessengruppen durchsetzen, das Verordnungspaket des BMU an entscheidenden Stellen in seinen Anforderungen zu reduzieren. Neben dem Weiterbetrieb von Deponien ohne TASI-Standard nach 2005 war hier die Reduzierung der Umweltschutzanforderungen an die MBA zu berücksichtigen. Im Einzelnen wurde hierfür unterstellt, dass die heute gegebenen Techniken als ausreichend angesehen werden:

- Abgas: TOC im Reingas = 300 g/m<sup>3</sup>,
- Deponiefraktion: AT<sub>4</sub> = 5 mg O<sub>2</sub>/g oTS,
- Einbau: ohne Auflagen.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Für die Berechnung dieser Variante wurde als Modellanlage daher auf die MBA Lüneburg zurückgegriffen.

Bezüglich der Transferfaktoren werden für die anorganischen Stoffe ähnliche Werte wie für die MBA Kufstein unterstellt. Für die VOCs wird aufgrund der geringeren Abgasreinigungsleistung dieser MBAs ein Transferfaktor von 0,35 angesetzt; für die wasserlösliche Organik wird mit einem Transferfaktor von 0,20 gerechnet. Für die Schwermetalle wird aufgrund der nicht gegebenen NE-Metallabtrennung pauschal eine um 50 % reduzierte Entfrachtung gegenüber der Stand der Technik-MBA angesetzt.

Zum damaligen Zeitpunkt war je nach politischem Entscheidungsprozess zum Komplex TASI-Novellierung/Verabschiedung 30. BImSchV die zukünftige Rolle der low level-MBA entschieden. Daher wurde für die Sensitivitätsbetrachtung die ökologisch ungünstige Variante eines anteiligen Nutzens des Prozesses low level-MBA mit angesetzt. Hierbei war zu prüfen, welche Auswirkungen es hat, wenn die low level-MBA auch nach 2005 weiter betrieben werden kann (als Verwertungsanlage). Eine low level-MBA stellt konzeptionell eine Vorbehandlung vor der Ablagerung dar, wie sie auch an wenigen Standorten in Baden-Württemberg aktuell noch in Betrieb ist [37]. Es werden keine Materialien zur Verwertung ausgeschleust. Eine Abgasreinigung findet nicht statt (Freilandrotten), und die löslichen Schadstoffe werden anteilig in den Deponiekörper verfrachtet. Die Transferfaktoren, die im Rahmen dieser Studie für die low level-MBA herangezogen wurden, sind in [27, 34] enthalten.

### 5.2.2.3 Deponien

Das Emissionsverhalten der Deponien hängt wesentlich vom Ausbaustandard der Deponie selbst ab. Bei vollständig fehlender Basisabdichtung, was in einzelnen Bundesländern die „Regeldeponie“ darstellt, ist von einem weitgehenden kurz- bis mittelfristigen Transfer vieler Schadstoffe ins Grundwasser auszugehen. Bei nicht TASI-konformer Basisabdichtung, was bei vielen der oben dokumentierten Bundesländer die „Regeldeponie“ darstellt, ist, je nach Art der Basisabdichtung, eine höhere Transferrate (verglichen mit TASI-Standard) ins Grundwasser zu erwarten (s.u.). Bei nicht vorhandener Gasfassung (was in Niedersachsen beispielsweise in rund einem Drittel der betriebenen Deponien der Fall ist) ist anzunehmen, dass die im Restabfall enthaltenen flüchtigen Schadstoffe weitgehend in die Atmosphäre verlagert werden und zusätzlich erhebliche Sekundäremissionen (Methan) entstehen.





## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Allerdings ist es aufgrund der vorhandenen Datenlage schwer, quantitativ exakte Prognosen anzugeben, wie sich die Schadstofffrachten, die in eine Deponie eingebracht werden, bezüglich der Austragspfade Luft und Wasser verteilen werden. Dies hängt einerseits mit der gegebenen unzureichenden Datenbasis zusammen und stellt auch ein methodisches Problem dar, da hier Prognosezeiträume von Jahrzehnten (bzw. Jahrhunderten) zu betrachten sind. Neben der überwachten Betriebsphase einer Deponie ist auch deren Nachsorgephase einzubeziehen. Die Nachsorgephase ist so lange auszudehnen, bis die Emissionen der Anlage ohne Behandlung abgeleitet werden dürfen.

Als Prognosezeitraum in dieser Studie werden 150 Jahre festgelegt.

Für eine Deponie, die komplett den TASI-Standard bezüglich Untergrundabdichtung, Sickerwasserfassung und -reinigung sowie Gasfassung und -entsorgung einhält, werden die Transferfaktoren in die Umweltmedien Luft und Wasser niedrig ausfallen. Für den Luftpfad wird allgemein eine 40 %ige Fassung und Entsorgung der über das Deponiegas emittierten organischen Schadstoffe für möglich angesehen, folgt man den betrieblichen Erfahrungen in Deutschland. Für den Wasserpfad wird eine 70 %ige Fassung und Entsorgung für möglich angesehen [41]. Für die meisten anorganischen Elemente wird eine niedrige Transferrate in die genannten Umweltmedien unterstellt. Diese Annahmen ergeben sich aufgrund der chemischen Beschaffenheit der Elemente. Diese Schätzungen sind dann zutreffend, wenn die Schlämme aus der Abwasserreinigung nicht landwirtschaftlich verwertet werden. Für die Ermittlung dieser Transferfaktoren wird u.a. auf [42] zurückgegriffen. Die dort enthaltenen Faktoren sind über umfänglichen Modellrechnungen ermittelt worden.

Deponien nach TASI-Standard, aber ohne die geforderten natürlichen Standorteigenschaften weisen einen erhöhten Transfer an Stoffen ins Grundwasser auf. Für die geologische Barriere ergeben sich hierdurch, je nach gegebener Geologie, erhöhte Infiltrationsraten im Bereich des Faktors 10 bis 100. Allerdings wird diese Infiltrationsrate erst „in Anspruch“ genommen, wenn die technische Barriere und die Sickerwasserfassung versagt. Insgesamt wird daher pauschal angenommen, dass auf die gesamte Betrachtungszeit der Deponie dadurch das Emissionspotenzial an wasserlöslichen organischen Stoffen nur zur Hälfte zurückgehalten werden kann. Für die restlichen Pfade sind gegenüber der obigen Deponieausstattung identische Werte anzusetzen.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Für die Deponie ohne jedwede Ausstattung sind uns aus der Literatur keine Betrachtungen des Emissionspotenzials bekannt. Für den Wasserpfad kann abgeschätzt werden, welches Sickerwasserpotenzial anfallen dürfte. Geht man von der Durchschnittsgröße von 5 l je Mg und Jahr aus [41], ergeben sich über den Betrachtungszeitraum insgesamt 750 l Sickerwasser. Diese Sickerwassermenge kann wiederum als Emission in den Wasserpfad angesehen werden. Sie kann über einen mittleren Erfahrungswert der Sickerwasserbelastung [43] in Beziehung zum Abfallinput gesetzt werden, um die jeweiligen Transferfaktoren zu berechnen. Für die Gasphase wird eine beinahe vollständige Freisetzung der flüchtigen Organik unterstellt; Schwermetalle werden nur in unbedeutendem Umfang über den Gaspfad emittiert.

Für den Deponietyp ohne natürliche und ohne technische Deponiebasis, aber mit Sickerwasserfassung, wird ein Emissionspotenzial zwischen den beiden oben genannten Deponietypen (keine geologische Barriere / vollständig ohne Ausstattung) angenommen. Für den Gaspfad wird eine 40 %ige Fassung und Entsorgung angenommen (wie TASI-Deponie).

Die Transferfaktoren, die für unterschiedliche Deponiestandards von uns unterstellt wurden, sind in [27, 34] wiedergegeben. Wir haben in unseren Überlegungen die Deponie eher optimistisch abgeschätzt, insbesondere was den Wasserpfad angeht. In der Sensitivitätsbetrachtung setzen wir uns mit pessimalen Annahmen aus der Literatur auseinander.

### 5.2.2.4 Sortieranlagen

Sortieranlagen werden für die gewerblichen Abfallströme eingesetzt. Allerdings ist die Sortiertiefe heute eher gering. Sortieranlagen erzeugen, ähnlich wie die MBA, unterschiedliche Stoffströme. Sie stellen selbst keine Endbehandlung dar. Sie sind aber auch aufgrund der geringen Sortiertiefe und Behandlungsintensität keine eigene relevante Quelle von Schadstoffemissionen (abgesehen von den hier nicht erfassten Parametern Lärm, Staub, Mikroorganismen, Gerüche).

Sortieranlagen können nach 2005 auch genutzt werden, um gezielt Ersatzbrennstoffe für die industrielle Mitverbrennung zu erzeugen. Die Transferfaktoren für die Auftrennung in Abfallströme variieren entsprechend den ökonomischen Randbedingungen, die sich wiederum über die Randbedingungen der Szenarien definieren.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.2.5 Industrielle Mitverbrennung

Von den verschiedenen Möglichkeiten der Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen werden im Folgenden die beiden mengenmäßig wichtigsten Prozesse näher betrachtet:

- Zementwerke
- Kraftwerke.

Der Einsatz von unvorbehandeltem Hausmüll oder hausmüllähnlichem Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) im Zement- oder Kraftwerk ist nicht möglich. Vielmehr müssen diese Abfälle einer umfänglichen Aufbereitung unterzogen werden, bevor sie eingesetzt werden können. Dies kann in hierauf ausgebauten MBAs (Splitting- oder Stabilisierungsanlagen), in umgebauten Sortieranlagen oder in speziellen Ersatzbrennstoff-Erzeugungsanlagen erfolgen.

Im Rahmen dieses Aufbereitungsprozesses kommt es auch zu einer gewissen Schadstoffabreicherung durch beispielsweise Sichtungsaggregate oder NE-Metallabtrennung. Die abgetrennten schadstoffhaltigen Fraktionen werden über die MVA oder die Schrottaufbereitung entsorgt.

Für die Belastung der erzeugten Ersatzbrennstoffe werden gegenwärtig unterschiedliche Grenzwertvorschläge diskutiert. Für die Aufbereitung wird angenommen, dass die in Tab. 3 für die MBA genannte Aufbereitungseffizienz (Transferfaktoren für EBS) erreicht wird. Dies stellt für EBS aufbereitungstechnisch gesehen kein ehrgeiziges Ziel (Schadstoffentfrachtung) dar. Hieraus ergeben sich, je nach Herkunftsbereichen, die im Folgenden dargestellten mittleren Belastungen der Ersatzbrennstoffe. Für die industrielle Mitverbrennung wird mit den in Tab. 4 wiedergegebenen Belastungswerten gerechnet.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 4: Mittlere Belastung von Ersatzbrennstoffen, berechnet mit Modell-Hausmüll und modelliertem hausmüllähnlichen Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfällen) und den Transferfaktoren der Stand der Technik-MBA für Ersatzbrennstoffe

Parameter	Ersatzbrennstoff aus Hausmüll (mg/Mg)	Ersatzbrennstoff aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) (mg/Mg)
Chlor	3.710.300	11.347.500
Schwefel	1.402.500	1.530.000
Cadmium	2.600	2.700
Thallium	k. A..	k. A.
Quecksilber	300	100
Antimon	14.300	97.500
Arsen	900	300
Blei	102.500	45.500
Chrom	11.300	38.300
Kobalt	600	600
Kupfer	45.000	120.000
Mangan	52.500	10.000
Nickel	1.500	1.800
Vanadium	300	400
Zinn	27.500	11.300

### 5.2.2.5.1 Zementwerke

Die Transferfaktoren für die Schwermetalle wurden vom VDZ (Verein Deutscher Zementwerke) aus den dort vorliegenden Untersuchungen errechnet [29]. Für Quecksilber schien die errechnete Verlagerung ins Reingas niedrig. Hier wird von anderen Autoren bis zu 90 % angegeben [44]. Wir haben uns entschlossen, für diese Studie weitgehend auf die Datenbasis der betreibenden Industrie zurückzugreifen, weil hierdurch die jeweiligen Ergebnisse sicherlich nicht als zu pessimistisch kritisiert werden können. Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung wurde mit einem höheren Transferfaktor nach Gallenkemper und Braungart [44] gerechnet. Die verwendeten Transferfaktoren sind in [27, 34] enthalten.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.2.5.2 Kraftwerke

Kraftwerke verfügen über einen deutlich höheren Brennstoffbedarf, als dies für Zementwerke in Deutschland der Fall ist und können demzufolge auch höhere Mengen an Ersatzbrennstoffen aufnehmen. Allerdings ist die Applikation dieser Brennstoffe in den Verbrennungsraum je nach Kraftwerkstyp mit höheren Aufwendungen und Schwierigkeiten verbunden. Der Kraftwerkspark in Deutschland setzt sich im wesentlichen zusammen aus Rostfeuerung, Wirbelschichtfeuerung, Staubfeuerung (Trokenfeuerung) und Schmelzkammerfeuerung.

In Abhängigkeit der jeweiligen Feuerungsart ist in der Diskussion, ob der Einsatz von Abfällen die Zeitverfügbarkeit der Kraftwerksanlagen beeinträchtigen kann (Korrosion). Nun kann gegenwärtig nicht prognostiziert werden, welche der genannten Kraftwerkstypen sich mehr oder weniger umfänglich auf dem EBS-Markt engagieren. Die Schmelzkammerfeuerung ist sicherlich eine Technologie, die auch aus ökologischer Sicht besonders günstige Voraussetzungen für die Abfallmitverbrennung aufweist. Hier ist insbesondere die Einbindung der schwer flüchtigen Schwermetalle in die Schmelze zu nennen. Allerdings ist die Anzahl der in Deutschland betriebenen Schmelzkammerfeuerungen derzeit eher gering. Neben diesem Feuerungstyp werden zunehmend auch Braunkohlekraftwerke (Staubfeuerung) ins Gespräch gebracht (z.B. Jänschwalde in Brandenburg). Daher wird u.E. neben der Schmelzkammerfeuerung die Abfallverwertung mengenmäßig hauptsächlich im Bereich der Braunkohle-Staubfeuerung stattfinden. Die Transferfaktoren (Reingas) für ein Braunkohlekraftwerk (Staubfeuerung) und die berechneten Transferfaktoren für die anderen Umweltmedien sind in [27, 34] wiedergegeben.

### 5.2.2.6 Sonstiges

Unter die Rubrik sonstige Anlagen fallen Hochöfen, Kalkstein- und Ziegelindustrie u.v.m.. Diese Prozesse, mögen sie in Einzelfällen auch durchaus interessant und bedeutend sein, dürften für die Betrachtung der drei Entwicklungsszenarien in Deutschland eine eher untergeordnete Rolle einnehmen.



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Schadstoffflüsse innerhalb der zu betrachtenden Entwicklungsszenarien für Baden-Württemberg für die Jahre 2002, 2006 und 2010 prognostiziert. Die Entwicklungsszenarien sollen die praktischen, ökologischen Konsequenzen analysieren, die mit der Einführung der im Entwurf vorgelegten Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) verbunden wären. Wobei, aufgrund der gegebenen zeitlichen Parallelität, für die Szenarien zur Siedlungsabfallentsorgung auch die Entscheidungen zur Novellierung der TA Siedlungsabfall einzubeziehen waren.

#### 5.2.3.1 Szenario 1– Verwirklichung der Grundgedanken des KrW-/AbfG

Das Szenario 1 beschreibt eine Entwicklung, in der konsequent die Grundgedanken des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vollzogen werden. Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) sind in der Überlassungspflicht der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Deponien ohne Basisabdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung sind bis 2002 bundesweit geschlossen. Scheinverwertung findet nicht statt. Bis 2005 sind alle erforderlichen Vorbehandlungsanlagen realisiert und in Betrieb, unvorbehandelter Restabfall wird nicht mehr abgelagert. Die TASI-Anforderungen werden in diesem Szenario per Rechtsverordnung (Abfall-Ablagerungs-Verordnung, AbfAbIV) gefasst und dadurch in ihrem bindenden Charakter unmittelbar wirksam. Die AbfAbIV wird allerdings nicht für MBA-Fractionen geöffnet.

Tab. 5 zeigt die für Szenario 1 errechneten Stoffflüsse im Detail. Die Ergebnisse zeigen insbesondere die Auswirkungen, die mit der konsequenten Umsetzung der TASI verbunden sind: **Die betrachteten Schwermetalle werden über Senken von den Umweltmedien ferngehalten, die organischen Schadstoffe werden weitgehend mineralisiert, was hier ebenfalls als Senke angesehen wird.**





# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 5: Szenario 1: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.

Bezugs- jahr	I n p u t ( k g )				
	Hg	Cd	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>	
2002	3.500	24.400	2.360.000	108.000.000	
2006	3.200	22.000	2.130.000	97.000.000	
2010	3.100	21.300	2.060.000	94.000.000	
O u t p u t					
Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>	
2002 Luft	1,3 %	0,1 %	31,0 %	0,0 %	
2002 Wasser	0,0 %	0,1 %	0,0 %	15,8 %	
2002 Boden	4,3 %	7,9 %	0,2 %	0,6 %	
2002 Erzeugnis	0,5 %	3,2 %	0,0 %	0,0 %	
2002 Deponie	37,9 %	38,5 %	16,8 %	29,3 %	
2002 Senke	50,8 %	46,1 %	51,9 %	54,2 %	
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>94,8 %</b>	<b>95,9 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2006 Luft	0,7 %	0,1 %	1,1 %	0,0 %	
2006 Wasser	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	
2006 Boden	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
2006 Erzeugnis	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
2006 Deponie	0,5 %	1,8 %	0,7 %	1,3 %	
2006 Senke	97,2 %	94,3 %	98,2 %	98,2 %	
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>98,4 %</b>	<b>96,2 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2010 Luft	0,7 %	0,1 %	1,1 %	0,0 %	
2010 Wasser	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	
2010 Boden	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
2010 Erzeugnis	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
2010 Deponie	0,5 %	1,7 %	0,7 %	1,2 %	
2010 Senke	97,2 %	94,3 %	98,2 %	98,2 %	
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>98,4 %</b>	<b>96,1 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>

1 flüchtige organische Stoffe

2 wasserlösliche organische Stoffe

@ Differenz zu 100 % ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Bild 1)



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.3.2 Szenario 2 – Beibehaltung des Status quo mit Rechtsunsicherheiten

In Szenario 2 wird der heutige Status quo beibehalten. Rechts- und Investitionsunsicherheiten sind die beherrschenden Randbedingungen in diesem Szenario. Die Abfallverwaltungsverordnung des BMU (AbfallVwV) wird nicht erlassen, der Vorgang bleibt aber weiter *zunächst unterbrochen bzw. eingefroren, aber keineswegs zurückgezogen*. Klarstellungen zur Überlassungspflicht und zur Scheinverwertung müssen dadurch weiterhin im Einzelfall erstritten werden. Auf diesem Feld werden daher für das Land Baden-Württemberg sowohl einzelne Erfolge als auch Misserfolge eintreten. Die Scheinverwertung lässt sich mit den Mitteln des Landesvollzugs nur teilweise verhindern.

Die TASI wird in diesem Szenario gemäß den Vorstellungen des BMU novelliert (AbfAbIV; WHG § 7a Anhang 59; 30. BImSchV).

Die folgende Tab. 6 zeigt die für Szenario 2 errechneten Stoffflüsse im Detail.

Die Ergebnisse des Szenarios 2 zeigen ebenfalls den positiven Einfluss der Umsetzung der TA Siedlungsabfall. **Durch einen stärkeren Rückgriff auf energetische Nutzungsanlagen erhöhen sich in diesem Szenario die Schadstoffeinträge ins Erzeugnis. Zusätzlich führt die Öffnung der TASI für die MBA zu erhöhten Einträgen in Deponien und den Boden.**



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 6: Szenario 2: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.

Bezugs- jahr	I n p u t ( k g )				
		Hg	Cd	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.13.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
O u t p u t					
	Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>
2002	Luft	1,2 %	0,0 %	27,1 %	0,0 %
2002	Wasser	0,0 %	0,1 %	0,0 %	16,4 %
2002	Boden	6,4 %	14,7 %	0,5 %	1,0 %
2002	Erzeugnis	0,6 %	2,6 %	0,0 %	0,0 %
2002	Deponie	37,2 %	35,6 %	13,2 %	23,5 %
2002	Senke	45,5 %	38,3 %	59,1 %	59,1 %
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>90,8 %</b>	<b>91,3 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2006	Luft	3,0 %	0,1 %	2,4 %	0,0 %
2006	Wasser	0,0 %	0,0 %	0,0 %	2,4 %
2006	Boden	4,7 %	8,8 %	0,7 %	0,6 %
2006	Erzeugnis	2,1 %	9,5 %	0,0 %	0,0 %
2006	Deponie	2,6 %	5,1 %	0,4 %	1,0 %
2006	Senke	76,8 %	65,7 %	96,5 %	96,0 %
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>89,2 %</b>	<b>89,1 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2010	Luft	3,0 %	0,1 %	1,4 %	0,0 %
2010	Wasser	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,3 %
2010	Boden	1,2 %	4,6 %	0,4 %	0,3 %
2010	Erzeugnis	2,2 %	10,0 %	0,0 %	0,0 %
2010	Deponie	5,5 %	7,2 %	0,3 %	1,1 %
2010	Senke	77,9 %	68,0 %	98,0 %	97,4 %
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>89,8 %</b>	<b>89,8 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>

1 flüchtige organische Stoffe

2 wasserlösliche organische Stoffe

@ Differenz zu 100 % ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Bild 1)



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.3.3 Szenario 3 – Umsetzung der geplanten Abfallverwaltungsvorschrift

Szenario 3 beschreibt eine Entwicklungsrichtung, die eintreten wird, sofern die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) erlassen wird. Die der Verwaltungsvorschrift zugrundeliegende Rechtsauffassung setzt sich in diesem Szenario bundesweit durch. Im Rahmen von Szenario 3 wird 20 % des Haus- und Sperrmülls über die private Entsorgungswirtschaft kostengünstig „verwertet“. Während in 2002 auch die öRE in Baden-Württemberg ihre Deponien direkt beschicken, steuert die Privatwirtschaft über einfache Sortieranlagen zunächst preiswerte Deponien vorwiegend in den neuen Ländern an. Zur Darstellung einer Verwertung wird ein geringer Anteil des Abfalls als heizwertreiche Fraktion abgeschöpft, der ab dem Jahr 2005 erheblich zur Einhaltung der Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA gesteigert wird.

Die TASI wird in diesem Szenario ebenfalls entsprechend den Vorstellungen des BMU novelliert. Daher ergeben sich bezüglich der TASI-Problematik zwischen Szenario 2 und 3 keine unterschiedlichen Annahmen bzw. Randbedingungen.

Die folgende Tab. 7 zeigt die für Szenario 3 errechneten Stoffflüsse im Detail.

**Szenario 3 schneidet gegenüber Szenario 2 deutlich ungünstiger ab (Boden, Deponie, Senke, Luft), da die untersuchten Verwertungsprozesse verstärkt genutzt werden. So ist auch ein deutlich höherer Eintrag von Schadstoffen ins Erzeugnis zu erwarten.**

Die folgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Ergebnisse für die Szenarien 1 bis 3.

Es zeigt sich, dass mit der Fortsetzung der Rechtsunsicherheit (Szenario 2) und insbesondere im Falle des „Auftauens“ der AbfallVwV des BMU (Szenario 3) die Schadstoffeinbringung in die Umweltsenken abnehmen und dafür die Einträge in die Umweltmedien Luft und Boden und insbesondere ins Erzeugnis ansteigen werden.



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Tab. 7: Szenario 3: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.

Bezugs- jahr	I n p u t ( k g )				
		Hg	Cd	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.130.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
O u t p u t					
	Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC <sup>1</sup>	ELU <sup>2</sup>
2002	Luft	1,7 %	0,0 %	23,5 %	0,0 %
2002	Wasser	0,0 %	0,1 %	0,0 %	16,5 %
2002	Boden	16,1 %	27,6 %	0,8 %	1,9 %
2002	Erzeugnis	1,2 %	5,7 %	0,0 %	0,0 %
2002	Deponie	28,3 %	27,5 %	9,8 %	17,6 %
2002	Senke	32,3 %	23,4 %	65,8 %	63,9 %
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>79,6 %</b>	<b>84,4 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2006	Luft	3,8 %	0,0 %	3,5 %	0,0 %
2006	Wasser	0,0 %	0,1 %	0,0 %	3,8 %
2006	Boden	9,0 %	16,2 %	0,3 %	0,7 %
2006	Erzeugnis	2,9 %	14,6 %	0,0 %	0,0 %
2006	Deponie	2,2 %	4,6 %	0,6 %	1,3 %
2006	Senke	57,8 %	47,7 %	95,7 %	94,2 %
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,7 %</b>	<b>83,1 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
2010	Luft	3,9 %	0,0 %	1,5 %	0,0 %
2010	Wasser	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,9 %
2010	Boden	5,7 %	11,5 %	0,3 %	0,5 %
2010	Erzeugnis	3,1 %	15,3 %	0,0 %	0,0 %
2010	Deponie	5,0 %	7,8 %	0,5 %	1,4 %
2010	Senke	58,0 %	48,5 %	97,7 %	96,1 %
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,7 %</b>	<b>83,1 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>

1 flüchtige organische Stoffe

2 wasserlösliche organische Stoffe

@ Differenz zu 100 % ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Bild 1)



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ

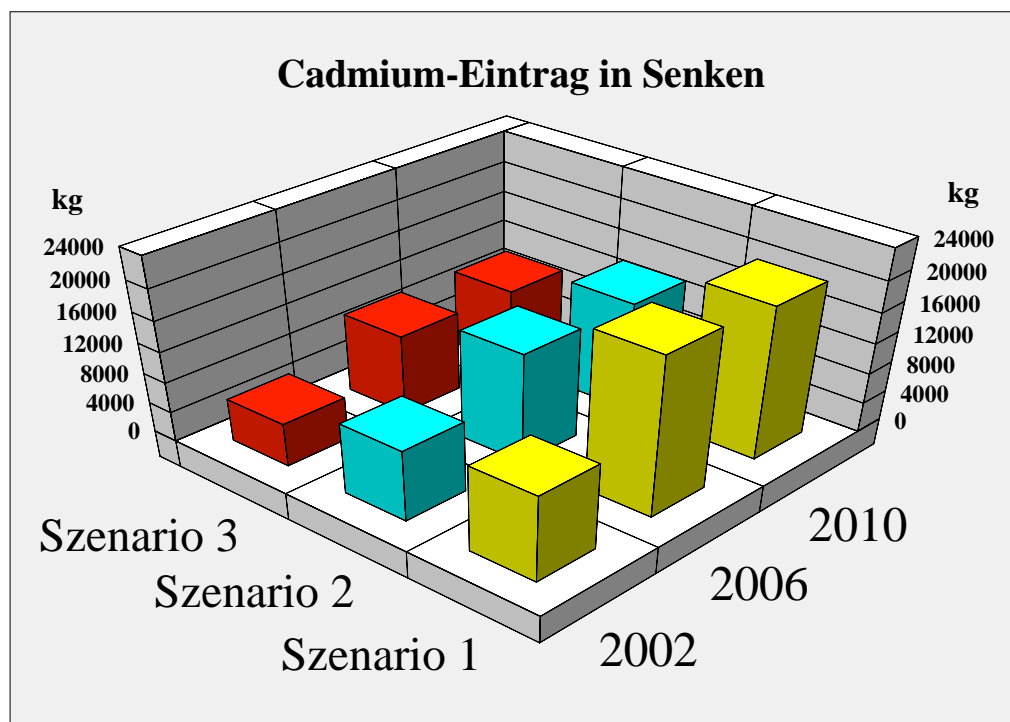


Bild 2: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 – hier: Cadmium-Eintrag in Senken

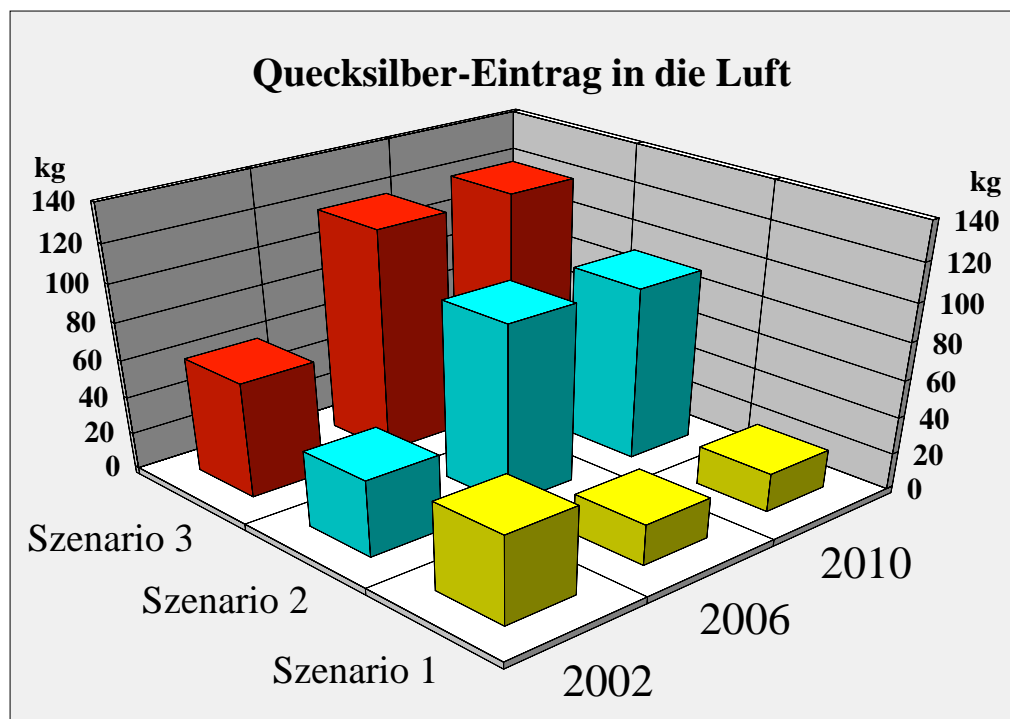


Bild 3: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 – hier: Quecksilber-Eintrag in Luft





# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ

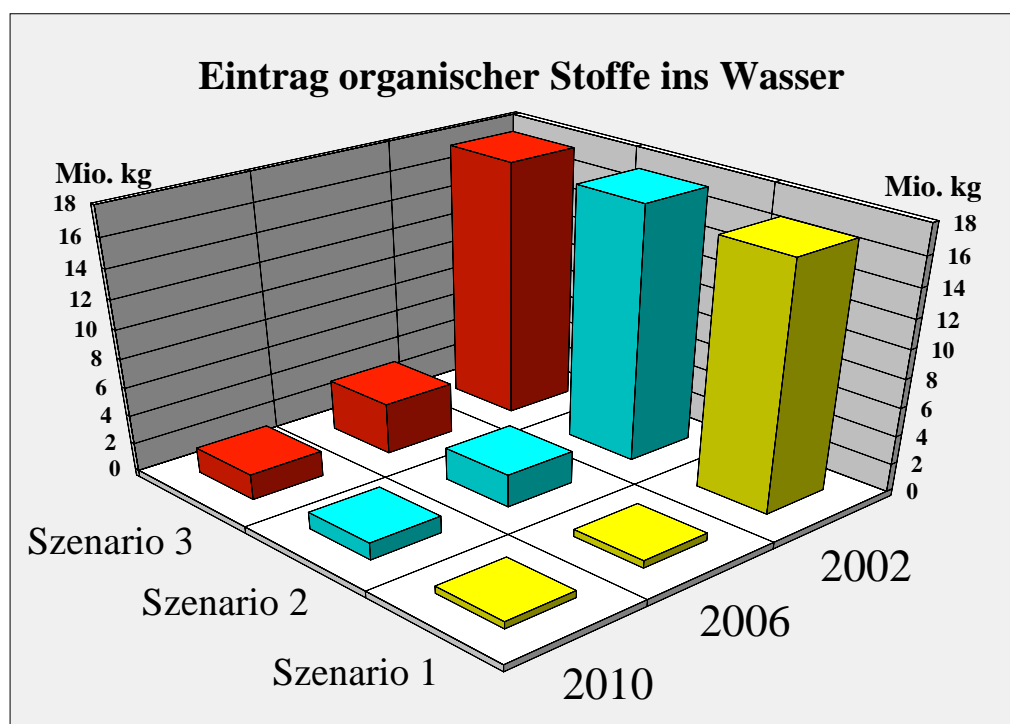


Bild 4: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 – hier: Organik-Eintrag ins Wasser

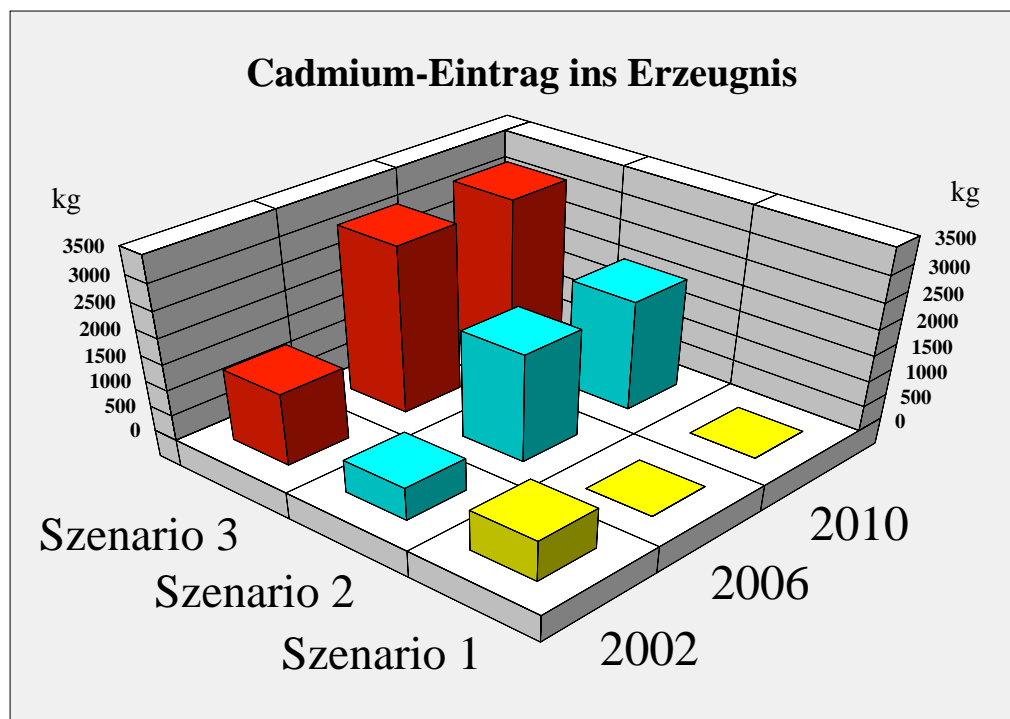


Bild 5: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 – hier: Cadmium-Eintrag ins Erzeugnis



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



### 5.2.4 Sensitivitätsbetrachtung

Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung wurde zusätzlich ein Szenario 3\*\* erstellt, in dem die bisherigen Entwürfe des BMU zur Novellierung der TASI durch Vorschläge zur Verringerung der Anforderungen an die Ablagerungskriterien und durch Verringerung der Anforderungen an die zulässigen Emissionen aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen aufgeweicht werden. Insbesondere hat dies eine drastische Verringerung der Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion in den Abfällen und entsprechend eine wesentliche höhere Ablagerung auf Altdeponien zur Folge.

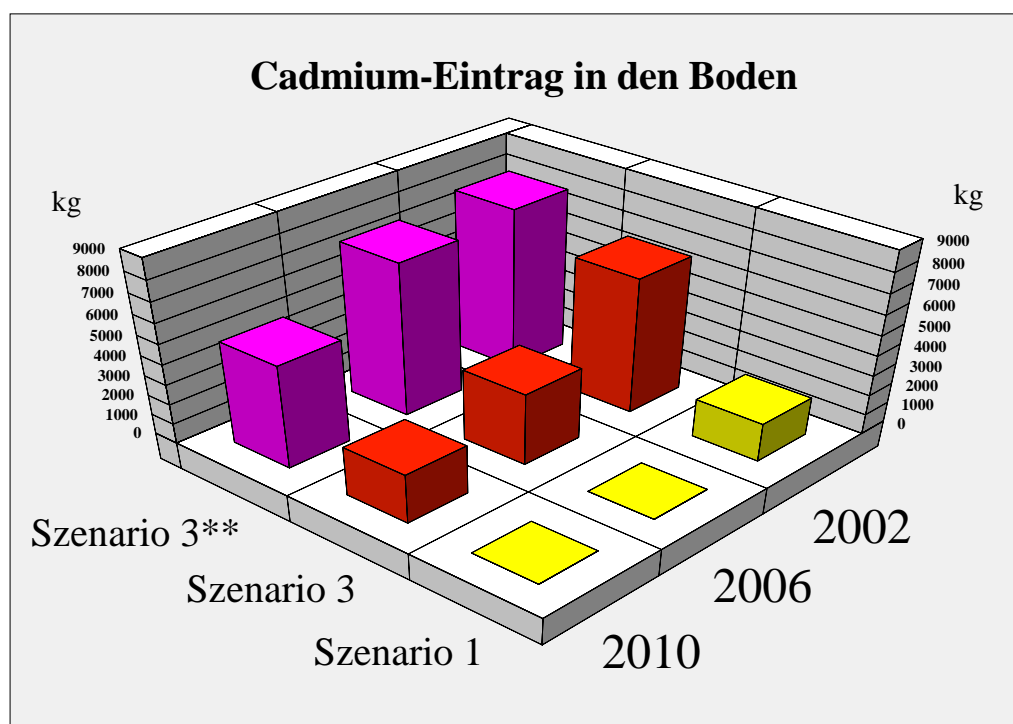


Bild 6: Ergebnisse der Szenarien 1, 3 und 3\*\* - hier: Eintrag in den Boden

### 5.2.5 Fazit: Stoffflussanalyse zur Entwicklungsprognose für ein Bundesland

Mit der Fortsetzung der damals bestehenden Rechtsunsicherheit und insbesondere im Falle des „Auftauens“ der AbfallVwV des BMU wird die Einbringung von Schadstoffen in Umweltsenken abnehmen. Im Gegenzug werden dafür die Einträge in die Umweltmedien Luft, Boden und insbesondere ins Erzeugnis steigen. Die erhaltenen Ergebnisse erwiesen sich im Rahmen einer Sensitivitätsprüfung als belastbar [27].



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Mittels SFA ließen sich wichtige abfallwirtschaftliche Schlußfolgerungen ableiten, die für das Bundesland Baden-Württemberg eine Entscheidungsgrundlage für seine eigene Positionierung im Rahmen laufender Gesetzgebungsverfahren ermöglichte.

## 6 Ausblick

Die Stoffflussanalyse liefert präzise Ergebnisse, wenn die jeweils verwendete Datenbasis repräsentativ und belastbar ist. Dieses stellt oftmals einen kritischen Punkt in der SFA dar. Als Problemlösung hat sich, neben der Validierung der eingesetzten Daten die Durchführung einer Sensitivitätsbetrachtung bewährt. Im Rahmen dieser Sensitivitätsbetrachtung werden die verwendeten Datengrundlagen variiert, z.B. Wahl der Transferfaktoren in Abhängigkeit vom jeweiligen Standard der betrachteten Anlage. Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung kann beispielsweise die Bandbreite vorhandener Anlagen durchgerechnet werden. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen dann, wie sensibel das Gesamtergebnis auf derartig veränderte Inputdaten reagiert.

Für den Fall der Messungen an Anlagen bietet die SFA ein probates Kontrollmittel, um die Belastbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu prüfen. Die Messergebnisse können zu Stoffbilanzen umgerechnet werden. Da die Stoffbilanzen aufgehen *müssen*, also die Summe des Input auch als Summe des Outputs wieder auftauchen muss, ergibt sich hierüber eine Kontrolle der Messergebnisse. Sollten zu große Bilanzdifferenzen auftreten, kann dies ein Hinweis auf Messungenauigkeiten oder Messfehler sein, kann aber auch ein Hinweis darauf sein, dass der Prozess sich noch nicht im Gleichgewicht befand. Unabhängig von der Ursache für die beobachtete Bilanzdifferenz sind derartige Daten dann zu verwerfen.

Die SFA ist aber auch für übergeordnete abfallwirtschaftliche Planungen ein sehr gut geeignetes Instrument. Nach NUP [6] ergeben sich für die Zukunft folgende Problemstellungen für Österreich:

- Wie kann die Bewirtschaftung von Abfällen ergänzt bzw. abgelöst werden durch eine allgemeine Steuerung von Güter- und Stoffflüssen nach den Kriterien der langfristigen Umweltverträglichkeit und der optimalen Rohstoffnutzung?
- Welche spezifischen Aufgaben der Verwertung und Entsorgung verbleiben der Abfallwirtschaft am „hinteren Ende“ des Systems der Stoffnutzung?



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Der NUP setzt als Lösung auf die Stoffbuchhaltung:

*Die Stoffbuchhaltung ermöglicht die Früherkennung von Rohstoffpotentialen und Umweltbelastungen, sie erlaubt Prioritäten zu setzen für Maßnahmen des Umweltschutzes, der Ressourcenplanung und der Abfallwirtschaft, und sie ist eine Grundlage für UVP, Ökobilanz und die Produktegestaltung nach ökologischen Gesichtspunkten.*

Auf Basis nationaler Stoffbilanzen können mittels Stoffflussanalyse verschiedene Entwicklungsszenarien, die Wege und Verbleib von Schadstoffen variieren, durchgespielt werden. Diese Varianten bieten der Politik eine solide Basis, um langfristige Planungen für die Ressourcenbewirtschaftung des eigenen Landes vornehmen zu können. Wie die Studie für das deutsche Bundesland Baden-Württemberg gezeigt hat, können mit Hilfe der SFA für gesamte Entsorgungsräume oder für Wirtschaftszweige Wege und Verbleib von Schadstoffen je nach gesetzten politischen Randbedingungen naturwissenschaftlich prognostiziert werden.

Beispielsweise ist die Frage, ob ein Wirtschaftszweig wie die Zementindustrie oder die Energiewirtschaft zukünftig einen deutlich größeren Anteil der im Bestand befindlichen bzw. daraus ausscheidenden Schadstoffe übernehmen will oder darf, für die Wirtschaft selbst und für die Politik von großer Tragweite.

Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall und Restabfall stellen eine Senke für viele Schadstoffe, vor allem Schwermetalle dar. Regelbrennstoffe von Feuerungsanlagen und Zementwerken weisen zumeist eine deutlich niedrigere Belastung mit Schwermetallen auf als die genannten Abfälle und daraus erzeugten Ersatzbrennstoffe. Die Möglichkeiten zur gezielten Schadstoffentfrachtung durch Aufbereitung von Restabfällen oder daraus abgetrennter heizwertreicher Fraktion sind gering bis begrenzt [45]. Die mit dem Ersatzbrennstoff eingebrachte erhöhte Schadstofffracht wird in den genannten Anlagen überwiegend in das Produkt Klinker/Zement oder in Abgasreinigungsrückstände wie Kraftwerksflugaschen, die u.a. als hydraulischer Zuschlagstoff bei Spezialzementen verwertet werden, gelangen. Über Bauprodukte werden damit erhebliche Schadstofffrachten wieder in der Umwelt verteilt. Eine Rückholung, z.B. beim Baustoffrecycling, ist derzeit nicht möglich. Vielmehr ist davon auszugehen, dies belegen Untersuchungen zur Verfügbarkeit von Schadstoffen aus Baustoffen, dass je nach Milieubedingungen diese Schwermetalle aus den Bauprodukten wieder in die Umwelt gelangen können [45]. Diese Schadstofffeinverteilung (Dissipation) ist irreversibel.



# Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



Mit den in Produkten und der Umwelt verteilten Stofflasten von heute sind die zukünftigen Generationen de facto einiger ihrer Gestaltungsmöglichkeiten beraubt. Eine nachhaltige Entwicklung im Brundtland'schen Sinne – eine Entwicklung, „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ – erfordert, dass Schadstoffe nicht weiter in der Umwelt verteilt, sondern in geeigneten Medien konzentriert und dann in Endlagerstätten überführt werden. Für eine derartige nachhaltigkeitsorientierte Steuerung von nationalen Stoffflüssen ist die Stoffflussanalyse das Instrument der Wahl.

## 7 Quellenverzeichnis

- [1] Meadows D., Meadows D., Zahn E., Milling P.: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. rororo Nr. 6825, 1973
- [2] Bechmann A., Michelsen G.: Global Future. Es ist Zeit zu handeln. Öko-Institut Freiburg, 1981
- [3] Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.) Internet-Lexikon Nachhaltigkeit [www.nachhaltigkeit.info](http://www.nachhaltigkeit.info)
- [4] Hauff V. (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp, 1987
- [5] Agenda 21 in deutscher Übersetzung <http://www.oneworldweb.de/agenda21/>
- [6] Nationaler Umwelt Plan (NUP), Abschnitt 5.3.1. Stoffbuchhaltung. <http://www.cedar.at/data/nup/nup-german/nup32.html#5>
- [7] Nationaler Umwelt Plan (NUP), Abschnitt 5.3.2. Bessere Verwertung und Entsorgung.
- [8] Baccini P., Brunner P.H.: Metabolism of the Anthroposphere. Springer-Verlag, Heidelberg, 1991
- [9] Rechberger H.: Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft. Wiener Mitteilungen Wasser \* Abwasser \* Gewässer Band 158, Wien 1999
- [10] Schachermayer E., Bauer G., Ritter E., Brunner P.H.: Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. Bundesministerium für Umwelt, Wien: Monographien, Bd. 56, 1995
- [11] Morf L., Ritter E., Brunner P.H.: Güter- und Stoffbilanz der MVA Wels, ÖWAV-Bericht, 1997, TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, A-1040 Wien





## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



- [12] Morf L., Ritter E., Brunner P.H., TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft: Online-Messung der Stoffbilanz auf der MVA Spittelau. Phase B – Messjahr 2001, im Auftrag der MA 22 und 48 der Stadt Wien und der Fernwärme Wien GmbH
- [13] Schachermayer E., Lahner T., Brunner P.H.: Stoffflussanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen. UBA Wien, Monographien Band 99, Wien 1998
- [14] Gerger W., Kritzing F.: Berechnung der Transferkoeffizienten für Stoffe aus Brennstoffen für die Klinkererzeugung der Gmundner Zementwerke. Technischer Bericht, Dion Nr. 1/99 der TU Wien, zit. in Fehring R., Rechberger H., Brunner H.P. (PRIZMA), 1999
- [15] Harant M.: Stoffflussanalyse bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung. Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Februar 1999
- [16] Harant M., Nelles M., Hofer M., Lorber K.E., Raninger B.: Stoffflussanalyse bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. Schriftenreihe Abfall-Umwelt, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, 1999
- [17] Zeschmar-Lahl B.: Stoffflussanalyse an einer mechanischen Aufbereitungsanlage - Eintrag und Verbleib von Chlor und Metallen. Fachtagung Mechanisch-biologische Abfallbehandlung, Berlin, 2./3.12.2003; Tagungsprogramm: <http://www.vivis.de/Tagungen/Programm/inhaltprogramm.htm>
- [18] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Richtlinie Entsorgung von Abfällen in Zementwerken. April 1998. [http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/abfall/zementwerkrichtlinie\\_d.pdf](http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/abfall/zementwerkrichtlinie_d.pdf)
- [19] Friedrich H., Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: Die Stoffflussanalyse (SFA) als neues Instrument der abfallrechtlichen Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Entsorgungsmaßnahmen in immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen. Müll und Abfall 2, 83 – 94, 2001
- [20] Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: Emissionsprognose für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen im geplanten Heizwerk Mindener Industriehafen. Studie erstellt im Auftrag von ENERGOS ASA, 13.03.2000
- [21] Flamme S., Walter G. (beide INFA GmbH, Ahlen), Zeschmar-Lahl B., Lahl U. (beide BZL GmbH, Oyten): Wissenschaftliche Beratung bei der Genehmigung der ConTherm-Anlage der VEW AG, im Auftrag des MURL (jetzt MUNLV) NRW und der VEW Energie AG/Edelhoff Umweltservice GmbH & Co. KG, März, 2000





## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



- [22] Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: Abschlußbericht Stoffflussanalyse für einen Antrag nach BImSchG – BE 80-1 – Ausbaustufe II, neues Kraftwerk. Auftraggeber: PFLEIDERER Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG. Oyten, den 30.03.2001
- [23] Zeschmar-Lahl B.: Stoffflussanalyse für einen Antrag nach BImSchG – Gemeinschaftskraftwerk Weser. Auftraggeber: Gemeinschaftskraftwerk Weser GmbH (GKW), Veltheim, Oyten, den 15.05.2002
- [24] Prognos AG, Berlin: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kraft- und Kalkwerken. Hrsg.: MUNLV NRW, September 2003
- [25] Fehringer R., Rechberger H., Pesonen H.-L., Brunner P.H.: Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA), im Auftrag der ARGE Thermik, Wien, November 1997
- [26] Fehringer R., Rechberger H., Brunner P.H.: Positivlisten für Reststoffe in der Zementindustrie: Methoden und Ansätze (PRIZMA). Endbericht, im Auftrag der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie. Wien, Dezember 1999
- [27] Lahl U., Zeschmar-Lahl, B., Weiler, C.: Studie zu den abfallwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der im Arbeitsentwurf einer Abfallverwaltungsverfahren (AbfallVwV) vertretenen Rechtspositionen. Studie im Auftrag des UVM Baden-Württemberg. August 2000. [http://www.bzl.info/files/pdf/DPU\\_BZL-16.08.2000.pdf](http://www.bzl.info/files/pdf/DPU_BZL-16.08.2000.pdf)
- [28] Arbeitsentwurf für eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallbegriff sowie zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 02.12.1999
- [29] MURL NRW: Arbeitshilfe Hochwertige und schadlose Verwertung für gewerbliche und industrielle Abfälle. Düsseldorf, März 2000, und darauf aufbauend: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Düsseldorf: Arbeitshilfe Stoffflussanalyse für abfallrechtliche Beurteilungsfragen bei Genehmigungsanträgen zur Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen. Juli 2000
- [30] Lahl U., Zeschmar-Lahl B., Angerer T.: Entwicklungspotenziale der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Eine ökologische Analyse. Umweltbundesamt, Wien; Monographien, Band 125, Juni 2000
- [31] Ragossing, A., Nelles, M., Tesch, H., Hofer, M., Lorber, K.E.: Restabfallsplitting bzw. Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV) im AWZ Halbenrain. Montanuniversität Leoben, August, 1999
- [32] Datenbank ABANDA des LUA NRW, Entsorger, DPU



## Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

11. November 2003 in der WKÖ



- [33] BZL GmbH: Umfrage unter den MVA-Betreibern in Baden-Württemberg. Schreiben vom 21.03.2000 und entsprechende Antwortschreiben
- [34] Lahl U.: Entscheidungshilfen durch stoffstromanalytische Betrachtungen bei der Bewertung von abfallwirtschaftlichen und immissionsschutzrechtlichen Maßnahmen. Habilitationsschrift, Technische Universität Darmstadt, April 2001
- [35] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen. Artikel 2 – Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen – (30. BImSchV).
- [36] Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: TOC-Grenzwerte (Eluat) für das nachsorgearme Deponieren von Restabfällen. Bewertung von Eluaten und Sickerwässern (organische Stoffe) aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und der anschließenden Deponierung der Reststoffe/vorbehandelten Abfälle. ATV-Projekt Nr. 26/97, Dezember, 1997
- [37] Zeschmar-Lahl B., Jager J., Ketelsen K., Lahl U., Scheidl K., Steiner M., Heckmann A.: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Europa. Hrsg.: VKS e.V., A.S.A. e.V., Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 2000
- [38] aus: Harant M: „Stoffflussanalyse bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung“, Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Februar, 1999
- [39] gerechnet nach Nelles, Harant, Hofer et al: Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponie. Montanuniversität Leoben. Leoben, 1997
- [40] Mittelwert aus Untersuchungen von Ketelsen et al. (IBA Hannover): 22 Proben. Pers. Mitteilung, März, 2000
- [41] White, P.R., Franke, M., Hindle, P.: Integrated solide waste management – a lifecycle inventory. Blackie Academic & Professionals 1995
- [42] Zimmermann, P., et al.: Ökoinventare von Entsorgungsprozessen – Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen. ETH Zürich, ESU-Reihe 1/96
- [43] IFEU: Vergleich der Auswirkungen verschiedener Verfahren der Restabfallbehandlung auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, Heidelberg, 1992
- [44] Gallenkemper, B., Braungart, M. et al.: Untersuchung zur Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Substitut-Brennstoffen. Rethmann Entsorgung, Dieselstr. 3, 44805 Bochum, 1999
- [45] Zeschmar-Lahl B.: Schadstoffanreicherung im Erzeugnis aufgrund des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken und Feuerungsanlagen – erforderliche Reglementierungen aus der Sicht des technischen Umweltschutzes. Dissertation, TU Berlin, Juli 2003