

UBA-BE-027

**MACHBARKEITSSTUDIE  
STOFFBUCHHALTUNG  
ÖSTERREICH**

BERICHTE



**Machbarkeitsstudie  
Stoffbuchhaltung  
Österreich**

**Paul H. Brunner  
Hans Daxbeck  
Richard Obernosterer  
Elisabeth Schachermayer**

**UBA-BE-027**

Wien, März 1995

Bundesministerium für Umwelt



Projektleitung: Umweltbundesamt, Walter Maderner

**Impressum:**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, März 1995

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-221-2

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde die Notwendigkeit und die Machbarkeit einer "Stoffbuchhaltung Österreich" untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Erfahrungen, die international und in Österreich zu diesem Thema gewonnen wurden, zusammengefaßt und ausgewertet.

Folgende Resultate wurden erhalten:

Die bisherigen Erfahrungen mit *Stoffflußanalysen* zeigen, daß die *Stoffbuchhaltung* eine gute *Unterstützung für einen effizienten Umweltschutz und für eine optimale Rohstoffnutzung* ist. Sie bildet die Grundlage für eine nach ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgerichtete Steuerung von Stoffflüssen.

Die Stoffbuchhaltung besteht aus einer systematischen Fortschreibung der auf das Notwendigste reduzierten Stoffflußanalyse. Zurzeit gibt es weder ein erprobtes Rezept für die Stoffbuchhaltung, noch ist dieses Instrument auf betrieblicher, regionaler oder nationaler Ebene in Gebrauch. Der notwendige erste Schritt zur Stoffbuchhaltung, die Stoffflußanalyse, ist hingegen bereits eine bewährte Methode zur Lösung vielfältiger Aufgaben. Aufgrund der Erfahrungen mit der Stoffflußanalyse können für die Stoffbuchhaltung folgende Anwendungsbereiche definiert werden:

Die Stoffbuchhaltung ist eine Basis für

- das Erstellen von Plänen für den Umweltschutz (z.B. Abfallwirtschaftspläne des Bundes und der Länder, Nationaler Umweltplan),
- die Prüfung der Umweltverträglichkeit von Prozessen in einer Region (welches ist der anthropogene Beitrag zu den natürlichen Stoffflüssen einer Region?),
- Ökobilanzen: Mit Hilfe der Stoffbuchhaltung ist die Einbettung eines Produktes oder eines Verfahrens in die gesamten Stoffströme einer Region erst möglich,
- Ökodesign: Die Stoffbuchhaltung ist ein wesentliches Hilfsmittel für die Erarbeitung von Kriterien für umweltgerechte Produkte und deren ressourcenschonende und umweltverträgliche Produktion.

Die in den vorliegenden Studien zusammengefaßten Erfahrungen erlauben den Schluß, daß *eine Stoffbuchhaltung für Unternehmen, Regionen und Nationen machbar* ist. Sie ermöglicht:

- das rechtzeitige Erkennen von zukünftigen Belastungen und Änderungen der Rohstoffpotentiale (Früherkennung),
- das Setzen von Prioritäten im Umweltschutz und bei der Bewirtschaftung von Abfällen und Rohstoffen (Prioritätensetzung, Ressourcenschonung) und
- die Kontrolle der Effizienz von bereits getroffenen Maßnahmen (Erfolgskontrolle).

Allerdings sind noch zahlreiche methodische, organisatorische und logistische Fragen offen, sodaß das Erstellen einer nationalen Stoffbuchhaltung noch als Neuland bezeichnet werden muß. In naher Zukunft ist damit zu rechnen, daß infolge der Aktualität des Themas die bereits vorhandenen methodischen Ansätze weiterentwickelt werden und wesentliche Fortschritte auf dem Gebiet der Stoffbilanzierung gemacht werden. Derzeit sind folgende Grenzen für den Einsatz einer Stoffbuchhaltung sichtbar:

- Es ist nicht möglich, für alle Stoffe eine Buchhaltung zu führen. Es ist daher eine Auswahl zu treffen. Mögliche Kriterien sind Schutz der Umwelt und Nutzung der Ressourcen.
- Derzeit ist die Datenlage schwierig. Einerseits sind die Daten noch nicht verfügbar oder andererseits aus Datenschutzgründen nicht öffentlich zugänglich.
- Die Stoffbuchhaltung ist eine notwendige, wichtige Grundlage für Umweltverträglichkeitsprüfungen oder Ökobilanzen. Sie ist jedoch keine Wirkungsanalyse und kann diese nicht ersetzen.
- Die Wirtschaft verfügt über den Großteil der Daten über Güter und Stoffe und besitzt damit eine Schlüsselstellung für eine erfolgreiche Stoffbuchhaltung. Sie muß deshalb von der Sinnhaftigkeit und Brauchbarkeit dieses Instruments überzeugt werden.

Das methodische Vorgehen bei die Erstellungen von Stoffbuchhaltungen kann in sechs Schritten skizziert werden:

1. Auswahl der Stoffe, Bildung einer Arbeitsgruppe und Formulierung der Ziele und Fragestellungen
2. Erstellung einer Stoffflußanalyse
3. Ausarbeitung eines Meßprogrammes
4. Führung der Stoffbuchhaltung
5. Darstellung der Ergebnisse mittels Stoffflußdiagrammen
6. Festlegung des weiteren Vorgehens und der Art der Fortschreibung der Daten

Aufgrund der Ergebnisse dieser sechs Schritte können Vorschläge zur Steuerung des nationalen Stoffhaushaltes ausgearbeitet werden, wobei die Erfahrungen und Kenntnisse der Arbeitsgruppe "Stoffbuchhaltung" miteingebunden werden sollen.

Nachdem in den letzten Jahren Stoffbilanzen zunehmend an Bekanntheit und Bedeutung gewonnen haben, sind nun die Anstrengungen in Richtung Implementierung von betrieblichen, regionalen und nationalen Stoffbuchhaltungen zu verstärken. Es ist jedoch schon von Beginn an darauf zu achten, daß die Durchlässigkeit der Daten über alle Ebenen und schlußendlich auch über die Staatsgrenzen hinweg gegeben ist. Relativ rasch ist auch darauf zu achten, daß internationale Kontakte sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf statistischer Ebene geknüpft werden, um einen Standardisierungsprozeß einzuleiten. Weiters sind die geeigneten EDV-Hilfsmittel auszuwählen oder zu entwickeln.

Als weiteres Vorgehen schlagen die Autoren vor, die Stoffbuchhaltung anhand einzelner Beispiele zu entwickeln, auszutesten und zu optimieren. Es wird vorgeschlagen, anhand dreier Beispiele (Zink, Quecksilber oder PCB's), die von den untersuchten Stoffen her unterschiedliche Anforderungen stellen, eine Stoffbuchhaltungsmethodik einzuführen.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Inhaltsverzeichnis.....	iii
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Ziel und Fragestellungen .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Vorgehen .....</b>	<b>2</b>
<b>4. Begriffe und Methodik .....</b>	<b>3</b>
4.1 Definitionen der verwendeten Begriffe .....	5
4.2 Methodisches Vorgehen bei der Erstellung von Stoffflußanalysen .....	7
4.3. Methodisches Vorgehen bei der Erstellung von Stoffbuchhaltungen .....	9
<b>5. Literaturzusammenstellung ausgewählter Stoffhaushaltsstudien .....</b>	<b>13</b>
<b>6. Ergebnisse bereits durchgeführter Studien und ihre Bedeutung für eine nationale Stoffbuchhaltung .....</b>	<b>17</b>
6.1. Betriebliche Stoffflußanalysen .....	17
6.1.1 MAPE - Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage.....	17
6.1.1.1 Folgerungen aus der Studie "MAPE" für die Stoffbuchhaltung .....	24
6.1.2 Die Studie "Hamburger" - Die Bedeutung eines altpapierverarbeitenden Betriebes für die Stoffbilanz einer Industrieregion.....	25
6.1.2.1 Folgerungen aus der Studie "Hamburger" für die Stoffbuchhaltung .....	29
6.2 Regionale Stoffflußanalysen .....	29
6.2.1 METAPOLIS - Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt .....	30
6.2.1.1 Folgerungen aus der Studie "METAPOLS" für die Stoffbuchhaltung .....	37
6.2.2 RESUB Boden - Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit meßbarem Ein- und Austrag .....	38

6.2.2.1 Folgerungen aus der Studie "RESUB Boden" für die Stoffbuchhaltung .....	42
6.3 Nationale Stoffflußanalysen .....	42
6.3.1 Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (FCKW) .....	43
6.3.1.1 Folgerungen aus dem Beispiel "FCKW" für die Stoffbuchhaltung .....	53
6.3.2 Cadmium .....	55
6.3.2.1 Folgerungen aus dem Beispiel "Cadmium" für die Stoffbuchhaltung .....	59
6.3.3 Nonylphenole .....	60
6.3.3.1 Folgerungen aus dem Beispiel "Nonylphenol" für die Stoffbuchhaltung .....	62
<b>7. Folgerungen aus den bisherigen Erfahrungen:Möglichkeiten und Grenzen .....</b>	<b>63</b>
<b>8. Weiteres Vorgehen .....</b>	<b>66</b>
<b>9. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>70</b>

## 1. Einleitung

Umweltschutzmaßnahmen der ersten Generation waren in erster Linie "Filter" an der Grenze Anthroposphäre<sup>1</sup> - Umwelt. Diese Maßnahmen bewirkten, daß die Belastungen von Gewässern, Böden und der Luft reduziert werden konnten. Allerdings zeigten die Erfahrungen auch, daß trotz beachtlicher Teilerfolge das hochgesteckte Ziel einer langfristig umweltverträglichen und rohstoffschonenden Wirtschaftsweise noch nicht erreicht ist. Ein wesentlicher Nachteil der "Filter"-Strategie besteht darin, daß wohl die einen Probleme gelöst werden, jedoch neue Probleme (in Form des unausweichlichen "Filterrückstands") entstehen. Klassische Beispiele sind der Klärschlamm als Produkt der Abwasserreinigung oder die Filterstäube als Produkte der Abgasreinigung von Müllverbrennungsanlagen.

### **Neue Generation von Umweltschutzmaßnahmen:**

An den Umweltschutz der zweiten Generation werden neue, höhere Anforderungen gestellt: Belastungen, Knappheiten und Anreicherungen sollen frühzeitig erkannt werden. Der Blick soll nicht mehr nur auf die Umwelt gerichtet sein, sondern die Anthroposphäre und deren Stoffwechsel soll prioritär in die Analyse miteinbezogen werden. In Zukunft soll die Frage nach dem umweltverträglichen regionalen Stoffhaushalt im Zentrum stehen: Wie kann eine Region ihren anthropogenen und natürlichen Stoffhaushalt so steuern, daß sowohl die Umweltverträglichkeit als auch die Ressourcennutzung langfristig gewährleistet werden? Ein solcher Ansatz gewährleistet, daß Belastungen nicht einfach von einer Phase in die andere verschoben werden (Luft → Wasser oder Wasser → Boden usw.). Er ermöglicht, daß die vorhandenen Mittel mit größtmöglicher Wirkung eingesetzt werden (Prioritätensetzung für die Reduktion von Belastungen nach der *Wirkung von Maßnahmen*).

### **Ökologisch orientierter Stoffhaushalt:**

Um den Stoffwechsel einer Region im Sinne einer *Strategie des ökologisch orientierten Stoffhaushaltes* zu steuern, sind neue Instrumente erforderlich. Als erstes ist ein umfassendes Wissen über die Quellen, Transportwege und Senken von Stoffen notwendig (wobei sich das Wort "umfassend" nicht auf eine erschöpfende Bestandsaufnahme sondern auf die gesamthafte, äquivalente Betrachtung von Anthroposphäre, Wasser, Boden und Luft bezieht). Neuere Untersuchungen haben den Wert dieses Wissens für die Steuerung von regionalen Stoffflüssen gezeigt. Deshalb stößt die Idee einer regionalen und nationalen Stoffbuchhaltung auf ein großes Interesse. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Mensch und Umwelt" überlegt sich beispielsweise anhand von Expertenhearings, ob sie die Stoffbuchhaltung im Rahmen der Verordnungen über die Kreislaufwirtschaft als Umweltschutzinstrument einführen soll.

### **Bundesabfallwirtschaftsplan, Nationaler Umweltplan:**

In Österreich wurde die Stoffbuchhaltung anlässlich des Bundesabfallwirtschaftsplanes in die Diskussion eingeführt. Bekanntlich sind die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes *stofflicher*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Anthroposphäre: Der Bereich des Menschen, in dem die menschlichen Aktivitäten wie wohnen, arbeiten, sich ernähren, Freizeit usw. stattfinden.

<sup>2</sup> Ein *Stoff* ist ein Element (Stickstoff) oder seine chemische Verbindung (Nitrat). Ein *Gut* besteht aus Stoffen und ist handelbar, es hat einen positiven (Personenwagen) oder negativen (Klärschlamm) ökonomischen Wert.

Natur: Der Schutz des Menschen und der Umwelt wie auch die Schonung von Rohstoffen und Energie sind an den Gebrauch der *Stoffe* Stickstoff, Phosphor, Kohlenstoff, Eisen, Zink, Blei usw. gebunden; die *Güter*, wie Nahrungsmittel, Treibstoffe, Abfälle usw. sind als Umweltbelastung und Ressource nur insofern wichtig, als sie Träger von Schadstoffen und Rohstoffen sind. Um Umweltschutzmaßnahmen zu planen, ist die Information über *Güterflüsse* nicht ausreichend. Notwendig ist die Kenntnis der *Stoffe* in den Gütern. Im Abfallwirtschaftsplan können nur dann Umweltbelastungen und Ressourcenpotentiale rechtzeitig erkannt und effiziente Maßnahmen vorgeschlagen werden, wenn *stoffliche* Informationen zu den jetzt bereits vorhandenen Daten über *Güter* hinzukommen.

Das Umweltbundesamt und das Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien kamen deshalb überein, in einer Studie die Notwendigkeit, die Machbarkeit, die Wissenslücken und den Forschungsbedarf sowie die Randbedingungen für die Durchführung einer nationalen Stoffbuchhaltung zu untersuchen. Als Resultat soll auch ein Vorschlag für ein Folgeprojekt zur Schließung der Wissenslücken und zur Implementierung der Stoffbuchhaltung ausgearbeitet werden.

## 2. Ziel und Fragestellungen

Das *Ziel* des Vorprojektes besteht darin, die *Notwendigkeit* und die *Machbarkeit* einer "Stoffbuchhaltung Österreich" zu prüfen. Im Rahmen dieses Vorprojektes sollen folgende *Fragen* beantwortet werden:

1. Was versteht man unter einer Stoffbuchhaltung?
2. Warum ist eine Stoffbuchhaltung Österreich notwendig?
3. Ist eine Stoffbuchhaltung Österreich machbar?
4. Welche Ergebnisse sind von der Stoffbuchhaltung auf betrieblicher, regionaler und nationaler Ebene zu erwarten?
5. Wo liegen die Grenzen der Stoffbuchhaltung bezüglich Methodik und Aussagekraft?
6. Sind bereits geeignete Methoden vorhanden, um diese Stoffbuchhaltung durchführen zu können und in welchen Fällen sind neue Methoden zu entwickeln (Wissenslücken)?
7. Welche Rahmenbedingungen sind für die Erstellung einer Stoffbuchhaltung notwendig und welche sind schon vorhanden bzw. welche müssen noch gesetzt werden?
8. Wie müßte ein Forschungsprogramm "Stoffbuchhaltung Österreich" aussehen?

## 3. Vorgehen

Laut Vertragsvereinbarung zwischen dem Umweltbundesamt und dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft sind ein Zwischen- und ein Endbericht zum Vorprojekt zu erstellen.

Zur Beantwortung der Fragen wird auf internationale Literatur, Berichte und eigene Arbeiten über bereits durchgeführte Stoffflußanalysen zurückgegriffen. Es werden keine neuen Stoffflußanalysen und keine eigenen Messungen durchgeführt. Eine Literaturrecherche wurde durchgeführt; sie ist in Kapitel 5 zusammengefaßt.

Aufbauend auf langjährige Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet werden gegenwärtig am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien zwei weitere Arbeiten zu diesem Themenbereich durchgeführt, die zusammen ein Ganzes bilden. Eine Literaturstudie für die Wiener Internationalen Zukunftskonferenz - WIZK '94 mit dem Thema "**Die Stoffflußanalyse als Instrument für eine nachhaltige urbane Entwicklung**" und eine Diplomarbeit mit dem Thema "**Vergleich der methodischen Ansätze von Stoffhaushaltsstudien**". In der Literaturstudie sollen aufgrund des vorhandenen Wissens die Methodik, die Anwendbarkeit und die zukünftigen Möglichkeiten der Stoffflußanalyse als Instrument zur Steuerung des Stoffwechsels einer Stadt vorgestellt werden. In der Diplomarbeit werden nationale und internationale Studien miteinander verglichen, um die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede der einzelnen Güter- und Stoffbilanzen herauszuarbeiten.

#### 4. Begriffe und Methodik

Die Stoffbuchhaltung ist als integraler Bestandteil einer gesamten Stoffwirtschaft zu betrachten (siehe Abbildung 1). Eine *Stoffwirtschaft* basiert auf langfristig orientierten Zielen, wie sie beispielsweise im Abfallwirtschaftsgesetz formuliert wurden oder auch in der Diskussion über "Nachhaltigkeit" verfolgt werden. Die Kernaussagen dieser Ziele sind: 1. Schädigende Einwirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen und deren natürliche Umwelt sind so gering wie möglich zu halten (vorbeugender *Umweltschutz*). Die vom Menschen verursachten Stoffflüsse dürfen die globalen Flüsse und Speicher in der Umwelt auch langfristig nicht wesentlich verändern und 2. Die Rohstoff- und Energiereserven sind zu schonen (*Ressourcenschonung*). Das bedeutet, daß neben einem sorgsamem Umgang mit den natürlichen Ressourcen, jenen Stoffen die gegenwärtig in der Anthroposphäre eingebaut sind, eine größere Aufmerksamkeit gewidmet werden muß, da sie als ein potentielles anthropogenes Rohstofflager betrachtet werden können. Um diese Ziele erfüllen zu können, ist eine Bewirtschaftung der Stoffe notwendig. In diese Bewirtschaftung müssen naturwissenschaftliche, technische, wirtschaftliche, soziale, gesellschaftliche und weitere Aspekte einfließen. In der vorliegenden Arbeit stehen die naturwissenschaftlichen Gesichtspunkte im Vordergrund.

Eine Bewirtschaftung von Stoffen bedingt, daß zuerst die Stoffflüsse bekannt sind. Eine Möglichkeit, die Stoffflüsse zu bestimmen, ist die Methode der *Stoffflußanalyse*. Mit dieser Methodik können Stoffbilanzen sowohl von Betrieben als auch von Regionen oder Nationen erstellt werden. Stoffbilanzen erlauben die für eine bestimmte Fragestellung wichtigsten Güter- und Stoffflüsse zu identifizieren. Sie bilden eine gute Grundlage, um die Güter- bzw. Stoffflüsse zu planen und kurzfristig zu steuern, d.h. den Zielen konforme Maßnahmen zu setzen.

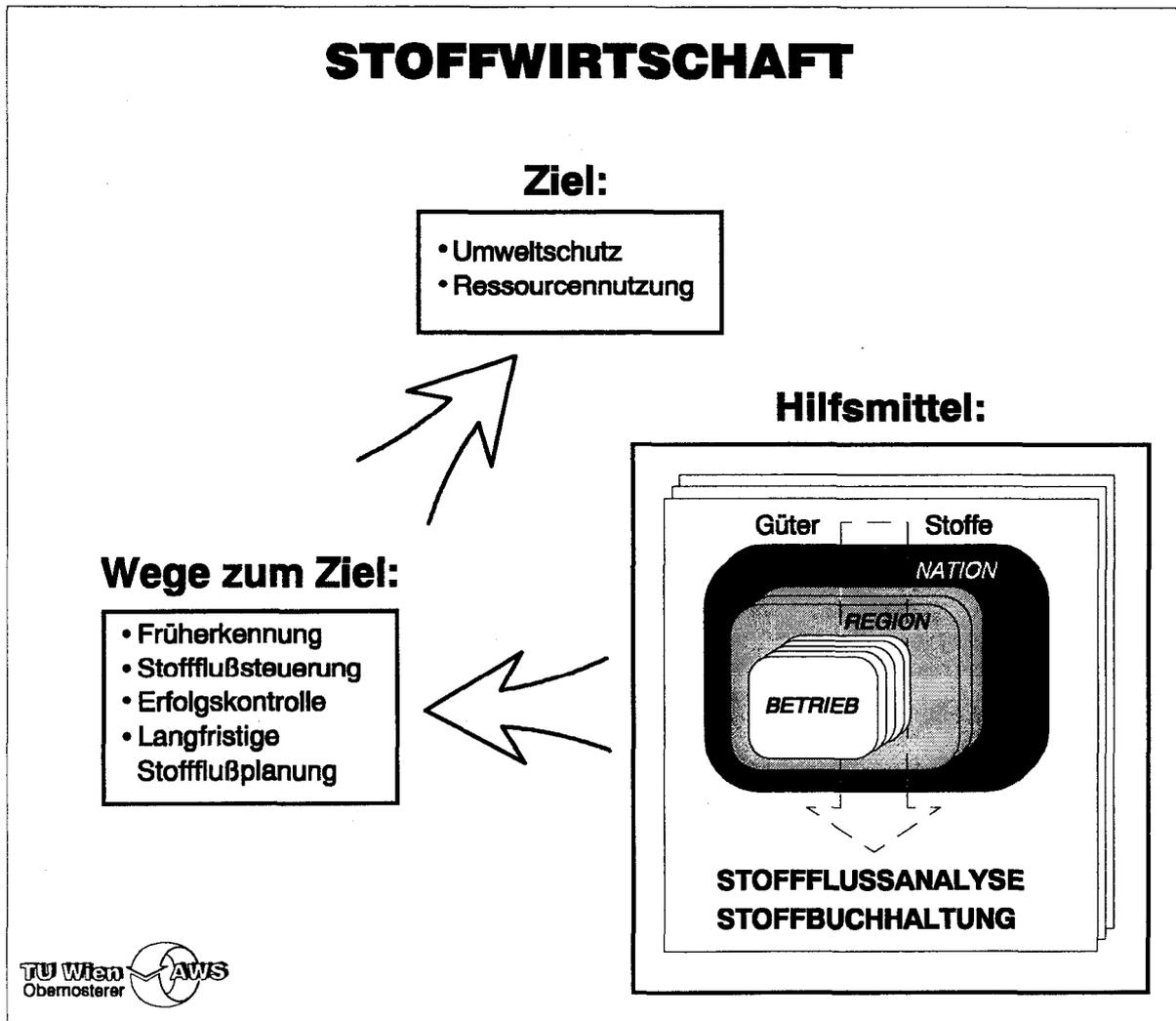


Abb. 1: Die Stellung der Stoffbuchhaltung in der gesamten Stoffwirtschaft

Die Planungen und Maßnahmen einer Stoffwirtschaft müssen sich an die Zielen "Schutz des Menschen und der Umwelt" und " langfristige Ressourchenschonung" orientieren. Um die Ziele erreichen zu können und Maßnahmen zur Zielerreichung bzw. Kontrolle setzen zu können, sind geeignete Methoden zu entwickeln und zur Verfügung zu stellen. In der Stoffwirtschaft sind neben naturwissenschaftlichen Aspekten zusätzliche zu berücksichtigen (z.B. wirtschaftliche, soziale, gesellschaftliche, technische, usw.).

Das Problem bei einmalig durchgeführten Stoffflußanalysen besteht darin, daß sie im allgemeinen jedoch nicht ausreichen, um einerseits sich abzeichnende, zukünftige Probleme erkennbar zu machen, d.h. Früherkennung zu ermöglichen, und andererseits ist die Wirkung von bereits getroffenen Steuerungsmaßnahmen nicht überprüfbar.

Natürlich ist es möglich, mit jeweils neuen Stoffflußanalysen eine Erfolgskontrolle von getroffenen Entscheidungen durchzuführen bzw. Früherkennung zu betreiben. Da einmalig durchgeführte Stoffflußanalysen einen relativ hohen Zeit- und Geldbedarf verursachen, ist es notwendig, neue Methoden zu entwickeln, welche mit einem vertretbaren Aufwand die

gewünschten Informationen liefern. Mit der Methode der "*Stoffbuchhaltung*" soll ein Instrument entwickelt werden, welches einen Lösungsansatz für die oben genannten Problembereiche gibt.

In einer Stoffbuchhaltung sollen die jeweils stoffrelevanten Daten der Schlüsselprozesse periodisch erfaßt und aufbereitet werden, um auf diese Art und Weise quasi "on-line" Systemveränderungen zeitgerecht erkennen und darauf reagieren zu können. Aufgebaut wird dabei auf den Ergebnissen einer Stoffflußanalyse, in der die, für einen bestimmten Stoff relevanten, Güter und Prozesse identifiziert wurden. Bei optimaler Ausnützung der Redundanz des Stoffflußsystems (die vielen Prozesse sind miteinander verknüpft und gehorchen dem Massenerhaltungsgesetz) muß nicht mehr die gesamte Stoffflußanalyse wiederholt werden. Es genügt, an strategisch wichtigen Stellen periodisch zu messen, um den gesamten Stoffhaushalt zu beobachten. Die Ergebnisse der Stoffbuchhaltung werden schlußendlich graphisch aufbereitet und beispielsweise wieder in Form eines Stoffflußdiagrammes dargestellt und veröffentlicht.

In den folgenden Kapiteln werden die verwendeten Begriffe definiert und das methodische Vorgehen bei der Erstellung einer Stoffflußanalyse bzw. einer Stoffbuchhaltung vorgestellt.

#### 4.1 Definitionen der verwendeten Begriffe

Analog zum Stoffwechsel eines biologischen Organismus, wie einer Zelle, einer Pflanze oder eines Tieres, kann auch bei einer Region (Nation) von einem Metabolismus gesprochen werden. Der Metabolismus oder Stoffhaushalt der Anthroposphäre dient neben der Energiegewinnung, dem Aufbau und der Erhaltung der ruralen und urbanen Infrastruktur auch der Informationsgewinnung und der Bewahrung und Weiterentwicklung der Kultur.

Unter einem Stoff versteht man ein Element des Periodensystems (z.B. Stickstoff, Kohlenstoff) oder eine chemische Verbindung wie zum Beispiel Ammonium, Benzol oder Trinkwasser. Güter bestehen aus einem oder mehreren Stoffen und sind handelbare Substanzen. Sie haben einen Handelswert, dieser kann positiv (z.B. Personenwagen, Trinkwasser) oder negativ (z.B. Klärschlamm, Hausmüll) sein. Wir unterscheiden Güterflüsse mit der Einheit Masse pro Zeit und Güterfluxe mit der Einheit Masse pro Zeit und Querschnitt. Als Querschnitt kann zum Beispiel eine Fläche (Region), ein Einwohner, ein Haushalt oder dergleichen definiert werden. Ein Prozeß bezeichnet den Transport, die Lagerung oder die Transformation von Gütern oder Stoffen. Der Prozeß selbst wird als "Black Box" verstanden, d.h. die Vorgänge innerhalb des Prozesses werden im allgemeinen nicht untersucht. Eine Ausnahme stellt jedoch ein etwaiges Lager bzw. dessen Veränderung dar. Ein Lager entsteht durch die Akkumulation des zu untersuchenden Stoffes im betrachteten Prozeß. Einzelne Prozesse können gegebenenfalls in Unterprozesse unterteilt werden. So kann der Prozeß "Siedlungsentwässerung" beispielsweise in die Unterprozesse "Kanalisation" und "Abwasserreinigungsanlage" unterteilt werden. Weitere Beispiele für Prozesse sind etwa "Verbrennungsmotoren", "Küche", "Hochofen" oder auch die Umweltkompartimente "Boden", "Gewässer" und "Atmosphäre". Als Edukte

bezeichnet man Güter oder Stoffe, die in einen Prozeß hineinfließen, als Produkte diejenigen, die den Prozeß verlassen.

Die Handlungen, die der Mensch zur Befriedigung bestimmter Bedürfnisse setzt, werden unter dem Begriff Aktivität zusammengefaßt werden. Eine Aktivität umfaßt immer eine ganze Prozeßkette, die einem bestimmten Zweck, wie zum Beispiel 'sich ernähren', 'reinigen', 'transportieren und kommunizieren' oder 'wohnen' dient. Sämtliche Aktivitäten, Prozesse, Güter- und Stoffflüsse des Menschen in einem geographisch umschriebenen Gebiet werden unter dem Begriff Anthroposphäre zusammengefaßt und gegen die Umwelt abgegrenzt.

Mit Hilfe der Systemanalyse wird ein Ersatzbild der Wirklichkeit erstellt, um das gegenwärtige Verhalten der Prozesse, der Güter- und Stoffflüsse zu beschreiben. Ein System stellt die zeitliche und räumliche Abgrenzung (d.s. die Systemgrenzen) des zu untersuchenden Gebietes mitsamt den darin befindlichen Prozessen, Güter- und Stoffflüssen dar. Das System ist ein Begriff, welcher die Einordnung von Teilen in einen ganzheitlichen Zusammenhang bezeichnet. Ein System kann z.B. ein Betrieb (z.B. Müllverbrennungsanlage), eine Region (z.B. Kremstal), eine Nation (z.B. Österreich) oder auch eine sozialwissenschaftlich definierte Einheit (z.B. Privathaushalt) sein. Importe bzw. Exporte sind Stoff- und Güterflüsse, die in ein bzw. aus einem System fließen. Hingegen werden jene Stoff- und Güterflüsse, die in einen bzw. aus einem Prozeß fließen als Input bzw. Output bezeichnet.

Die Stoffflußanalyse ist eine Methodik, welche die Prozesse, den Güter- und Stofffluß, das Lager und dessen Veränderung in einem bestimmten, wohl definierten System möglichst gesamthaft mittels technisch-naturwissenschaftlicher Kriterien beschreibt.

In einer Stoffbilanz werden die In- und Outputflüsse eines Prozesses bilanziert, wobei die Lagerveränderungen und das Massenerhaltungsgesetz berücksichtigt werden. Ein wichtiges Pendant zur Stoffbilanz ist die Energiebilanz. Stoff- und Energiebilanzen gehören dem Wesen nach zusammen und sollten gemeinsam geführt werden.

Die Stoffbuchhaltung stellt eine periodische, mengenmäßige Erfassung der wichtigsten Güter- und Stoffflüsse dar. Man kann sie gut mit dem Begriff der Finanzbuchhaltung vergleichen. Die Idee der Stoffbuchhaltung besteht darin, in Zukunft neben der rein wert- und mengenmäßigen Datenerfassung wie Preis, Gewicht, etc. auch die in den Gütern enthaltenen Stoffe zu erfassen.

Die Stoffwirtschaft umfaßt die Gesamtheit der Maßnahmen, mit denen auf die Art und den Umfang der Bereitstellung von Stoffen, die Nutzung der Stoffe in der Anthroposphäre und die Behandlung und Ablagerung der Abfälle Einfluß genommen werden kann. Die Ziele der Stoffwirtschaft sind der Schutz der Menschen, der Tiere und der Pflanzen und deren Umwelt und angesichts der Begrenztheit der Ressourcen ein möglichst schonender Umgang mit ihnen.

## 4.2 Methodisches Vorgehen bei der Erstellung von Stoffflußanalysen

Der *erste Schritt* bei der Erstellung einer Stoffflußanalyse besteht in der Formulierung des zu erreichenden Zieles und der daraus abgeleiteten Fragestellungen. Es ist jedoch möglich, daß im Laufe der Arbeit das Ziel und die Fragen an die Bedingungen der Praxis, wie Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Daten, unvollständige Meßergebnisse usw. angepaßt werden müssen.

Im Hinblick auf die Stoffbuchhaltung steht folgendes Ziel im Vordergrund: Für die betrachtete Ebene (Betrieb, Region oder Nation) soll der gesamte Stofffluß identifiziert werden. Durch eine halbquantitative Abschätzung sollen diejenigen Güter und Prozesse ausgeschieden werden, die für die Ziele "langfristige Umweltverträglichkeit" und "optimale Rohstoffnutzung" auf allen drei Ebenen keine Bedeutung haben. In der Regel sind diese Stoffflüsse <1 % des Gesamtflusses. Allerdings muß, bevor diese Regel angewandt wird, ihre Gültigkeit für jeden Stoff und jedes System abgeklärt werden. Die nicht ausgeschiedenen Güterflüsse und Prozesse sollen derart untersucht werden, daß es gelingt, den Gesamtfluß des Stoffes durch das System (Betrieb, Region oder Nation) zu bestimmen.

Bezüglich der Stoffbuchhaltung ist das wichtigste Ziel die Identifikation der Schlüsselprozesse und -güter, d.h. derjenigen Größen, die mit minimalem Aufwand gemessen bzw. bestimmt werden können und die maximale Aussagekraft bezüglich der gesamten Stoffflüsse aufweisen. Diese Größen sind in der Stoffbuchhaltung zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf konkrete Probleme und Fragestellungen ist ein weiteres, mögliches Ziel der Stoffflußanalyse, Lösungsansätze und konkrete Maßnahmen vorzuschlagen. Beispielsweise wurden bereits durch regionale Stickstoffbilanzen Vorschläge zur Reduktion des Nitratgehaltes im Grundwasser erarbeitet, oder wurde durch die Bleibilanz einer Region die Anreicherung von Blei in einer Deponie für Autoschredderrückstände untersucht. Ein Ergebnis war ein Vorschlag, welche Vorbehandlung (aus der Sicht der Umweltverträglichkeit) für die zu deponierenden Güter notwendig ist.

Der *zweite Schritt* besteht in der Systemanalyse. Diese Systemidentifikation gliedert sich einerseits in die Auswahl der räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen und andererseits in die Wahl der relevanten Prozesse, Güter und Stoffe. Die Auswahlkriterien sind an das Ziel und die Fragestellungen gekoppelt. Die Systemanalyse ist der Versuch, die üblicherweise sehr komplexe Wirklichkeit auf ein Maß zu reduzieren, daß sie mathematisch handhabbar wird aber trotzdem realitätsnah und wahr bleibt.

Die Abgrenzung des zu untersuchenden Systems zur Umwelt (Boden, Wasser und Luft) und zur Antroposphäre ist räumlich vorzunehmen, d.h. die Systemgrenzen sind dreidimensional zu ziehen. Beispiele für Systeme auf betrieblicher Ebene (Abwasserreinigungsanlage, Papierfabrik); auf regionaler Ebene (das Kremstal), auf nationaler Ebene (Österreich) oder eine sozialwissenschaftlich definierte Einheit (Privathaushalt). Nach der Wahl der zu untersuchenden Prozesse und Güter müssen die Prozesse innerhalb der Systemgrenze positioniert werden. Der Vollständigkeit halber können die nicht untersuchten, sich außerhalb der Systemgrenze befindlichen Herkunfts- und Zielprozesse der Güter dargestellt werden. Die

Hauptaufgabe der Systemanalyse besteht in der Verknüpfung der einzelnen Prozesse über die jeweiligen Güterflüsse. Für jedes Gut muß demnach ein Herkunfts- und ein Zielprozeß definiert werden. Für das System sind die Im- und Exporte und für jeden Prozeß die In- und Outputs zu definieren.

Die Auswahl der zu untersuchenden Stoffe ist ein weiterer Bestandteil der Systemanalyse. Oft ist der bzw. sind die Stoffe durch die Problemstellung (z.B. Stickstoffbilanz des Kremstaales) gegeben. Es ist vorteilhaft, eine Liste zu führen in der die einzelnen Güter und Stoffe exakt definiert werden. Auswahlkriterien sind nicht nur die Umweltrelevanz (z.B. das Produkt aus Toxizität und totaler Anwendungsmenge, oder das Verhältnis von anthropogenem Flux zu geogenen Flüssen), sondern auch die Ressourcenpotentiale. Generell sollte die Anzahl der Stoffe zu Beginn eher gering gehalten werden (maximal 10 Stoffe) und erst nach dem Vorliegen von Erfahrungen auf weitere, insbesondere auch organische Stoffe ausgedehnt werden.

Im *dritten Schritt* wird mit dem vorhandenen Wissen eine erste provisorische Bilanz der Güter- und Stoffflüsse anhand rasch verfügbarer Daten erstellt, wobei aus Kostengründen versucht wird, mittels Literaturstudien und möglichst ohne eigene Messungen auszukommen. Die Mitarbeit von Fachleuten, die über vertiefte Kenntnisse in der Produktion und Anwendung des entsprechenden Stoffes verfügen, erweist sich in dieser Phase als ausgesprochen nützlich und ist auch notwendig. In der Regel werden zuerst die Güterflüsse erfaßt. Mit Hilfe der Güterliste, in der auch die Stoffkonzentrationen der Güter aufgelistet sind, werden durch Multiplikation der Güterflüsse mit den Stoffkonzentrationen die Stoffflüsse errechnet. Für jeden Prozeß muß das Massenerhaltungsgesetz gelten.

Es kann die Bilanz eines Prozesses formal durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$\sum a_i = \sum b_i + L\ddot{A}$$

wobei  $a_i$  die Edukte,  $b_i$  die Produkte und  $L\ddot{A}$  die Lageränderung eines Prozesses bedeuten. Soll neben dem Istzustand auch die zeitliche Entwicklung eines Systems und dessen Ursachen erfaßt werden, so müssen bei der Datenerhebung einerseits Zeitreihen und andererseits auch z.B. ökonomische, soziale, kulturelle oder gesellschaftliche Faktoren berücksichtigt werden.

Auf Grund der provisorischen Bilanz kann eine Sensitivitätsanalyse durchführen werden. Es werden dabei die für das System wichtigen Prozesse, Güter- und Stoffflüsse identifiziert. Dies sind jene Flüsse, bei deren Änderung das System am heftigsten reagiert. Anschließend werden die kleinsten Stoffflüsse und Prozesse für die weitere Betrachtung gestrichen. Diese Aufgabe muß je nach Einzelfall und Fragestellung gelöst werden. Aus den bisherigen Arbeiten kann abgeleitet werden, daß Stoffströme kleiner 1-10 % meist vernachlässigt werden können. Die erste Abschätzung zeigt weiters, ob und mit welcher Bedeutung Rückkoppelungen innerhalb des Systems vorhanden sind.

Auf Grund der Erkenntnis der ersten Abschätzung läßt sich das weitere Vorgehen bestimmen. In den meisten Fällen werden zur Beantwortung der gestellten Fragen die vorhandenen Daten unvollständig oder zu ungenau sein. Die provisorische Bilanz stellt daher eine wesentliche

Hilfe für den *vierten Schritt*, die Erstellung eines Untersuchungs- und Meßprogrammes, dar, da sie zeigt, wo und an welchen Stellen zusätzliche Erhebungen oder Messungen mit welcher Genauigkeit notwendig sind.

Mit den Ergebnissen des Untersuchungs- und Meßprogrammes wird im *fünften Schritt* die endgültige Stoffbilanz ermittelt. Vorerst werden die Massenflüsse der Güter und die Stoffkonzentrationen in den Gütern bestimmt. Die Stoffbilanz erhält man durch Multiplikation der Massenflüsse mit den Stoffkonzentrationen. Bei Bedarf können anhand von Modellen verschiedene Szenarien und ihre Auswirkungen auf das System berechnet werden. Die Unsicherheiten der Resultate müssen ebenfalls diskutiert werden.

Die provisorische und die endgültige Bilanz sollen miteinander verglichen werden. So können Erfahrungen bezüglich des Fehlerausmaßes einer auf vorhandenen Daten erstellten Bilanz und der Defizite vorhandener Datensammlung für zukünftige Arbeiten gewonnen werden. Auch müssen die Arbeitsschritte interpretiert und aus den Erfahrungen die Methodik optimiert werden.

Die Darstellung der Resultate der Stoffflußanalysen mit Hilfe der Transferkoeffizienten hat sich besonders bewährt. Der Transferkoeffizient beschreibt den Transport und die Transformation eines Stoffes in einem Prozeß.

Der Transferkoeffizient eines Gutes oder Stoffes  $k_{xi}$  ist definiert als:

$$k_{xi} = \frac{X_{\text{Produkt}_i}}{X_{\text{Edukt}}},$$

wobei die Summe aller  $k_{xi}$  gleich 1 ergeben muß.

Der *sechste* und letzte *Schritt* besteht in der Darstellung der Resultate. Die Einzelwerte sollen zusammengefaßt in einfacher, graphischer Form präsentiert werden. Die wichtigsten Prozesse, Güter- und Stoffflüsse sollen sofort erkennbar sein, wobei in erster Linie auf die Hauptaussagen des Projektes Bezug genommen werden sollte. Eine Darstellung in einfacher grafischer Form mittels Stoffflußbilder, Tortendiagrammen, Flußschemen und ähnlichem hat sich als geeignet und wichtig erwiesen. Auf keinen Fall sollte auf die Beschreibung der Grenzen und Unsicherheiten der gewählten Methodik und auf die Beschreibung der Datenerfassung samt ihren Ungenauigkeiten verzichtet werden.

### **4.3. Methodisches Vorgehen bei der Erstellung von Stoffbuchhaltungen**

Die Methoden der Erstellung von Stoffflußanalysen und von Stoffbuchhaltungen sind sehr eng miteinander verknüpft. Vor allem beim Ablauf der einzelnen Schritte sind große Ähnlichkeiten gegeben.

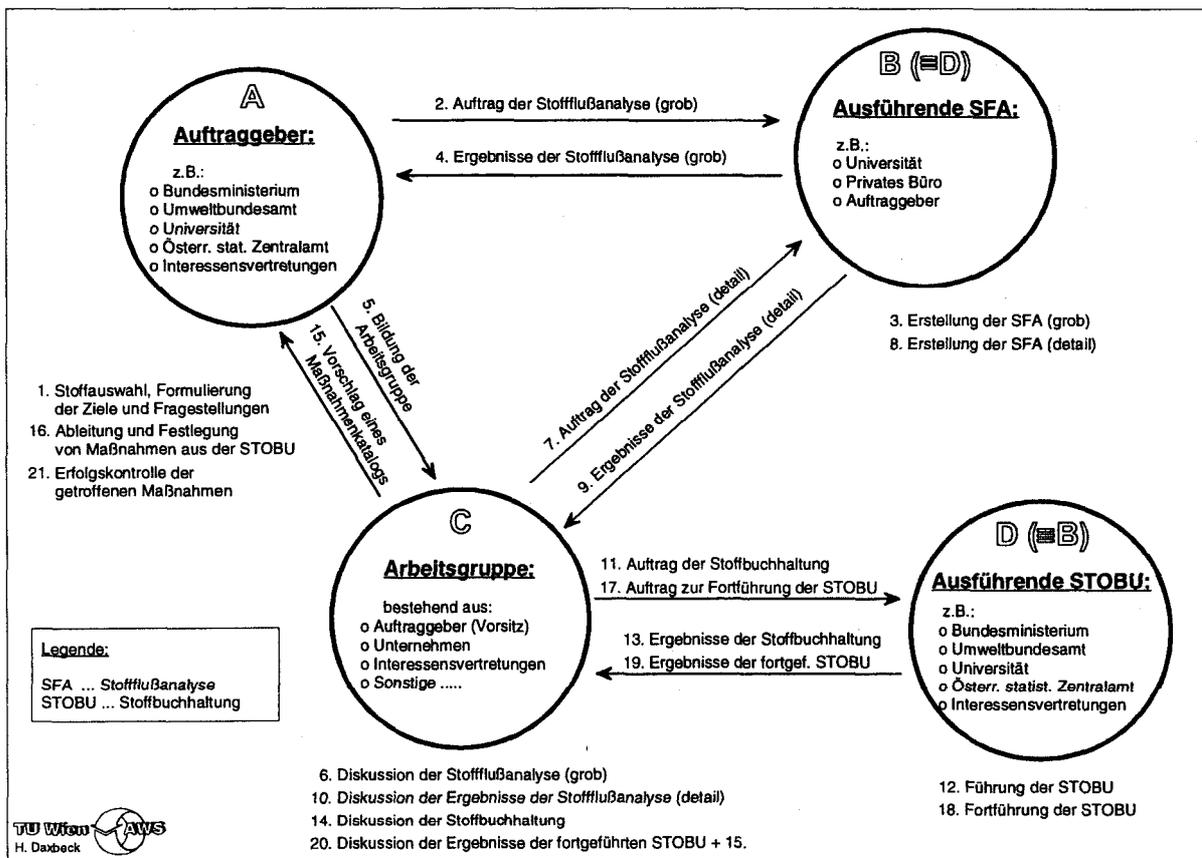


Abb. 2: Organisatorisches Vorgehen bei der Erstellung einer Stoffbuchhaltung

Der *erste Schritt* bei der Erstellung einer Stoffbuchhaltung ist die Auswahl eines Stoffes oder einer Stoffgruppe und die Bildung einer Arbeitsgruppe. Die wichtigsten Fragen sind: WER wählt die Stoffe aus? Und WELCHE Stoffe sollen überhaupt ausgewählt werden?

Die Auswahl der Stoffe für eine Stoffbuchhaltung obliegt jenen Institutionen, welche Kenntnisse über nationale Stoffflüsse benötigen. Diese Informationen dienen dazu, um Empfehlungen abgeben zu können, um Entscheidungen treffen zu können, um den Erfolg von Maßnahmen überprüfen zu können oder um Ressourcenpotentiale aufspüren zu können. So kann beispielsweise der mögliche Effekt einer zukünftigen Elektronikschrottverordnung auf den nationalen Stoffhaushalt einerseits bereits im vorhinein abgeschätzt werden und andererseits der tatsächliche Erfolg der Maßnahme im nachhinein überprüft werden. Bei der Aufspürung von Ressourcenpotentialen in der Anthroposphäre könnte die Aluminiumindustrie großes Interesse an der Kenntnis der anthropogenen Aluminiumlager haben. Als Institutionen, die ein solches Interesse haben sind in erster Linie die Ministerien, das Umweltbundesamt, das ÖSTAT, Umweltschutzorganisationen aber auch Interessensvertretungen zu nennen.

Die Stoffe können nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Im Vordergrund stehen Fragen der Ressourcennutzung und des Umweltschutzes. Welche Rohstoffe sind für eine Nation wichtig? Welche Schadstoffe sind im Verhältnis zu ihrer Toxizität in der höchsten

Konzentration in einzelnen Umweltkompartimenten, insbesondere im Boden, vorhanden? Als Antwort auf diese Fragen wurden beispielsweise Stoffbilanzen von Aluminium, Kohlenstoff, Cadmium oder Dioxinen durchgeführt.

Da weltweit kaum praktische Erfahrungen für die Implementierung einer Stoffbuchhaltung vorhanden sind, muß auf die Erkenntnisse jener Gruppen zurückgegriffen werden, die regionale bzw. nationale Güter- oder Stoffbilanzen erstellt haben. Zu Beginn sollen daher jene Stoffe gewählt werden, die einerseits bereits bilanziert wurden und über die andererseits bereits eine genügend große Anzahl von Daten in ausreichender Qualität verfügbar ist. Ein weiteres Kriterium können die Ziele "Schutz des Menschen und der Umwelt" bzw. "Schonung der Ressourcen" sein, d.h. Stoffe werden wegen ihrer Eigenschaft als potentielle Schad- oder Rohstoffe untersucht.

Welche Stoffe würden sich nun konkret für eine Untersuchung eignen?

Nährstoffe:	Phosphor, Stickstoff
Hauptelemente/Stoffe:	Eisen, Aluminium, Calcium, Silizium, Chlor, Zellulose, Phtalate, PVC
Energieträger:	Kohlenstoff, Schwefel
Spurenelemente:	Blei, Cadmium, Zink, Kupfer, Quecksilber, Chrom
Organische Verbindungen:	PCB, Dioxine

Aufgabe der Arbeitsgruppe ist es, das Ziel und die daraus abgeleiteten Fragestellungen zu diskutieren und gegebenenfalls auch zu adaptieren. Diese Gruppe sollte sich aus jenen Personen zusammensetzen die spezifische Kenntnisse haben und die motiviert sind, für einen bestimmten Stoff oder eine Stoffgruppe, eine Stoffbuchhaltung zu führen. Diese Motivation kann sich beispielsweise daraus ergeben, daß ein Stoff (z.B. Stickstoff) für bestimmte Branchen (z.B. Landwirtschaft, Chemische Industrie) von großer Bedeutung ist. Aber auch die Behörden haben ein fundamentales Interesse an der Kenntnis der Stoffflüsse bzw. deren Lager. Kurz zusammengefaßt: Die Arbeitsgruppe soll sich aus den Betroffenen zusammensetzen, wobei ein mögliches Kriterium für die Teilnahme an der Gruppe der Anteil des Vertreters am gesamten Stofffluß ist. Das Ziel sollte sein, mindestens  $\frac{3}{4}$  der für den gesamten Stofffluß verantwortlichen Unternehmen, Branchen oder Sektoren, die Behörden und die Interessensverbände sowie das Statistische Zentralamt zu einer Zusammenarbeit einzuladen. Um die potentiellen Mitglieder der Arbeitsgruppe zu identifizieren ist von jener Institution, welche die Stoffauswahl durchgeführt hat, eine provisorische Stoffflußanalyse zu erstellen oder wenn bereits vorhanden auf diese zurückzugreifen.

Die Arbeitsgruppe trägt die Verantwortung für den gesamten Ablauf, für die Veröffentlichung der Resultate, sie schlägt schlußendlich Steuerungsmaßnahmen vor und verteilt die Aufgaben sowohl innerhalb der Gruppe als auch an externe Institutionen (z.B. Erstellung der Stoffflußanalyse).

Im *zweiten Schritt* wird eine Stoffflußanalyse erstellt, denn um eine Stoffbuchhaltung einzuführen ist es zuerst einmal notwendig zu wissen, welches die sensiblen Güterflüsse und

Prozesse sind. Erst aufgrund der Ergebnisse der Stoffflußanalyse kann über die Art und Weise der Einführung einer Buchhaltung diskutiert werden. Die Durchführung der Stoffflußanalyse kann extern vergeben werden. Ein Vorschlag, in welchen Schritten eine Stoffbilanz erstellt werden kann, ist dem Kapitel 4.2 zu entnehmen.

Mit den Resultaten der Stoffflußanalyse kann nun im *dritten Schritt* mit der Ausarbeitung eines speziellen Meßprogrammes begonnen werden. Das Eingangs gestellte Ziel und die Fragestellungen sind zu überprüfen und gegebenenfalls zu adaptieren. Im wesentlichen ist in diesem Schritt zu klären WER, WO, WIE, WANN, WIE OFT die notwendigen Daten erfaßt. Dabei kann auf die Erfahrungen, die während der Erstellung der Stoffflußanalyse gemacht wurden, zurückgegriffen werden. Die Daten sollen an jenem Ort von jener Institution auf jene Art und Weise erfaßt werden, welche die minimal notwendige Genauigkeit zu einem maximal günstigen Aufwand gewährleistet. Diese Orte oder Prozesse können beispielsweise Sammelprozesse wie Müllverbrennungsanlagen sein oder Generalimporteure von bestimmten Konsumgütern, in denen Aufkonzentrierungen stattfinden. Die Frage wann und wie oft die Daten erfaßt werden müssen ist natürlich von Stoff zu Stoff und von Prozeß zu Prozeß unterschiedlich. Speziell bei jenen Prozessen in denen viele Güter mit stark unterschiedlichen Konzentrationen miteinander vermischt werden, wie in Abwasserreinigungsanlagen oder in der Atmosphäre, ist der Einsatz von statistischen Methoden zur Stichprobenauswahl unbedingt notwendig. Als Bilanzzeitraum hat sich aus den bisherigen Erkenntnissen ein Jahr bewährt. (Zusätzliche Hinweise zu diesem Schritt finden sich im Kapitel 6, in dem exemplarisch die Ergebnisse und Folgerungen einiger Stoffflußanalysen dargestellt und kommentiert werden.)

Der *vierte Schritt* besteht in der Führung einer Stoffbuchhaltung. Dieses buchhalterische Erfassen der Daten könnte in einer Facheinrichtung des Bundes oder in einer der Interessensvertretungen erfolgen. Allgemein kann festgehalten werden, daß die Buchhaltung an jenem Ort geführt werden soll, an dem bereits die meisten Daten oder Erfahrungen über den ausgewählten Stoff vorhanden sind.

Es ist die Aufgabe und Verantwortung der Arbeitsgruppe, dafür zu sorgen, daß jene Institution, welche die Stoffbuchhaltung führt, mit den notwendigen Daten in einer ausreichenden Qualität versorgt wird. Da diese Gruppe für den überwiegenden Teil des Stoffflusses verantwortlich ist, sollte dies mit einem vertretbaren Aufwand zu bewerkstelligen sein.

Wie soll die Stoffbuchhaltung aufgebaut sein? Es gibt sicherlich unterschiedliche Möglichkeiten des Aufbaus, beispielsweise in Form von Input-Output-Tabellen wie sie von Leontieff in den 20er Jahren entwickelt wurden. Sicherlich sind auch Anlehnungen an Kostenrechnungssysteme möglich. Bei Stoffflußanalysen haben sich Güterlisten bewährt, wobei die Stoffflüsse durch Verknüpfung der Güterliste mit den jeweiligen Stoffkonzentrationen ermittelt wurden. Mittelfristig könnten diese Stoffbuchhaltungen als Datenbanken einem breiten Publikum zur freien Anwendung zur Verfügung gestellt werden.

Da die Stoffbuchhaltungen auf betrieblicher, regionaler, nationaler und langfristig auch auf internationaler Ebene durchgeführt werden sollen, ist die Definition der Schnittstellen und die Art der Aufbereitung und Bereitstellung der Daten besonders wichtig. Es ist von Anfang an eine Kompatibilität und Durchlässigkeit des Datenflusses über alle Ebenen hinweg anzustreben. Vor allem im Hinblick auf eine internationale Verknüpfbarkeit ist die Entwicklung vor allem in den europäischen Staaten mitzuverfolgen und gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Eng verknüpft mit der Definition der Schnittstellen ist die Frage der Zugänglichkeit der Daten. Die Änderung von Daten sollte ausschließlich der die Stoffbuchhaltung führenden Institution vorbehalten sein, ansonsten ist nur eine Einsichtnahme möglich.

Im *fünften Schritt* werden die Ergebnisse der Stoffbuchhaltung in übersichtlicher, leicht verständlicher Form mittels Stoffflußdiagrammen graphisch dargestellt und der Arbeitsgruppe präsentiert. Wie häufig diese Diagramme erstellt werden hängt vom ausgewählten Stoff ab. Das Mindestintervall wird jährlich sein und kann je nach Stoff auf mehrjährige Perioden ausgedehnt werden.

Da sich der Stoffhaushalt der Anthroposphäre in einem ständigen Wandel befindet, muß in einem *sechsten Schritt* das weitere Vorgehen und die Art der Fortschreibung der Daten geplant und festgelegt werden. Es muß entschieden werden, ob die Daten unverändert fortgeschrieben werden können (zurück zum dritten Schritt), oder ob aufgrund der Veränderung des Gesamtsystems mit einer neuerlichen Stoffflußanalyse ein Überblick verschafft werden muß (zurück zum ersten Schritt).

Die Arbeitsgruppe sollte die Ergebnisse der Stoffbuchhaltung auch beurteilen und darauf aufbauend, einen Maßnahmenkatalog zu Steuerung des nationalen Stoffhaushaltes erarbeiten und an den Auftraggeber weiterleiten. Das Ziel sollte eine nationale Bewirtschaftung von Stoffen sein. Das heißt, die Gruppe verteilt einerseits intern die Aufgaben an die Teilnehmer und formuliert andererseits ihre Vorschläge an die Behörden (Verwaltung, Gesetzgebung) und ist sowohl für die Veröffentlichung der Ergebnisse als auch der Vorschläge verantwortlich (z.B. welche Maßnahmen wären geeignet, um den Nitratgehalt im Grundwasser mittelfristig unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte zu halten).

## **5. Literaturzusammenstellung ausgewählter Stoffhaushaltsstudien**

Die in der folgenden Tabelle angeführten Studien geben einen Überblick über die in jüngster Vergangenheit durchgeführten Stoffbilanzen. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie deckt jedoch das Spektrum dieses Themenbereichs recht gut ab.

Geographisch betrachtet sind die Forschergruppen im besonderen in Deutschland, der Schweiz, Österreich, Holland und Schweden aktiv.

Wie im methodischen Teil dieses Berichts (Kapitel 4) bereits beschrieben, basieren Stoffbilanzen im allgemeinen auf Güterbilanzen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird zwischen reinen Güterbilanzen und darauf aufbauenden Stoffbilanzen unterschieden (S steht für die Betrachtung auf stofflicher Ebene, G für die Betrachtung auf Güterebene).

AUTOREN	JAHR	*	THEMA DER ARBEIT
Forrester J.W.	1971	G	World Dynamics.
Meadows D.L. et al	1972	G	The Limits to Growth.
Förstner U., Müller G.	1974	S	Schwermetalle in Flüssen und Seen.
Brunner P.H., Ernst W., Sigel O.	1983	S	Vorstudie "Regionale Abfallbewirtschaftung".
Ayres R.U., Ayres L.W., Tarr J.A., Wigery R.C.	1985	S	A Historical Reconstruction of Major Pollutants Levels in the Hudson-Raritan Basin.
Brunner P.H., Ernst W.	1986	S	Alternative Methods for the Analysis of Municipal Solid Wastes.
Brunner P.H., Mönch H.	1986	S	The Flux of Metals through Municipal Waste Incinerators.
Udo de Haes H.A., Guinée J.B., Huppés G.	1988	S	Materials Balances and Flow Analysis of Hazardous Substances; Accumulation of Substances in Economy and Environment.
Rist A., Daxbeck H., Brunner P.H.	1989	S	Teilprojekt RESUB - Güterversorgung, Überblick über den Güterumsatz in Industrie und Gewerbe des 2. Sektors im Unteren Bünztal.
Brunner P.H., Daxbeck H., Henseler G., von Steiger B., Beer B., Piepke G.	1990	S	RESUB - Der regionale Stoffhaushalt im Unteren Bünztal. Die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes.
Henseler G., Scheidegger R., Brunner P.H.	1990	S	Teilprojekt RESUB - Wasser. Die Bestimmung der Güter- und Stoffflüsse im regionalen Wasserhaushalt.
von Steiger B., Baccini P.	1990	S	Teilprojekt RESUB - Boden. Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit meßbarem Ein- und Austrag.
Gerhold S.	1990	G	Stoffstromrechnung: PVC.
Gerhold S.	1990	G	Stoffstromrechnung: Wasch- und Reinigungsmittel.
Baccini, P., Brunner, P.H.	1991	S	Metabolism of the Anthroposphere.
Beer B., Mönch H., Brunner P.H.	1991	S	Teilprojekt RESUB - Luft.
Bergbäck B.	1992	S	Industrial Metabolism. The Emerging Landscape of Heavy Metal Immission in Sweden.
Fleckseder H.	1992	S	A Nitrogen Balance for Austria.
Girardet H.	1992	G	The Gaia Atlas of Cities. New Directions for Sustainable Urban Living.
Granstedt A.	1992	S	Case Studies on the Flow and Supply of Nitrogen in Alternative Farming in Sweden.
Harenz H., Köster W., Merkel D.	1992	S	Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR von 1950 bis 1988.

AUTOREN	JAHR	*	THEMA DER ARBEIT
Henseler G., Scheidegger R., Brunner P.H.	1992	S	Die Bestimmung von Stoffflüssen im Wasserhaushalt einer Region oder Determination of Material Flux through the Hydrosphere of a Region.
Ö.B.U. Arbeitsgruppe	1992	S	Ökobilanz von Unternehmen.
Schmidt-Bleek F.	1992	G	A Universal Ecological Measure. Fresenius Environmental Bulletin 1.
Steurer A.	1992	G	Stoffstrombilanz Österreich 1988.
Stigliani W.M., Anderberg S.	1992	S	Industrial Metabolism at the Regional Level: The Rhine Basin.
Brunner P.H., Stämpfli D.M.	1993	S	Material Balance of a Construction Waste Sorting Plant.
Bundi U., Biedermann R., Jost B., Boshart U., Spaeti H., Spoerli P., Carrad M., Müller E., Dettwiler J., Schweizer H.U., Sieber U.	1993	S	Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz. Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung.
Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G.	1993	S	METAPOLIS - Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt.
Kimio Uno	1993	S	Policy Formulation and Information Needs for the International UNU Symposium on Ecostructuring.
Kleijn R., van der Voet E., Udo de Haes H.A.	1993	S	Controlling Substance Flows. The Case of Chlorine.
Lauber W.	1993	S	Cadmium in Österreich. Umweltbelastung und Umweltschutz.
Lauber W.	1993	S	Die Bedeutung eines altpapierverarbeitenden Betriebes für die Stoffbilanz einer Industrieregion.
Lohm U.	1993	S	Industrial Metabolism at the National Level. A Case Study of Cadmium, Chromium and Lead Pollution in Sweden.
Hofmann H.	1993	S	Abfallwirtschaftskonzept eines altpapierverarbeitenden Betriebes.
Projektgruppe TUSCH	1993	G	Abfallwirtschaftskonzept AKH - Station 18 K.
Stäubli B., Keller Ch.	1993	S	Stoffflußanalyse bei zwei Klärschlammverbrennungsanlagen.
Thomas V., Spiro T.G.	1993	S	Emissions and Exposure to Metals: Cadmium and Lead.
van der Voet E., van Egmond L., Kleijn R., Huppel G.	1993	S	Cadmium in the European Community: a Policy-oriented Analysis.
van der Voet E., de Haes H.A., Kleijn R.	1993	S	Controlling Substance Flows: The Case of Chlorine.
Atzmüller Ch.	1994	S	Stellenwert eines altpapierverarbeitenden Betriebes im Zellulosehaushalt Österreichs.
Brunner P.H., Baccini P., Daxbeck H.	1994	S	Industrial Metabolism at the Regional and Local Level.
Bringezu S., Hinterberger F., Schütz H.	1994	G	Integrating Sustainability into the System of National Accounts: The Case of Interregional Material Flows.
Enöckl W.	1994	S	Die Möglichkeiten der Abfallbewirtschaftung durch Verfahrensänderung am Beispiel einer Feuerverzinkerei.

AUTOREN	JAHR	*	THEMA DER ARBEIT
Enquete Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages	1994	S	Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen
Enquete Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages	1994	S	Grundlagen des Stoffstrom-Managements.
Glenck E.	1994	S	Contribution des ménages urbains dans le métabolisme des biens et des éléments chimiques des filières de désapprovisionnement des biens de consommation solides.
Kaas T., Fleckseder H. Brunner P.H.	1994	S	Stickstoffbilanz des Kremstaales.
Obernosterer R.	1994	S	Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (FCKW, CKW, Halone). Stoffflußanalyse Österreich.
Schachermayer E., Bauer G., Ritter E., Brunner P.H.	1994	S	Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage.
Schmidt-Bleek F.	1994	G	Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS-Das Maß für ökologisches Wirtschaften.
Stark W., Kernbeis R., Raeissi H., Ritter E., Schachermayer E., Brunner P.H.	1994	S	Die Grenzen der Schadstoffenfrachtung des Klärschlammes.
van der Voet E.	1994	S	Nitrogen Flows in the European Community.

Legende: \* S....Stoffbilanz

G....Güterbilanz

## **6. Ergebnisse bereits durchgeführter Studien und ihre Bedeutung für eine nationale Stoffbuchhaltung**

In der englisch- und der deutschsprachigen Literatur finden sich bereits mehrere Ansätze für Stoffflußanalysen. Über die Stoffbuchhaltung findet man noch keine Informationen. Im folgenden werden wichtige Beispiele auf betrieblicher, regionaler und nationaler Ebene vorgestellt. Die Auswahl wurde anhand der Anwendbarkeit der Methode auf den unterschiedlichen Ebenen vorgenommen.

### **6.1. Betriebliche Stoffflußanalysen**

Im folgenden werden Stoffflußanalysen über zwei Betriebe (eine Müllverbrennungsanlage und ein papierverarbeitender Betrieb) vorgestellt.

#### **6.1.1 MAPE - Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage**

Der Bericht "**Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage**" wurde 1994 von E. Schachermayer, G. Bauer, E. Ritter und P.H. Brunner am Inst. f. Wassergüte und Abfallwirtschaft an der TU-Wien im Auftrag des Umweltbundesamtes und der MA 22 erstellt.

#### **Einleitung**

Für die Planung und den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen ist es notwendig, die stoffliche Zusammensetzung der zu behandelnden Abfälle zu kennen. Die Regelungsdichte in der Abfallwirtschaft ist groß und nimmt weiter zu. Noch gibt es keine analytischen Instrumente, um zu überprüfen, ob bisher ergriffene oder zukünftig geplante Maßnahmen die im Abfallwirtschaftsgesetz formulierten Ziele vor allem in stofflicher Hinsicht erfüllen. Diese Arbeit stellt einen ersten Schritt zur Beurteilung von Maßnahmen der Abfallwirtschaft bezüglich der Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes dar.

Die Analyse der Zusammensetzung von Siedlungsabfällen ist schwierig und teuer; die Heterogenität des Abfalls ist derart groß, und der Gehalt an Spurenverbindungen so klein, daß sehr große Mengen an Abfällen aufbereitet und analysiert werden müßten, um ein repräsentatives Resultat der Abfallzusammensetzung zu erhalten. Demgegenüber kann in einer Verbrennungsanlage anhand der Analyse von Produkten der Verbrennung die chemische Zusammensetzung des Abfalls kostengünstiger und genauer berechnet werden. Bei der Verbrennung wird der Abfall in homogenere Fraktionen aufgetrennt: die festen Produkte wie Schlacke und Rauchgasreinigungsrückstände, die Abwässer und das Reingas. Diese Fraktionen sind wesentlich einfacher zu beproben und zu analysieren als der ursprüngliche Müll.

## Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel der Arbeit war die mathematisch-statistische und chemisch-analytische Vorbereitung der Erfolgskontrolle und der Stoffbuchhaltung anhand des Analyseinstruments "Müllverbrennung". Es wurde eine Methode entwickelt, um anhand der Produkte der Müllverbrennung die chemische Zusammensetzung des Hausmülls zu bestimmen, sowie den Fluß ausgewählter Elemente durch die Müllverbrennungsanlage (MVA) zu messen.

Jede Meßmethode hat ihre Unsicherheiten und Grenzen. Auch wenn die Abfallzusammensetzung anhand der relativ homogenen Produkte der Verbrennung bestimmt wird, muß davon ausgegangen werden, daß die Meßresultate erhebliche Streuungen aufweisen. Die Hauptfrage war deshalb, wie genau die Konzentrationen und Frachten an Elementen anhand der Verbrennungsprodukte bestimmt werden können, und ob die Genauigkeit genügt, um zukünftig die Müllverbrennungsanlage als Instrument der Erfolgskontrolle zu nutzen.

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Wie verteilen sich ausgewählte Elemente in der MVA auf die Produkte Schlacke, Filterstaub, Abwasser, Naßwäscherschlamm und Reingas? Verändert sich diese Verteilung mit der Zeit und mit der Müllzusammensetzung?
- Welche Erfahrungen wurden mit ähnlichen Untersuchungen bereits gemacht, und welche Hypothesen können für die eigene Problemstellung abgeleitet werden?
- Wie muß eine Müllverbrennungsanlage untersucht werden, damit für ausgewählte Stoffe eine repräsentative Jahresbilanz erstellt werden kann? Welche sind die geeignetsten statistischen Methoden, um die Messungen der MVA auszuwerten? Welches ist die beste Methode, um aus den Meßwerten der Produkte und einzelner Edukte die Zusammensetzung des Siedlungsabfalles zu berechnen?
- Wie kann man die Unsicherheit der Daten bei der Berechnung der Stoffflüsse und bei ihrer Interpretation berücksichtigen?
- Wie groß ist der aus privaten Haushaltungen stammende Stoffflux durch die MVA?

## Methodik

Als Methode zur Erreichung der Ziele wurde die **Stoffflußanalyse** gewählt; für den Prozeß Müllverbrennung wurden die Input- und Outputgüter bezeichnet und **Güterbilanzen** für den Vor- und Hauptversuch erstellt. **Stoffbilanzen** wurden für ausgewählte Elemente (Nichtmetalle: Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Fluor und Chlor, sowie Metalle: Eisen, Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Quecksilber) durchgeführt.

Es wurden in diesem Projekt **mathematisch-statistische Methoden** beigezogen, um einerseits die Unsicherheiten bei der Massenbestimmung der zu bilanzierenden Güter zu berücksichtigen, und andererseits die Varianz der Stoffkonzentrationen in den Outputfraktionen der Müllverbrennungsanlage zu bestimmen.

Verbrannt wurde einerseits "reiner" Hausmüll (= nach Separatsammlung kommunal entsorgter Müll, der hauptsächlich aus privaten Haushaltungen stammt) und andererseits Systemmüll (= nach Separatsammlung kommunal entsorgter Müll, der neben Hausmüll auch hausmüllähnlichen Industrie- und Gewerbeabfall beinhaltet). Mit den gewonnenen Daten sollte eine Bilanz derjenigen Güter und ausgewählten Elemente, die eine Müllverbrennungsanlage durchlaufen, erstellt und daraus erstmals für Österreich die Menge und chemische Zusammensetzung des Hausmülls des "durchschnittlichen" Haushaltes berechnet werden.

## Ergebnisse

Auf Grund der Probenentnahme und -aufbereitungsprozeduren des Vorversuches wurde der statistischen Analyse zur Bestimmung der mittleren Elementkonzentrationen ein Modell der zufälligen Effekte mit hierarchischer Struktur zu Grunde gelegt (Varianzkomponentenanalyse). Die hierarchischen Ebenen werden als Ebene der Stunden, Ebene innerhalb der Stunden und Ebene der Mehrfachbestimmung der Analyseproben bezeichnet. Mit diesem statistischen Modell wurde die Probenanzahl für Schlacke, Filterstaub, Filterkuchen und Abwasser so festgelegt, daß die mittleren Stoffkonzentrationen in diesen Gütern mit einer hohen Wahrscheinlichkeit ( $\pm 0,95$ ) innerhalb der angegebenen Intervallbreiten zu finden sind.

Tab. 1: Kombinationen von b und c zur Einhaltung der festgesetzten Breite  $\pm 10\%$  des 95 % Konfidenzintervalls für die mittlere Stoffkonzentration des angegebenen Elements in der **Schlacke**

b	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	b
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	34	10	6	5	4	3	3	2	2	2	c
Pb	218	90	55	39	31	25	21	19	16	15	13	12	11	11	9	9	8	8	c
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	29	17	12	10	8	7	6	c
Fe	-	-	-	-	13	6	4	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	c
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	c
P	-	-	-	-	11	6	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	c
C	-	-	-	-	35	26	12	8	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	c
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	15	9	6	c

In den Tabellen 1 und 2 werden für alle Elemente verschiedene Kombinationen von b (Proben der Stunden) und c (Proben innerhalb der Stunden) angegeben, welche zu dem gewünschten Konfidenzintervall führen, d.h. beispielsweise für die Bestimmung der Bleikonzentration (Pb) in der Schlacke müßte man sieben Stunden lang (b=7) 31 Proben pro Stunde (c=31) nehmen, also 31 mal 7 Proben, um sicher zu sein, daß der tatsächliche Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % innerhalb eines Bereichs von  $\pm 10\%$  des berechneten Mittelwertes zu finden ist. Für Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) ist aus der Tabelle 1 ersichtlich, daß in dem vorgegebenen Versuchszeitraum die Konzentration in der Schlacke nicht mit der ge-

wünschten Genauigkeit bestimmt werden kann. Für Blei (Pb) hingegen war die geforderte Probenanzahl am höchsten, d.h. die Anzahl der Probenahmen aller Elemente hat sich demnach nach diesem Element auszurichten.

Tab. 2: Kombinationen von b und c zur Einhaltung der festgesetzten Breite ( $\pm 10\%$ ) des 95 % Konfidenzintervalls für die mittlere Stoffkonzentration des angegebenen Elements im Filterstaub

<b>b</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	<b>b</b>
Cd	-	-	-	-	29	13	9	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	<b>c</b>
Zn	21	9	6	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	<b>c</b>
Pb	39	16	10	7	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	<b>c</b>
Cu	11	5	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>c</b>
Fe	-	-	6	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>c</b>
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>c</b>
F-Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>c</b>
P	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>c</b>
S	-	24	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>c</b>

Es zeigt sich, daß mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand für die meisten Elemente eine Stoffflußanalyse über einen Zeitraum von mehreren Tagen ausreicht. Jedoch ist bei zukünftigen Projekten, die eine Bilanzierung über einen längeren Zeitraum anstreben, die Untersuchung von saisonalen Schwankungen unumgänglich. Um verschiedene Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, ist die Angabe der Unsicherheit in Form von Konfidenzintervallen und Varianzen für die verschiedenen Werte notwendig.

Sowohl in der chemischen Müllzusammensetzung (Tab. 3) als auch in der Verteilung der ausgewählten Elemente (Abb. 3) auf die Produkte Schlacke, Filterstaub, Filterkuchen und Abwasser (Transferkoeffizienten) konnte im allgemeinen kein Unterschied zwischen "reinem" Hausmüll und Systemmüll festgestellt werden. Innerhalb der Genauigkeitsgrenzen wird die relative Änderung der Elementkonzentrationen durch eine relative Änderung der zugehörigen Massenflüsse kompensiert.

Die Abbildung 3 zeigt die Verteilung ausgewählter Elemente auf die Produkte der Verbrennung. Die Verteilung ist eine Funktion der physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Elementes.

Das lithophile **Kupfer** verbleibt größtenteils (94 %) in der Schlacke. Metalle mit niederem Dampfdruck wie beispielsweise **Zink** verteilen sich relativ gleichmäßig auf Schlacke und Filterstaub. **Quecksilber** verdampft bei der Verbrennung zu einem hohen Prozentsatz, und gelangt, dampfförmig und auf submikroskopischen Partikeln konzentriert, in den Elektrofilter, wo es je nach Partikelgröße, weniger gut oder besser abgeschieden wird. Wie aus der Abbildung 3 zu ersehen ist, gelangt Quecksilber nach der Rauchgaswäsche zu über 70 % in den Filterkuchen.

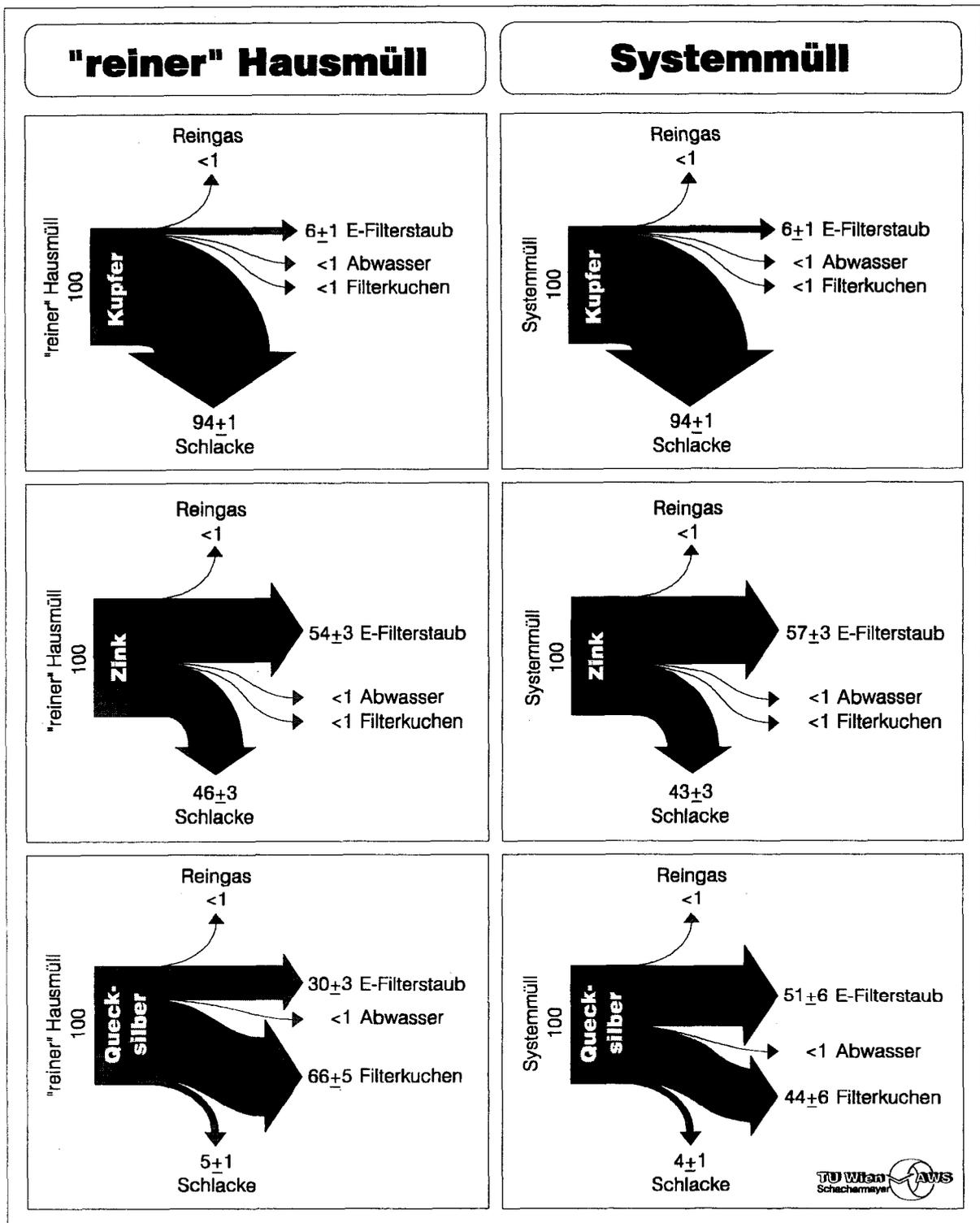


Abb. 3: Graphische Darstellung ausgewählter Transferkoeffizienten

Tab. 3: Mittlere Stoffkonzentrationen im verbrannten Müll (TS) "reiner" Hausmüll bzw. Systemmüll

Element	"reiner" Hausmüll			Systemmüll		
	mittlere Stoffkonzentration [g/kg Müll]	untere Grenze [g/kg Müll]	obere Grenze [g/kg Müll]	mittlere Stoffkonzentration [g/kg Müll]	untere Grenze [g/kg Müll]	obere Grenze [g/kg Müll]
<b>Cd</b>	0,0090	0,0064	0,013	0,011	0,0084	0,014
<b>Cu</b>	0,44	0,27	0,68	0,48	0,38	0,60
<b>Zn</b>	0,94	0,68	1,3	1,1	0,91	1,4
<b>Hg</b>	0,0025	0,0018	0,0037	0,0018	0,0014	0,0023
<b>Pb</b>	0,60	0,39	0,94	0,81	0,60	1,1
<b>P</b>	1,3	0,92	1,9	1,4	1,2	1,7
<b>C</b>	240	180	330	260	220	310
<b>Fe</b>	50	37	68	56	47	68
<b>S</b>	3,5	2,6	5,0	3,8	3,1	4,5

Tab. 4: Vergleich der mittleren Systemmüllzusammensetzung (TS) der ausgewählten Literatur mit eigenen Ergebnissen

Versuch	Cd	Zn	Pb	Cu	Fe	Hg	S	C	P
	[mg/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[mg/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]
"reiner" Hausmüll (1993)	9,0	0,94	0,60	0,44	50	2,5	3,5	240	1,3
Systemmüll (1993)	10,8	1,1	0,81	0,48	56	1,8	3,8	260	1,4
Brunner&Mönch A (1986)	10,5	2,4	0,51	0,24	81	1,0	3,25	325	n.b.
Brunner&Mönch B (1986)	14,5	1,3	0,69	0,55	n.b.	2,4	n.b.	n.b.	n.b.
Schmickl (1993)	6	0,67	0,18	0,14	n.b.	1,64	0,65	n.b.	n.b.
Belevi et al. [1] (1994)	14,7	1,6	0,67	0,60	41	n.b.	1,9	400	1,1
Belevi et al. [2] (1994)	14,7	1,9	0,93	0,57	37	n.b.	1,7	490	0,84

Vergleicht man die mittlere Systemmüllzusammensetzung der eigenen Untersuchung mit jener aus der Literatur (Tab. 4), so zeigt sich, daß mit Ausnahme der Ergebnisse von Schmickl, die auf einer punktuellen Beprobung der Müllverbrennungsanlage Spittelau basieren und insgesamt für alle Elemente niedriger liegen als die der eigenen Untersuchung und der Literaturwerte, die berechneten Elementkonzentrationen im Systemmüll einander sehr ähnlich sind. Der Kohlenstoffgehalt in der Untersuchung Belevi et al. ist signifikant höher als jener

der anderen Studien. Als Ursache wurde der Gewerbeabfall genannt, der im Durchschnitt höhere Kohlenstoffkonzentrationen aufweist als die Haushaltsabfälle.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß ProbenahmeprozEDUREN von heterogenen Gütern, wie beispielsweise der Schlacke, mit mathematisch-statistischen Methoden optimiert werden müssen, um möglichst gute Ergebnisse mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand zu erreichen.

### **Schlußfolgerungen**

- Die Transferkoeffizienten der Müllverbrennung und die Zusammensetzung von Systemmüll lassen sich aus den Produkten der Verbrennung bestimmen.
- Die Hypothese, daß sich anhand der Transferkoeffizienten aus der Konzentration eines Stoffes in einem Verbrennungsprodukt auch die Konzentration im verbrannten Abfall bestimmen läßt, kann nach dieser Arbeit nicht mehr aufrechterhalten werden; die Masse des Gutes, in dem die Konzentration gemessen wird, muß unbedingt berücksichtigt werden, um die Müllzusammensetzung zu bestimmen.
- Für zukünftige Bestimmungen der Transferkoeffizienten von Abfallbehandlungsanlagen allgemein sollte bereits in der Planungsphase der Anlage der späteren Beprobung für eine Stoffbilanz Aufmerksamkeit geschenkt werden.
- ProbenahmeprozEDUREN für heterogene Güter mit stark unterschiedlichen Korngrößen, die in der Abfallwirtschaft häufig anzutreffen sind, müssen optimiert werden.
- Die in dieser Arbeit gefundenen Werte für die Müllzusammensetzung und die Transferkoeffizienten sind im selben Bereich wie Werte, die in Österreich und in der Schweiz gemessen wurden.
- Die Transferkoeffizienten, d.h. die Verteilung der Stoffe auf die Produkte der Verbrennung waren für "reinen" Hausmüll und Systemmüll gleich; die Stoffkonzentrationen in den Verbrennungsprodukten waren aber zum Teil signifikant unterschiedlich.
- Zwischen der Zusammensetzung des Systemmülls und des "reinen" Hausmülls besteht bezüglich der untersuchten Stoffe kein signifikanter Unterschied. Der Wassergehalt des Hausmülls ist vermutlich wesentlich höher.
- Aufgrund seiner auch in dieser Arbeit bestätigten Homogenität eignet sich der Elektrofilterstaub am besten für eine Probenahme und die Bestimmung der Stoffe, die hauptsächlich über den Elektrofilter abgeschieden werden (z.B. Cadmium, Zink, Zinn, Antimon usw.). Quecksilber wird am effizientesten über den Neutralisationsschlamm bestimmt. Kohlenstoff und Eisen liegen zu weniger als 1 % im Filterstaub vor; Kohlenstoff wird am besten im Reingas gemessen; Eisen kann einfach über die Messung des am Magnetabscheider anfallenden Schrottes bestimmt werden.

Aus den Ergebnissen läßt sich ableiten, daß mit fortschreitender Entwicklung der Anlagentechnik die Ziele der Müllverbrennung immer mehr erreicht werden; d.s. 1. vollständige Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs in Schlacke und Filterstaub, 2. größtmögliche Konzentration von Schadstoffen in Filterstaub und Wäscherschlämmen und 3. Verbesserung der Kenntnisse und der Kontrolle der Zusammensetzung der Abfälle.

Beispielsweise beträgt für Cadmium die Entlastung der Schlacke, gemessen gegenüber dem Brennstoff Müll, bereits mehr als 90 %. Der erwünschten Verringerung der Schwermetalle in der Schlacke geht die Anreicherung dieser Metalle im Filterstaub einher. Die Gehalte an Zink, Blei, Cadmium und anderen atmosphilen Metallen (mit Ausnahme von Quecksilber) nehmen von einer Generation Müllverbrennungsanlagen zur nächsten zu und sind in der Müllverbrennungsanlage Spittelau bereits so hoch, daß eine Rückgewinnung von Metallen nicht mehr ausgeschlossen erscheint.

#### 6.1.1.1 Folgerungen aus der Studie "MAPE" für die Stoffbuchhaltung

Müllverbrennungsanlagen sind für bestimmte Elemente ein geeigneter Meßpunkt zur Quantifizierung des jährlichen Outputs des nationalen Stoffhaushaltes. Beispielsweise eignet sich der Filterstaub für ein Monitoring von Cadmium, Zink, Zinn, Antimon und anderen atmosphilen Elementen. Quecksilber wird am effizientesten über den Neutralisationsschlamm bestimmt, Kohlenstoff im Reingas und Eisen über die Messung des am Magnetabscheiders anfallenden Schrotts.

Die über ein solches **Monitoring** aufgezeichnete **Müllzusammensetzung** in **Österreich** würde eine erheblich bessere Datengrundlage für abfallwirtschaftliche Maßnahmen und Entscheidungen schaffen. Beispielsweise könnten **langfristige Trends** ersichtlich gemacht werden. Die Ergebnisse könnten zum Aufbau eines **Frühwarnsystems** herangezogen werden. Es könnte gezeigt werden, welche Problemstoffe zu- oder abnehmen, welche Ressourcencapotentiale sich auf- oder abbauen, wie und warum sich der Energieinhalt verändert.

Die Müllverbrennungsanlage als Monitoringinstrument kann wichtige Informationen zur Überprüfung von Maßnahmen in der Abfallwirtschaft liefern. Zu diesem Zweck ist es jedoch empfehlenswert, bei neuen Anlagen die Bilanzierung ausgewählter Stoffe (Hauptbestandteile und einige ausgewählte Spurenelemente) bereits von vornherein einzuplanen, damit geeignete Probenahmestellen von Beginn an vorgesehen werden können.

Die Erkenntnisse, welche durch periodische Stoffbilanzen gewonnen werden können, entsprechen sowohl den Erfordernissen des Bundesabfallwirtschaftsplans als auch denen von nationalen Umweltplänen. Sie sind eine wichtige Grundlage zur Erreichung der Ziele der Abfallwirtschaft: "langfristige Umweltverträglichkeit" und "optimale Ressourcennutzung".

Die Müllverbrennungsanlage ist für viele Stoffe ein Konzentrationsprozeß (z.B. Cadmium) und sicherlich für eine große Anzahl von Stoffen ein Schlüsselprozeß und muß damit bei der Implementierung einer nationalen Stoffbuchhaltung in die Betrachtung miteinbezogen werden.

### **6.1.2 Die Studie "Hamburger" - Die Bedeutung eines altpapierverarbeitenden Betriebes für die Stoffbilanz einer Industrieregion**

Diese Diplomarbeit wurde im Jahre 1993 von W. Lauber im Rahmen des Aufbaustudiums Technischer Umweltschutz am Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft an der TU-Wien erstellt.

#### **Einleitung**

Industriebetriebe stellen auch dann, wenn sie wie ein altpapierverarbeitender Betrieb Teil eines wirtschaftlichen Kreislaufsystems sind, Belastungen der Ökologie einer Region dar. Die hier vorgestellte Arbeit ist Teil eines Projektes mit dem Ziel, eine Stoffbilanz der Produktionsanlagen eines altpapierverarbeitenden Betriebes zu erstellen und diese dann in Bezug zur Bilanz des gesamten Betriebes (Abfallwirtschaftskonzept), der Region und des Zellstoffflusses Österreich zu setzen.

In diesem Projekt wurden Güter- und Stoffbilanzen der Papierfabrik HAMBURGER AG in Pitten und des Bezirks Neunkirchen (Industrie, Landwirtschaft, Haushalte, Verkehr) erstellt. Der Betrieb HAMBURGER verarbeitet rund 22 % des in Österreich gesammelten Altpapiers zu etwa 225.000 t Wellpappen-Rohpapier.

#### **Zielsetzung und Fragestellung**

Das Ziel besteht darin, die wichtigsten Güterflüsse und ausgewählte Stoffflüsse im untersuchten Betrieb und in der Region zu erfassen und den Beitrag des Betriebes zu den Güter- und Stoffflüssen der Region abzuschätzen.

Die Ergebnisse von Stoffflußanalysen sind Hilfsmittel zur Steuerung von Stoffflüssen sowohl von Betrieben als auch von Regionen. Mit dieser Methode können jene Prozesse identifiziert werden, die vorrangig verändert werden müssen, da deren Steuerung die größte Wirkung auf das gesamte System hervorruft. Die wichtigste Frage lautete daher: Ist der untersuchte Betrieb ein derartiger Prozeß? Weiters sollte die Frage beantwortet werden, ob und welche Auswirkungen die Abstützung auf vorhandene Daten im Vergleich zu speziell durchzuführenden Meßprogrammen auf das Endresultat hat.

#### **Methodik**

Als Methode wurde die Stoffflußanalyse angewendet. Zur Ermittlung der Güter- und Stoffflüsse wurden vorhandene technische und wirtschaftliche Daten des Betriebes und der Region, Befragungen, eigene Messungen im Betrieb sowie Literaturangaben herangezogen.

Für die Erstellung der Güter- und Stoffbilanz des Betriebes standen relativ ausführliche Angaben über die Güterflüsse zur Verfügung. Die Stoffkonzentrationen mußten zum größten Teil über Literaturangaben ermittelt werden. Bei der Bilanzierung der Region war die Datenlage

viel schwieriger. Zwar existierten zumindest für viele Güter aufgrund der Industriestatistik Daten auch auf der Ebene der Region (politischer Bezirk), sie sind jedoch aus Datenschutzgründen der Verarbeitung außerhalb des Österreichischen Statistischen Zentralamtes nicht zugänglich. Daher mußten viele Größen für die Region mit Hilfe von gesamtösterreichischen Daten und Zahlen der Branchenbeschäftigten umgerechnet werden.

Bilanziert wurden neben den Güterflüssen (Roh- und Hilfsstoffe, Investitionsgüter, Produkt, Abfall, Frischluft, Abgas, Frisch- und Abwasser) auch die Flüsse der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Aluminium, Eisen, Kupfer, Zink, Cadmium, Quecksilber und Blei.

## Ergebnisse

Die Abbildung 4 zeigt die Güterbilanz des Unternehmens. Der Jahresumsatz beträgt knapp 3 Mio. Tonnen. Dem steht ein Lager von nur 26.000 t (16.000 t Bauten und Maschinen, 10.000 t Papier und Kohle) gegenüber. Die Papierproduktion benötigt neben dem Rohstoff, hier ausschließlich Altpapier, einen relativ hohen Input an Energieträgern (Kohle), an Frischluft (Energieversorgung) und Frischwasser (Altpapierauflösung).

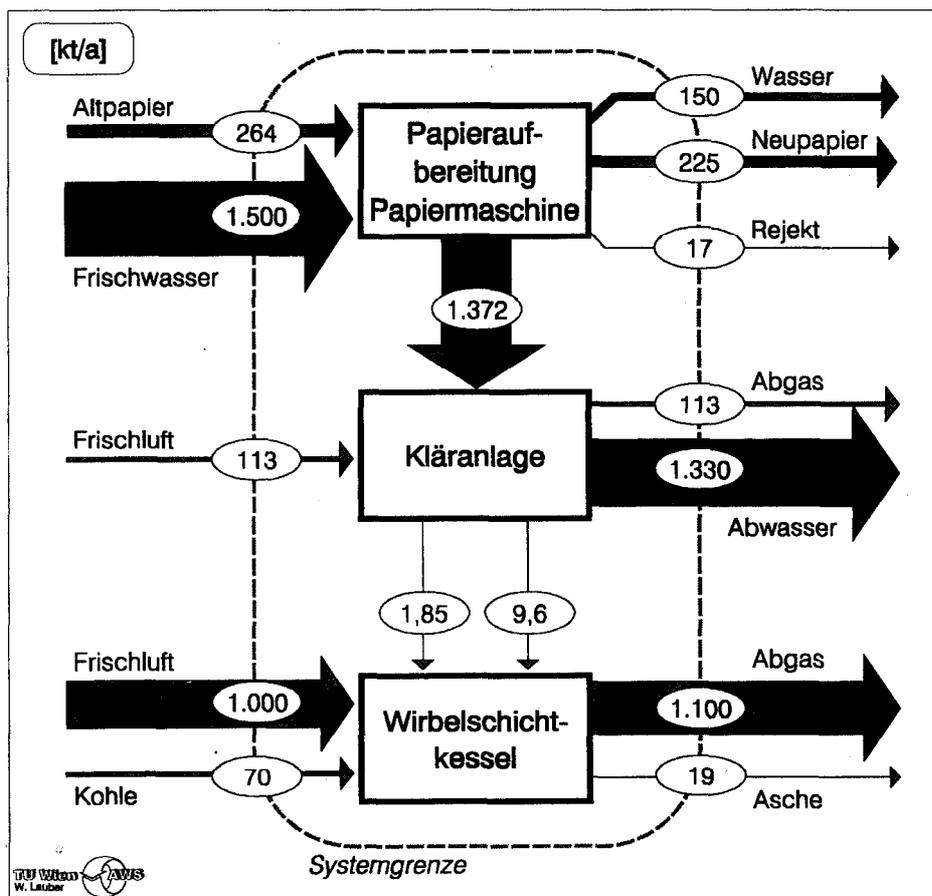


Abb. 4: Systemanalyse und Güterflüsse eines papierverarbeitenden Unternehmens in kt/Jahr

Beim Output dominieren flüssige und gasförmige Emissionen. Bemerkenswert ist, daß Outputflüsse aus der (hypothetischen) Demontage von Anlagen und Bauten vergleichsweise ebenso gering sind, wie die Abfälle aus Instandhaltung, Wartung und Verwaltung.

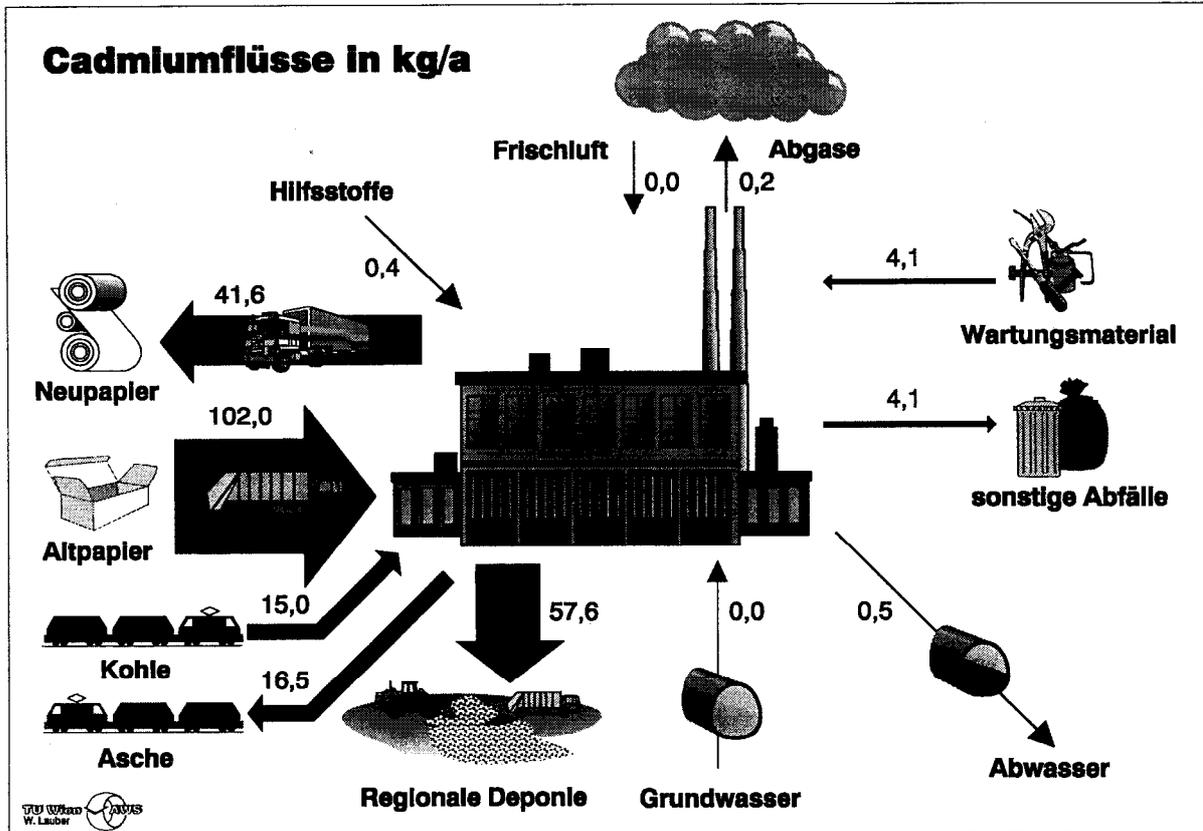


Abb. 5: Cadmiumbilanz der Papierfabrik in kt/Jahr [Lauber, 1993]

Die Abbildung 5 zeigt am Beispiel des Cadmiums die Bedeutung der Güter und Prozesse für diesen Stoff. Die Nickel-Cadmium-Akkus (Wartung, Instandhaltung) sind mit ihrem Cd-Anteil irrelevant gegenüber dem, über das Altpapier transportierten, Flux. Auch bei den übrigen Schwermetallen ist die Verschmutzung des Altpapiers die Hauptquelle. Da bei der Wellpappeherstellung rund die Hälfte der Schwermetalle aus dem Altpapier über das Rejekt abgetrennt wird und entsorgt werden muß, kommt dem Betrieb eine wesentliche Entsorgungsfunktion zu. Aufgrund der Tatsache, daß in diesem Unternehmen ca. 20 % des in Österreich gesammelten Altpapiers verarbeitet werden, ist diese Entsorgungsfunktion von einer weit über die Regionsgrenze hinausgehenden Bedeutung.

Ein Vergleich der Stoffflüsse durch den Betrieb mit jenen durch die Region zeigt anhand ausgewählter Flüsse, daß beim organischen Abfall ebenso wie bei den Schwermetallen der Anteil der Papierfabrik an den in der Region deponierten Abfällen relativ hoch ist. Hier zeigen sich also Ansatzpunkte für Optimierungen.

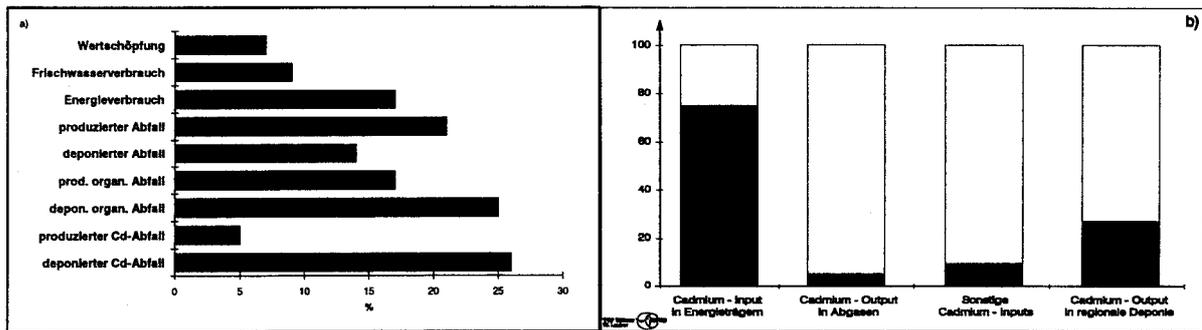


Abb. 6: a) Anteil des Betriebes an der Wertschöpfung, am Energieverbrauch, am Abfall- und Cadmiumfluß der gesamten Region in %. b) 100 % ist der gesamte Cadmiumfluß der Region. Der Beitrag des Unternehmens ist dunkel dargestellt.

Die Auswirkungen der betrieblichen Tätigkeit auf die Region sind vor allem beim organischen Abfall und bei den Schwermetallen (Cd) relativ stark, da diese innerhalb der Region deponiert werden. Das Abwasser und die restlichen Abfälle werden außerhalb der Region entsorgt.

In der Abbildung 6b wird der prozentuelle Anteil des Unternehmens an den gesamten Cadmiumflüssen der Region dargestellt. Vom Cadmium, welches in allen in die Region gelangenden Energieträgern steckt, fließt der größte Teil (75 %) durch den Kohlebedarf des Betriebes in die Region. Im Gegensatz dazu ist der Cd-Beitrag des Unternehmens bei jenen Mengen an Cadmium welche die Region über die Abgase verlassen, mit ungefähr 5 % gering.

Betrachtet man die restlichen Cadmium-Inputs (Ni-Cd Akkumulatoren, PVC, Personenwagen bzw. Altpapier) ohne die Energieträger, liegt der Beitrag des Unternehmens bei unter 10 % (siehe Abb 5b). Bedingt durch die Cadmium Mengen im Rejekt ist der Cd-Fluß aus dem Unternehmen in die regionale Deponie mit einem Beitrag von knapp 30 % relativ hoch. Die restlichen 70 % stammen aus dem Restmüll der Region.

## Schlußfolgerungen

Das System Hamburger enthält drei zentrale Prozesse: "Papiaufbereitung/Papiermaschine", "Abwasserreinigung" und "Wirbelschichtverbrennung". Der Wirbelschichtkessel hat die Funktion der Energieversorgung und der Entsorgung der Abfälle (Schlämme) und Abgase (Biogas der Kläranlage).

Das Unternehmen ist an der gesamten Wertschöpfung der Region zu 7 %, an der Wertschöpfung der regionalen Industrie zu 9 % beteiligt. Demgegenüber weist der Betrieb in den Bereichen Abfall, Energie, Luftverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen stark überdurchschnittliche Anteile auf.

Das Unternehmen übernimmt eine Entsorgungsfunktion, indem etwa die Hälfte der über das Altpapier eingetragenen Schadstoffflüsse über Rejekt und Asche entsorgt wird. Die hier in

Deponien ausgeschleusten Stoffflüsse (durch die Altpapiersammlungen) wären ansonsten im kommunalen Müll enthalten.

In der Region werden neben den kommunalen Abfällen auch die Spuckstoffe von zwei Papierfabriken deponiert, die vor allem aus organischem Material bestehen. Gemäß der im Abfallwirtschaftsgesetz formulierten Ziele ist eine Reduktion dieses organischen Anteils anzustreben. Beispielsweise durch eine thermische Verwertung.

Die Ergebnisse der Stoffflußanalyse zeigen dem Unternehmer, welche Lösung für seine Abfallprobleme die ökologisch sinnvollste ist. Beispielsweise kann er anhand der Resultate der Cadmium-Bilanz gut begründen, weshalb das Rejekt vor der Deponierung thermisch behandelt werden soll. Weiters kann er zeigen, daß dank einer effizienten Abgasreinigung sein Unternehmen für die regionale Luftbelastung von relativ geringer Bedeutung ist. Maßnahmen zur Reduktion der Cadmium-Immissionen müssen vorrangig bei anderen Quellen ansetzen.

#### 6.1.2.1 Folgerungen aus der Studie "Hamburger" für die Stoffbuchhaltung

Die Studie "Hamburger" ist ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, welche Bedeutung der Stoffhaushalt eines Betriebes nicht nur für die ihn umgebende Region sondern auch für den Stoffhaushalt einer Nation haben kann.

Unternehmen wie diese können auch bei der Führung einer Stoffbuchhaltung eine Schlüsselrolle einnehmen. Dieser Prozeß ist nicht nur ein möglicher Meßpunkt für die Datenerfassung, sondern zusätzlich ein Ort an dem Steuerungsmaßnahmen sowohl in Richtung Umweltschutz als auch Ressourcenschonung vorgenommen werden können. Wie am Beispiel des Cadmiums gezeigt werden konnte, wo durch die betriebliche Tätigkeit eine Abtrennung von Schadstoffen aus dem Nutzungskreislauf erreicht werden kann, d.h. sie üben eine Reinigungsfunktion aus. Zukünftig können die Schadstoffe vielleicht nicht nur abgeschieden, sondern vielleicht wieder in den Produktionskreislauf eingespeist werden.

Eine weitere Erkenntnis für die nationale Stoffbuchhaltung ist, daß es für gewisse Unternehmen notwendig sein wird, über das eigene betriebliche Interesse hinaus, eine betriebliche Stoffbuchhaltung als wichtige Datengrundlage für eine nationale Stoffbuchhaltung zu führen und zur Verfügung zu stellen. Es ist daher wichtig, solche Betriebe zu identifizieren und von der Notwendigkeit ihrer Mitarbeit zu überzeugen.

## **6.2 Regionale Stoffflußanalysen**

Im folgenden werden Ergebnisse von Stoffflußanalysen über zwei Regionen (die Stadt St. Gallen und eine kleine schweizer Mittellandregion - das Untere Bünztal) vorgestellt.

## **6.2.1 METAPOLIS - Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt**

Das Projekt "**Metapolis - Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt**" wurde im Bericht 34 des Nationalen Forschungsprogrammes 'Stadt und Verkehr' 1993 in Zürich veröffentlicht. Die Studie wurde an der ETH-Zürich, Abt. Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt von P. Baccini, H. Daxbeck, E. Glenck und G. Henseler durchgeführt.

### **Einleitung**

Urbane Systeme sind äußerst komplexe anthropogene Bau- und Netzwerke. Sie sind nicht autark, sondern sowohl in der Ver- als auch in der Entsorgung auf die sie umgebenen Regionen angewiesen. Die Versorgung der Städte funktioniert hauptsächlich nach den Regeln der Marktwirtschaft, d.h. Angebot und Nachfrage bestimmen den Güterfluß in die und in der Stadt. Im Gegensatz dazu ist die Entsorgung vorwiegend planwirtschaftlich organisiert. Die öffentliche Hand ist vom Gesetzgeber verpflichtet, den Großteil der festen und flüssigen Abfälle zu übernehmen und zu behandeln. Im Projekt METAPOLIS wurden die Privathaushalte einer Stadt als kleinste, aber zentrale Stoffwechselprozesse eines komplexen anthropogenen Systems untersucht.

### **Zielsetzung und Fragestellung**

Diese Arbeit hatte zum Ziel, die durch Versorgung und Konsum der privaten Haushalte einer Stadt entstehenden Güter- und Stoffflüsse in die Entsorgungssysteme zu quantifizieren und zu qualifizieren. Im wesentlichen ging es darum, die aus der Versorgung der Privathaushalte ermittelten Daten mit jenen aus der Entsorgung zu verknüpfen.

Es wurden folgende Fragen beantwortet:

- Welches sind die mengenmäßig wichtigsten Güter für die Hauptaktivitäten "ERNÄHREN", "REINIGEN", "WOHNEN", "TRANSPORTIEREN UND KOMMUNIZIEREN" des urbanen Menschen in seinem Privathaushalt?
- In welchen Gütern werden ressourcen- und umweltrelevante Stoffe in die Entsorgungssysteme transferiert, und wie werden diese Stoffe auf Luft, Wasser und Boden verteilt, bzw. wieder in die Anthroposphäre zurückgeführt?
- Wie verändern sich die Stoffwechselprozesse der Privathaushalte in Funktion der Zeit, und von welchen Variablen sind sie in erster Linie abhängig (Lagerbildung und Verweilzeiten der Güter)?
- Kann man mit Hilfe eines Stoffwechselmodells für Privathaushalte den künftigen Bedarf an Entsorgungsanlagen abschätzen und Steuerungsmaßnahmen (z.B. Gesetze, marktwirtschaftliche Instrumente, Steuern, Information und Ausbildung) evaluieren (Früherkennung)?

## Methodik

Aufgrund der Auswahlkriterien, Ver- und Entsorgungsstruktur und politische Rahmenbedingungen wurde die Stadt St. Gallen (Schweiz, 75.000 Einwohner) als Untersuchungsobjekt gewählt. In einem ersten Schritt wurden die 6 Hauptprozesse "Privathaushalt", "Müllabfuhr", "Separate Sammlung", "Kanalisation", "Müllverbrennungsanlage" (MVA) und "Abwasserreinigungsanlage" (ARA) bestimmt und miteinander verknüpft. Als Indikatorstoffe dienten Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Chlor, Kupfer, Zink, Aluminium und Eisen.

Zur Bestimmung des Güterflusses in den privaten Haushalt wurde auf drei Datenquellen zurückgegriffen. Die Konsumgüterdaten stammten von der Marktforschung, Energieträgerdaten von städtischen bzw. gesamtschweizerischen Statistiken und die Wasserversorgungsdaten aus städtischen Statistiken. Die Entsorgungsdaten wurden teilweise ebenfalls aus städtischen Statistiken entnommen. Der größere Teil der notwendigen Informationen wurde über Meßprogramme in der MVA und der ARA gewonnen.

Für die Beschreibung und Verknüpfung des gesamten Systems "METAPOLIS" waren schlußendlich 43 Prozesse und ca. 200 aggregierte Güter notwendig, deren Massenflüsse und Stoffkonzentrationen gemessen bzw. geschätzt wurden.

Diese Untersuchung beschränkte sich ausschließlich auf die mobilen Güter, d.s. sämtliche Konsumgüter des täglichen Bedarfs (Wasser, Luft, kurz- und langlebige Konsumgüter, Energieträger sowie die gasförmigen, flüssigen und festen Abfallgüter). Nicht berücksichtigt wurde die bauliche Substanz (Wohnbauten) inklusive der festen Installation (sanitäre und elektrische) und sämtliche der Ver- und Entsorgung dienenden fest installierten Netze (Straßen, Schienen, Wasser, Abwasser, Energie und Kommunikation).

## Ergebnisse

Der gesamte Input in die Privathaushalte beträgt 100.000 kg pro Einwohner und Jahr, wobei 80 % davon auf das Wasser und etwa 20 % auf die Luft entfallen. Die kurzlebigen Konsumgüter (v.a. Lebensmittel) und die Energieträger (v.a. Benzin und Heizöl) tragen etwa 1 %, die langlebigen Konsumgüter (v.a. PKW und Möbel) nur etwa 0,1 % (100 kg) zum gesamten Güterfluß bei.

Für den Stoffhaushalt der Stadt St. Gallen bedeutet dies, daß der Privathaushalt für ca. drei Viertel des stadteigenen Güterflusses in die Entsorgungsprozesse verantwortlich ist. Damit tragen die stadteigenen Industrie-, Dienstleistungs- und Gewerbebetriebe nur ca.  $\frac{1}{4}$  bei.

Das mengenmäßig wichtigste Outputgut ist das gereinigte Abwasser mit ca. 240.000 kg/Einwohner und Jahr, gefolgt von der Abluft mit ca. 33.000 kg/E.a und den festen Abfällen (700 kg/E.a). Nur etwa 30 % davon (ca. 200 kg/E.a) werden stofflich wiederverwertet (v.a. Papier, Kompost, Glas).



## Kohlenstoff

Der in den privaten Haushalt eingeführte Kohlenstoff von ca. 1.100 kg/E.a befindet sich zu 80 % in Form von Kohlenwasserstoff in den fossilen Energieträgern. Er verteilt sich etwa zu gleichen Teilen auf Heiz- und Treibstoffe. Der Anteil der Nahrungsmittel am C-Fluß liegt bei ca. 20 %. Die Kunststoffe sind als Kohlenstoff-Träger mengenmäßig von geringer Bedeutung.

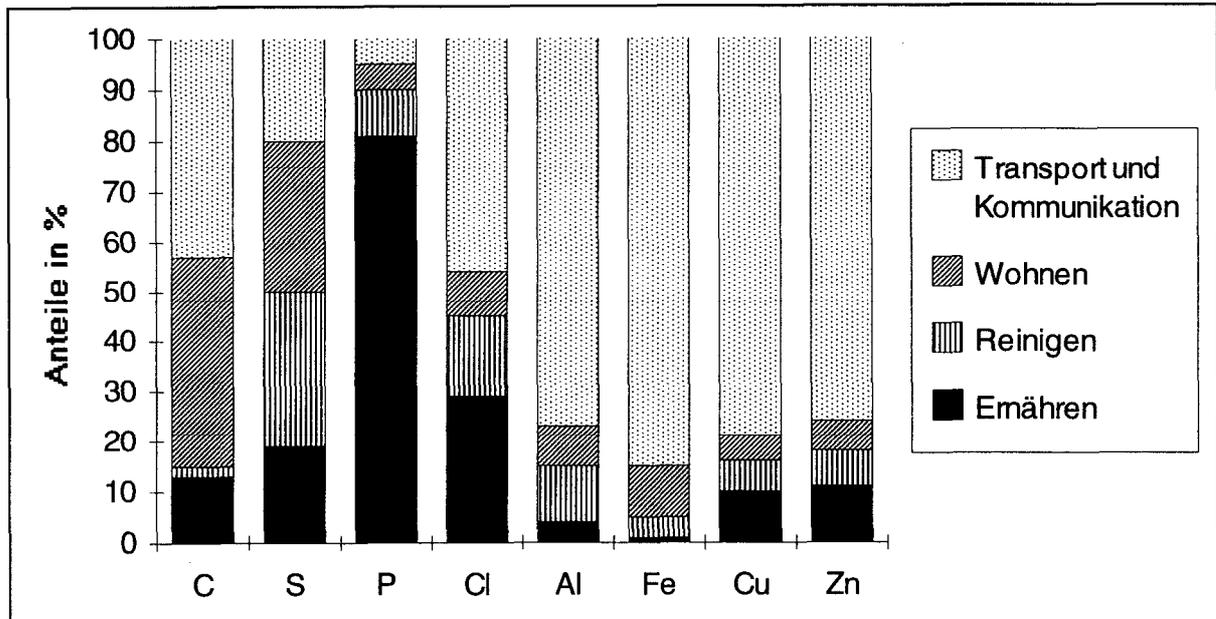


Abb. 8: Relative Bedeutung der vier Aktivitäten an den acht Stoffflüssen durch den Privathaushalt

Praktisch sämtlicher Kohlenstoff (ca. 90 %) wird im Privathaushalt als organischer Kohlenstoff direkt zu Kohlendioxid umgesetzt und in die Atmosphäre abgegeben. Die restlichen 100 kg/E.a verteilen sich auf den Hausmüll (75 %) und die Separate Sammlung (25 %). Der Großteil des Lagers (75 %) wird vom Heizöl EL (340 kg/E) und den Einrichtungsgegenständen (240 kg/E) geprägt. Von den ausgewählten Elementen wächst das Kohlenstoff-Lager mit jährlich <1 % am geringsten.

Kohlenstoff ist ein geeigneter Indikatorstoff für die aufgewendete Betriebsenergie im privaten Haushalt. Gravierende Änderungen im C-Haushalt sind somit nur im Bereich des Energiekonsums möglich, sowohl quantitativ als auch qualitativ (Ersatz von nicht erneuerbaren C-Quellen durch erneuerbare Energieträger).

## Chlor

Der Input an Chlor in den Haushalt beläuft sich auf ca. 10 kg/E.a. Ungefähr 50 % befinden sich in den kurzlebigen Konsumgütern und etwa 30 % in den langlebigen Konsumgütern. Ein großer Teil des Chlors (ca. 60 %) liegt als C-Cl-Bindung im Polymer PVC vor. Der Rest be-

findet sich als Chlorid im Kochsalz der Nahrungsmittel. Das Chlor-Lager von 33 kg/E wächst durch das Chlor in den Gebrauchsgütern (>80 % davon entfallen auf PVC im Personenwagen) um 3 % pro Jahr. Geht man von einem Gesamtkonsum von ca. 10 kg PVC-Cl/E.a in der Schweiz aus, so gelangt ungefähr die Hälfte davon über die mobilen Güter in den Privathaushalt.

Das ins Abwasser gelangende Chlor liegt praktisch vollständig als Chlorid vor (ca. 45 % des Inputs). Der zweitwichtigste Fluß gelangt in die Separate Sammlung, wobei der PKW mit ca. 2 kg/E.a der bedeutendste Cl-Träger ist. Schließlich fließen rund 15 % über den Hausmüll (80 % bis 90 % PVC-Chlor) in die Müllverbrennungsanlage, in welcher das Chlor zu mehr als 99 % in die festen Rückstände transferiert wird, wo es hauptsächlich als Chlorid vorliegt.

Bezüglich einer Chlorbelastung der Luft ist der Beitrag der Müllverbrennungsanlage etwa 10 mal kleiner als jener durch die Verbrennung der Energieträger des privaten Haushaltes. Die Chlorid-Konzentration im exportierten Wasser wird durch den Beitrag der Privathaushalte um das drei- bis vierfache erhöht. Geht man von der heutigen Praxis aus, daß die in den festen Rückständen der Müllverbrennung vorhandenen löslichen Chloride früher oder später in die Gewässer gelangen, so handelt es sich theoretisch um eine Verfünffachung. Wichtig ist, daß der größte Teil des konsumierten PVC-Chlors aus dem privaten Haushalt schon heute über die Separatsammlung führt (ca. 75 %, v.a. über den Personenwagen).

## **Aluminium**

In den Privathaushalt gelangen insgesamt ca. 7 kg Al/E.a. Der Input verteilt sich zu etwa gleichen Teilen auf die lang- und kurzlebigen Konsumgüter. Der bedeutendste Al-Träger in den Gebrauchsgütern ist mit einem Beitrag von ca. 30 % der Personenwagen. In den Verbrauchsgütern steckt das metallische Aluminium in den Verpackungen (1 kg/E.a), das Aluminiumsulfat im Papier (1 kg/E.a) und das Aluminiumsilikat in den Reinigungsmitteln (ca. 0,5 kg/E.a im Zeolith). Das Aluminium-Lager beläuft sich auf knapp über 30 kg/E und wächst jährlich um rund 1 kg/E. Mit einem Anteil von fast 20 kg/E ist der Personenwagen der gewichtigste Al-Träger.

Der Hauptaustrag des Privathaushaltes führt zu 90 % über die Separate Sammlung (ca. 2,7 kg/E.a) und den Hausmüll (2,6 kg/E.a). Die beiden wichtigsten separat gesammelten Güter sind der Personenwagen (60 %) und das Altpapier (25%). Im Hausmüll tragen das Haushalts-Aluminium 60 % und die Papierabfälle 23 % zum Al-Fluß in die Müllverbrennung bei.

In der Müllverbrennungsanlage wird das Aluminium praktisch quantitativ in die festen Rückstände transferiert. Betrachtet man den gesamtschweizerischen Konsum (1990) von ca. 23 kg/E.a, so beträgt der Fluß über die kurzlebigen Konsumgüter ca. 30 % und die Rückstände aus der Müllverbrennung enthalten ca. 10 %. Das bedeutet, daß der größte Teil (80-90 %) des anthropogenen Al-Flusses in der Schweiz entweder in das Lager oder über eine separate Erfassung führt.

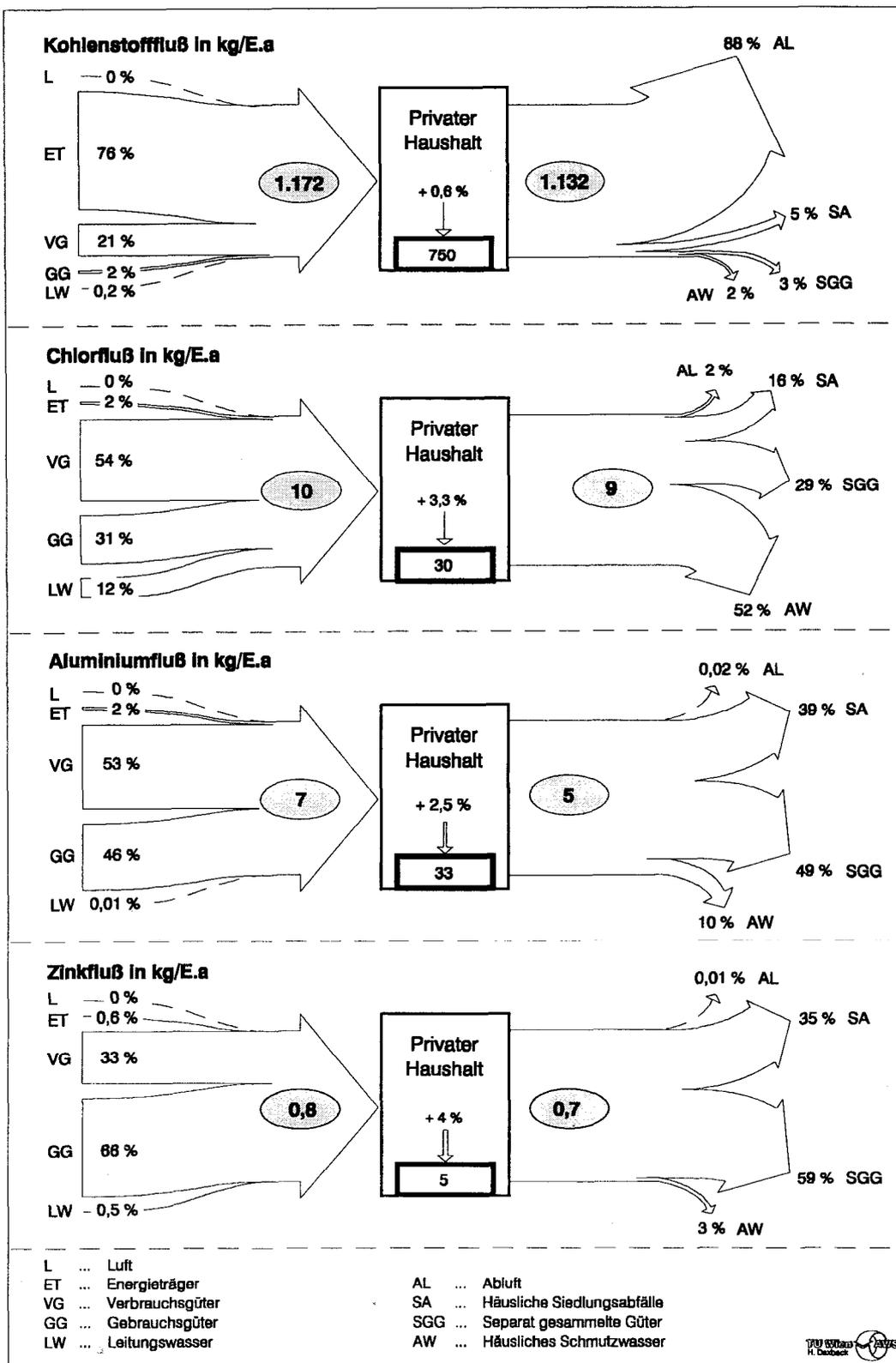


Abb. 9: Verteilung ausgewählter Stoffe aus dem Privathaushalt in die Entsorgungsprozesse der Stadt St. Gallen

## Zink

An Zink gelangen etwa 800 g/E.a in den Privathaushalt. Rund zwei Drittel davon befinden sich in den Gebrauchsgütern, ein Drittel steckt in den Verbrauchsgütern. Die beiden bedeutendsten Zn-Träger in den langlebigen Konsumgütern sind der Personenwagen (ca. 180 g) und die Unterhaltungselektronikgeräte (160 g). Die Reifen (140 g) sind die wichtigsten Zn-Lieferanten in den kurzlebigen Konsumgütern. Über diese 3 Güter gelangen knapp über 60 % des Zinks in den privaten Haushalt. Die Elektrogeräte (70 g) und die Batterien (60 g) tragen weitere 20 % zum Input bei.

Das Zinklager beträgt ca. 5 kg/Einwohner. In diesem Lager gibt es kein Gut, das eine dominierende Rolle spielt. Mit einem Beitrag von 33 % ist der Personenwagen der gewichtigste Zn-Träger. Gemeinsam mit den Unterhaltungselektronikgeräten (1,2 kg), den elektrischen Küchengeräten (1 kg) und den Einrichtungsgegenständen (0,7 kg) bilden diese vier Gütergruppen 90 % des Zn-Lagers. Das Zn-Lager wächst mit durchschnittlich 5 % pro Jahr sehr stark. Der Personenwagen ist für die Hälfte des Zuwachses, die Unterhaltungselektronikgeräte für ca. 20 % verantwortlich.

Der Output erfolgt zu fast 60 % über die separate Sammlung und zu 35 % über den Hausmüll. Die beiden gewichtigsten Zn-Träger in den separat gesammelten Gütern sind der Personenwagen und die Reifen mit jeweils ca. 30 %. Im Hausmüll tragen die Unterhaltungselektronikgeräte knapp 30 %, die Altbatterien ca. 25 % und die Einrichtungsabfälle ca. 14 % bei.

Das in die Müllverbrennungsanlage gelangende Zink wird praktisch vollständig in die festen Rückstände transferiert. Ungefähr 60 % gelangen in die Rückstände der Rauchgasreinigung, und werden dort aufkonzentriert. Der Zn-Gehalt dieser Rückstände liegt mit 35 g/kg bereits sehr nahe am Gehalt von Erzen (40-50 g/kg), d.h. es könnten sich erste Überlegungen bezüglich einer Gewinnung von Zink aus den Rückständen der Rauchgasreinigung bereits lohnen.

Das Zink ist im Privathaushalt relativ fein verteilt, d.h. es wurden viele Gütergruppen identifiziert, die einen wesentlichen Anteil am Zn-Fluß haben. Diese Tatsache erschwert eine etwaige Bewirtschaftung dieses Stoffes an der Inputseite erheblich.

## Schlußfolgerungen

1. Urbane Siedlungen von der Art der Stadt St. Gallen, wie sie in den Industriestaaten häufig vorkommen, stellen aus stofflicher Sicht im wesentlichen keine Kreislaufwirtschaft dar. Städte sind praktisch reine Durchflußreaktoren. Sie benötigen nicht nur für die Versorgung, sondern auch für die Entsorgung ein geographisch weiter gefaßtes Gebiet. Die Stadt ist stofflich nicht im Fließgleichgewicht, d.h. es werden in der Stadt Lager aufgebaut. Das Wachstum des Lagers beruht primär auf zunehmenden Güterflüssen pro Kopf und nicht auf dem Zuwachs an Einwohnern.
2. Die aus ökologischer Sicht (Ressourcenbedarf und Umweltbelastung) bedeutendsten Güter im Stoffwechsel der Privathaushalte sind die Energieträger. Alle anderen Anstrengungen zur weiteren Ressourcenschonung und zur Reduktion der Umweltbelastung aus den priva-

ten Haushalten sind von sekundärer Bedeutung. Die Entwicklung einer ökologisch orientierten Ressourcenwirtschaft für urbane Systeme muß über eigentliche Strukturveränderungen des urbanen Bauwerkes und dessen Verbindungen für Verkehr, Kommunikation etc. führen.

3. Gesamthaft betrachtet ist für die meisten anderen wichtigen Ressourcen (Metalle und Kunststoffe) die separate Erfassung bereits der wichtigste Entsorgungsweg. Er muß, da die Privathaushalte in allen untersuchten Fällen (mit Ausnahme des Kohlenstoffs) den kleineren Teil am Gesamtfluß liefern, zusammen mit jenen aus Industrie und Gewerbe untersucht werden. Es wäre wichtig, das Schwergewicht in der Entwicklung effizienter Recyclingprozesse, verstärkt auf den Bereich der Separatsammlung zu verlagern, bevor man weitere Anstrengungen unternimmt, die differenzierten Trennleistungen im Privaten Haushalt noch weiter zu verstärken.
4. Die urbane Schwemmkanalisation mit nachfolgender Abwasserreinigung ist nur bezüglich Phosphor ein einigermaßen effizienter Konzentrierungsschritt. Für alle anderen Stoffe ist dieser Bereich von untergeordneter Bedeutung in der Ressourcenbewirtschaftung. Die urbane Schwemmkanalisation mit anschließender Reinigung kann mit der Hygiene und dem Gewässerschutz begründet werden. Die undifferenzierte Art der Wassernutzung ist jedoch kritisch zu hinterfragen, weil eine mittelfristige Verbesserung der Klärschlammqualitäten und des gereinigten Abwassers ohne Änderung der Siedlungsstruktur kaum möglich ist.
5. Die Frage nach dem Studium des Stoffwechsels privater Haushalte zur Früherkennung kann grundsätzlich positiv beantwortet werden. Voraussetzung dazu ist jedoch eine regelmäßige, jährliche Energie- und Stoffbuchhaltungen. Momentaufnahmen in der Art dieser Studie waren notwendig, um die Methodik zu entwickeln. Sie sind jedoch für ein mittelfristig und regionsspezifisch taugliches Prognosemodell nicht ausreichend.

#### 6.2.1.1 Folgerungen aus der Studie "METAPOLS" für die Stoffbuchhaltung

Der Fortschritt der Untersuchung des Stoffwechsels von städtischen Agglomerationen für den nationalen Stoffhaushalt liegt in der Quantifizierung und Qualifizierung der Bedeutung des Stoffhaushaltes von Privathaushalten. Für die Führung einer nationalen Stoffbuchhaltung wird es für gewisse Stoffe (z.B. Kohlenstoff, Cadmium) unerlässlich sein, eine Stoffbuchhaltung von Privathaushalten zu führen. Vor allem im Hinblick auf das sich im Haushalt angehäufte Lager in Form der Infrastruktur (Wohnungen, Häuser) und an langlebigen Konsumgütern (Personenwagen, Einrichtungsgegenstände), dessen Bewirtschaftung bis heute weder geplant noch durchgeführt wird.

Die Stoffbuchhaltung von Privathaushalten kann natürlich nicht von jedem einzelnen Haushalt selbst geführt werden. Hier könnte beispielsweise die Marktforschung einen Beitrag liefern, da ein Teil ihres Aufgabenbereichs bereits heute in der Erforschung des Konsumverhaltens von privaten Haushalten besteht. Das heißt die Marktforschungsinstitute bestimmen bereits heute einen großen Teil des Inputflusses bestimmter Güter (z.B. Nahrungsmittel, elektr. Geräte, Wasch- und Reinigungsmittel usw.), jedoch erst teilweise massenmäßig. Das Projekt METAPOLIS hat jedoch gezeigt, daß mit den vorhandenen Daten mit einem ver-

trebaren Aufwand nicht nur die Güter- sondern auch ausgewählte Stoffflüsse quantifiziert werden konnten. Neben den Marktforschungsinstituten bietet sich das Österreichische Statistische Zentralamt ebenfalls als mögliche Institution zur Führung einer Stoffbuchhaltung von Privathaushalten an.

### **6.2.2 RESUB Boden - Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit meßbarem Ein- und Austrag**

Das Projekt RESUB (Der regionale Stoffhaushalt im Unteren Bünztal) wurde von 1986 bis 1990 von der Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt der EAWAG im Unteren Bünztal, einer kleinen schweizer Mittellandregion (28.0000 Einwohner, 66 km<sup>2</sup> Fläche), durchgeführt. In diesem Projekt untersuchten Naturwissenschaftler, Ingenieure und Ökonomen den Stoffhaushalt dieser Region. Das Ziel bestand in der Entwicklung einer Methodik als Grundlage für ein Modell zur Steuerung der regionalen Stoffflüsse unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Das Projekt RESUB-Boden ist ein Teilprojekt daraus, es wurde von B. v. Steiger und P. Baccini durchgeführt.

#### **Einleitung**

Alle vom Menschen genutzten Elemente gelangen früher oder später über verschiedene Wege in unterschiedlichen chemischen Formen in die Gewässer und in die Böden; sowohl fein verteilt als auch konzentriert (z.B. in Deponien). Die Stoffflüsse, die der Mensch in die Luft abgibt, gelangen in der Regel durch Deposition wieder auf den Boden, die Luft ist dabei nur ein Transportvehikel.

In dicht besiedelten Regionen der Industriegesellschaften, d.h. jenen mit >200 Einwohnern pro km<sup>2</sup> und hohen Energie- und Stoffflüssen pro Kopf, wird praktisch die gesamte verfügbare Bodenfläche genutzt. Bis heute liegen für größere Regionen (>100 km<sup>2</sup>) keine Untersuchungen vor, die den Stoffhaushalt der Böden in Abhängigkeit der menschlichen Aktivitäten über größere Zeitabschnitte (Jahre bis Jahrzehnte) erfassen und beschreiben.

#### **Zielsetzung und Fragestellung**

In einer schweizer Mittellandregion wurden auf ausgewählten Böden mit verschiedenen Bewirtschaftungsarten der Ein- und Austrag von Indikatorelementen bestimmt und mit Hilfe dieser Ergebnisse wurden folgende Fragen beantwortet:

- Welchen Anteil haben die einzelnen Quellen (Deposition, landwirtschaftliche Praxis) am Eintrag bestimmter Stoffe?
- Für welche Stoffe ist der Boden eine Senke (Akkumulationskompartiment) oder eine Quelle (für Stoffflüsse Richtung Wasser und Luft)?
- Sind die bereits vorhandenen Überwachungs- und Steuerungsmethoden geeignet, den Boden auch langfristig zu schützen?

## Methodik

Der Stoffhaushalt intensiv genutzter landwirtschaftlicher Böden, wie sie im Bünztal vorwiegend anzutreffen sind, wurde mit Messungen der Ein- und Austräge bestimmt. Die Stofftransporte und Prozesse im Boden wurden nicht untersucht. Als Indikatorelemente wurden Phosphor, Kupfer, Zink, Blei und Cadmium gewählt. Jährliche Güter- und Stoffflüsse wurden durch die landwirtschaftliche Nutzfläche dividiert und gaben daher einen Durchschnitt wieder.

Die Auswahl der in Abb. 10 dargestellten Prozesse und Güterflüsse ergab sich aus einer Detailanalyse in drei landwirtschaftlichen Betrieben.

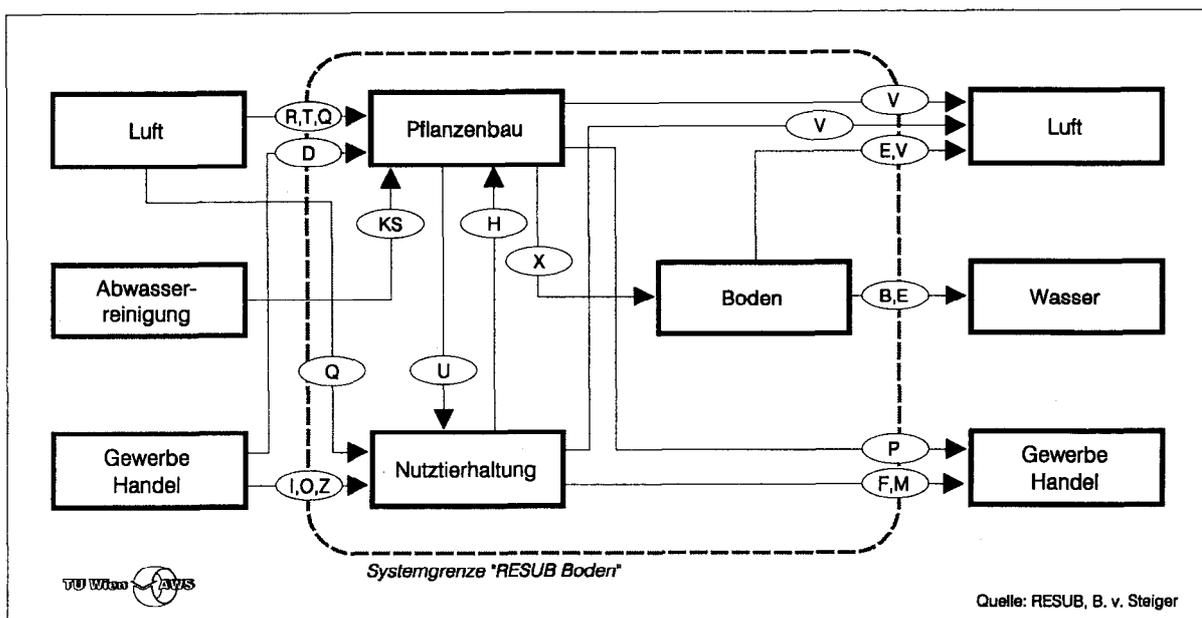


Abb. 10: Systemanalyse des Projektes "Boden" [B: Bodenwasser; D: Handelsdünger; E: erodiertes Material; F: verkaufte Tiere; H: Hofdünger; I: Mineralsalz; L: Erntegut; M: Milch, Eier; O: eingekaufte Tiere; P: verkaufte Erntegut; Q: Luft, Gase; R: Regenwasser, Schnee; T: Aerosole, Partikel; U: betriebseigenes Futter; V: Abluft, Abgase; X: Bodeneintrag; Z: zugekauftes Futter]

Zwei Jahre lang wurden die relevanten Güterflüsse mittels einer speziell dafür entwickelten Stoffbuchhaltung in drei ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben gemessen und mittels vorliegenden statistischen Daten aus landwirtschaftlichen Genossenschaften vervollständigt. Es wurden Handelsdünger, Vollgülle, Klärschlamm, Niederschlag und die Erntemengen erfaßt. Der Hofdünger und die Ernteprodukte wurden beprobt und auf die Konzentration der ausgewählten Stoffe untersucht. Dadurch ließ sich der jährliche Bodeneintrag auf den Prozeß Boden bestimmen. Die jährlichen Stoffeinträge über den Klärschlamm stammten aus dem Projekt RESUB-Wasser. Die Einträge aus der Luft und die Austräge in das Wasser wurden mit den Projekten RESUB-Luft und RESUB-Wasser abgestimmt.

## Ergebnisse

Für die landwirtschaftlichen Betriebe ergaben sich folgende Resultate: Die drei Betriebe zeigen durchwegs höhere Werte in der Phosphordüngung als die Düngungsnorm ( $4,4 \text{ g/m}^2$  und Jahr). Die Metalleinträge stammen aus dem Hofdünger, Cadmium aus dem Handelsdünger. Während bei den Kupfer- und Zinkeinträgen ein Betrieb um den Faktor 2 bis 5 höhere Fluxe aufweist, sind bei den Cadmiumfluxen keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

Ein Vergleich der atmosphärischen Deposition mit den Einträgen aus der Düngung zeigt, daß durch die Düngung der Eintrag von Phosphor nicht signifikant erhöht wird. Bei Kupfer hingegen sind Erhöhungen zwischen 10 und 100 % möglich. Bei Zink und Cadmium kann die Deposition den Eintrag verdoppeln bis verdreifachen. Im Falle von Blei wird der Gesamteintrag durch die Deposition bestimmt, d.h. der Anteil durch die Düngung liegt zwischen 10 und 30 %. Daraus folgt, daß die Präzision der Stoffbilanzen für die Elemente Zink, Cadmium und Blei primär von der Genauigkeit der Depositionsmessungen bestimmt wird.

Die auf Futterbau orientierten Betriebe und die Mischbetriebe (Ackerbau, Futterbau, Milchproduktion und Schweinemast) zeigen pro Jahr höhere Phosphorentzüge, d.s.  $3,0\text{-}3,5 \text{ g/m}^2$  im Gegensatz zu  $2,2\text{-}2,5 \text{ g/m}^2$  bei reinen Ackerbaubetrieben. Bei den Metallen sind die Unterschiede noch deutlicher. Der Austrag von Kupfer, Zink, Cadmium und Blei ist in den auf Futterbau orientierten Betrieben und den Mischbetrieben etwa doppelt so groß.

Die Phosphorausbeute im Prozeß "Pflanzenbau", d.h. der Anteil des gesamten Eintrages, der wieder über die Ernteprodukte ausgetragen wird, beträgt im Mittel für alle Betriebe ca. 50 %. Die beiden essentiellen Metalle Kupfer und Zink zeigen Ausbeuten die bei 10 - 20 % liegen. Generell kann festgehalten werden, daß bei Phosphor der jährliche Nettoeintrag in den Boden ca. 50 % und bei den Metallen meist zwischen 70 und 99 % des Bruttoeintrages beträgt.

Die Stoffbilanzen über den Prozeß "Nutztierhaltung" zeigen relativ große Fehler, deuten aber auch auf noch nicht erfaßte zusätzliche Metallquellen im landwirtschaftlichen Betrieb hin. Für das Blei im Hofdünger kann festgestellt werden, daß es größtenteils aus dem Futter stammt, welches auf den Betrieben selbst gewachsen ist.

Die Stoffbilanz für den Prozeß "Boden" zeigt, daß der jährliche Nettoeintrag für alle Elemente mit Ausnahme von Cadmium um mindestens eine Größenordnung höher ist als die Erosion und der Austrag in vertikaler Richtung über das Bodenwasser.

Für Stickstoff kann mit der gewählten Methode nur eine Bilanz über den Gesamtprozeß "Landwirtschaftlicher Betrieb" durchgeführt werden. Wenn man davon ausgeht, daß der Stickstoff mittelfristig, d.h. über mehrere Jahre im Boden nicht gespeichert werden kann, so werden jährlich zwischen 60 und 80 % des in die landwirtschaftlichen Betriebe eingeführten Stickstoffs wieder an Luft und Wasser abgegeben.

Die regionale Stoffbilanzierung zeigen folgendes Ergebnis: Mit wenigen Ausnahmen läßt sich für die Ein- und Austräge des landwirtschaftlichen Bodens einer Region nicht ein Durchschnittswert, sondern ein Bereich (min. - max.) berechnen, innerhalb dessen der Durchschnitt mit größter Wahrscheinlichkeit liegt. Durch diese Untersuchungen können etwaige Lagerbildungen und damit verbundene überhöhte Stoffkonzentrationen erkannt werden.

Der Phosphoreintrag stammt fast ausschließlich aus der landwirtschaftlichen Praxis, wobei der Hofdünger und der Handelsdünger etwa gleichviel beitragen. Der Austrag (11-31 kg) aus dem Boden erfolgt hauptsächlich mit dem Erntegut und ist kleiner als der Eintrag, d.h. es findet eine jährliche Anreicherung von Phosphor im Boden statt. Es ist mit einer durchschnittlichen Erosionsfracht von bis zu 4 kg P/ha und Jahr zu rechnen. Der Bleieintrag wird zu etwa gleichen Teilen vom Klärschlamm und der Deposition geprägt. Der Austrag aus dem Boden erfolgt mit dem Erntegut und der Erosion. 50 - 90 % des Bleis wird im Boden gespeichert.

Tab. 5: Bodeneintrag; Austräge und Speicherung von Phosphor und Blei

Stoff	Phosphor (min.) kg/ha und Jahr	Phosphor (max.) kg/ha und Jahr	Blei (min.) kg/ha und Jahr	Blei (max.) kg/ha und Jahr
Handelsdünger	<b>23</b>	<b>23</b>	4	14
Hofdünger	<b>20</b>	<b>36</b>	4	40
Klärschlamm	3,5	4,2	<b>130</b>	<b>200</b>
Deposition	1	1	<b>100</b>	<b>220</b>
-Erntegut	<b>32</b>	<b>32</b>	36	13
Bodeneintrag	16	32	200	460
-Erosion	4	1	60	6
-Bodenwasser	1	0,1	3	3
Bodenspeicherung	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>140</b>	<b>450</b>

### Schlußfolgerungen

Der Boden ist für die meisten der untersuchten Stoffe (Phosphor, Kupfer, Zink und Blei) eine Senke, d.h. er befindet sich nicht in einem Fließgleichgewicht. Es soll für den landwirtschaftlichen Boden jedoch ein solches Gleichgewicht angestrebt werden. Die Überprüfung soll mit einer regionalen Stoffbuchhaltung des landwirtschaftlichen Bodens vorgenommen werden. Damit z.B. der Phosphor-Haushalt in ein Fließgleichgewicht kommt, ist im Unteren Bünztal eine Reduktion des Handelsdüngers um 50 % sowie tiefere P-Konzentrationen im zugekauften Futter notwendig. Die landwirtschaftlichen Betriebe geben erhebliche Stickstoffmengen, ungefähr 50 - 80 % der eingeführten Menge, an Wasser und Luft ab.

Der Metallhaushalt der Anthroposphäre soll so angepaßt werden, daß sowohl die luft- wie auch die abwasserseitigen Emissionen um etwa einen Faktor zehn reduziert werden und damit ebenfalls ein Fließgleichgewicht im Metallhaushalt der Böden erreicht wird.

Die heute angewandte Praxis im Vollzug des Bodenschutzes erlaubt praktisch ein zwar langsames aber stetiges "Auffüllen" der Pflugschicht bis zu den Richtwerten. Diese Vorgehensweise widerspricht dem Vorsorgeprinzip, daher sollte ein "Frühwarnsystem" eingerichtet werden. Die Überwachung der Bodenqualität mittels Elementkonzentrationsmessungen in der Pflugschicht sollte durch Stoffbilanzen ergänzt werden, Voraussetzung dafür ist eine jährliche, regionale Stoffbuchhaltung.

### 6.2.2.1 Folgerungen aus der Studie "RESUB Boden" für die Stoffbuchhaltung

Als Fortsetzung des Projektes RESUB-Boden wurde das Projekt "PROTERRA" entworfen und mittlerweile auch durchgeführt. Das Ziel von PROTERRA war die Entwicklung einer Stoffbuchhaltung als Methodik zur Früherkennung im Bodenschutz.

Gemeinsam mit dem Kanton Aargau, den Landwirtschaftlichen Genossenschaften und mit Hilfe von Literaturdaten (Eidgenössische Landwirtschaftszählung, Pflanzenschutzmittel-Erhebung, Gehaltsdaten von Handelsdünger, Klärschlamm und Erntegütern) wurde versucht, eine Stoffbuchhaltung und zusätzlich ein EDV-Programm (Proterra) zu entwickeln.

Die Autoren kamen zu dem Schluß, daß als Intervall für die Stoffbuchhaltung ein fünfjähriger Rhythmus ausreichend ist. Bezüglich des Finanzbedarfes konnte festgestellt werden, daß sich die Kosten in Grenzen halten, solange keine Daten extra erhoben werden müssen. Als Einsatzbereiche für die Anwendung wurden vor allem Behörden (Bodenschutzfachstellen, Umweltschutzämter der Kantone und landwirtschaftliche Beratungsstellen) genannt.

Als Ergebnis dieser Arbeit stand die Methodik "Proterra" zur Verfügung, die sich aus Anweisung zur Führung einer Stoffbuchhaltung und einem dazu passendem EDV-Programm zusammensetzt. Dieses Paket wird gegenwärtig in drei Kantonen (Solothurn, Bern und Aargau) auf seine Praxistauglichkeit und Anwendungsreife getestet.

## **6.3 Nationale Stoffflußanalysen**

Die ersten Ansätze für nationale Stoffflußanalysen stammen aus den 70er Jahren. Das US Bureau of Mines in den USA, Rauhut in der BRD, die EAWAG in der Schweiz und Wagner in Österreich begannen, für einzelne Metalle nationale Bilanzen zu erstellen. Zweck dieser Arbeiten war einerseits die optimale Nutzung der Rohstoffe (US Bureau of Mines für Blei und andere Metalle), andererseits waren die Bilanzen in Europa bereits auf den Umweltschutz ausgerichtet.

Zur selben Zeit wurden auch die ersten nationalen Nährstoffbilanzen erstellt; dies, obschon die Nährstoffproblematik im Gewässerschutz wesentlich früher erkannt wurde. Bilanzen für Phosphor halfen entscheidend mit, die richtigen Maßnahmen zur Entlastung der Seen zu treffen. Das Phosphorbeispiel zeigt jedoch auch, wieviel Zeit zwischen dem Erkennen eines Problems (Eutrophierung) und seiner effektiven Lösung verstreichen kann (3-5 Jahrzehnte!).

In der Folge werden die Beispiele (FCKW, Cadmium und ein Tensid, Nonylphenolpolyethoxylat) vorgestellt. Jede dieser Fallstudien zeigt die Notwendigkeit der Stoffflußanalyse und der Stoffbuchhaltung für die rechtzeitige Erkennung und Lösung der Probleme "Umweltbelastung" und "Ressourcennutzung" eines Stoffes. Jedes Beispiel zeigt auch, daß Stoffbilanzen mit ein und derselben Methodik für diese Stoffe möglich sind, und zwar trotz Verschiedenheit der drei Stoffe. Am beeindruckendsten ist wohl das Beispiel der toxischen Nonylphenole, bei denen dank einer optimalen Vorgangsweise innerhalb von nur rund 10 Jahren die Problematik gelöst werden konnte.

### 6.3.1 Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (FCKW)

Die Diplomarbeit "**Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe - Stoffflußanalyse Österreich**" wurde von R. Obernosterer am Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft an der TU-Wien erstellt. Diese Studie soll als Diskussionsgrundlage für eine FCKW-Stoffbuchhaltung Österreich dienen und gleichzeitig auch als Beispiel herangezogen werden, um relativ detailliert und nachvollziehbar die praktische Umsetzung der in Kapitel 4 theoretisch gezeigten Schritte zu demonstrieren. Die FCKW-Studie ist weiters ein Beispiel, an dem nicht nur ein einzelner Stoff, sondern eine ganze Stoffgruppe diskutiert wird.

#### Einleitung

Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe-FCKW, H-FCKW, Chlorkohlenwasserstoffe-CKW, Halone; meist werden alle genannten Verbindungen unter der Abkürzung FCKW zusammengefaßt) werden seit ca. 25 Jahren für vielerlei Zwecke verwendet. Jahrelang glaubte man eine ökologisch unbedenkliche Substanz entwickelt zu haben. Heute weiß man, daß flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften wesentlich an globalen ('Ozonschichtabbau', 'Treibhauseffekt') und an lokalen (z.B. Grundwasserverunreinigung, saurer Regen) Umweltproblemen beteiligt sind.

Halogenkohlenwasserstoffe sind leicht flüchtig, d.h. viele der Verbindungen emittieren bereits bei Raumtemperatur und Normaldruck in die Atmosphäre, wenn sie nicht gekapselt aufbewahrt werden. Aufgrund ihrer Reaktionsträgheit in der Troposphäre und ihres spez. Gewichtes gelangen FCKW im Laufe der Zeit in die Stratosphäre. Das Gasgemisch der Atmosphäre wäre an sich reaktionsträge und sonst von geringem chemischen Interesse, würde es nicht im Wechsel von Tag und Nacht und im Rhythmus der Jahreszeiten von der Sonne bestrahlt. In der Stratosphäre spaltet die ungeschwächte energiereiche Ultraviolettstrahlung die Halogenkohlenwasserstoffe in ihre Bestandteile auf. Durch diesen photochemischen Prozeß entstehen Cl- und Br-Radikale, die als Katalysator bei der Ozonerstörung der Stratosphäre wirken. Eine Ausdünnung der Ozonschicht läßt den UV-Strahlenanteil verstärkt bis zur Erdoberfläche vordringen, der hier eine Reihe von schädlichen Einflüssen ausüben kann.

#### Zielsetzung und Fragestellungen

Durch die Unterzeichnung des Montrealer Protokolls und deren Folgevereinbarungen hat sich Österreich verpflichtet, bis zum Jahr 2000 auf den Einsatz von flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen zu verzichten. Um notwendige Maßnahmen treffen zu können, ist es notwendig, einen Überblick über die Einsatzbereiche der FCKW's zu bekommen. Da diese Stoffe auch in langlebigen Gütern zu finden sind, sind zusätzlich zum jährlichen Verbrauch auch die Emissionen der sich bereits in der Anthroposphäre befindlichen Mengen von Interesse.

Die Hauptmotivation zur Erstellung einer FCKW-Bilanz resultiert im Wunsch zur Identifikation der Einsatzbereiche, der Lager und der Emissionsquellen von flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen.

Das Ziel der Arbeit ist es, den FCKW-Stofffluß durch Österreich zu bestimmen. Aufbauend darauf sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wer sind die Hauptemittenten an flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen?
- Welches sind die wichtigsten Prozesse, Güter und Lager dieser flüchtigen Stoffe?
- Welche Auswirkungen zeigten gesetzliche Regelungen in der Vergangenheit?
- Welche Emissionen sind bei einem generellen Einsatzverbot noch aus den Lagern zu erwarten?
- Können weitere effektive Maßnahmen zur Emissionsreduzierung vorgeschlagen werden?
- Können Prognosen für Substitutionsstoffe erstellt werden?
- Welche weiteren Fragen sind aufgrund der erarbeiteten Ergebnisse zu stellen, die im Zuge der Arbeit nicht beantwortet werden konnten?

### **Methodik**

Zur Beantwortung der Fragen wurde eine Stoffflußanalyse über flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe für Österreich erstellt und dokumentiert.

Der Aufgabenstellung gemäß wurde eine *Systemanalyse* durchgeführt. Als Systemgrenze wurde die politische Grenze des österreichischen Staatsgebietes gewählt. Sobald die Stoffe in die Atmosphäre emittieren, verlassen sie das System. Als zeitliche Systemgrenze wurde ein Untersuchungszeitraum von einem Jahr festgelegt.

Als nächstes wurde versucht, die für die Untersuchung notwendigen Prozesse zu identifizieren und auszuwählen. Im System wurden vorerst alle Prozesse angeführt, in denen das Vorhandensein der flüchtigen Kohlenwasserstoffe bekannt war oder vermutet wurde (siehe Abb. 11).

Erste Nachforschungen ergaben, daß die FCKW-Flüsse in die Prozesse "ARA", "Boden", "Grundwasser" und "Vorfluter" im Verhältnis zum FCKW-Fluß in den Prozeß "industrieller und gewerblicher Einsatz, Konsum" vernachlässigbar sind. Daher wurde der Prozeß "industrieller und gewerblicher Einsatz, Konsum" genauer untersucht (Abbildung 12 zeigt eine adaptierte Systemanalyse). Dieser Prozeß umfaßt die für Österreich relevanten Einsatzbereiche der FCKW's als Kühlmittel, Lösungs- u. Reinigungsmittel, Treibmittel und Feuerlöschmittel.

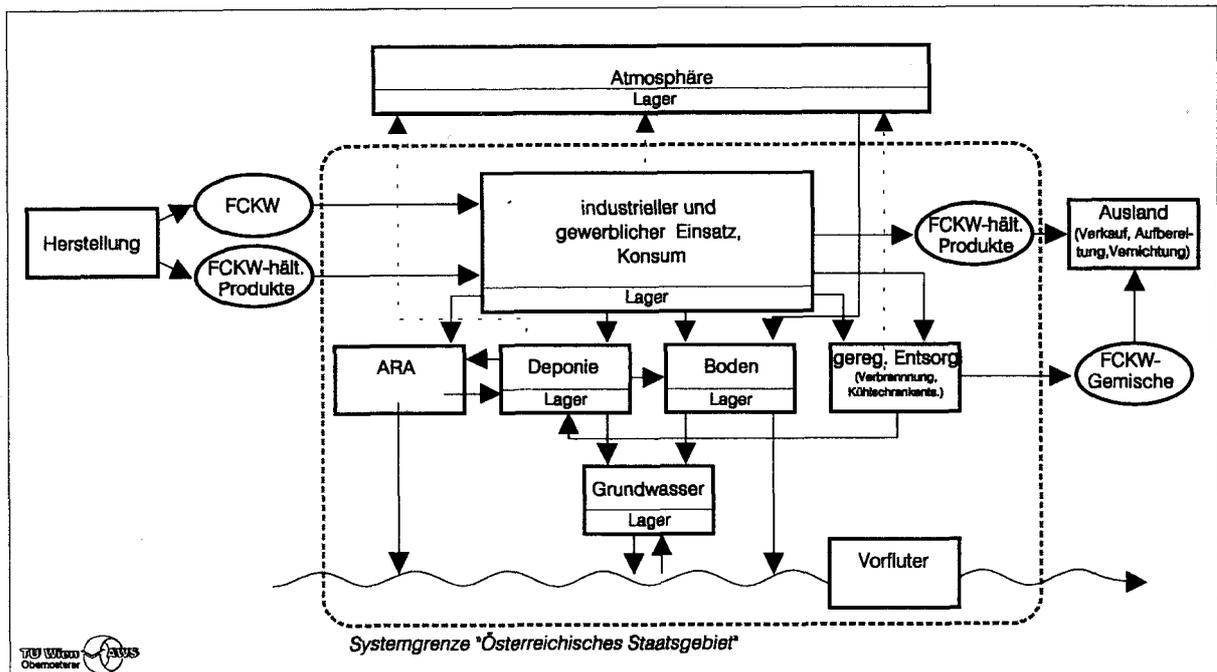


Abb. 11: Systemanalyse der FCKW-Studie Österreich (ARA = Abwasserreinigungsanlage)

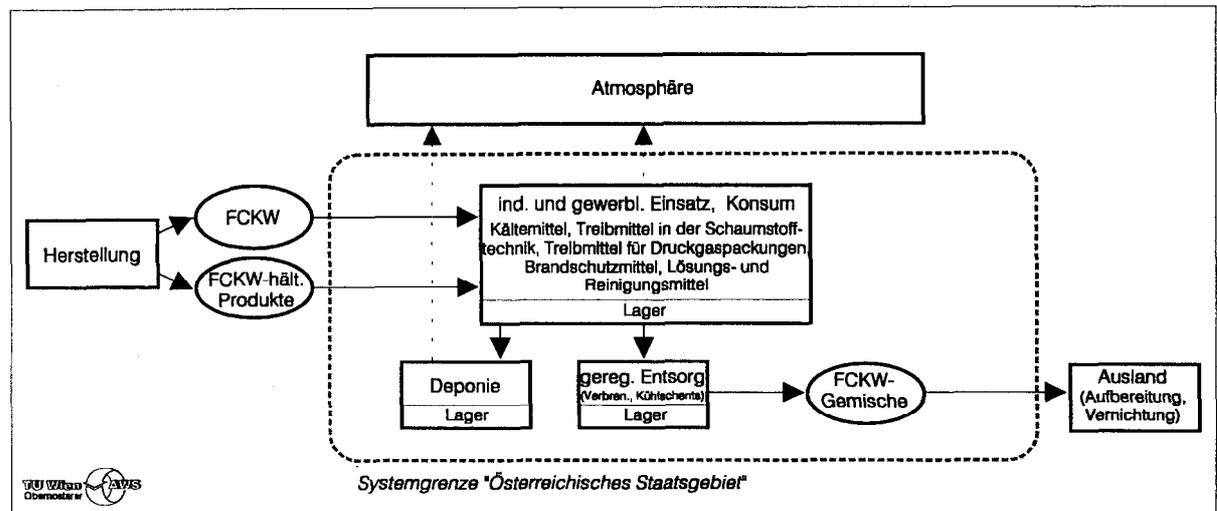


Abb. 12: Adaptierte Systemanalyse der FCKW-Studie Österreich

Aufgrund der adaptierten Systemanalyse (Abb. 12) wurden mittels einer Literaturstudie die zentralen Prozesse des Hauptprozesses "industrieller und gewerblicher Einsatz, Konsum" identifiziert. Folgende Prozesse wurden schließlich bilanziert: "Schaumstoffherzeugung und Verwendung", "Kühlsysteme", "Verwendung von Spraydosen", "Brandschutzmaßnahmen und Brandbekämpfung", "Verwendung von Lösungs- u. Reinigungsmittel" (siehe Abb. 13). Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Prozesse konnte eine Abschätzung des FCKW-Lagers im Prozeß "Deponie" vorgenommen werden.

Parallel zur Auswahl der Prozesse wurde die Wahl der zu untersuchenden Güter und Stoffe vorgenommen. Durch die Aufgabenstellung der Arbeit ist die Stoffgruppe vorgegeben.

Der wesentliche Teil der flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe wird als Rohstoff von den Erzeugerfirmen nach Österreich importiert. Für das Untersuchungsjahr (1990) stimmte in diesem Falle die Güter- mit der Stoffauswahl, bis auf eine Ausnahme überein. Diese Ausnahme bei den Gütern stellen nach Österreich importierte XPS-Dämmstoffe dar. Aus der Vielzahl der derzeit weltweit erzeugten und eingesetzten Halogenkohlenwasserstoffe werden folgende in Österreich eingesetzt:

Tab. 6: Güter- und Stoffauswahl für die Bilanzierung (1990)

<b>GÜTER:</b>	<b>STOFFE:</b>
FCKW	R 11, R 12 und R 113
H-FCKW	R 22
Halone	H 1211 und H 1301
CKW	1.1.1.Tri, Tri, R30 und Per
FCKW-HFCKW Mischung	aus R 115 und R 22 genannt R 502
XPS-Dämmstoffe	R 11

In der Regel werden die Ergebnisse von Stoffflußanalysen in Massenflüsse (z.B. in kg pro Einwohner und Jahr oder in Tonnen pro Region und Jahr) angegeben. Diese Darstellungsweise war für diese Studie nicht ausreichend. Aufgrund des unterschiedlichen chemischen Aufbaues der Verbindungen ist ihr Beitrag zum Ozonabbau und zum Treibhauseffekt verschieden. Um die schädliche Wirkung der verschiedenen Verbindungen vergleichen und bewerten zu können, mußten sie auf einen Standard bezogen werden. Es wurde das relative *Ozonabbaupotential* (ODP - Ozon Depleting Potential) und das relative *Treibhauspotential* (GWP - Global Warming Potential) zur Beurteilung herangezogen.

Der Erstellung der Güter- und Stoffbilanzen ist eine umfangreiche Datenerfassung vorgelagert. Es wurden keine eigenen Messungen durchgeführt. Die verwendeten Daten wurden einerseits aus der Fachliteratur entnommen, andererseits stammten sie aus schriftlichen und telefonischen Kontakten mit Firmen, Fachverbänden, Innungen und Ministerien. Die Informationen aus der Fachliteratur basierten auf Erhebungen der österreichischen Bundesregierung, der Außenhandelsstatistik und auf Angaben der Industrie. Die Außenhandelsstatistik (Verbrauch = Import - Export) beinhaltete lediglich jene Halogenkohlenwasserstoffe, die als FCKW-Stoff nach Österreich importiert wurden. FCKW-haltige Güter (z.B. importierte Dämmstoffe oder Kühlgeräte) wurden nicht gesondert aufgelistet. Daher wurde versucht, diesen Güterimport durch Marktzahlen und eigene Abschätzungen zu berücksichtigen.

Eine exakte Stoffbilanz war trotz der verhältnismäßig guten Datenlage schwierig. Teilweise widersprachen sich die durchgeführten Erhebungen. So wies beispielsweise die von der österreichischen Bundesregierung in Auftrag gegebene Untersuchung für 1986 einen Halonimport

von 300 t aus, während die Industrie für 1989 einen Import von 70 t angab. Der Unterschied der beiden Zahlen war nicht durch einen sinkenden Verbrauch erklärbar, beide Quellen gingen übereinstimmend von einem annähernd konstanten Einsatz im Beobachtungszeitraum aus. Mit Hilfe von Plausibilitätsprüfungen wurden schließlich die 70 t für die Bilanzierung verwendet. Als Entscheidungshilfe für die Bestimmung der Importmengen konnten die sich bereits auf dem Markt befindlichen Güter herangezogen werden. Über ihr durchschnittliches Gewicht und einer bekannten Stoffkonzentration ließ sich mit Hilfe der wichtigsten Inputgüter (Handfeuerlöscher) der Halonfluß Österreich abschätzen.

Wenn ein betrachteter Stoff in langlebigen Gütern eingesetzt wird, kann davon ausgegangen werden, daß sich von diesem Stoff in der Anthroposphäre ein *Lager* gebildet hat. Für die Abschätzung der Bedeutung von Lagern sind Zeitreihen über den jährlichen Verbrauch und die Aufenthaltszeiten dieser Güter wichtig. Die bereits erstellten Zeitreihen über den FCKW Verbrauch erwiesen sich als nicht ausreichend, um detaillierte Aussagen über die Lagerzusammensetzung treffen zu können. Dieser Detailierungsgrad ist vor allem für Fragen einer zukünftigen Entsorgung von FCKW-haltigen Gütern von Bedeutung. Mangelndes Wissen über das Diffusionsverhalten der FCKW aus Schaumstoffen ließen nur eine grobe Abschätzung über die Lagerentwicklung zu.

Die für das System sensibelsten Flüsse sollten sich mindestens auf zwei unterschiedliche Datenquellen stützen. In dieser Studie wurden die ermittelten österreichischen Daten mit Erhebungen aus der Schweiz und Deutschland in Beziehung gesetzt. Die Relation wurde über die Einwohnerzahl hergestellt. Ein weiteres Beispiel zur Abschätzung der Größenordnung erhobener Daten ist die Größe des FCKW-Lagers im Bauwesen. Dieses Lager wird durch den Dämmstoffeinsatz in Neubauten kontrolliert.

Den verschiedenen provisorischen Bilanzen folgt die endgültige FCKW-Bilanz. In dieser Arbeit wurden diejenigen anthropogenen Güter und Stoffe untersucht, die am Ozonschichtabbau teilnehmen. Zusätzlich wurde ihr Anteil am Treibhauseffekt diskutiert. Um einen ersten Überblick zu erhalten, wurden die einzelnen Einsatzbereiche der flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe identifiziert und untersucht. Diesen Verwendungszwecken wurden spezifische Prozesse zugeordnet. Diese Zuordnung ist in Tab. 7 dargestellt. Die Prozesse mußten jedoch in weitere Teilprozesse unterteilt werden. Die Gliederung erfolgte anhand unterschiedlicher Kriterien (z.B. Anwendungsbereiche, Lebensdauer oder Integrationszeiten) und war meist an verschiedene Güter gebunden. Im Falle der FCKW-Studie wurde beispielsweise der Prozeß "Schaumstoffherzeugung und Verwendung" in die Prozesse "Weichschäume", "Hartschäume", "Integralschäume" und "XP-Schäume" unterteilt. Erst mit dieser detaillierten Aufschlüsselung ließen sich z.B. Emissionsquellen exakt lokalisieren bzw. Lagerbildungen spezifischen Güterflüssen zuordnen.

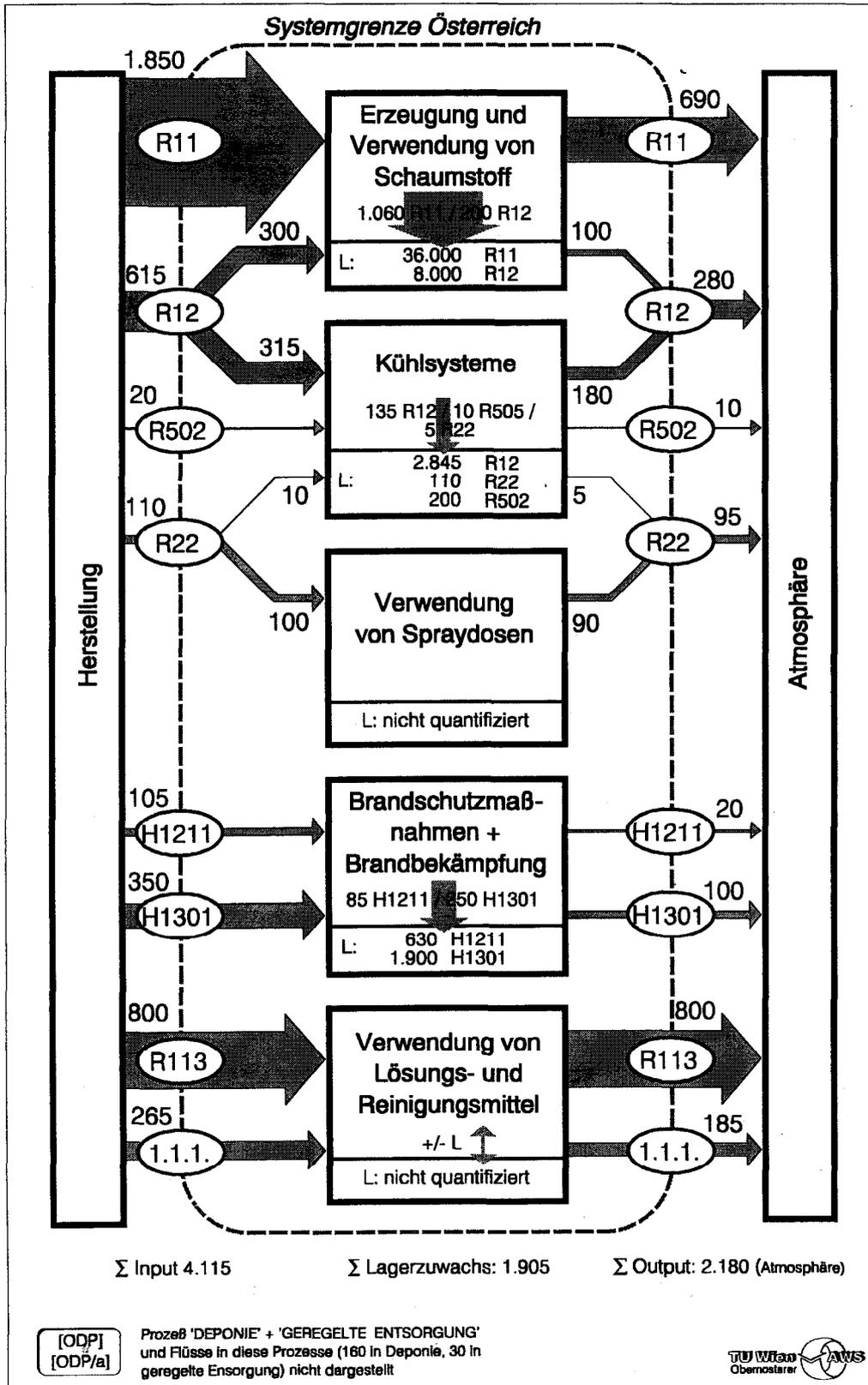


Abb. 13: FCKW-Stofffluß Österreich in der Einheit [ODP] - Stand 1990

Tab. 7: Güter-Prozeß-Stoffliste der FCKW-Stoffgruppe Österreichs (1990)

GÜTER	PROZESSE	STOFFE
FCKW- und HFCKW-Treibmittel	Verwendung von Druckgaspackungen Schaumstoffherzeugung u. Verwendung	R 11, R 12, R 22
FCKW- und HFCKW-Kältemittel	Kühlsysteme	R 12, R 502, R 22
Halon-Feuerlöschmittel	Brandschutzmaßnahmen und Brandbekämpfung	H 1211, H 1301
CKW- Lösungs- und Reinigungsmittel	Verwendung von Lösungs- und Reinigungsmittel	R 113, 1.1.1 Tri, Tri, Per, R 30

Die ermittelten Daten wurden den einzelnen Prozessen zugeordnet. Aus der Differenz des Stoffinputs mit dem Stoffoutput wurde der Lagerzuwachs errechnet. Die Verknüpfung und Bilanzierung der einzelnen Prozesse bot einen Gesamtüberblick über die Massenflüsse der halogenierten Kohlenwasserstoffe durch Österreich. Objektiviert wurde die Darstellung durch Umrechnen in die Einheiten [ODP] und [GWP]. Abbildung 12 zeigt die aggregierte Bilanz anhand der ausgewählten Prozesse. Die Stoffflußbilanzen wurden ausgewertet und in Form von Diagrammen dargestellt.

## Ergebnisse

In Abbildung 14 werden die Einsatzmengen an flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen des Jahres 1990 mit Daten aus 1986 in ODP-Einheiten verglichen. Im Vergleich zu 1986 (etwa 8.000 ODP) hat sich der Verbrauch bis zum Jahre 1990 (4.115 ODP) etwa halbiert. Von den 1990 eingesetzten FCKW-Mengen entfallen auf Treibmittel zur Schaumstoffherzeugung 2.150 t (= 2.150 ODP), auf Lösungs- und Reinigungsmittel 8.150 t (= 1.065 ODP), auf Brandschutzmittel 70 t (= 455 ODP), auf Kältemittel 605 t (= 345 ODP) und auf Treibmittel in Druckgaspackungen 2.000 t (= 100 ODP). Die größte Veränderung zeigt sich im Bereich der Druckgaspackungen. Die Reduktion des ODP-Einsatzes wurde 1989 durch das Einsatzverbot der 'harten' FCKW der Typen R11 und R12 als Treibmittel in Spraydosen erreicht. Als Alternative stand das 'weiche' H-FCKW R22 zur Verfügung. Während in der Vergleichsperiode der mengenmäßige Verbrauch in diesem Verwendungsbereich um 50 % (von 4.000 auf 2.000 Tonnen) abnahm, bewirkte diese Maßnahme eine überproportionale Abnahme der ODP-Einheiten von 4.000 ODP auf 100 ODP, d.h. eine Reduktion um 97 %.

Der größte FCKW-Fluß (etwa 50 %) von 2.150 ODP gelangt bei der Schaumstoffherzeugung in Form von Treibmitteln in den Prozeß "Schaumstoffherzeugung und Verwendung". Diesen Prozeß verlassen nur 790 ODP. Dies führt gleichzeitig zum größten Lagerzuwachs Österreichs von 1.260 ODP (66 %). Die Prozesse "Kühlsysteme", "Brandschutzmaßnahmen und Brandbekämpfung" und "Deponie" tragen zum Lagerzuwachs 34 % bei. Einen wesentlichen FCKW-Input verzeichnet mit 1.065 ODP der Prozeß "Verwendung von Lösungs- und Reinigungsmittel". Diese Lösungs- und Reinigungsmittel entweichen bei der Anwendung zu nahezu 100 % in die Atmosphäre. Der übrige Stoffinput in die Prozesse "Kühlsysteme",

"Verwendung von Spraydosen" und "Brandschutzmaßnahmen und Brandbekämpfung" beträgt etwa ein Viertel des gesamten Inputflusses in das System.

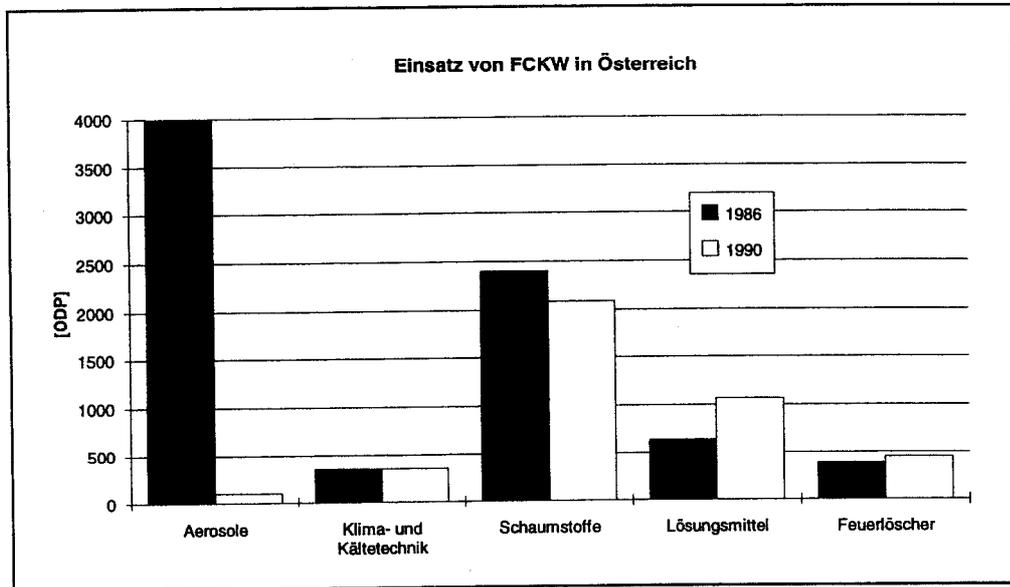


Abb. 14: Vergleich der Einsatzmengen von FCKW's für Österreich 1986 und 1990 in der Einheit [ODP]

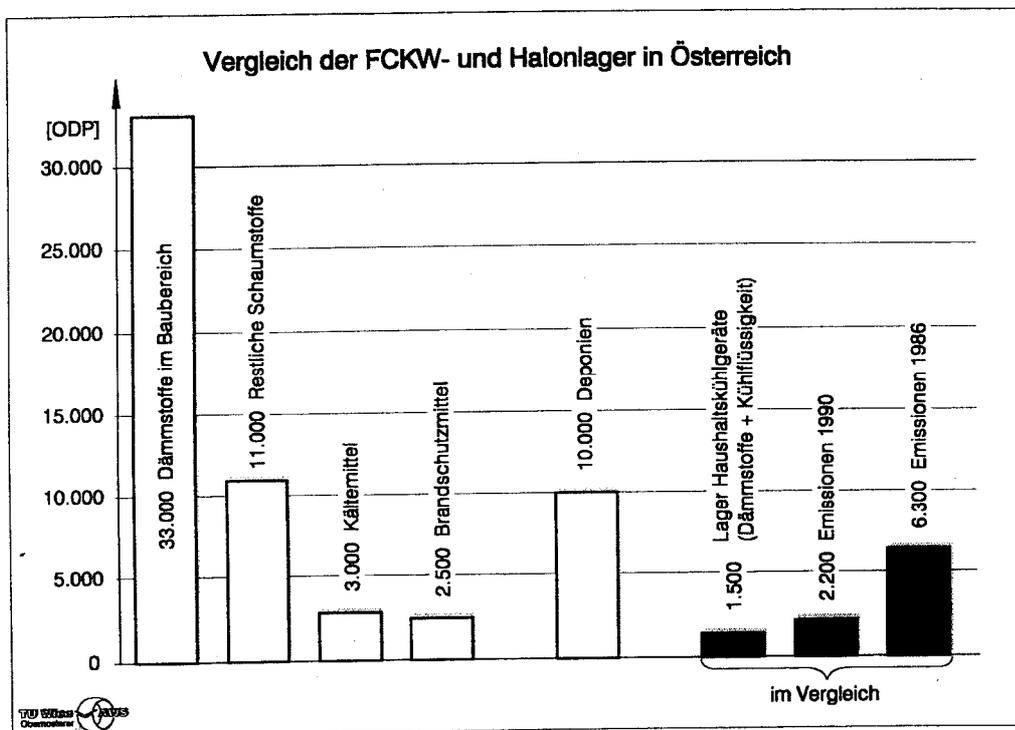


Abb. 15: FCKW- und Halonlager Österreichs in der Einheit [ODP] - Stand 1990

Bedingt durch den FCKW-Einsatz in langlebigen Gütern ist heute ein riesiges Lager vorhanden, das heute durch die Abfallbeseitigung teilweise schon in die Deponie verlagert wird. In Abbildung 15 werden die verschiedenen Lager gegenübergestellt. Zum Vergleich sind die Lager in Haushaltskühlgeräten und die Emissionen von 1986 und 1990 angeführt.

Von den in der Vergangenheit eingesetzten Mengen an FCKW gelangten etwa  $\frac{1}{3}$  in das Lager. Die Summe der potentiellen Emissionen aus den Lagern beträgt ca. 60.000 ODP-Einheiten. Die Bedeutung der Größe der Lager kann mit den jährlichen Emissionen abgeschätzt werden. So betrug das Ozonzerstörungspotential der Emissionen von 1990 nur etwa 4 % der akkumulierter FCKW-Mengen in den Lagern der Anthroposphäre Österreichs (bezogen auf 1986, vor in Kraft treten der ersten Verordnungen, etwa 10 %). Bedingt durch die Lebensdauer der Güter und die Diffusionsraten werden diese Emissionen auf die nächsten Jahrzehnte verteilt anfallen, sofern keine Maßnahmen zur Vermeidung dieser Emissionen gesetzt werden.

Das Lager an 60.000 ODP setzt sich aus ca. 33.000 ODP in den Dämmstoffen im Baubereich, 11.000 ODP in den restlichen Schaumstoffen, 3.000 ODP in den Kühlsystemen, 2.500 ODP in den Feuerlöschsystemen und 10.000 ODP in den Deponien zusammen. Zum Vergleich sei das FCKW-Lager in Haushaltskühlgeräten (Kühlflüssigkeit und Dämmstoff) mit 1.500 ODP angeführt.

Aufgrund der Größe des Lagers in Dämmstoffen im Baubereich wurde dieses Lager genauer untersucht. Etwa 10 % der hergestellten Wärmedämmstoffe wurden in den letzten Jahren mit FCKW geschäumt. Das FCKW-Lager besteht in PUR- und XPS-Hartschäumen. Bei den Hartschäumen verbleibt im Gegensatz zu den Weichschäumen der Großteil des Treibmittels in den geschlossenen Poren. Die so akkumulierte FCKW-Menge bildet das Lager, das über Diffusionsprozesse langsam abgebaut wird. Die Diffusionsvorgänge der FCKW aus den Schaumstoffen sind bis heute kaum untersucht worden. Daher sind keine gesicherten Daten über den Diffusionsverlauf (Abhängig von der Plattenstärke, der Plattenkaschierung, den Einsatzbereichen etc.) bekannt. Als Ergebnis der bisherigen Untersuchungen werden Halbwertszeiten der FCKW in den Dämmstoffen zwischen 50 und 200 Jahren angegeben. Abbildung 16 zeigt eine Entwicklung der Lager an FCKW-geschäumten Dämmstoffen im Bauwesen unter der Annahme, daß nach 100 Jahren die Hälfte der im Schaumstoff eingesetzten FCKW-Mengen ausdiffundiert ist. Selbst wenn es Österreich gelingt, ab 1995 auf den Einsatz FCKW-geschäumter Dämmstoffe zu verzichten, ist mit einem Lagerabbau über einen sehr langen Zeitraum zu rechnen. Während der Abbrucharbeiten von Gebäuden würde es kaum zu einem vollkommenen Austritt der noch in den Dämmstoffen verbliebenen FCKW-Moleküle kommen. Ein Teil würde freigesetzt werden, der restliche Teil der in den Dämmstoffen befindlichen FCKW, sofern er nicht fachgerecht entsorgt wird, würde das Lager in den Deponien vergrößern und so weiter zu den jährlichen Emissionen beitragen. Diese Lagerverschiebung ist in Abb. 16 nicht dargestellt.

## **Schlußfolgerungen**

Folgerungen bezüglich der FCKW-Problematik:

Die Ergebnisse der Stoffflußanalyse zeigen, daß die vom Gesetzgeber durchgeführten Verbote und Beschränkungen der Inputmengen sehr effizient waren. Zukünftig sind vermehrt die großen FCKW-Lager in der aufgebauten Infrastruktur zu beachten und umweltgerecht zu entsorgen.

Der Gesetzgeber diskutiert gegenwärtig ein Verbot für den Einsatz der H-FCKW und eine Fristenregelung für den Ausstieg aus dem harten FCKW Einsatz. Mit Hilfe der Stoffflußanalyse können verschiedene Szenarien durchgespielt werden, um die kurz-, mittel- und langfristig effektivsten Maßnahmen zu erkennen. Obwohl ein sofortiger Ausstieg einer H-FCKW Substitution vorzuziehen wäre, ist jedoch ein kurzfristiger Ersatz der 'harten' FCKW durch die 'weichen' H-FCKW zu diskutieren. So würden die Emissionen von jährlich 2.000 t H-FCKW R22 über 20 Jahre, in diesem Zeitraum das gleiche Ozonzerstörungspotential freisetzen, wie die selbe Menge FCKW R11 in nur einem Jahr. Daher könnte mit einer derartigen Substitution eine wesentliche Verminderung des 'freigesetzten Ozonzerstörungspotentials' erreicht werden.

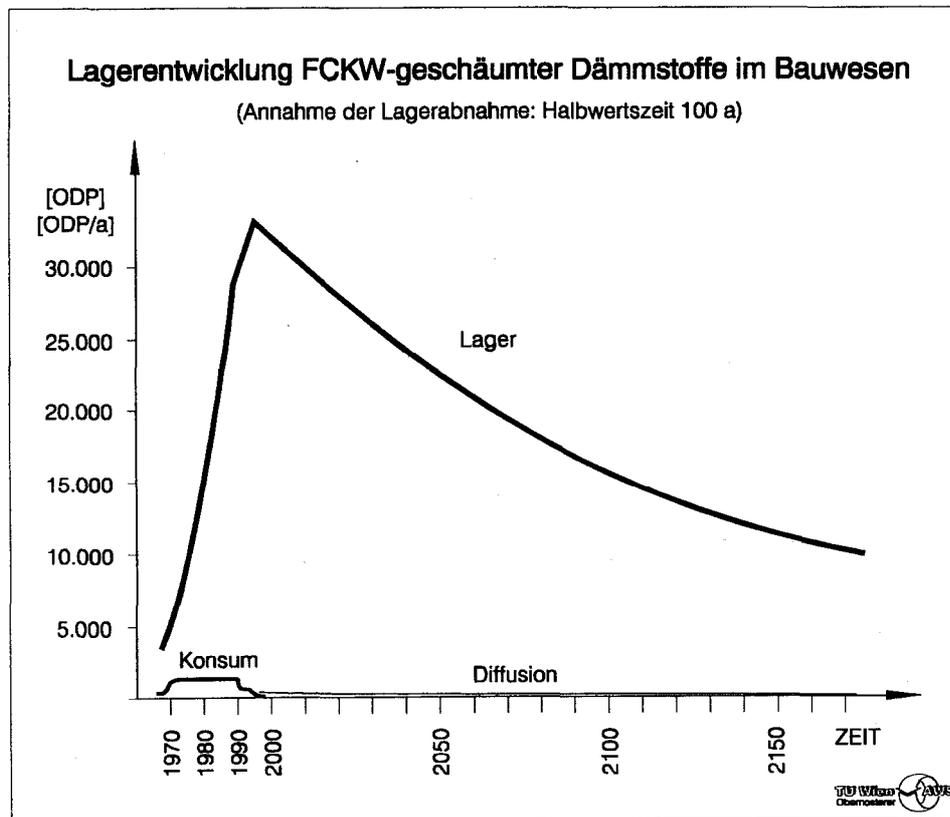


Abb. 16: Lagerentwicklung FCKW-geschäumter Dämmstoffe im Bauwesen in der Einheit [ODP]. Annahme für die Lagerabnahme: Halbwertszeit 100 Jahre

Bei den nicht ozonschichtschädigenden Ersatzstoffen, wie z.B. FKW (Fluorkohlenwasserstoffe) ist neben den ökotoxologischen Untersuchungen ihr Treibhauspotential zu berücksichtigen.

Bei Betrachtung der Lagerzusammensetzung zeigt sich, daß die Größe des FCKW Lagers in Haushaltskühlgeräten im Vergleich zum Lager der Schaumstoffe im Baubereich nicht so bedeutend ist. Den Lagern in den Dämmstoffen muß in Zukunft eine hohe Priorität eingeräumt werden. Ihr Umweltgefährdungspotential ist abzuschätzen. In Zukunft wird Handlungsbedarf bei den großen Lagern an FCKW in den Schaumstoffen des Bauwesens bestehen. Es ist davon auszugehen, daß bei zukünftigen Abbrucharbeiten der Dämmstoffe noch ein beträchtlicher Teil des FCKW Lagers vorhanden ist. Somit ist heute schon die Frage nach geeigneten Methoden zur Sammlung und Entsorgung dieser anfallenden Problemstoffe zu stellen. Denkbar wäre eine Behandlungsmethode wie sie derzeit bei den anfallenden PUR-Dämmstoffen der Kühlschranksorgung angewandt wird (Zerkleinerung, Absaugung, Verflüssigung). Einfacher und ebenso wirksam wäre die Verbrennung in dafür vorgesehenen Anlagen.

Um die zukünftige Lagerentwicklung in Schaumstoffen genauer abschätzen zu können, müssen differenziertere Untersuchungen über das Diffusionsverhalten der FCKW aus den Dämmstoffen durchgeführt werden.

Die Lager in den Prozessen "Kühlsysteme" und "Brandschutzmaßnahmen und Brandbekämpfung" liegen in gekapselten Systemen vor. Es ist daher zu überlegen ob eine verpflichtende Sammlung, ähnlich wie die der Haushaltskühlgeräte, einzuführen ist.

In Zukunft ist neben den Bemühungen zum Totalausstieg des FCKW Einsatzes (Fristenregelungen laufen mit Ende 1999 aus) auf die Lagerproblematik und auf die Gefahren der Ersatzstoffe vermehrt einzugehen.

Die Gesetzeslage für Österreich von 1994 schreibt weitgehende Verbote und Beschränkungen des FCKW-Einsatzes vor. Im Bereich der Lager werden zu dieser Zeit lediglich die FCKW-Mengen der zu entsorgenden Haushaltskühlgeräte gesetzlich erfaßt. Die Emissionen in die Atmosphäre werden in den nächsten Jahren stetig abnehmen, aufgrund des Lagerpotentials jedoch noch lange andauern.

#### 6.3.1.1 Folgerungen aus dem Beispiel "FCKW" für die Stoffbuchhaltung

Die Ergebnisse der Stoffflußanalyse reichen für eine Implementierung einer Stoffbuchhaltung FCKW noch nicht aus, da das Lager noch nicht genügend genau bestimmt werden konnte. Der nächste Schritt würde nun in einer Adaptierung der bereits vorhandenen Stoffflußanalyse bestehen, wobei das Hauptaugenmerk auf die Bestimmung der Zusammensetzung des Lagers und der Diffusionsrate der FCKW's aus dem Lager zu legen ist. Neben den jährlichen Diffusionsraten aus Dämmstoffen sind die möglichen Emissionsraten bei Abbrucharbeiten im Bauwesen sowie die Aufenthaltszeiten der Halogenlager in Kühl- und Brandschutzsystemen für die Lagerentwicklung von Interesse. Erst dann könnten geeignete Maßnahmen beispielsweise zwecks Optimierung des Abbruchs oder Rückbaus der Lager diskutiert bzw. getroffen werden. Eine weitere wichtige Fragestellung für die adaptierte Stoffflußanalyse würde die Identifikation der optimalen Meßpunkte für die Kontrolle des Lagers sein. Als mögliche theoretische Meßpunkte stehen die Produkte der Bauschutt-sortierung am Eingang zur Bauschuttdeponie und der Ort des Rückbaus oder Abbaus des Lagers (dies inkludiert auch die möglicherweise

zu errichtenden Entsorgungsanlagen) zur Auswahl. Aus der Sicht der Praxis sind die letzten beiden Meßpunkte sehr ungeeignet.

Die Resultate der FCKW-Studie bringen einen besonderen Aspekt in die Diskussion um die Stoffbuchhaltung ein - die Frage der Berücksichtigung von Substitutionsstoffen. Die Substitution der FCKW wird derzeit teilweise durch andere, nicht ozonschichtzerstörende Halogenkohlenwasserstoffe (z.B. FKW) durchgeführt. Diese Stoffe tragen jedoch, wie die FCKW, auch zum Treibhauseffekt bei. Die Frage ist nun: Welche Bedeutung kann die Substitution eines ozonzerstörenden Stoffes durch einen, den Treibhauseffekt fördernden, Stoff für diese Stoffbilanz haben?

Allgemein kann festgestellt werden, daß aus Gründen der Vorsicht, bzw. der Früherkennung von potentiellen Problemen der mögliche Effekt einer solchen Substitution mittels einer provisorischen Stoffflußanalyse abgeschätzt werden sollte. In diesem speziellen Fall sollte, unabhängig von einer FCKW-Stoffbuchhaltung, welche die ozonzerstörenden Substanzen erfaßt, eine Stoffbuchhaltung aller zum "anthropogenen Treibhauseffekt" beitragenden Stoffe (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, FCKW, FKW, etc.) geführt werden. Die Sammlung der Daten über die FCKW und über ihre Substitutionsstoffe wäre um jene Branchen zu erweitern, welche jene Güter verwenden, die den Treibhauseffekt fördernde Gase beinhalten. Der Adressat der Daten, also jene Institutionen welche die Daten fortschreiben, könnte sich ändern.

Dies führt zu der nächsten Frage: Wer führt die Fortschreibung der Daten der FCKW-Stoffbuchhaltung durch? Die Daten über Art und Menge (Gewicht und Volumen), Verwendungszweck und Abnehmer von vollhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen, Halonen, CKW's (1.1.1. Tri, Per) und die Verwendung von R 22 in Druckgaspackungen müssen bereits per Gesetz von den Herstellern und Importeuren jährlich der Behörde (Bundesministerium für Umwelt) gemeldet werden. Es wäre somit naheliegend, daß ALLE ozonschichtrelevanten Stoffe für die FCKW-Stoffbuchhaltung diesem Ministerium gemeldet werden und ihm daher die Fortschreibung der Daten obliegen könnte. Zusätzlich zu den Herstellern und Importeuren sollte die Bauwirtschaft als Datenlieferant fungieren. Ihre Aufgabe wäre es, Abschätzungen bezüglich der Veränderung des FCKW-Lagers im Bauwesen zur Verfügung zu stellen.

Die Aufgaben, die eine Stoffbuchhaltung FCKW zu erfüllen hat, beinhalten sowohl kurz- als auch langfristige Aspekte. Kurzfristig ist eine Kontrolle der Effizienz der Gesetze durchzuführen, d.h. findet der von der österreichischen Bundesregierung erklärte Ausstieg aus dem Einsatz von FCKW tatsächlich in dem vorgesehenen Ausmaß statt. Da der Markt an Halogenkohlenwasserstoffen aufgrund der Gesetzeslage derzeit stetigen Veränderungen unterliegt, scheint zur Erfolgskontrolle dieser Maßnahmen in den nächsten 5 Jahren eine FCKW-Stoffbuchhaltung angebracht. Die FCKW-Stoffbuchhaltung ist jedoch nach Erreichung des völligen Ausstiegs noch nicht überflüssig, da das FCKW-Lager über Jahrzehnte bis Jahrhunderte noch bewirtschaftet werden muß. Zu diesem Zweck müssen die Betroffenen aus Wirtschaft (v.a. Bauwirtschaft), die Konsumenten und die Behörden das Vorgehen zur Entsorgung der Lager entwickeln. Das heißt, langfristig (> 50 Jahre) soll mittels der Stoffbuchhaltung das FCKW-Lager bzw. dessen Veränderung kontrolliert werden. Zukünftig zu errichtende Entsorgungsanlagen, deren Aufgabe die umweltgerechte Entsorgung der FCKW-Lager ist, könnten zusätzliche FCKW-Daten für die Stoffbuchhaltung liefern.

### 6.3.2 Cadmium

Cadmium kann als ein Paradebeispiel für die erfolgreiche Anwendung von Stoffflußanalysen und für die Notwendigkeit einer Stoffbuchhaltung bezeichnet werden.

Cadmium ist ein Übergangsmetall, das vor allem als Korrosionsschutz, Pigment, Stabilisator in Kunststoffen (insbesondere in PVC) und Ni-Cd-Akkumulatoren verwendet wird. Da Cadmium in Erzen zusammen mit Zink vergesellschaftet vorkommt, fällt es sozusagen als Nebenprodukt der Zinkgewinnung an. Der globale Cadmiumverbrauch hat vor allem in diesem Jahrhundert sehr stark zugenommen. Mitte der 80er Jahre wurden jährlich rund 20 g Cd je Einwohner und Jahr gebraucht.

Die starke Zunahme der Verwendung von Cadmium spiegelt auch der Anstieg von Cadmium in Böden, Seesedimenten, Gletschereis und in Nahrungsmitteln wieder.

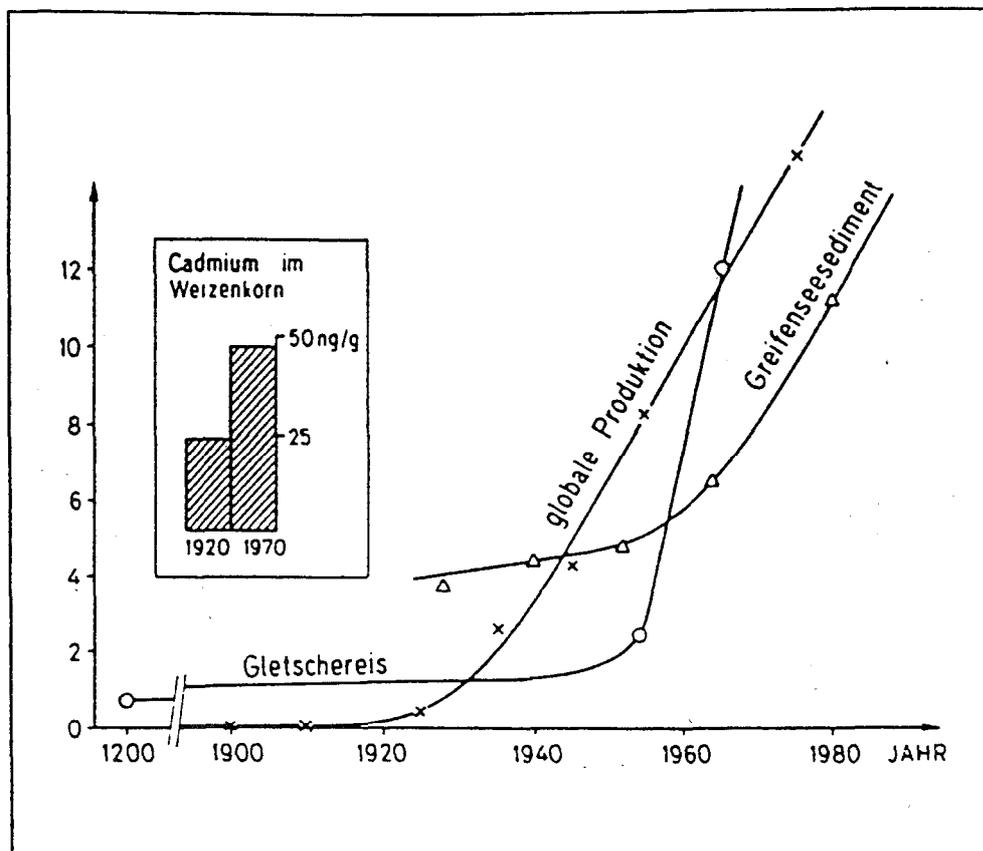


Abb. 17: Zunahme von Cadmium in der Umwelt als Folge der gestiegenen globalen Produktion [Brunner et al, 1982]

In den 80er Jahren war die Belastung durchschnittlicher Böden über die Luft so groß, daß Cadmium als dasjenige Element galt, bei dem die Differenz zwischen aktuellen Pflanzenkonzentrationen und Grenzwerten für die Ernährung kleiner war als für alle anderen Schadstoffe. Handlungsbedarf war deshalb gegeben, weil Cadmium für den Menschen toxisch

ist und über eine Schädigung der Niere zu einem gestörten Proteinstoffwechsel führen kann (Itai-Itai-Krankheit in Japan).

Erste globale Stoffflußanalysen zeigten, daß der anthropogene Beitrag zu den Cadmiumflüssen die natürlichen Flüsse bereits übersteigt. Sie zeigten auch den, den Geochemikern schon bekannten, atmophilen Charakter dieses relativ leicht flüchtigen Metalles. Sowohl die natürlichen wie auch insbesondere die anthropogenen Flüsse von Cadmium führen über die Atmosphäre auf den Boden. Von großer Bedeutung ist dabei die Partikelgröße von Cadmium in der Luft. Infolge des kleinen, aerodynamischen Durchmessers ist die durchschnittliche Aufenthaltszeit von Cadmium in der Luft relativ hoch (~ 1 Woche); dadurch werden große Transportdistanzen ermöglicht und führen zu beobachteten hohen Cadmiumkonzentration in arktischen Eismassen.

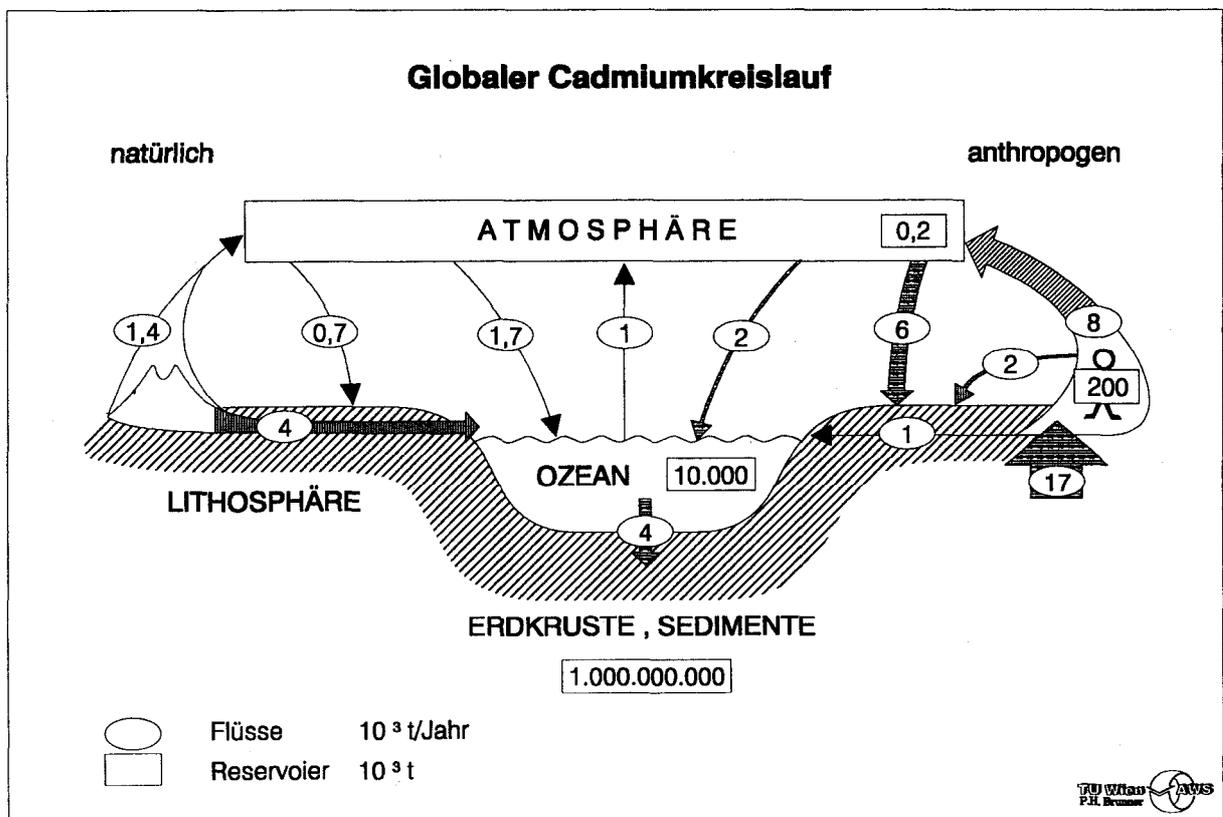


Abb. 18: Globale Kreisläufe von Cadmium. Der zivilisatorische Beitrag zu den globalen Metallkreisläufen ist groß: Die technische Cadmiumgewinnung übertrifft alle anderen Flüsse um ein Mehrfaches. Die wichtigste Senke für Cadmium bildet der Boden [Brunner & Baccini, 1981]

Die globalen Bilanzen (vgl. hierzu [Brunner & Baccini, 1981]) zeigen eine starke Anreicherung nicht nur in den Böden sondern auch in der Anthroposphäre. Um dieses Zukunftsproblem abzuklären, wurden in der Schweiz, Dänemark, der Bundesrepublik Deutschland und auch in Österreich Cadmiumbilanzen erstellt. Sie zeigen, daß in der Entsorgung nur ein

Bruchteil (~20-30 %) des durch die Versorgung in die Anthroposphäre importierten Cadmiums behandelt wird. Mehr als 70 % wird in der Infrastruktur der Anthroposphäre mit langlebigen Gütern eingelagert. Die nationalen Stoffbilanzen bestätigten die Bedeutung der Senke "Boden", die kontinuierlich angereichert wird.

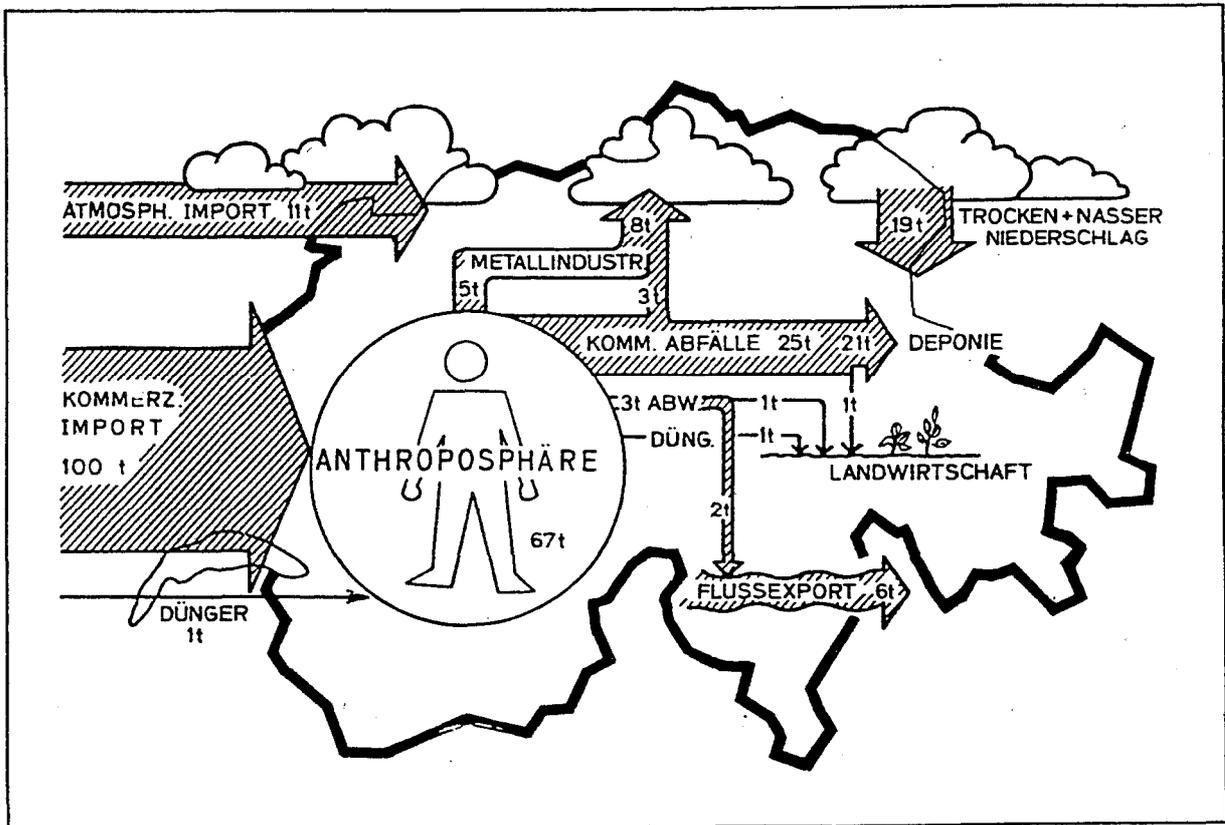


Abb. 19: Cadmium - Flußschema Schweiz [Keller & Brunner, 1983]

Aus den Stoffflußanalysen konnten viele Folgerungen und Maßnahmen abgeleitet werden, die hier nicht vollständig wiedergegeben werden können. Die wichtigsten sind:

### Folgerungen

1. Die Stoffflußanalysen ermöglichen die Früherkennung von Belastungen rascher und effizienter als jede andere Methode. Insbesondere bei kleinen jährlichen Veränderungen, wie sie im Boden stattfinden (< 1 % des vorhandenen Inventars) können Stoffbilanzen sofort einen Hinweis auf Anreicherungen oder Verarmungen an Stoffen geben. Im Gegensatz dazu gelingt es mit auch noch so intensiver direkter Beprobung des Bodens erst nach Jahrzehnten, eine Anreicherung von Cadmium im Boden statistisch einwandfrei nachzuweisen. Auch die zukünftig an Bedeutung gewinnenden flächenhaften Belastungen der Anthroposphäre und der Umwelt lassen sich nur anhand von Stoffflußanalysen bereits heute erkennen.

2. Stoffbilanzen ermöglichen ein "ursachenbezogenes Monitoring" von Umweltbelastungen und Ressourcenveränderungen. Die bereits durchgeführten Cadmiumstudien zeigten deutlich, welche Quellen zu welchen Belastungen führten, und welche Belastungen im Verhältnis zur geogenen Hintergrundbelastung wesentlich sind. Eine reine Analyse der Konzentrationen von Cadmium in Wasser, Boden oder der Luft gibt nur in Ausnahmefällen schlüssige Hinweise auf die verantwortlichen Quellen.
3. Das "ursachenbezogene Monitoring" anhand von Stoffbilanzen ermöglicht, Prioritäten für Maßnahmen zu setzen, und effiziente Maßnahmen zu treffen. Ende der 70er Jahre konnte anhand von Stoffbilanzen klar gezeigt werden, daß die Verarbeitung von Hausmüll im Weinbau schon mittelfristig die Böden der Weingärten mit Cadmium bis zu den Grenzwerten und darüber hinaus "anfüllt". Für den Bodenschutz war deshalb damals die wichtigste und sofort zu treffende Maßnahme der Übergang von der Hausmüllkompostierung zur Biomüllkompostierung [Brunner et al, 1981]. Als zweitwichtigste, sofort zu treffende Maßnahme waren die Müllverbrennungsanlagen bezüglich der rauchgasseitigen Cadmiumemissionen zu sanieren. Die Belastung des Bodens im Umfeld der Müllverbrennungsanlagen in den 70er Jahren war gravierend und führte ebenfalls zur Anreicherung von Cadmium im Boden [Brunner & Zobrist, 1983]. Nationale Stoffbilanzen zeigten, warum die Entsorgung für Cadmium ein derart wichtiger Pfad ist: Rund ein Viertel des national verbrauchten Cadmiums landete im Hausmüll, weniger als 1 % im Klärschlamm, der somit ein weit weniger großes Problem für den "Stoffhaushalt Cadmium" darstellt. Anhand von Stoffbilanzen läßt sich zeigen, daß die Problemstoffsammlung eine wenig effiziente Maßnahme zur Reduktion der Cadmiumbelastung ist [Damberger & Spanzel, 1994].
4. Stoffbilanzen zeigen auch den zeitlichen Maßstab von Wirkungen. So wurden die Möglichkeiten der Vermeidung, Verwertung und Entsorgung für die Entlastung der Umwelt von Cadmium untersucht und gefunden, daß kurzfristig (1-10 Jahre) das Potential von technischen Entsorgungsmaßnahmen zur Reduktion von Umweltbelastungen um Größenordnungen (10 - 100mal) höher ist als dasjenige von Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen. Jedoch müssen Vermeidungs- und Verwertungsstrategien auch langfristig (10 - 100 Jahre) sehr wirksam werden. Die Schlußfolgerungen, die in der Schweiz zu Beginn der 80er Jahre aus diesen Ergebnissen gezogen wurden, wurden in Form der Priorisierung tiefer Cadmiumgrenzwerte für die Entsorgungsanlagen gezogen. Erst in zweiter Dringlichkeit wurden die langfristigen Maßnahmen der Vermeidung und Verwertung konkretisiert [Baccini & Brunner, 1982].
5. Stoffbilanzen sind wirksame Diskussionsgrundlagen für die praktische Problemlösung. Die Beteiligten am Cadmiumfluß sehen ihren Beitrag und erkennen die Bedeutung für den gesamten Fluß. Das Prinzip der Massenerhaltung ist einsichtig. Die Tatsache, daß in Bilanzen keine Stoffe "verschwinden" können, und daß alle Stoffe, die durch die Versorgung fließen, entweder in einem Lager oder in der Entsorgung respektive Umwelt wieder gefunden werden müssen, ist für jedermann offensichtlich und kann nicht bestritten werden.

Die einzelnen Partner werden deshalb selbst Vorschläge zur Reduktion einbringen, sodaß der Gesetzgeber nicht in jedem Fall eingreifen muß. Im Falle des Cadmiumhaushaltes Schweiz kam es beispielsweise zu einer Vereinbarung zwischen den Kunststoffindustriellen und den Behörden über die maximal einzusetzende Menge an Cadmium. Für Düngemittel besteht eine Obergrenze sowohl in Handelsdünger als auch in Komposten und Klärschlämmen. In Schweden wurde der Gebrauch von Cadmium praktisch verboten. Dieses Metall ist nur noch in wenigen, einfach und vollständig zu rezyklierenden Gütern wie beispielsweise Akkumulatoren für Zivilschutzanlagen erlaubt. Erstaunlich ist, daß es auch gelungen ist, in einem derart komplexen Gut wie einem PKW (geringe Fertigungstiefe) einen Grenzwert von 50 g je Tonne PKW vorzuschreiben und einzuhalten.

6. Die nachstehenden Maßnahmen sind direkte Folgen von Analysen des nationalen Cadmiumflusses:

- Einschränkung des Cd-Einsatzes in: Kunststoffen als Additive  
Pigmenten  
Oberflächenschutz  
PKW-Bestandteilen und -lacken
- Vorschriften über: Abgase aus Müllverbrennungsanlagen  
Gehalte im Kompost  
Gehalte im Handelsdünger
- Vereinbarung mit Kunststoffherstellern über Cadmiumersatz
- Verzicht von Produzenten von Gütern auf den Einsatz von Cadmium infolge Information über dessen Stoffhaushalt

#### 6.3.2.1 Folgerungen aus dem Beispiel "Cadmium" für die Stoffbuchhaltung

Eine Stoffbuchhaltung für Cadmium ist machbar. In der BRD wird bereits seit mehr als einem Jahrzehnt eine Vorstufe der Cadmium-Stoffbuchhaltung durch Rauhut bearbeitet. Die Stoffflußanalyse wurde bereits in mehreren Ländern durchgeführt. Es fehlt noch die systematische Auswertung dieser Arbeiten, um daraus eine nationale Stoffbuchhaltung Österreich abzuleiten. Die Abfallwirtschaft wird eine wichtige Funktion in der künftigen "STOBU Cadmium" zu erfüllen haben: Insbesondere Müllverbrennungsanlagen eignen sich hervorragend als Monitoringinstrument für den Cadmiumfluß durch Österreich (vgl. [Brunner & Mönch, 1986] sowie das Projekt MAPE im Kapitel 6.1.1).

Für die Zukunft gilt es, die Schlüsselprozesse des Cadmiumhaushaltes zu identifizieren. Implizit, aber nicht systematisch, ist dies bereits in den Stoffflußanalysen geschehen. Zusammen mit den "Betroffenen" aus Wirtschaft (Industrie, Gewerbe, Entsorgung), Landwirtschaft, Konsumenten und Behörden ist ein Vorgehen zu entwickeln, wie diese Schlüsselprozesse beobachtet werden können und die erhaltenen Daten in die Stoffbuchhaltung "Cadmium Österreich" eingefügt werden können.

Erst wenn diese Stoffbuchhaltung über mehrere Jahre geführt wird, wird zu erkennen sein, ob die Maßnahmen zur Entlastung der Umwelt bezüglich Cadmium auch in der Praxis wirksam wurden.

Der gesamte Aufwand zur Führung der STOBU dürfte, wenn einmal eine Stoffflußanalyse systematisch und vollständig durchgeführt wurde, nicht mehr sehr groß sein (< 1 Personenjahr). Der Ertrag hingegen wird beachtlich sein, da einerseits nur mehr Maßnahmen ergriffen werden, die hochwirksam sind und andererseits teure Programme zur Überwachung von Boden und Wasser entfallen können.

### 6.3.3 Nonylphenole

Diese Fallstudie ist wohl das spektakulärste Beispiel für die erfolgreiche Anwendung einer Stoffflußanalyse im Umweltschutz.

Nonylphenole (NP) sind Abbauprodukte einer Tensidgruppe, den Nonylphenolpolyethoxylaten (NPnEO). Diese nichtionischen Tenside wurden zu Beginn der 80er Jahre in zahlreichen Textilwaschmitteln wie auch in Spül- und Reinigungsmitteln eingesetzt. Sie besitzen ausgezeichnete oberflächenaktive Eigenschaften und verbessern die Waschkraft vieler Konsumprodukte.

Tab. 8: Konzentrationen und Frachten von LAS, NPnEO und NP in kommunalen Kläranlagen, berechnet für die Schweiz 1986 [Giger et al, 1987]

	Maßeinheit	LAS	NPnEO	NP
<b>Abwasser</b>				
Konzentration				
Spannweite	mg/l	1 - 5	0,4 - 2,2	0,020 - 0,047
Median	mg/l	2,3	0,9	0,03
Jahresfracht Schweiz				
gemessen	t/a	3.000 (=100 %)	1.100 (=100 %)	35
berechnet	t/a	5.000	1.700	-
<b>gereinigtes Abwasser</b>				
Konzentration:				
Spannweite	µg/l	7 - 330	12 - 120	1 - 13
Median	µg/l	22	42	5
Jahresfracht Schweiz	t/a	~30 (=1 %)	~50 (=4 %)	6
<b>Klärschlamm</b>				
Konzentration:				
Spannweite	mg/gTR	0,05 - 5,9		0,15 - 2,2
Median	mg/gTR	3,8		1,2
Jahresfracht Schweiz	t/a	600 [=20 %] <sup>a)</sup>		190 [=50 %] <sup>a)</sup>

a) % molare Basis bezogen auf 1.100 t/a NPnEO



Nonylphenoethoxylaten zu einer gravierenden Verunreinigung der Klärschlämme führen, deren Auswirkungen bei landwirtschaftlicher Schlammverwertung noch nicht abschätzbar waren. In Zusammenarbeit mit der Behörde und der Waschmittelindustrie konnte jedoch rasch erreicht werden, daß dieses Tensid nur noch in Ausnahmefällen für Spezialanwendungen gebraucht wird. Innerhalb kurzer Zeit (< 5 Jahre) zeigten die Konzentrationen im Klärschlamm bereits eine 90 %-ige Abnahme für Nonylphenol. Die Gehalte anderer Tenside, z.B. lineare Alkylbenzolsulfate, nahmen dagegen in derselben Periode im Klärschlamm immer noch zu.

### 6.3.3.1 Folgerungen aus dem Beispiel "Nonylphenol" für die Stoffbuchhaltung

1. Die Fallstudie zeigt, daß Stoffflußanalysen auch für organische Stoffe zielführend und machbar sind.
2. Anhand der Stoffflußanalyse können die Schlüsselprozesse identifiziert werden. Es sind dies die "Herstellung von Waschmitteln" und die "Abwasserreinigung" einschließlich der Schlammbehandlung. Eine nachfolgende kontinuierliche Stoffbuchhaltung könnte sich im Prinzip damit begnügen, entweder die Herstellerangaben über den NPnEO-Verbrauch zu erfassen, oder Analyseergebnisse über NP-Gehalte im Klärschlamm auszuwerten. Zu Kontrollzwecken empfiehlt es sich, beide Prozesse in die STOBUS miteinzubeziehen.
3. Das Beispiel zeigt, daß die Stoffflußanalyse ein hervorragend geeignetes Instrument ist, den Pfad eines Konsumgutes von seiner Herstellung bis zur letzten Senke darzustellen, um schlußendlich den Verursacher zu überzeugen, daß er sein Produkt umweltverträglicher gestalten muß. Zukünftig gilt es für ökologisch orientierte Unternehmen, aufgrund von physikalisch-chemischen Stoffdaten schon vor dem in Verkehrsetzen von Konsumprodukten zu berechnen resp. abzuschätzen, wie die Inhaltsstoffe des neuen Produktes in der Anthroposphäre und in der Umwelt verteilt werden, welche Lager aufgebaut und welche letzten Senken genutzt werden. Die Stoffflußanalyse wird damit zu einem notwendigen Bestandteil einer ökologischen Produktgestaltung (Eco-Design). Die dabei auf betrieblicher Ebene gewonnenen Daten sollten auch für eine nationale Stoffbuchhaltung nutzbar sein.
4. Die Fallstudie zeigt die große Bedeutung, die dem Klärschlamm als Sammelbecken für lipophile organische Stoffe zukommt. Für Stoffe, die über das Förderband "Abwasser" entsorgt werden, ist die Analyse des Klärschlammes ein geeignetes Monitoring-Instrument. Dies trifft insbesondere für Güter zu, die explizit für den Einsatz im Wasser produziert werden, wie Wasch-, Reinigungs- und Putzmittel oder Artikel zur Körperhygiene.
5. Das Nonylphenolbeispiel zeigt, daß es bei gemeinsamen Anstrengungen und der sinnvollen Anwendung der Flußanalyse, basierend auf chemisch-analytischen Meßmethoden und physikalisch-chemischen Stoffdaten, innerhalb einer Dekade möglich war, ein ökologisches Problem zu erkennen, zu beschreiben, zu lösen, und die Wirkung der getroffenen Maßnahmen nachzuweisen. Der letzte Punkt, der Wirkungsnachweis, ist allerdings nur dann möglich, wenn im Anschluß an die Stoffflußanalyse, die das Problem und ihre Ursachen erkennen läßt, mit der Stoffbuchhaltung eine effiziente Erfolgskontrolle über mehrere Jahre erfolgt.

## **7. Folgerungen aus den bisherigen Erfahrungen: Möglichkeiten und Grenzen**

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist eine routinemäßige Stoffbuchhaltung noch nicht möglich. Es gibt bereits viele erfolgreiche Beispiele von Stoffflußanalysen, teilweise auch echte Stoffbilanzen. Diese Beispiele dokumentieren sehr schön die Anwendungsmöglichkeiten der Stoffflußanalyse für die Früherkennung von Umweltproblemen und Ressourcenveränderungen, für die Prioritätensetzung von Maßnahmen, für die Auswahl der wirkungsvollsten Maßnahmen, wie auch für die Gestaltung von Produkten nach ökologischen Gesichtspunkten. Diese Beispiele erlauben aber noch keinen nahtlosen Übergang zur Stoffbuchhaltung, da sie noch nicht systematisch ausgewertet wurden. In Zukunft ist es notwendig, anhand einiger ausgewählter, exemplarischer organischer und anorganischer Stoffe den Schritt von der Stoffflußanalyse zur Stoffbuchhaltung zu machen, d.h. die Stoffflußanalyse im Hinblick auf die Schlüsselprozesse zu untersuchen, und ein Programm aufzustellen, wie mit möglichst wenigen Mengen und Daten ein Maximum an Informationen über den Haushalt eines bestimmten Stoffes herausgeholt werden kann. Die Entwicklung der Stoffflußanalyse, wie auch der Übergang von der Analyse zur Buchhaltung, kann nur in einem Team erfolgreich bewältigt werden welches sich aus Vertretern der betroffenen Wirtschaftszweige, der Behörden (Statistik, Umwelt-, Wirtschaftsressort), der Interessensvertretungen, der Wissenschaft und weiterer Kreise zusammensetzt, die den zur Diskussion stehenden Stoff bzw. seine Prozesse gut kennen.

Erfolge wie Reduktionen von Umweltbelastungen oder die Nutzung neuer Rohstoffpotentiale sind erfahrungsgemäß erst nach Jahrzehnten möglich. Die Stoffbuchhaltung ist ein Instrument, das langfristig benutzt werden sollte. Einerseits läßt sich anhand der Stoffflußanalyse und der folgenden Stoffbuchhaltung relativ schnell ein bestehendes oder zukünftiges Problem erkennen. Andererseits haben die bisherigen Erfahrungen deutlich gezeigt, daß vom Erkennen bis zur effektiven Wirkung der Maßnahmen in Wasser, Boden und auch der Luft mindestens ein Jahrzehnt vergeht. Der Rhythmus der Stoffbuchhaltung muß angepaßt erfolgen. Je nach Stoff kann es erforderlich sein alle Jahre, 2-Jahre oder 5-Jahre Buchhaltung zu führen.

Folgende Möglichkeiten ergeben sich aus der langfristigen Anwendung der Stoffbuchhaltung:

1. Im Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) sollen gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) Angaben über die Zielführung der abfallwirtschaftlichen Maßnahmen enthalten sein. Da die Ziele des AWG vorwiegend stofflicher Art sind (Schutz der Umwelt, optimale Rohstoffnutzung), läßt sich anhand der nationalen Stoffbuchhaltung sehr gut überprüfen, wo diese Ziele noch gefährdet sind, und durch welche abfallwirtschaftlichen Maßnahmen die Ziele erreicht werden können. Die Stoffbuchhaltung ist somit eine wichtige künftige Grundlage für den Bundesabfallwirtschaftsplan.
2. Der Nationale Umweltplan (NUP) wird Maßnahmen zur Haltung und Verbesserung der Umweltqualität in Österreich enthalten. Die Stoffbuchhaltung ist auch für den NUP eine unabdingbare Grundlage. Die Vorarbeiten für den NUP haben gezeigt, daß es in Österreich

noch keine schlüssigen Stoffbilanzen gibt, daß aber solche im Sinne der Früherkennung von Belastungen und Ressourcenpotentialen notwendig sind. Auch für den NUP wäre die Stoffbuchhaltung ein entscheidendes Instrument für die kontinuierliche Überprüfung des Erfolges umwelttechnischer und -politischer Maßnahmen.

3. Auch für Regionen ist die Kenntnis ihres regionalen Stoffhaushalts von Bedeutung. Zukünftig sollte bei der Planung der Entwicklung von Regionen der, mit der Entwicklung verbundene, veränderte Güter- und Stofffluß miteinbezogen werden. Dieser könnte beispielsweise mit den geogenen Stoffflüssen der Region in Beziehung gesetzt werden, um aus der Relation abzuschätzen, ob die zusätzlichen anthropogenen Flüsse die geogenen massiv verändern oder nicht (Bsp. Neuansiedlung eines Betriebes). Als Umkehrschluß kann die Frage gestellt werden, welche Regionen für welche Art von Betrieben geeignet sind. Weiters ist, wie für national wirksame Maßnahmen ebenfalls auf regionaler Ebene eine Kontrolle der Effizienz notwendig, welche mit Hilfe der Stoffbuchhaltung vorgenommen werden kann.
4. Vor allem für Betriebe oder Branchen und die einen großen Güter- und damit auch Stoffumsatz verursachen, ist eine Stoffbuchhaltung von Bedeutung. Will ein Unternehmer sich aktiv den Fragestellungen Umweltschutz Ressourcenschonung widmen und nicht auf eine Verordnung des Gesetzgebers warten, welche ihm vorschreibt was er zu tun hat, sind Kenntnisse über den Stoffhaushalt notwendig. Innerbetrieblich sind Schlagworte wie "ökologisch bewußte Unternehmensführung", "Eco-Design" von Produkten oder "betriebliche Ökobilanz" nur dann sinnvoll mit Substanz zu versehen, wenn der Betrieb einerseits über seinen innerbetrieblichen Stoffhaushalt Bescheid weiß und andererseits seine Bedeutung für den regionalen Stoffhaushalt kennt. Für die Kontrolle von im Unternehmen getroffenen Umweltschutzentscheidungen (sowohl auf betrieblicher als auch auf Produktebene), die weit über Abfallwirtschaftskonzepte hinausgehen, sind betriebliche Stoffbuchhaltungen ein notwendiges Hilfsmittel. Jene Unternehmen oder Branchen welche einen hohen Rohstoffbedarf haben, könnten mit dieser Methode (z.B. Aluminium-Stoffbuchhaltung) potentielle Rohstoffquellen für die Zukunft entdecken und schließlich auch nutzen.

Folgende Grenzen sind derzeit sichtbar:

1. Es wird nicht möglich sein, für alle Stoffe eine Buchhaltung zu führen. Insbesondere für die Tausenden von organischen Verbindungen sind Stoffflußanalysen eine Illusion. Aber auch bei den anorganischen Stoffen ist die Stoffbuchhaltung nur für ausgewählte, wichtige Stoffe notwendig und möglich. Die Auswahl der Stoffe ist deshalb wichtig, Kriterien sind unter anderem die Anwendungs- resp. Produktionsmenge, die Verteilung in der Umwelt, die Toxizität und das Verhältnis des totalen anthropogenen Fluxes zum geogenen Flux.
2. In der Anfangsphase wird es für Unternehmungen schwierig sein, Stoffdaten über ihre Güter zu gewinnen, da ihre Fertigungstiefe in der Regel gering ist. Vollständige Datensätze resp. Flußschemata sind erst möglich, wenn von der Primärproduktion über die Veredelung bis zum Konsum die Stoffinformationen erhalten bleiben.

3. Aus Datenschutzgründen sind nicht alle Informationen frei zugänglich. Allerdings bietet sich manchmal dank dem Massenerhaltungssatz die Möglichkeit, derart fehlende Daten über Bilanzen zu berechnen.
4. Die Stoffbuchhaltung ist keine Wirkungsanalyse, und sie ist keine Ökobilanz. Die Stoffbuchhaltung allein erlaubt keine Aussage über die toxische Wirkung eines Stoffes. Sie vermag nur darzustellen, wie sich ein Stoff in der Anthroposphäre und der Umwelt verteilt, und wie das Verhältnis von geogenen zu anthropogenen Stoffflüssen und -lagern ist. Sie ist damit eine wichtige notwendige Grundlage, aber kein Ersatz für eine Wirkungsanalyse.
5. Viele Stoffdaten werden bereits heute von der Wirtschaft erhoben und verwaltet. Die Stoffbuchhaltung kann nur dann erfolgreich geführt werden, wenn die Wirtschaft von der Nützlichkeit und ökologischen Sinnhaftigkeit der Sammlung solcher Daten überzeugt ist. Diese Überzeugung läßt sich nicht mit einer Verordnung bewerkstelligen. Es ist deshalb vordringlich, die Wirtschaft in den Prozeß der Entwicklung der Stoffbuchhaltung zu involvieren. Sie ist anhand von erfolgreichen Beispielen davon zu überzeugen, daß dieses Instrument einem zukunftsgerichteten Unternehmer nicht nur auf der betrieblichen, sondern auch auf der regionalen und nationalen Ebene Vorteile bringt. Genauso wie zur Zeit der Einführung der Finanzbuchhaltung diejenigen Unternehmen, die dieses Instrument zuerst benutzten, im Konkurrenzkampf mit jenen Betrieben, die es noch nicht benutzen, einen Vorteil hatten, werden morgen die Betriebe, Regionen und Nationen, die eine Stoffbuchhaltung führen, im ökologischen und wirtschaftlichen Wettbewerb einen Vorteil erringen.

## 8. Weiteres Vorgehen

Wie ein Blick in die Publikationsliste (Kap. 5) zeigt, haben sich Stoffbilanzen v.a. in den letzten Jahren zu einem anerkannten Hilfsmittel entwickelt, mit dem nicht nur einzelne Prozesse, sondern ganze Regionen bzw. Nationen beschrieben wurden. Nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der Wirtschaft wird diese Methodik zunehmend populärer. Jetzt gilt es den nächsten Schritt, die Einführung einer Stoffbuchhaltung, vorzubereiten.

Die Stoffbuchhaltung hat ihre Berechtigung und Bedeutung auf allen Ebenen der Wirtschaft. Die nationale Stoffbuchhaltung ist in die Fortschreibung des Bundesabfallwirtschaftsplanes und die regionalen Stoffbuchhaltungen sind in die Landesabfallwirtschaftspläne aufzunehmen. Die betrieblichen Stoffbuchhaltungen sind vor allem in Schlüsselunternehmen notwendig. Solche Unternehmen sind beispielsweise jene mit den größten Güter- bzw. Stoffflüssen, d.s. jene im Bauwesen, oder jene welche große Mengen an Wirk(Schad-)stoffen umsetzen, d.s. Galvanikbetriebe oder die chemische Industrie. Nicht zuletzt sollten auch jene Betriebe eine Stoffbuchhaltung führen, welche die größten Mengen an Rohstoffen umsetzen, d.s. Betriebe des Bauwesens, der Aluminium- oder Eisenindustrie.

Aufgrund der Tatsache, daß so viele unterschiedliche Ebenen und langfristig sicherlich auch Staaten betroffen sind und eingebunden werden müssen, ist gleich von Beginn an darauf zu achten, daß die Datensätze vollkommen durchgängig angelegt werden. Ist ist nicht zielführend, wenn beispielsweise die kärntner Phosphor-Bilanz nicht mit der niederösterreichischen zusammenpaßt und dann langwierig umgerechnet werden muß, um diese dann in eine gesamtösterreichische P-Bilanz einzubinden.

Relativ rasch sind auch internationale Kontakte sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf statistischer Ebene zu knüpfen, um einerseits die in den einzelnen Staaten in Vorbereitung stehenden Stoffbuchhaltungsansätze (z.B. Schweiz, Deutschland) kennen zu lernen und von Beginn an die national vorgeschlagene Durchlässigkeit auch international zu erreichen. Weiters sind geeignete EDV-Hilfsmittel auszuwählen, gegebenenfalls neu zu entwickeln oder zu adaptieren. Zumindest müssen die Schnittstellen exakt definiert werden.

Bevor die Stoffbuchhaltung als routinemäßiges Instrument eingeführt werden kann, muß sie anhand einzelner Beispiele entwickelt, ausgetestet und optimiert werden. Es wird vorgeschlagen, anhand dreier Beispiele, die von den untersuchten Stoffen her unterschiedliche Anforderungen stellen, eine Stoffbuchhaltungsmethodik einzuführen. Für die spätere Phase der routinemäßigen Erhebung der Stoffbuchhaltung ist es heute zu früh für konkrete Vorschläge, da zuerst die Erfahrungen der ersten Phase erlebt und ausgewertet werden müssen.

In diesem Kapitel wird anhand des **Beispiels Zink** ein detaillierter Vorschlag für das weitere Vorgehen entwickelt. Anschließend wird für die beiden Stoffe Quecksilber und polychlorierte Biphenyle (PCB) grob skizziert, wie eine Stoffbuchhaltung bewerkstelligt werden könnte.

Im folgenden wird davon ausgegangen, daß das Führen der Stoffbuchhaltung in den Kompetenzbereich des Umweltbundesamtes fällt. Dies muß jedoch nicht zwingend der Fall sein. Da die Stoffbuchhaltung sinnvollerweise auch aus Gründen der Ressourcenplanung und -nutzung geführt wird, könnte sie auch bei einer Dienststelle des Wirtschafts- oder Finanzministeriums oder beim Österreichischen Statistischen Zentralamt angesiedelt sein (Ressourcen = Assets!).

### Zink:

Zink als essentielles Element wird in vielen Gütern des täglichen Gebrauchs verwendet (in Batterien als galvanisches Element, im PKW als Oberflächenschutz, in Kunststoffen als Additiv, in der Tierernährung und in der Medizin als Spurenelement resp. als Heilmittel, etc.). Bei Zinkmangel leiden nicht nur Mensch und Tier, sondern auch Pflanzen und ihre Gemeinschaften. Bei Überschuß kommt es zu Stoffwechselstörungen bis hin zu eigentlichen Intoxikationen.

In der Literatur mehren sich die Hinweise darauf, daß in der Senke "Boden" Zink stark und relativ rasch angereichert wird. Böden sind bezüglich Zink nicht im Fließgleichgewicht; der Input über die Atmosphäre und andere Quellen ist auch in Österreich größer als der Output aus den Böden. Um einerseits die zukünftige Entwicklung des Zinkhaushaltes Österreichs unter gleichbleibenden Verhältnissen abschätzen zu können, und um andererseits rechtzeitig Gegenmaßnahmen zur Verhinderung unerwünschter Anreicherungen oder Verknappungen ergreifen zu können, ist die Stoffbuchhaltung Zink notwendig. Wird als erstes Beispiel für eine Stoffbuchhaltung in Österreich Zink gewählt, hat dies den Vorteil, daß es sich bei diesem Stoff nicht um einen aktuellen Schadstoff, der täglich im Brennpunkt des öffentlichen Interesses steht, handelt (z.B. PVC oder Dioxin). Eine Bearbeitung des Themas kann damit sozusagen im geschützten technisch-wissenschaftlichen Raum erfolgen. Ein weiterer Vorteil von Zink liegt darin, daß es im Gegensatz zu organischen Stoffen, nicht abgebaut wird und dem Massenerhaltungssatz unterliegt.

Als erstes sind die Hauptanwendungszwecke von Zink festzustellen, am besten vom UBA, oder einer vom UBA beauftragten dritten Institution. In der Folge sind sachkundige Vertreter der Branchen, in deren Wirkungsbereich der Hauptanwendungszweck fällt, einzuladen, an einer Arbeitsgruppe "Stoffbuchhaltung Zink Österreich" teilzunehmen. Die Arbeitsgruppe, die entweder selbst unter der Leitung des UBA steht oder von einem durch diese Stellen beauftragten sachkundigen Dritten geleitet wird, formuliert und erteilt nun den Auftrag für eine Analyse des Österreichischen Stoffflusses Zink. Der Auftragnehmer erstellt in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe eine Systemanalyse des Zinkhaushaltes und fertigt Listen aller bekannten, mit Zink zusammenhängenden Güter und Prozesse an. Im nächsten Schritt werden die größten Zinkflüsse und Lager abgeschätzt, und zwar sowohl für anthropogene wie auch für geogene Prozesse. Diese erste Abschätzung erlaubt in der Regel, die lange Liste der zinkhaltigen Güter wesentlich einzuschränken und diejenigen Prozesse zu identifizieren, die in der Folge tatsächlich quantitativ zu analysieren sind. Meist können Güterflüsse, die weniger als 1 % des gesamten anthropogenen Stoffflusses verursachen, vernachlässigt werden. Allerdings ist diese "Regel" sehr sorgfältig und nur nach vorangehender Prüfung, ob sie für den jeweiligen Stoff auch zutrifft, anzuwenden. Der Vergleich der anthropogenen mit den geogenen Flüssen erlaubt oft schon in dieser Phase abzuschätzen, ob sich ein Problem

bezüglich Umweltbelastungen ergeben könnte, und die Systemanalyse entsprechend darauf auszurichten ist.

Auf Vorschlag des Erstellers der Systemanalyse und der ersten groben Abschätzungen werden zusammen mit der Arbeitsgruppe die Arbeiten zur quantitativen Bestimmung der mit Zink in Verbindung zu bringenden Güterflüsse und Stoffkonzentrationen wie auch Güter- und Stofflager verteilt. Die Branchenvertreter sind in dieser Phase gefordert, die sie betreffenden Zahlen über Zinkgehalte und -flüsse in ihren Gütern resp. durch ihre Prozesse in die Systemanalyse und die Güterliste einzufüllen. Damit die Daten einer einheitlichen Struktur entsprechen (Raum- und Zeitbezug, Einheiten, statistische Aussagekraft, etc.) ist es erforderlich, im Anschluß an die Systemanalyse die Erfassung und Bewirtschaftung der Daten mit einem elektronischen Datenbanksystem auszuwählen und für die Zukunft festzulegen.<sup>3</sup>

Nachdem die Arbeitsgruppe solcherart die Güterflüsse und -lager wie auch die Stoffkonzentrationen, -flüsse und -lager von Zink bestimmt hat, können allenfalls noch fehlende Daten nach dem Bilanzprinzip oder unter Ausnützung der Redundanz des Systems (Output aus einem Prozeß ist der Input in den anderen) ergänzt werden. Der beauftragte Dritte erstellt nun die Stoffflußanalyse inkl. grafischer Darstellung; dies dient der Arbeitsgruppe als Ausgangsbasis für die Stoffbuchhaltung.

Der erste Schritt der eigentlichen Stoffbuchhaltung besteht in der Identifikation der Schlüsselprozesse und -güter: Welche Güterflüsse müssen unbedingt gemessen werden, welche können mit genügender Genauigkeit abgeschätzt werden, welche können über Bilanzen errechnet werden, und welche müssen nicht bestimmt werden. Kriterien zur Auswahl ist eine genügende Genauigkeit des gesamten Systems "Zinkhaushalt Österreich" im Hinblick auf Umweltbelastungen und Ressourcennutzung und die Wirtschaftlichkeit der Stoffbuchhaltung. In der Regel sollen möglichst wenig chemische Analysen gemacht werden, da diese die Stoffbuchhaltung stark verteuern. Optimal ist, wenn bereits vorhandene stoffliche Informationen von einem Produzenten zum anderen weitergegeben werden, und im Prinzip nur ganz am Anfang der Kette, und am Schluß effektive Messungen durchgeführt werden.

Nachdem die Güter und Prozesse identifiziert wurden, wird eine Prozedur festgelegt, wie die Daten erhoben und ausgewertet werden sollen. Auch hierzu bereitet der beauftragte Dritte wieder einen Vorschlag vor, der von der Arbeitsgruppe revidiert und festgeschrieben wird. Die einzelnen Teilnehmer der Gruppe liefern nun im festgelegten Rythmus die Daten, und die Beauftragten tragen sie in die Buchhaltung ein resp. werten sie aus und berichten fortlaufend über den Stand. Nach einem Jahr wird die erste Bilanz gezogen. Es werden die Anreicherungen resp. Verknappungen festgestellt und verglichen, welche anthropogenen Flüsse in der Nähe oder größer als geogene Flüsse (in einen nationalen Rahmen!) sind. Derart werden Problembereiche definiert, wobei durch eine "synthetische" Fortschreibung dieser Buchhaltung zukünftige Entwicklungen bei gleichbleibendem Zinkhaushalt vorauszuberechnen sind. Aus diesen Prozessen soll erstens der Rythmus für die nächste Buchhaltungsperiode (nach 1, 5 oder 10 Jahren) festgelegt werden, und zweitens der Handlungsbedarf für Maßnahmen bezüglich Umweltschutz und Ressourcennutzung festgelegt werden. Die

<sup>3</sup> An der TU Wien, Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft wird zur Zeit ein Workshop geplant, indem die Frage der zukünftigen, für die Stoffbuchhaltung verwendeten, Software abgeklärt werden soll (Mai 1995).

Resultate der Stoffbuchhaltung inkl. dem daraus abzuleitenden Handlungsbedarf soll im BAWP und im NUP veröffentlicht werden.

Nicht mehr Teil der Stoffbuchhaltung ist der Maßnahmenkatalog, der vorzugsweise ebenfalls von der Arbeitsgruppe, in der ja der gesamte Sachverstand zum Thema versammelt ist, vorgeschlagen werden soll. Es obliegt dann den politischen Entscheidungsträgern, diese Vorschläge in ihre Konzepte und Strategien einzubauen und als konkrete Maßnahmen wirksam werden zu lassen.

Die Fortschreibung der Stoffbuchhaltung ist vor allem im Sinne einer Erfolgskontrolle notwendig. Einerseits um die Wirkung getroffener Maßnahmen überprüfen zu können und andererseits um aufgrund der Stoffbuchhaltung sich abzeichnende zukünftige Probleme zeitgerecht erkennen und darauf reagieren zu können.

### **Quecksilber und PCB's**

Das prinzipielle Vorgehen ist gleich wie für Zink. Die Partner UBA, Arbeitsgruppe und beauftragte Dritte haben dieselbe Funktion. Die Schwierigkeiten beim Quecksilber liegen in der hohen Flüchtigkeit und damit der großen Verteilung dieses Stoffes auch über die Atmosphäre, und in der schwierigen Analytik in vielen Umweltbereichen. Das bedeutet, daß es wenig konsistente Datensätze geben wird, und der Umgang mit der Unsicherheit der Daten vorausgeplant und mathematisch-statistisch bearbeitet werden muß. Auch gibt es vermutlich für Quecksilber viele kleinere anthropogene Quellen, die mitberücksichtigt werden müssen. Das spezifische Problem des PCB besteht darin, daß es einerseits eine organische Verbindung ist, die, wenn auch sehr langsam, abgebaut werden kann und aus vielen verschiedenen Isomeren besteht. Andererseits gibt es nur noch sehr wenige PCB-hältige Inputs in die Anthroposphäre; dieser Stoff ist in erster Linie ein Lagerproblem, obschon er praktisch nicht mehr verwendet wird, findet man ihn überall; PCB's werden auch über die nächsten Dekaden in der Anthroposphäre und der Umwelt vorhanden sein. Für die Arbeitsgruppe bedeutet es eine spezielle Herausforderung, die Lager in der Anthroposphäre und der Umwelt zu suchen und zu quantifizieren. Im Vordergrund stehen deshalb nicht so sehr Teilnehmer aus der Wirtschaft; es wäre sinnvoll, wenn vor allem auch Wissenschaftler, die vertiefte physikalisch-chemische Kenntnisse über das Verhalten von PCB's besitzen, in der Arbeitsgruppe Einzug nehmen, um die Verteilungsaspekte für die Stoffflußanalyse zu klären. In der eigentlichen Stoffbuchhaltung werden vermutlich Messungen in einzelnen Umweltkompartimenten notwendig sein, um Lagerveränderungen festzustellen. Da in der Produktion/Konsum PCB keine wesentliche Rolle mehr spielen, kann vermutlich der PCB-Haushalt in einem 5 Jahresrythmus anhand der Stoffbuchhaltung verfolgt werden.

## 9. Literaturverzeichnis

- Atzmüller Ch. (199.): Stellenwert eines altpapierverarbeitenden Betriebes im Zellulosehaushalt Österreichs. TU-Wien, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, Wien, Österreich.
- Ayres R.U., Ayres L.W., Tarr J.A., Wigery R.C. (1985): A historical reconstruction of major pollutants levels in the Hudson-Raritan Basin: 1880-1990, vol. 1-3, NOAA Technical Memorandum NOSOMA 43, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Rockville, Maryland.
- Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G. (1993): METAPOLIS, Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. ETH-Zürich, EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Schweiz.
- Brunner P.H., Baccini P. (1981), Schwermetalle - Sorgenkinder der Entsorgung, Neue Zürcher Zeitung, Nr. 70
- Brunner P.H., Baccini P., Keller L. (1982): Cadmiumkreislauf in der Schweiz - Quellen, Transportwege und Senken, SAGUF-Symposium, Basel.
- Brunner P.H., Zobrist J. (1983): Die Müllverbrennung als Quelle von Metallen in der Umwelt. Müll und Abfall 9/83.
- Brunner P.H., Mönch H. (1986): The Flux of Metals Through Municipal Solid Waste Incinerators. Waste Management & Research 4/86.
- Brunner P.H., Capri S., Marcomini A., Giger W. (1988): Occurrence and Behaviour of Linear Alkylbenzenesulphonates, Nonylphenol, Nonylphenol Mono- and Nonylphenol Diethoxylates in Sewage and Sewage Sludge Treatment. Water Research 22/12.
- Brunner P.H., Baccini P. (1990): Der Einfluß von Maßnahmen auf den Stoffhaushalt der Schweiz, insbesondere auf die Entsorgung von Abfällen. Müll und Abfall 22/5.
- Brunner P.H., Daxbeck H., Henseler G., von Steiger B., Beer B., Piepke G. (1990): RESUB, Der regionale Stoffhaushalt im unteren Bünztal. Die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes. ETH-Zürich, EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Schweiz
- Brunner P.H., Baccini P. (1991): Metabolism of the Anthroposphere. Springer-Verlag.
- Damberger B.F., Spanzel M. (1994): Ist der Handel der bessere Problemstoffsammler? Waste Magazin 4/94.
- Förstner U., Müller G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen (Heavy metals in rivers and lakes). Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Giger W., Brunner P.H., Ahel M., McEvoy J., Marcomini A., Schaffner Ch. (1987) Organische Waschmittelinhaltsstoffe und deren Abbauprodukte in Abwasser und Klärschlamm. Gas-Wasser-Abwasser 67/3.
- Giger W., Brunner P.H., Schaffner Ch. (1984): 4-Nonylphenol in Sewage Sludge: Accumulation of Toxic Metabolites from Nonionic Surfactants. Science 225.
- Hofmann H. (1993): Abfallwirtschaftskonzept eines altpapierverarbeitenden Betriebes. TU-Wien, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, Wien, Österreich.
- Kaas T., Fleckseder H., Brunner P.H. (1994): Stickstoffbilanz des Kremstales, Entwurf, Zwischenbericht. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, TU-Wien, Österreich.

- Keller L., Brunner P.H. (1983) Waste-Related Cadmium Cycle in Switzerland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Academic Press, USA.
- Kimio Uno (1993): Policy Formulation and Information Needs for the International UNU Symposium on Ecostructuring. Institute of Policy Management, Keio University at SFC, Fujisawa City, Japan.
- Lauber W., Hofmann H., Atzmüller Ch., Buchtela-Boskovsky P. (1993): Die Stoffbuchhaltung als Element des betrieblichen Abfallwirtschaftskonzeptes am Beispiel einer Papierfabrik. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, TU-Wien, Österreich.
- Lauber W. (1993): Die Bedeutung eines altpapierverarbeitenden Betriebes für die Stoffbilanz einer Industrieregion. TU-Wien, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, Wien, Österreich.
- Lauber W. (1993): Cadmium in Österreich - Umweltbelastung und Umweltschutz. Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Wien, Österreich.
- Lohm U. (1993): Industrial metabolism at the national level: A case study of cadmium, chromium and lead pollution in Sweden. Department of Water and Environmental Studies, University of Linköping, Sweden.
- Obernosterer R. (1994): Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (FCKW, CKW, Halone) Stoffflußanalyse Österreich. TU-Wien, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, Wien, Österreich.
- Ö.B.U.-Aktionsgruppe (1992): Ökobilanz für Unternehmen - Konzept und praktische Beispiele. Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung, St.Gallen, Schweiz.
- Orthofer R., Wendrinsky J. (1990): Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe in Österreich. Forschungszentrum Seibersdorf.
- Projektgruppe TUSCH / Interdisziplinäres Projekt 1993/94 des Aufbaustudiums Technischer Umweltschutz (1993): Abfallwirtschaftskonzept AKH - Station 18.K, Zwischenbericht - Erhebung des IST-Zustandes. Technische Universität Wien, Bodenkultur Wien, Österreich.
- Schachermayer E., Bauer G., Ritter E., Brunner P.H. (1994): Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. TU-Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, Wien, Österreich.
- Schmidt-Bleek F. (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS-Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser Verlag AG.; Basel, Schweiz.
- Steurer A. (1992): Stoffstrombilanz Österreich 1988. Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung (IFF), Abt. Soziale Ökologie, Wien, Österreich.
- Stigliani W.M., Anderberg S. (1992): Industrial Metabolism at the Regional Level: The Rhine Basin. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Thomas V., Spiro T.G. (1993): Emissions and Exposure to Metals: Cadmium and Lead. *Industrial Ecology and Global Change*, Cambridge University.
- Tschui M., Brunner P.H. (1985): Die Bildung von 4-Nonylphenol aus 4-Nonylphenolmonon und d-diethoxylat bei der Schlammfäulung. *Vom Wasser* 65, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- van der Voet E., de Haes H.A.U., Kleijn R. (1993): Controlling substance flows: the case of chlorine. Centre of Environmental Science, Leiden University, Netherlands.

