
WASSER  **ABFALL**

REGELWERK

■ **REGELBLÄTTER**

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV- Regelblatt 514

**Die Anwendung der Stofffluss-
analyse in der Abfallwirtschaft**

Wien 2003

Dieses Regelblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieses Regelblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben in diesem Regelblatt trotz
sorgfältigster Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen.

© 2003 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verbandes unzulässig und strafbar.
Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Selbstverlag des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien

Vorwort

Die Ziele der österreichischen Abfallwirtschaft wie Schutz von Mensch und Umwelt und optimale Schonung von Ressourcen sind primär stofflich definiert: Umweltbelastungen und Ressourcennutzen entstehen in erster Linie durch Prozesse wie Schadstoffemissionen oder Wertstoffverwertung.

Mit Hilfe der Methode der Stoffflussanalyse können eine große Anzahl von Prozessen und deren Güter- und Stoffflüsse in einem System miteinander verknüpft werden. In einem Modell werden die vielen Prozesse des Systems auf das für die hinreichende Beschreibung notwendige Minimum reduziert, um das Modell handhabbar zu gestalten. Diese Modelle bilden die Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen von abfallwirtschaftlichen Strategien, Konzepten und Verfahren. Anhand der Stoffflussanalysen und der Bewertung können dann diejenigen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen definiert und ausgewählt werden, die die Ziele der Abfallwirtschaft bei geringsten Kosten am besten erfüllen.

Im vorliegenden Dokument werden die Begriffe definiert und die Anwendung der Methode der Stoffflussanalyse für abfallwirtschaftliche Fragestellungen geregelt.

Insbesondere werden den Akteuren der Abfallwirtschaft mit diesem Regelblatt folgende Hilfestellungen angeboten:

- Eine einfache, gemeinsame Terminologie für die Beschreibung und Analyse von Verfahren und Systemen in der Abfallwirtschaft,
- eine klare, präzise und einheitliche Methode zur Erstellung von Massenbilanzen für Verfahren und Systeme in der Abfallwirtschaft,
- Fallstudien zur Illustration der Möglichkeiten von Stoffflussanalysen in der Abfallwirtschaft (z. B. Materialbilanz eines Entsorgungsbetriebs, Beurteilung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen).

Die Frage der Bewertung der Resultate von Stoffflussanalysen wird in diesem Dokument nicht geregelt.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im November 2003

An der Erstellung des ÖWAV-Regelblatts 514 haben mitgewirkt:

Univ.-Prof. DI Dr. Paul H. BRUNNER, Wien, als Leiter

Mag. Hans DAXBECK, Wien, als Leiter

Akad. Exp.-Kfm., Ph.D., PGDipEDM Gerhard BERCHTOLD, Innsbruck

DI Bernd BRANDT, Wien

DI Michael EDER, Wien

Ing. Roland FEHRINGER, Wien

Mag. Werner HOCHREITER, Wien

Mag. Peter HUGER, Wien

Johann JANISCH, Oberpullendorf

Ing. Martina KREISEL, Linz

DI Adolf MAUNZ, Steyr

DI Roland POMBERGER, Graz

Dr. Bernhard SCHNECKENLEITHNER, Salzburg

Mag. Daisy SCHULZE-BAUER, Wien

DI Helmuth SIEGL, St. Pölten

DI Roman SMUTNY, Wien

DI Gerhard SPET, Wien

Mag. Dr. Wolfgang STABER, Leoben

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
1 Einführung	8
1.1 Ziele der ÖWAV-Regelblätter	8
1.2 Ziele des ÖWAV-Regelblattes "Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft"	8
2 Einführung in die Stoffflussanalyse	9
3 Methodik der Stoffflussanalyse	11
3.1 Begriffe und Definitionen	11
3.1.1 Zur Durchführung von Stoffflussanalysen notwendige Begriffe	11
3.1.2 Weitere Begriffe im Zusammenhang mit der Stoffflussanalyse	14
3.2 Methodische Vorgehensweise	15
3.2.1 Aufgabenstellung, Ziel und Fragestellungen	17
3.2.2 Systemdefinition	17
3.2.2.1 Systemgrenze	18
3.2.2.2 Definition der Prozesse und Güter	19
3.2.2.3 Subsysteme	22
3.2.2.4 Auswahl der Stoffe	26
3.2.3 Grobbilanz	28
3.2.3.1 Grobabschätzung der ausgewählten Güter	29
3.2.3.2 Bilanzierung	29
3.2.3.3 Sensitivitätsanalyse	29
3.2.4 Datenbeschaffung und -verarbeitung	30
3.2.4.1 Untersuchungs- oder Messprogramm	30
3.2.4.2 Berechnung und Bilanzierung der Massenflüsse	31
3.2.4.3 Berechnung der Transferkoeffizienten	31
3.2.5 Präsentation und Interpretation der Resultate	33
3.2.6 Szenarios (Simulation)	35
3.2.7 Schlussfolgerungen	36
4 Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft	37
4.1 Ziele der Abfallwirtschaft	37
4.2 Die Bedeutung der Stoffflussanalyse für die Ziele der Abfallwirtschaft	38
4.2.1 Erreichen der Ziele der Abfallwirtschaft	39

4.2.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Zielerreichung	41
4.2.3	Prognose (Ex-ante-Evaluierung)	42
4.2.4	Effektivität der gesetzten Maßnahmen (Ex-post-Evaluierung).....	42
4.2.5	Überwachung (Monitoring)	43
4.3	Anwendungsmöglichkeiten der SFA in der Abfallwirtschaft	43
4.3.1	Material- und Energiebilanzen.....	43
4.3.2	Mögliche Bewertungsansätze für Stoffflussanalysen	44
4.3.2.1	Grenzwertansatz.....	44
4.3.2.2	Geogen/anthropogener Referenzansatz.....	44
4.3.2.3	Ansatz der kritischen Volumina.....	45
4.3.2.4	Ansatz der Stoffkonzentrierungseffizienz SKE.....	46
4.3.2.5	Materialinput pro Serviceeinheit (MIPS).....	46
4.3.2.6	Life Cycle Assessment (LCA)	47
4.3.2.7	Methode der ökologischen Knappheit (Ökofaktoren, Umweltbelastungspunkte).....	47
4.3.2.8	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	49
4.3.2.9	ECO-Indikator 99	50
4.3.3	Stoffbuchhaltung	51
4.4	Implementierung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft.....	51
5	Fallstudien	54
5.1	Beispiel: Stoffflussanalyse einer Müllverbrennungsanlage	54
5.1.1	Fragestellung.....	54
5.1.2	Systemdefinition	54
5.1.3	Notwendige Anpassungen des Systems bei anderen thermischen Anlagen.....	58
5.1.4	Güterbilanz	58
5.1.4.1	Inputgüter der Müllverbrennungsanlage	58
5.1.4.2	Outputgüter der Müllverbrennungsanlage.....	59
5.1.4.3	Güterbilanz MVA feucht für den Versuchszeitraum	60
5.1.4.4	Wassergehalt in den Input- und Outputgütern der Müllverbrennungsanlage.....	60
5.1.4.5	Güterbilanz MVA trocken für den Versuchszeitraum	61
5.1.5	Stoffbilanz.....	61
5.1.5.1	Probeentnahmestellen und Probenanzahl	61
5.1.5.2	Stoffkonzentrationen in den Outputgütern	62
5.1.5.3	Bestimmung der Stoffflüsse in den Outputgütern	63

5.1.5.4	Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Restmülls...	63
5.1.6	Resultate	64
5.1.6.1	Resultate der Güterbilanz	64
5.1.6.2	Resultate der Transferkoeffizienten auf Stoffebene	65
5.2	Beispiel: Güterflussanalyse eines abfallwirtschaftlichen Betriebes	66
5.2.1	Zielsetzung und Fragestellungen	67
5.2.2	Systemdefinition	67
5.2.2.1	Systemgrenze	68
5.2.2.2	Prozessauswahl	69
5.2.2.3	Güterauswahl	71
5.2.3	Grobbilanz	78
5.2.4	Feinbilanz	80
5.2.5	Güterbilanz des konkreten Entsorgungsunternehmens B	80
5.2.6	Resultate	86
6	Glossar und Abkürzungsverzeichnis	87
6.1	Glossar	87
6.2	Abkürzungsverzeichnis	90
7	Literatur	91

1 Einführung

1.1 Ziele der ÖWAV-Regelblätter

Aufgabe der ÖWAV-Regelblätter ist es, dem Stand der Technik entsprechende Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen zu beschreiben. Sie sind grundsätzlich für die Fachwelt (Planer, Betreiber, Behörden) bestimmt. Regelblätter sollten auch dafür geeignet sein, von den fachlich betroffenen Behörden und Fachdienststellen als technische Bestimmungen für Planung, Bau, Betrieb und Unterhalt von Anlagen sowie die Ausbildung des Betriebspersonals eingesetzt zu werden.

1.2 Ziele des ÖWAV-Regelblattes “Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft”

Ziel und Zweck des Regelblattes ist die Vereinheitlichung der Terminologie und Methodik bei der Anwendung der Stoffflussanalyse (SFA) in der Abfallwirtschaft. Derzeit werden die Begriffe Stoff, Gut, Material, Stofffluss, Stoffstrom, Mengenstrom, Systemgrenze usw. auf unterschiedliche Art und Weise gebraucht: Als „Stoff“ bezeichnet der eine Abfälle, der andere Holz, der Dritte Polyethylen. Durch das Regelblatt wird klar und eindeutig definiert, was ein Stoff, ein Material und ein Gut bei der Anwendung der SFA in der Abfallwirtschaft ist.

Die Definitionen werden aus dem technisch-naturwissenschaftlichen Bereich übernommen. Sie sind beispielsweise in der Verfahrenstechnik, der Chemischen Industrie und der Ökonomie seit Längerem gebräuchlich. Durch das Regelblatt wird ihre Verwendung auch in der Abfallwirtschaft standardisiert.

Die Stoffflussanalyse ist ein wichtiges analytisches Instrument zur Erreichung der Ziele der österreichischen Abfallwirtschaft wie sie im AWG § 1 formuliert sind:

§ 1. (1) Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

- 1. schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 2. die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,*
- 3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,*
- 4. bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und*
- 5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.*

Genannte Ziele können nur dann gewährleistet werden, wenn die in den Abfällen enthaltenen Stoffe optimal bewirtschaftet werden.

Die Stoffflussanalyse ist eine Grundlage für die Umweltverträglichkeitsprüfung und wurde in Österreich bereits mit Erfolg bei der Erstellung von Berichten zur Umweltverträglichkeit von thermischen Anlagen und Deponien eingesetzt. Auch kommt sie sinngemäß bei der Zertifizierung von Entsorgungsfachbetrieben zur Anwendung. Während bei der Prüfung auf Umweltverträglichkeit die *stoffliche* Ebene (s.d.) berücksichtigt werden muss, ist für die Zertifizierung zum Entsorgungsfachbetrieb sinngemäß die *Gütere*ebene zu betrachten. Dieses Beispiel zeigt die Bedeutung der Begriffe in der praktischen Umsetzung: Eine *Stoffbilanz* ist relativ aufwändig und braucht oft neue Analysen oder zusätzliche Kenntnisse; eine *Güterbilanz* kann bei den meisten Betrieben mit relativ geringem Aufwand aus der Finanzbuchhaltung abgeleitet werden.

Mit einer SFA allein kann allerdings eine abfallwirtschaftliche Maßnahme noch nicht beurteilt werden. Notwendig ist ein der SFA folgender Bewertungsschritt. Im vorliegenden Dokument wird bewusst auf die Regelung des Bewertungsschrittes verzichtet. Es besteht derzeit noch kein Konsens über die zahlreichen und unterschiedlichen Bewertungsverfahren. Es ist deshalb zu früh, einzelne Bewertungsverfahren für einen standardisierten Einsatz in der Abfallwirtschaft vorzuschlagen.

Den Akteuren der Abfallwirtschaft wird mit diesem Regelblatt

1. Hilfestellung bei der Beschreibung und Analyse von Verfahren und Systemen in der Abfallwirtschaft geboten,
2. eine einheitliche und transparente Methode zur Erstellung von Massenbilanzen zur Verfügung gestellt, und
3. werden Fallstudien zur Illustration der Anwendung von Stoffflussanalysen in der Abfallwirtschaft (z. B. Materialbilanz eines Entsorgungsbetriebs, Beurteilung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen) dargestellt.

2 Einführung in die Stoffflussanalyse

Die Methode der Stoffflussanalyse ist ein Werkzeug zur Beschreibung und Analyse beliebig komplizierter Systeme in stofflicher Hinsicht. Sie erlaubt die Darstellung und Modellierung von Betrieben, privaten Haushaltungen, von Städten und Regionen. Der Vorteil der Stoffflussanalyse ist, dass ein komplexes System auf die für eine Fragestellung relevanten Güter und Prozesse reduziert wird. Damit werden die Grundlagen geschaffen, um beispielsweise zielgerichtete Maßnahmen abzuleiten oder um Szenarien zur Optimierung zu vergleichen.

Bei der Entwicklung der Methode Ende der 80er Jahre wurde neben einem bestimmten methodischen Vorgehen auch eine spezielle „Sprache“ entwickelt [Baccini & Brunner, 1991]. Es war von Beginn an das Ziel, ein Werkzeug zu entwickeln, das möglichst universell einsetzbar ist und dessen Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Studien verglichen werden können. Diese gemeinsame einheitliche Sprache erleichtert

es, die Systeme sowohl horizontal als auch vertikal miteinander zu verknüpfen. Ein Beispiel für eine horizontale Verknüpfung ist die Verbindung von Stoffflüssen zwischen zwei Nachbarregionen. Bei einer vertikalen Verknüpfung werden beispielsweise die Stoffflüsse eines Unternehmens in die Gesamtflüsse der das Unternehmen umgebenden Region integriert.

Die wichtigsten und auch am häufigsten benötigten Begriffe bei der Durchführung von Stoffflussanalysen sind: System, Prozess, Gut und Stoff.

Ausgangspunkt einer jeden Stoffflussanalyse ist die Wahl des Systems und seiner Systemgrenzen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht. Es ist zu entscheiden, welche Prozesse sich innerhalb und welche sich außerhalb des zu untersuchenden Systems befinden. Dieser Vorgang wird mit dem Ziehen einer räumlichen Systemgrenze (dreidimensional) bezeichnet. Gleichzeitig ist auch eine zeitliche Systemgrenze zu definieren, also der Zeitraum, über den das System bilanziert wird. Dies ist üblicherweise ein Jahr, kann aber auch längere Zeiträume umfassen (Deponie!).

Parallel mit der Wahl des Systems werden die Prozesse ausgewählt. Ein Prozess beschreibt die Umformung, den Transport oder die Lagerung von Gütern und Stoffen. Der Prozess selbst wird meist aus Gründen der Minimierung des Aufwandes als Black Box behandelt, d. h. die Vorgänge innerhalb des Prozesses werden oft nicht untersucht.

Die einzelnen Prozesse werden über Güter- und Stoffflüsse miteinander verknüpft, wobei jeder Fluss über einen Herkunfts- und Zielprozess verfügt. Ein „Gut“ ist definiert als eine handelbare Substanz, die aus einem oder mehreren Stoffen besteht. Beispielsweise sind Trinkwasser oder PVC Güter, da im Trinkwasser weitere Stoffe in H_2O gelöst sind und im PVC das Polyvinylchlorid durch Additive stabilisiert wurde. Der Handelswert dieser Güter kann sowohl positiv (z. B. Brot, Trinkwasser, Batterie, Schrott) als auch negativ (z. B. Müll, Altbatterien, Klärschlamm) sein.

Die Güter setzen sich also aus Stoffen zusammen. Ein „Stoff“ wird definiert als chemisches Element oder als chemische Verbindung in reiner Form. Beispiele für Stoffe sind: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor, Zink, Cadmium oder die Verbindungen ZnO , Benzol, $C_6H_{12}O_6$ (Zucker), H_2O , Vinylchlorid. Es ist möglich, dass bestimmte Güter mit Stoffen identisch sind: Benzol purissimum pro analysi ist sowohl ein Stoff (besteht ausschließlich aus Benzolmolekülen), kann aber auch als hochreine Chemikalie gekauft werden und ist deshalb *auch* ein Gut, d. h. eine handelbare Substanz, die im speziellen Fall aus einheitlichen Molekülen besteht und deshalb auch ein Stoff ist.

3 Methodik der Stoffflussanalyse

3.1 Begriffe und Definitionen

Um die Konsistenz der Methode der Stoffflussanalyse zu gewährleisten, ist es notwendig, Begriffe eindeutig zu definieren und diese dann auch konsequent einzusetzen. Die Begriffe sollen sich klar voneinander abgrenzen, damit Stoffflussanalysen untereinander vergleichbar bleiben. In dieser Zusammenstellung werden zunächst die zur Durchführung von Stoffflussanalysen unbedingt notwendigen Begriffe definiert. Danach folgen Begriffe, die in Zusammenhang mit der Stoffflussanalyse stehen.

3.1.1 Zur Durchführung von Stoffflussanalysen notwendige Begriffe

Ein **Stoff** besteht aus identischen Einzelteilen und ist demzufolge ein chemisches Element (Einzelteil Atom, z. B. Stickstoff, Kohlenstoff oder Kupfer) oder eine chemische Verbindung in reiner Form (Einzelteil Molekül, z. B. NH_3 , CO_2 oder Kupfersulfat). Keine Stoffe sind beispielsweise Trinkwasser, da es nicht nur aus reinem Wasser, sondern auch aus Kalzium und vielen Spurenelementen besteht, oder PVC, da es neben polymerisiertem Vinylchlorid auch Additive enthält.

Ein **Gut** besteht aus einem oder mehreren Stoffen und ist handelbar. Der Wert von Gütern kann sowohl positiv (Heizöl, Mineralwasser) als auch negativ (Restmüll, Abwasser) sein. In besonderen Fällen gibt es Güter, die keinen monetären Wert aufweisen, d. h. sie verhalten sich wertmäßig neutral. Beispiele dafür sind Luft, Abluft oder Niederschlag.

Material ist ein allgemeiner Begriff, der sowohl Güter als auch Stoffe umfassen kann und damit Rohmaterialien sowie alle bereits vom Menschen durch physikalische oder chemische Prozesse veränderten Stoffe einschließt. Der Begriff Material wird dann verwendet, wenn Güter und Stoffe betrachtet werden, oder wenn man sich noch nicht festlegen will, auf welcher Ebene (Güter oder Stoffe) eine Untersuchung durchgeführt werden soll.

Ein **Prozess** beschreibt die Umformung, den Transport oder die Lagerung von Gütern und Stoffen. Beispiele für Prozesse sind: der Stoffwechsel eines Organismus (z. B. Mensch, Kuh), eine Tätigkeit (z. B. Mülltrennung im Haushalt), Vorgänge in einer Anlage (z. B. Müllverbrennungssofen, Papierfabrik, Deponie) oder in einem Umweltmedium (z. B. Atmosphäre, Hydrosphäre, Boden) oder eine Dienstleistung (z. B. Müllsammlung). Ein Prozess wird oft als Black Box definiert, d. h. die Vorgänge innerhalb dieses Prozesses werden nicht betrachtet. Sollen diese näher untersucht werden, dann kann der Prozess in mehrere Subprozesse untergliedert werden. Materialflüsse in einen Prozess hinein werden als Inputs, solche aus Prozessen hinaus als Outputs bezeichnet (Importe und Exporte vgl. „System“).

Ein **System** bezeichnet die Menge an Elementen und deren Beziehung untereinander. Im Rahmen der Stoffflussanalyse bezeichnet man die Elemente eines Systems als Prozesse und Flüsse (Güter-, Stoff- und Materialflüsse). Durch die Bezeichnung der

Elemente *im* System werden diejenigen, die nicht zum System gehören, ausgegrenzt und damit die Systemgrenzen (s. u.) definiert. Ein System kann z. B. ein Betrieb (Müllverbrennungsanlage), eine Region (z. B. Kremstal), eine Nation (z. B. Österreich) oder auch ein Privathaushalt sein. In einem Stoffhaushaltssystem ist jedes Gut durch je einen zugehörigen Herkunfts- und Zielprozess eindeutig identifiziert.

Systemgrenzen definieren die zeitliche und räumliche Abgrenzung des zu untersuchenden Systems. Die räumliche Abgrenzung erfolgt dreidimensional. Als zeitliche Grenze wird oft ein Jahr gewählt, als räumliche Grenze kann z. B. eine politische, hydrologische oder betriebliche Grenze verwendet werden. Materialflüsse in ein System hinein werden als Importe, solche aus dem System hinaus als Exporte bezeichnet.

Die Bewegung der untersuchten Güter und Stoffe zwischen einzelnen Prozessen wird als **Fluss** mit der Einheit Masse pro Zeit bezeichnet¹. Materialflüsse in einen Prozess hinein werden als Inputs (Edukte), solche aus Prozessen hinaus als Outputs (Produkte) bezeichnet (Importe und Exporte vgl. „System“). Häufig wird statt „Fluss“ auch der Begriff „Fracht“ verwendet.

Ein **Lager** wird definiert als der Bestand von Gütern oder Stoffen innerhalb eines Prozesses. Es gibt prinzipiell zwei Gruppen von Lagern. Ein Beispiel für die erste Gruppe von „Lager“ im Prozess Müllverbrennungsanlage der Bestand an Müll im Bunker. Neu eingebrachter Restmüll ergibt einen Lagerzuwachs, die Verbrennung von Restmüll führt zu einem Lagerabbau. Ein Beispiel für die zweite Gruppe von „Lager“ ist der Bestand an Bauinfrastruktur (z. B. Gebäude). Neu erstellte Gebäudeteile ergeben einen Lagerzuwachs, der Abriss von Gebäudeteilen führt zu einem Lagerabbau.

Mittels einer **Stoffflussanalyse (SFA)** werden in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System alle auftretenden Import-, Export-, Input- und Outputflüsse von Gütern und Stoffen quantifiziert und die Prozesse innerhalb dieses Systems bilanziert. Bei der Bilanzierung wird das Massenerhaltungsgesetz berücksichtigt. Das untersuchte System kann ein Einzelprozess oder eine Verknüpfung vieler Prozesse einschließlich der Unterprozesse sein.

Die **Güterflussanalyse (GFA)** entspricht der Definition der Stoffflussanalyse. Im Unterschied zur Stoffflussanalyse werden in einer Güterflussanalyse ausschließlich Güterflüsse untersucht.

Die **Materialflussanalyse (MFA)** entspricht ebenfalls der Definition der Stoffflussanalyse. Analog der Verwendung des Begriffs „Material“ kann der Begriff „MFA“ sowohl für Güter- als auch für Stoffbilanzen verwendet werden. MFA ist ein oftmals gebrauchter Begriff, der nicht immer im strengen Sinne wie in diesem Regelblatt definiert gebraucht wird.

Eine **Bilanz** wird betriebswirtschaftlich definiert als gegliederte Gegenüberstellung aller am Bilanzstichtag in einem Unternehmen eingesetzten Werte nach ihrer Herkunft

¹ In der Praxis wird jedoch häufig die Einheit Masse pro Zeit und Querschnitt betrachtet (z. B. der Güterumsatz in Tonnen pro Jahr und Betrieb, oder der Anfall an Restmüll pro Jahr und Gemeinde), was korrekterweise mit Flux benannt werden müsste. Es wird empfohlen, den Begriff Fluss zu verwenden, und gleichzeitig immer die zugehörige Einheit anzugeben (Masse Pro Zeit, oder Masse pro Zeit und Querschnitt).

(Passiva) und ihrer Verwendung (Aktiva). In einer Bilanz wird somit das Kapital dem Vermögen für ein Geschäftsjahr gegenübergestellt. Umgelegt auf die Stoffflussanalyse bedeutet dies, dass in einer **Güter-** resp. **Stoffbilanz** innerhalb des Beobachtungszeitraumes den in das System gelangenden Flüssen die entsprechenden Outputflüsse gegenübergestellt werden, wobei etwaige Lagerveränderungen berücksichtigt werden.

Die **Input-Output-Analyse** ist eine Methode zur Untersuchung der produktionsmäßigen Beziehungen zwischen den Teilbereichen der Wirtschaft, indem die wechselseitigen Zusammenhänge zwischen den Inputs und Outputs untersucht werden. Diese Methode wurde von Leontief anfangs der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelt. In der Urform benutzt diese Methode eine sektoral gegliederte volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, die in Matrixform die Inputs und Outputs der einzelnen Sektoren angibt. Im Rahmen der umweltökonomischen Gesamtrechnung werden heute Material- und Energieflussrechnungen auf Input-Output-Basis durchgeführt. Im internationalen Sprachgebrauch wird diese statistische Methode auch PIOT – physical input output tables – genannt. Die Stoffflussanalyse kann auch als eine Input-Output-Analyse betrachtet werden.

Die **Transferfunktion** beschreibt die Verteilung eines Inputs an Gütern oder Stoffen innerhalb eines Prozesses auf verschiedene Outputgüter des Prozesses. Eine Lagerveränderung ist in der Transferfunktion zu berücksichtigen und entsprechend zu vermerken.

Der **Transferkoeffizient** $k_{x,j}$ bezeichnet die Fraktion des gesamten in den Prozess eingeführten Stoffes x , die in das Outputgut j transferiert wird. Die Summe der Transferkoeffizienten aller Outputgüter muss immer 1 ergeben, wobei davon ausgegangen wird, dass auch allfällige Transfers ins Lager („Lagerungen“) bei der Summenbildung als „Outputs“ berücksichtigt werden. Je nach Fragestellung kann in Einzelfällen für die Berechnung der Transferkoeffizienten nur ein Teilinput betrachtet werden: Beispielsweise wird für die Bestimmung der Effizienz der Oxidation bei der Restmüllverbrennung nur der Kohlenstoff im Restmüll berücksichtigt (ohne C in der zugeführten Verbrennungsluft).

Stoffflusswirtschaft (Synonym zu **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, deren Behandlung als Abfälle und Unterbringung in der Umwelt Einfluss genommen werden kann. Das Ziel einer nachhaltigen Stoffflusswirtschaft ist der Schutz der Menschen, Tiere, Pflanzen und deren Umwelt, die Schonung der Ressourcen Stoffe, Energie und Land, die Gewährleistung eines hohen Lebensstandards sowie die allgemeine Wohlfahrt.

Stoffbuchhaltung ist eine periodische und effiziente mengenmäßige Erfassung der wichtigsten Güter- und Stoffflüsse eines Systems. Die grundlegende Annahme der Stoffbuchhaltung ist, dass man anhand einiger ausgewählter Schlüssel-Prozesse auf die Stoffflüsse des Gesamtsystems schließen kann. Die Stoffbuchhaltung setzt eine vorhergehende detaillierte Stoffflussanalyse voraus, in der die für einen bestimmten Stoff wichtigsten Prozesse und Güterflüsse bestimmt wurden. Gegenüber mehrmals durchgeführten Stoffflussanalysen ist für ähnlichen Informationsgewinn ein deutlich geringerer Mitteleinsatz nötig. In Zukunft sollen neben der rein wert- und mengenmäßigen

ßigen Datenerfassung wie Preis, Gewicht etc. auch in ausgewählten Gütern einzelne Stoffe erfasst werden.

3.1.2 Weitere Begriffe im Zusammenhang mit der Stoffflussanalyse

Eine **Aktivität** umfasst einen Satz von Handlungen des Menschen, um ein spezifisches Bedürfnis zu befriedigen. Die wichtigsten Bedürfnisse des Menschen lassen sich unabhängig von seiner Kultur oder seinem Lebensstandard mit Aktivitäten wie Ernähren, Reinigen, Wohnen und Arbeiten sowie Transportieren und Kommunizieren u. a. beschreiben. Eine Aktivität umfasst immer eine ganze Kette an Prozessen und Materialflüssen, von der Gewinnung der Ressourcen bis zur letzten Senke der „Abstoffe“ in Wasser, Boden und Luft. Die Einteilung in Aktivitäten erfolgt problem- und opportunitätsorientiert; es sind unterschiedliche Definitionen spezifischer Aktivitäten denkbar. Aktivitäten können sich überschneiden. Der Vorteil, der sich durch die Verwendung des Begriffs Aktivität ergibt, wird bei der Diskussion über regionale nachhaltige Entwicklungen augenfällig: jede Region will sich nachhaltig ernähren, reinigen etc. Betrachtet man die gesamte Aktivität mit allen relevanten Prozessen und Materialflüssen, erlaubt dies, die bestehenden und zukünftigen Probleme und Möglichkeiten für jede Aktivität zu erkennen (Früherkennung), wirksame Maßnahmen zu deren Lösung zu planen, Prioritäten für die einzelnen Maßnahmen zu setzen und Konzepte für ein effizientes Monitoring zu entwickeln.

Die **Anthroposphäre** bezeichnet den Lebensraum des Menschen, ein komplexes System von Prozessen, Güter-, Stoff-, Energie- und Informationsflüssen. Dazu zählen nicht nur jene Bereiche, in denen die menschlichen Aktivitäten selbst stattfinden, sondern auch jene Bereiche, die dadurch beeinflusst sind. Sie ist der durch menschliches Wirken entstehende Teil der Biosphäre, der mit ihr im stofflichen Austausch steht. Stoffe treten durch Rohstoffgewinnung in die Anthroposphäre ein und werden als Abfall oder Emissionen der Umwelt überlassen. Der Begriff „Anthroposphäre“ wird häufig synonym mit Technosphäre oder amerikanisch Biosphäre gebraucht.

Ein **anthropogener Stofffluss** ist ein vom Menschen verursachter Fluss von Stoffen. Zur Bezeichnung des Flusses von Gütern wird der Begriff „Güterfluss“ und zur Bezeichnung des Flusses von Stoffen der Begriff „Stofffluss“ verwendet. Ein Beispiel für einen anthropogenen Stofffluss ist die Emission von CO₂ aus einer Kompostierungsanlage in die Atmosphäre, der dazu gehörige Güterfluss ist das gesamte Abgas der Anlage.

Der **regionale Stoffhaushalt** stellt die Zusammenfassung sämtlicher geogener, biogener und anthropogener Prozesse, Güter-, und Stoffflüsse in einem nach geografischen, hydrologischen, politischen oder anderen Kriterien abgegrenzten Raum dar.

Der Lebenszyklus eines Stoffes in der Anthroposphäre beginnt bei einer **Quelle** (z. B. Bergwerk) und endet bei einer **Senke**. Eine **letzte Senke** wird als ein Ort in der Hydro-, Pedo-, Litho- oder Atmosphäre definiert, in dem die Aufenthaltszeit eines Stoffes mehr als 10.000 Jahre beträgt.

3.2 Methodische Vorgehensweise

Die Erfassung und Beschreibung eines Abfallwirtschaftssystems erscheint auf den ersten Blick als eine komplexe Angelegenheit. Bei einem schrittweisen Herangehen zeigt sich jedoch, dass diese Aufgabe durchaus lösbar ist. Es ist aufwändig und auch nicht notwendig, alle Flüsse und Prozesse zu erfassen. Es gilt vielmehr, die zentralen Flüsse und Prozesse zu identifizieren. Ausgangspunkte sind immer die Zielsetzung und die entsprechenden Fragestellungen. Diese sind hauptverantwortlich für die Zusammensetzung des Systems.

Eine SFA wird in mehreren aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten erstellt. Das methodische Vorgehen ist in [Baccini & Brunner, 1991], [Baccini & Bader, 1996] und [Daxbeck & Brunner, 1993] beschrieben, es ist nicht linear, der Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte (siehe Abbildung 3-1) erfolgt vielmehr iterativ. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Grobbilanz oder aufgrund praktischer Grenzen (z. B. Zeit- und Geldbudget, Verfügbarkeit und Genauigkeit der Daten) sind die Teilschritte 1 und 2 (siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2) möglicherweise wieder zu revidieren. Meistens ist es notwendig, diese Iteration mehrmals durchzuführen, bis das Ziel einer gut abgestützten Stoffflussanalyse erreicht ist. Die „Kunst der iterativen Entwicklung“ eines Stoffflusssystems ist von zentraler Bedeutung und lässt sich nur durch praktische Erfahrung entwickeln.

Um das methodische Vorgehen nicht nur theoretisch darzustellen, wird am Beispiel der Erstellung eines Konzeptes zur Bewirtschaftung organischer Abfälle aus Privathaushalten gezeigt, wie die einzelnen Arbeitsschritte in der Praxis aussehen können. Dieses Beispiel dient der Illustration der Methode. Es ist deshalb nicht vollständig ausgearbeitet. Je nach spezifischer Fragestellung müssen zusätzliche Flüsse und/oder Prozesse mitberücksichtigt werden.

Abbildung 3-1 zeigt schematisch die einzelnen Zwischenschritte, die notwendig sind, um eine Stoffflussanalyse zu erstellen, die als Grundlage für eine Bewertung, Optimierung und nachhaltige Stoffflussbewirtschaftung dienen kann.

Die „Ausgangslage“ beinhaltet die Fragestellung. Als erster Schritt ist die Fragestellung daraufhin zu prüfen, ob sie mit einer SFA bearbeitet werden kann. Da die Ziele des AWG „Umweltschutz“ und „Ressourcenschonung“ auch stofflich definiert sind, fällt diese Prüfung meist positiv aus. Im zweiten Schritt müssen die Stoffe ausgewählt werden, d. h. es muss untersucht werden, anhand welcher Stoffe eine bestimmte Fragestellung am besten beantwortet werden kann. Aufgrund dieser Stoffauswahl kann ein erstes System definiert werden. Falls im Schritt „Datenverarbeitung“ festgestellt werden sollte, dass für einen ausgewählten Stoff zu wenig oder ungenaue Daten vorliegen, müssen eventuell andere Stoffe ausgewählt und die Systemdefinition revidiert werden.

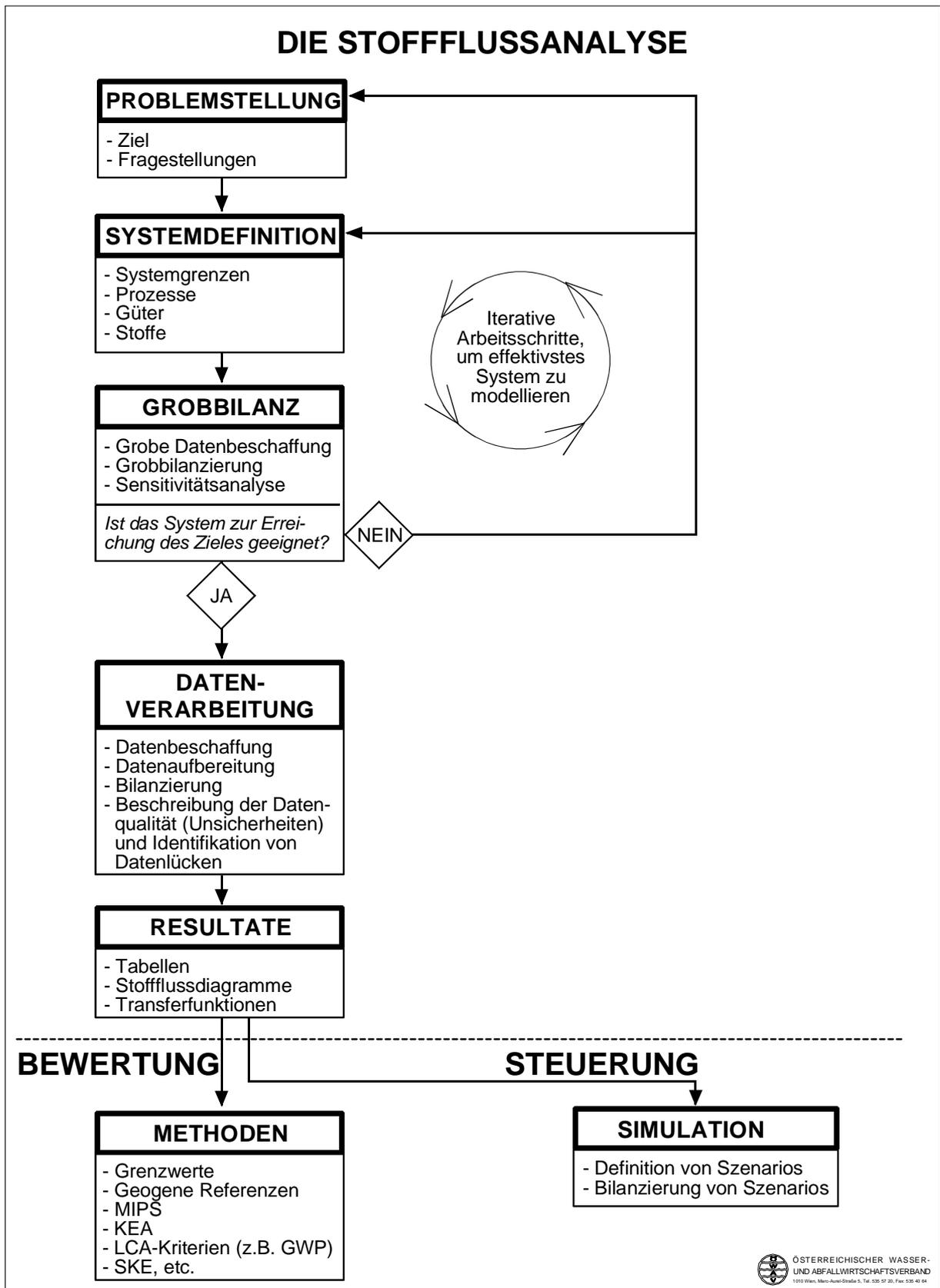


Abbildung 3-1: Methodisches Vorgehen für die Erstellung einer SFA

3.2.1 Aufgabenstellung, Ziel und Fragestellungen

Der erste methodische Arbeitsschritt besteht darin, aus der Aufgabenstellung konkrete Ziele und Fragestellungen abzuleiten. Diese bilden die Grundlage für die Definition des Systems und der Systemgrenzen. In diesem Schritt werden die Basis, d. h. Güter und Prozesse) und der Rahmen (Systemgrenzen) der gesamten SFA festgelegt. Es ist manchmal, beispielsweise aufgrund von neuen Erkenntnissen aus der Grobbilanz oder aufgrund von praktischen Problemen (z. B. fehlende Daten, zu kleines Budget etc.) erforderlich, Ziele und Fragestellungen nachträglich zu revidieren.

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle
--

<u>Ziel</u> : Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzeptes für organische Abfälle aus Privathaushalten einer Stadt.
--

<u>Fragestellung</u> : Sollen organische Abfälle aus Privathaushalten einer Stadt separat gesammelt werden?

3.2.2 Systemdefinition

Der zweite methodische Arbeitsschritt, die Systemdefinition, ist der kreative Entwurfsvorgang, in dem für konkrete Fragestellungen die Struktur eines Systems (zeitliche und räumliche Grenzen, Prozesse, Güter, Stoffe und deren Verknüpfungen) festgelegt wird.

Das Ergebnis der Systemdefinition ist:

- ✓ Definition der Systemgrenze (räumlich und zeitlich)
- ✓ Definition der Prozesse und Güter
- ✓ Definition der Subsysteme (optional)
- ✓ Auswahl der Stoffe

Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Systemdefinition ist die Datenlage. Die Verfügbarkeit und Qualität der Daten sind mitentscheidend für die Struktur und den Detaillierungsgrad des Systems. Dieser Arbeitsschritt kann iterativ sein, wenn Erkenntnisse aus der Sensitivitätsanalyse eine nachträgliche Anpassung des Systems nahe legen.

Die Systemdefinition ist ein aktiver Prozess indem, während der Strukturierung des Systems alle vier Arbeitsschritte parallel ablaufen und sich auch gegenseitig beeinflussen können.

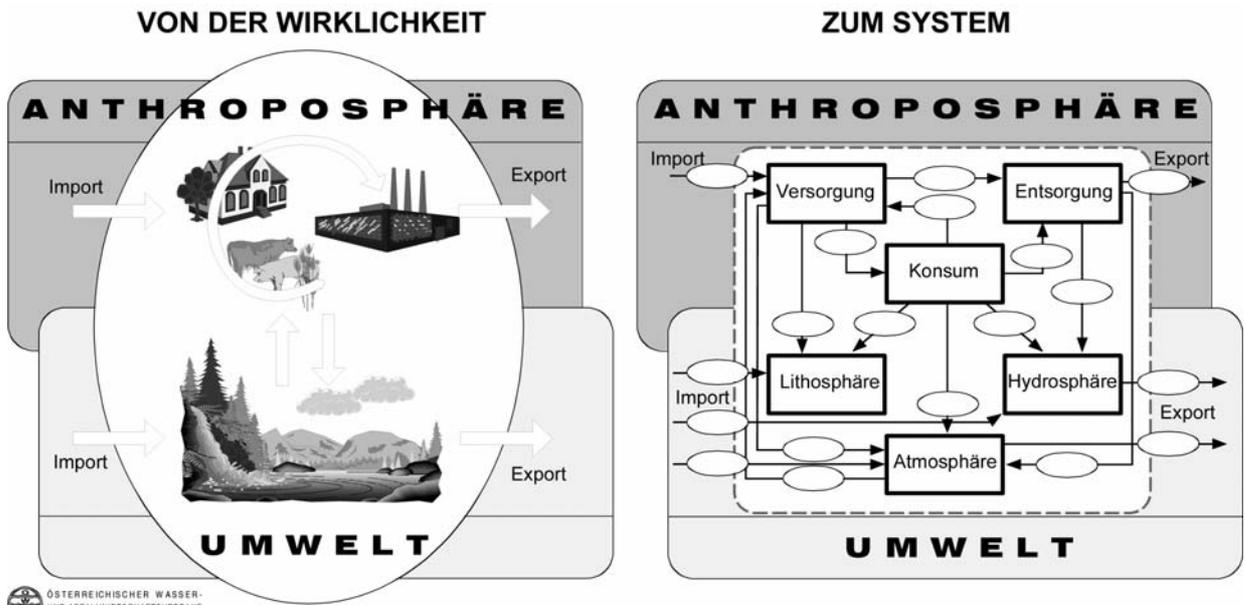


Abbildung 3-2: Definition eines SFA-Systems

Mit Hilfe der Systemdefinition wird ein Ersatzbild der Wirklichkeit erstellt, in dem von realen, komplexen Gegebenheiten mit einer Vielzahl von Prozessen und Verknüpfungen (Güterflüssen) ein vereinfachtes, überschaubares und handhabbares Modell erstellt wird. Im Modell wird die Realität auf die wesentlichen Bestandteile reduziert. Das Modell muss so aufgebaut sein, dass die Problemstellung gelöst werden kann.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Abschnitt folgenden Punkten zu:

- ✓ Exakte Abgrenzung des Systems und der Prozesse mittels detaillierter Definitionen. Klar zu beantworten sind die Fragen: Welche Prozesse enthält das System und welche nicht? Welche Güterflüsse enthalten die einzelnen Prozesse und welche nicht? Dabei sind folgende Kriterien zu beachten: Prozesse innerhalb des Systems müssen bilanziert werden, solche außerhalb des Systems werden nicht bilanziert.
- ✓ Eindeutige Verknüpfung der einzelnen Prozesse über die Güterflüsse und eindeutige Benennung der Güterflüsse.

3.2.2.1 Systemgrenze

Die Definition der Systemgrenze ist der erste Teilschritt der Systemdefinition. Die Systemgrenze wird in Abhängigkeit zu den Zielen und den Fragestellungen sowohl räumlich als auch zeitlich gezogen.

Die zeitliche Komponente der Systemgrenze bildet die Grundlage für den Bilanzierungszeitraum. Grundsätzlich kann der Bilanzierungszeitraum individuell gewählt werden. Da viele Daten auf die Zeitspanne von einem Jahr bezogen sind, beträgt der Bilanzierungszeitraum üblicherweise ebenfalls 1 Jahr.

Für die räumliche Komponente der Systemgrenze gibt es je nach Aufgabenstellung mehrere Möglichkeiten. Nachfolgend einige Beispiele für räumliche Systemgrenzen:

- ✓ Grundstücksgrenze eines Betriebes: z. B. Papierfabrik, Krankenhaus, Müllverbrennungsanlage
- ✓ Grenze des Einzugsgebietes eines Flusses
- ✓ Politische Grenze: Stadt, Gemeinde, Bundesland, Nation, Naturschutzgebiet
- ✓ Grenze einer sozialwissenschaftlich definierten Einheit: z. B. Privathaushalt.

Die räumliche Systemgrenze kann auch mehrere geographisch getrennte „Regionen“ umfassen. Wenn beispielsweise als Fragestellung die Untersuchung eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre festgelegt ist, können die Grenzen von Bergbaugebieten über Produktionsanlagen und Konsum bis zu Entsorgungsanlagen zusammengefasst werden.

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle

Wahl der Systemgrenze:

Als **zeitliche Systemgrenze** wird aufgrund von vorhandenem Datenmaterial und Vergleichbarkeit zu anderen Studien ein Jahr gewählt.

Als **räumliche Systemgrenze** wird die politische Grenze einer Stadt festgelegt. In diesem Beispiel wird eine Musterstadt mit 1,5 Mio. Einwohnern betrachtet. Die Infrastruktur der Abfallwirtschaft dieser Stadt besteht aus einer Müllverbrennungsanlage, einer mechanisch biologischen Anlage (Kompostieranlage), einer Massenabfalldeponie und einer Reststoffdeponie.

3.2.2.2 Definition der Prozesse und Güter

Nachdem die Grenzen nach außen definiert wurden, wird im zweiten Teilschritt die innere Struktur des Systems festgelegt. Es werden die Prozesse ausgewählt, definiert und deren Verknüpfungen über die Input- und Outputgüter festgelegt.

In diesem Arbeitsschritt werden definiert:

- ✓ Prozesse: Eindeutige Definition und damit auch eindeutige Abgrenzung der einzelnen Prozesse voneinander
- ✓ Güter und Lager: Eindeutige Definition der Input- und Outputgüter, des Lagers und der Lagerveränderungen (Lagerzuwachs und -abnahme).

Der Begriff Prozess wird hier nicht nur im engeren physikalischen Sinn verwendet. So kann beispielsweise der Boden oder die Atmosphäre als Prozess oder als Träger eines oder mehrerer Prozesse definiert werden.

Prozesse in Stoffhaushaltssystemen sind häufig Transformationsprozesse. In diesem Prozesstyp werden die eingeführten Güter (Inputgüter) physikalisch und/oder chemisch verändert. Es entstehen Produkte (Outputgüter) mit neuen physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften. Beispiele für Transformationsprozesse sind die Papierherstellung oder die Müllverbrennung.

Ein Prozess vom Typ „Transport“ verändert den Standort eines Gutes, ohne dessen physikalische und chemische Eigenschaften zu verändern. Beispiele für Transportprozesse sind der Personentransport, die Restmüllsammlung oder die Wasserleitung.

In einem Prozess vom Typ „Lagerung“ werden Güter an einem Standort aufbewahrt (gestapelt), um sie zu einem späteren Zeitpunkt für eine Nutzung wieder zu entfernen oder um sie den biogeochemischen Prozessen zu überlassen. Ein Prozess vom Typ „Lagerung“ wird entweder als eigenständiger Prozess (z. B. Deponie) oder als Subprozess eines Prozesses (Lager an Einrichtungsgegenständen im privaten Haushalt) dargestellt (siehe auch Abbildung 3-3). Beispiele für Lager sind das Warenlager im Handel, die Restmülldeponie oder langlebige Konsumgüter im privaten Haushalt (Möbel, Bodenbeläge).

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle

Auswahl und Definition der Prozesse:

Von den Prozessen, die für ein Abfallwirtschaftskonzept von organischen Abfällen wesentlich sind (Land- und Forstwirtschaft, Verarbeitung land- und forstwirtschaftlicher Produkte, Transport, Handel, Konsum, Abfallsammlung, Abfallbehandlung, Wiederverwertung, Deponierung), werden jene Prozesse untersucht, welche in der betrachteten Stadt liegen und mit Privathaushalten verknüpft sind. Im ersten Ansatz werden folgende Prozesse ausgewählt:

1. Privathaushalt: Beinhaltet den Konsum organischer Güter (vor allem Nahrungsmittel) und die Entsorgung organischer Abfälle. Das Aufkommen von Gartenabfällen wird ebenfalls mitbetrachtet.
2. Separate Sammlung organischer Abfälle
3. Restmüllsammlung
4. Kompostierung: inklusive Kompostaufbereitung
5. Vergärung
6. Müllverbrennungsanlage (MVA): inklusive Rauchgasreinigung
7. Massenabfalldeponie
8. Reststoffdeponie: für die Rückstände aus der MVA

Der Prozess selbst wird normalerweise als „Black Box“ verstanden, d. h. die Vorgänge innerhalb des Prozesses werden mit Ausnahme eines etwaigen Lagers nicht untersucht. Beim Lager werden der Bestand zu Beginn des Bilanzierungszeitraumes sowie die Lagerveränderung betrachtet (Lagerabbau resp. -aufbau).

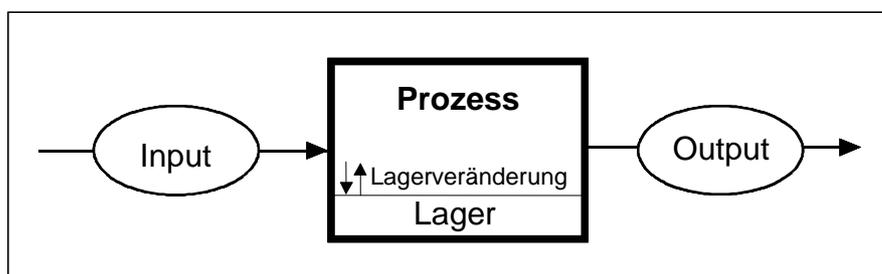


Abbildung 3-3: Prozess mit Input- und Outputgütern und einem Lager innerhalb des Prozesses

Wie für das Gesamtsystem gelten auch für die Prozesse die physikalischen Gesetze der Massen- und Energieerhaltung. Die Einheit der zu bilanzierenden Flüsse ist Masse pro Zeit oder Masse pro Zeit und Querschnitt (z. B. pro Fläche, pro Einwohner). Die Lagerveränderung ist ebenfalls ein Fluss. Der Lagerbestand besitzt die Einheit Masse.

Die einzelnen Prozesse werden über Güterflüsse miteinander verknüpft. Jeder Güterfluss hat eine eindeutige Bezeichnung und verfügt über genau einen Herkunfts- und einen Zielprozess.

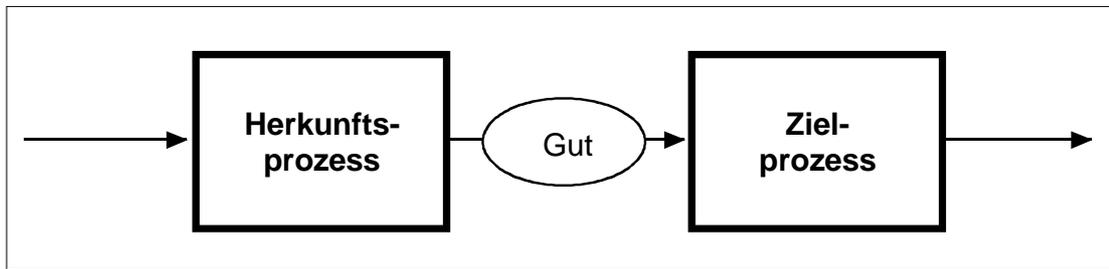


Abbildung 3-4: Gut mit Herkunfts- und Zielprozess

Es werden alle für die Ziel- und Fragestellungen relevanten Prozesse und die dazugehörigen Güter ausgewählt und definiert. Es ist gut möglich, dass im ersten Ansatz zur Modellierung des Systems zu viele oder zu wenige Prozesse und Güter als notwendig definiert werden. In jedem Fall wird die später folgende Grobbilanzierung (inklusive Sensitivitätsanalyse) zeigen, wie gut die Auswahl der Prozesse und Güter war. Aufgrund der Erkenntnisse der Grobbilanz soll die Systemdefinition iterativ optimiert werden.

In der folgenden Tabelle wird am Beispiel des Prozesses ‚Separate Sammlung organischer Abfälle‘ gezeigt, wie eine Prozess- und Güterbeschreibung aussehen kann.

Tabelle 3-1: Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle - Definition der Prozesse und Güter

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle				
Güterliste und Definitionen für den Prozess: Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)				
Definition	<u>Allgemeine Definition des Prozesses:</u> Der Prozess beinhaltet die Sammlung und den Transport von organischen Abfällen von der Quelle des Anfallens zu den Behandlungsanlagen (Gehsteigsammlung, Abholssystem), durchgeführt von öffentlichen oder privaten Unternehmungen. Dieser Prozess beinhaltet nicht die Sammlung von organischen Abfällen an öffentlichen Mistplätzen (Bringsystem).			
	<u>Spezifische Definition des Prozesses:</u> Innerhalb des Prozesses werden die transportierten Güter und der Konsum von Betriebsmitteln betrachtet. Nicht untersucht wird die Produktion und Erhaltung der Maschinen (Fahrzeuge), Container und Verkehrswege sowie auch der Reifenabrieb, weil die Umweltauswirkungen aus diesen Bereichen in Bezug auf das Ziel der Studie als gering abgeschätzt werden. Die Kosten der Produktion und Erhaltung können durch Faktoren bezogen auf transportierte Abfälle abgeschätzt werden.			
	<u>Güter und Verknüpfungen</u> Untersuchte Güter sind transportierte organische Abfälle, Betriebsmittel (Diesel), Luft und Emissionen. Wichtigster Herkunftsprozess ist der Privathaushalt und wichtigster Zielprozess die Kompostierung.			
Input	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozess	<i>Beschreibung</i>
	Privathaushalt	organische Küchenabfälle	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	<i>organische Küchenabfälle, die in eigenen Containern gesammelt werden. Inklusive Fremdstoffe. European Waste Catalogue Nr. 200108</i>
	Privathaushalt	Gartenabfälle	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	<i>Gartenabfälle, Erde und Steine die in eigenen Containern gesammelt werden. Inklusive Fremdstoffe. European Waste Catalogue Nr. 200201, 200202</i>
	extern	Luft SSOA	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	<i>Verbrennungsluft für Transportfahrzeuge</i>
	extern	Treibstoff SSOA	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	<i>Treibstoff für Transportfahrzeuge</i>
Output	Herkunftsprozess	Gut	Zielprozess	<i>Beschreibung</i>
	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	organische Abfälle	Kompostieranlage (K)	<i>organische Küchenabfälle, Gartenabfälle, Erde und Steine die in eigenen Containern gesammelt werden. Inklusive Fremdstoffe. European Waste Catalogue Nr. 200108, 200201, 200202</i>
	Separate Sammlung organischer Abfälle (SSOA)	Abgas SSOA	extern	<i>Abgas von Transportfahrzeugen</i>

3.2.2.3 Subsysteme

Der nächste Teilschritt ist die Definition von Subsystemen. Dieser Schritt ist optional, da Subsysteme in einer Stoffflussanalyse nicht unbedingt notwendig sind. Jedoch bei komplexen Systemen, wie beispielsweise einer Stadt, können Subsysteme (z. B. eine Baumaterialienbilanz, eine Wasserbilanz oder das System „Abfallwirtschaft“ als Sub-

system des „Stoffwechsels der Stadt“) wesentlich zur Überschaubarkeit eines Systems beitragen.

In einem Subsystem werden mehrere Prozesse anhand bestimmter Kriterien zusammengefasst. Beispielsweise aufgrund einer Aktivität, Funktion oder eines ähnlichen Zwecks. Die räumliche und zeitliche Systemgrenze des Subsystems entspricht jener des Gesamtsystems. Subsysteme können eine Grundlage für die Bilanzierung des Gesamtsystems darstellen.

Durch Subsysteme kann die Darstellung des Systems übersichtlicher, einfacher und schneller verständlich gemacht werden. Der Betrachter wird nicht durch ein kompliziertes Geflecht von Flüssen und Prozessen abgeschreckt, sondern kann sich mittels der Subsysteme leichter orientieren. Ein weiterer Vorteil ergibt sich für die Simulation und die Präsentation der Resultate. Subsysteme können aber auch aufgrund ihres höheren Detaillierungsgrades für die Erarbeitung von Lösungsansätzen hilfreich sein.

Ein Subsystem kann auch ein einzelner Prozess sein, der aus mehreren Subprozessen besteht.

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle
--

<u>Auswahl und Definition eines Subsystems:</u>

Sechs Prozesse werden aufgrund ihrer thematischen Zusammengehörigkeit zu zwei Subsystemen zusammengefasst:
--

Subsystem „Sammlung“ mit den Prozessen:

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Separate Sammlung organischer Abfälle- Restmüllsammlung |
|--|

Subsystem „Behandlung und Ablagerung“ mit den Prozessen:
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Kompostierung- Müllverbrennungsanlage (MVA)- Massenabfalldeponie- Reststoffdeponie |
|---|

Den Abschluss der Definition von Prozessen und Gütern bildet eine grafische Darstellung, wie sie als theoretisches Beispiel in der Abbildung 3-5 und als praktisches Beispiel in der Abbildung 3-6 dargestellt ist. Die Systemdefinition enthält alle Prozesse, die Verknüpfung zwischen den Prozessen, die Lager, die Systemgrenze und die Verknüpfung zu den benachbarten Systemen.

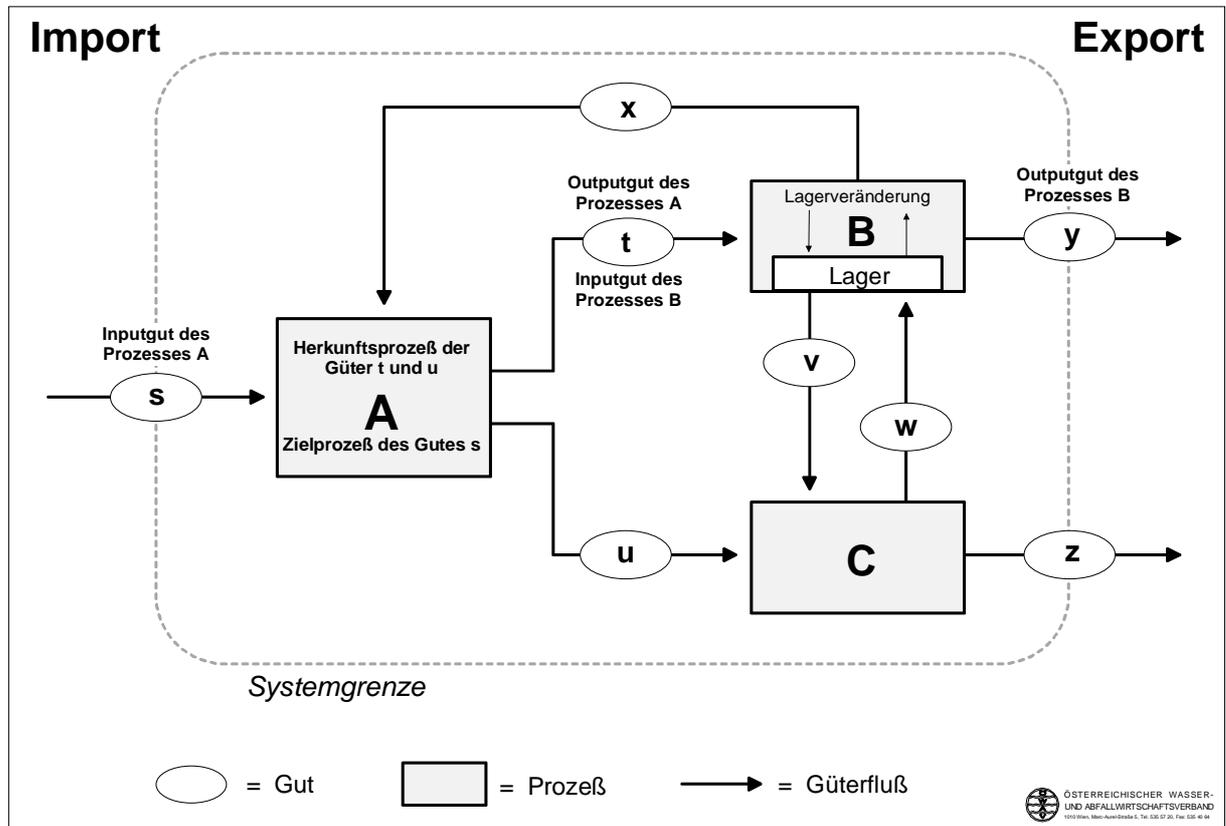


Abbildung 3-5: Systemdefinition allgemein

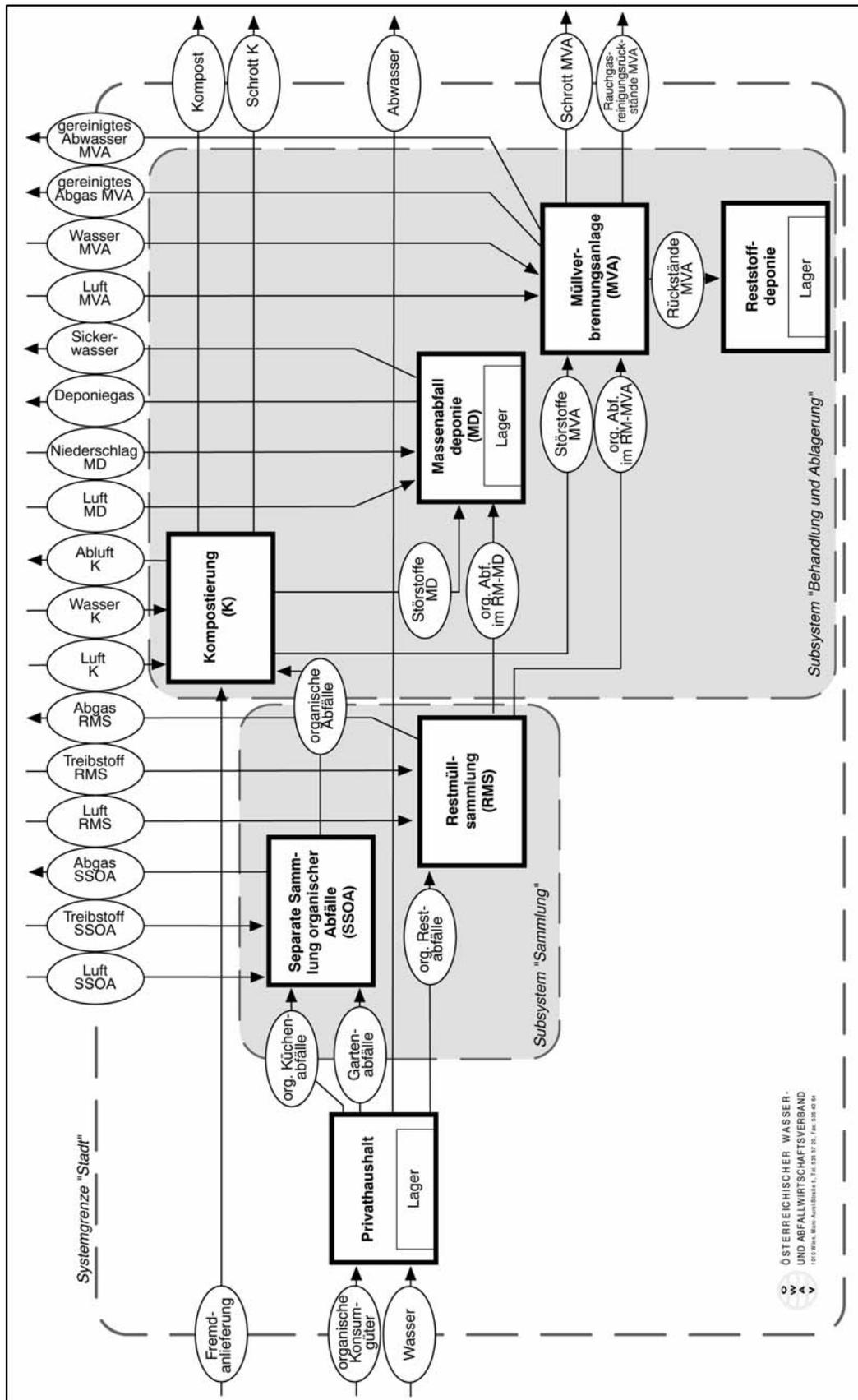


Abbildung 3-6: System des Beispiels Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle

3.2.2.4 Auswahl der Stoffe

Mit der Auswahl der Stoffe wird die Systemdefinition abgeschlossen. Die Stoffauswahl wird in der Regel durch die Fragestellung (z. B. Darstellung des Nährstoffhaushaltes einer Region zum Zeigen des Einflusses der Kompostierung) oder durch gesetzliche Regelungen (z. B. Verbot des Einsatzes von FCKW) vorgegeben. Ist dies nicht der Fall, kann die Auswahl des Stoffes beispielsweise aufgrund seines Ressourcen- (z. B. Aluminium) oder Schadstoffpotenzials (z. B. Blei) erfolgen. Ein Indikatorstoff ist ein Stoff, der uns hilft zu verstehen, was für die gegenständliche Fragestellung wichtig ist.

Gründe für die Auswahl eines Stoffes als Indikator können sein:

1. Der Stoff kann eine wesentliche Zeigerrolle für ein bestimmtes System haben. So wäre beispielsweise Chlor als wesentlicher Bestandteil des PVC ein möglicher Indikator für den PVC Haushalt einer Region.
2. Es ist möglich, aufgrund des chemischen Verhaltens eines Stoffes auf das Verhalten eines anderen Stoffes zu schließen. So kann beispielsweise für thermische Prozesse abgeschätzt werden, dass sich Cadmium und Zinn aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften ähnlich wie Zink verhalten werden. Es müssen somit nicht alle Stoffe untersucht werden, sondern es kann aus der Bilanz und dem Verhalten von Indikatorstoffen auch auf andere, nicht untersuchte Stoffe geschlossen werden.

Da die Anzahl der ausgewählten Stoffe einen wesentlichen Einfluss auf den zeitlichen und finanziellen Aufwand hat, kommt der Auswahl von Indikatorstoffen eine große Bedeutung zu.

In der Tabelle 3-2 werden exemplarisch anhand der Ziele der Abfallwirtschaft einige Beispiele von Indikatorstoffen für die Kontrolle der Erreichung des jeweiligen Zieles dargestellt:

Tabelle 3-2: Ziele der österreichischen Abfallwirtschaft und adäquate Indikatorstoffe

Ziele laut §1 des österreichischen AWG	Art des Indikators	Beispiele für Indikatorstoffe
Schutz von Menschen und Umwelt	Schadstoff	Blei, Cadmium, Chlor, Chrom, Stickstoff, FCKW, Dioxin, Vanadium, Nickel und Kupfer
Geringhaltung von klimarelevanten Emissionen	Energieträger	Kohlenstoff, Methan, FCKW
Schonung von Ressourcen	Rohstoff	Eisen, Aluminium, Zink, Kupfer, Nickel, Stickstoff, Phosphor, Zellulose, Wasser
	Energieträger	Kohlenstoff
	Güterbilanz für Massenbilanz	
	Deponievolumen	
Keine Erhöhung des Schadstoffpotenzials durch stoffliche Verwertung	Schadstoff	Blei, Cadmium, Zink
Nachsorgefreie Ablagerungen (Schutz zukünftiger Generationen)	Energieträger	Kohlenstoff, Methan
	Schadstoff	Kohlendioxid, Methan, Hexachlorbenzol, FCKW, Blei, Cadmium, Chlor, Chrom, Quecksilber

Tabelle 3-3: Beispiele von Indikatorsubstanzen

Element	Sym- bol	Indikationen	Umweltbelastung
Kohlenstoff, organisch	C	Umwandelbar durch Mikroorganismen oder abiotisch durch Oxidation (a). Hauptkomponente in biogenen Gütern (f). Träger der chemischen Energie (f).	„Sauerstoffzehrer“ in Gewässern. Träger von toxischen Substanzen (a). Wesentlicher Bestandteil der Treibhausgase CO ₂ und CH ₄ (b). Energieträger (e).
Stickstoff	N	Wie C, Nährstoff (als NO ₃ ⁻) (a). Bei Verbrennungen entstehen Stickoxide (b).	Wie C (a). Katalysator bei Bildung von troposphärischem Ozon (b). Eutrophierung, Versauerung von Gewässern und Böden durch NO _x (d).
Fluor	F	Als Fluorid starker anorganischer Ligand ² (a). Bei der Verbrennung entsteht Fluorwasserstoff (a).	Mobilisiert Aluminium. Protonenträger (a).
Phosphor	P	Nährstoff (a). In Gewässern meist limitierender Nährstoff (f).	Gewässereutrophierung (a).
Schwefel	S	Als Sulfid Bildung von H ₂ S. Bei der Verbrennung entsteht SO ₂ (a).	Geruchsemissionen. Starke Säure (a). Versauerung von Gewässern und Böden (b).
Chlor	Cl	Bildet meist leichtlösliche Salze. Mit C _{org} chlorierte Kohlenwasserstoffe. Bei der Verbrennung entsteht HCl. Ähnliche Eigenschaften wie Brom (a). Bei Verbrennung können chlorierte Dioxine und Furane entstehen (c). Leichtlösliche Salze sind hydrophil ³ (f).	Toxische und schwer abbaubare Substanzen (chlorierte KWs). Starke Säure (a). Viele organische Chlorverbindungen (PCB, Dioxine) sind karzinogen (b).
Eisen	Fe	Als Oxid lithophil ⁴ (a).	Gering (a).
Kupfer	Cu	Bildet lösliche Komplexe mit organischen Liganden ² . Wichtiger elektrischer Leiter. Ähnliche Eigenschaften wie Nickel (a). Baustoff (f).	Als Kupfer(II)-Ion toxisch für Einzeller in niedrigen Konzentrationen (a).
Zink	Zn	Als Kation leicht löslich. Wichtiger Oberflächenschutz (a) und Additiv für Kunststoffe (e).	Toxisch für Einzeller in niedrigen Konzentrationen (a).
Cadmium	Cd	Leicht atmophil ⁵ Element in einer Vielzahl von Konsumgütern (a).	Toxisch in niedrigen Konzentrationen (a).
Quecksilber	Hg	Atmophil ⁵ (a).	Toxisch in niedrigen Konzentrationen (a).
Blei	Pb	Lithophil ⁴ (a).	Toxisch (neurotoxisch) in niedrigen Konzentrationen (a), (d).
Aluminium	Al	Als Kation Hauptkomponente in Silikatgestein ⁶ , als Metall wichtiger Bau- und Verpackungstoff (f). Dritthäufigstes Element der Erdkruste (b).	Bei geringem pH-Wert für Fische und Pflanzen toxisch (b). Freie Al-Ionen für den Menschen toxisch (b).

References:

- ² Atom, Molekül oder Ion, das in einer chemischen Verbindung höherer Ordnung dem zentralen Atom oder Ion angelagert ist (Aus: Duden Fremdwörterbuch).
- ³ In Gewässern angereichert vorkommend.
- ⁴ In der Lithosphäre angereichert vorkommend z. B. Eisen, Blei, Sauerstoff.
- ⁵ Geogener Fluss über die Atmosphäre im Verhältnis zu den Flüssen über die Hydro- und Pedosphäre relativ groß im Vergleich zu anderen Metallen, vgl. Lantzy, R.J., Mackenzie, F.T. (1979) Atmospheric Trace Metals: Global Cycles and Mans Impact, Geochim. Cosmochim. Acta, 43, 4, 511-525.
- ⁶ Im Wesentlichen die Erdkruste bildend und mit großer Affinität zu Sauerstoff.

- (a) Regionaler Stoffhaushalt S. 48 [Baccini & Bader, 1996]
- (b) Grenzen der Erfassung und Verwertung von Altpapier in Österreich (Projekt GEVA) [Daxbeck et al., 1999]
- (c) Dioxine und Furane - Stoffflussanalyse [Koch et al., 1999]
- (d) Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien (Projekt PILOT) [Daxbeck et al., 1996]
- (e) Metabolism of the Anthroposphere, S. 23 [Baccini & Brunner, 1991]
- (f) Metapolis. Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt [Baccini et al., 1993]

Eine geschickt gewählte Kombination möglichst weniger Indikatorstoffe erlaubt eine effiziente und zielführende Charakterisierung von Stoffhaushaltssystemen. Effizient bedeutet hier einen möglichst hohen Ertrag an Information im Verhältnis zum Untersuchungsaufwand. Zielführend bezieht sich auf die umwelt-, ressourcen- und wirtschaftsrelevanten Informationen für das Gesamtsystem.

Die Wahl der Stoffe ist ein wichtiger Arbeitsschritt, da dadurch die Aussagepotenziale der Studie festgelegt werden. Zusammenfassend ist eine Auswahl von Indikatorstoffen mit ihrem möglichen „Zeigepotenzialen“ in folgender Tabelle dargestellt.

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle
<p><u>Auswahl der Stoffe:</u> Es werden folgende Stoffe ausgewählt:</p> <p>Kohlenstoff (C): Hauptkomponente in biogenen Gütern. Indikator für energetisches Abfallverwertungspotenzial. Indikator für den Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP).</p> <p>Stickstoff (N): Indikator für Nährstoffmanagement und Eutrophierung.</p> <p>Blei (Pb): Indikator für Schadstoffbelastung.</p>

Anmerkung: Je nach Region und Fragestellung können auch zusätzliche oder andere Stoffe ausgewählt werden, z. B. Phosphor, Cadmium oder andere.

Mit der Auswahl der Stoffe ist die Systemdefinition abgeschlossen. Das System ist definiert und wird in den nächsten Schritten mit Daten gefüttert, bilanziert, ausgewertet und dargestellt.

3.2.3 Grobbilanz

Der dritte methodische Arbeitsschritt, die Grobbilanz, ist ein Test der Systemdefinition hinsichtlich der Tauglichkeit zur Beantwortung der Fragestellungen und zur Zielerreichung. Die Bilanzierung dient zur Abschätzung, welche Systemteile einen nebensächlichen und welche einen bestimmenden Aspekt im Gesamtsystem darstellen. Dieser Arbeitsvorgang besteht aus einer ersten Abschätzung der Güter- und Stoffflüsse, einer groben Bilanzierung und einer Sensitivitätsanalyse.

Ein wesentlicher Punkt bei der Durchführung einer Stoffflussanalyse ist der „Mut zur Vereinfachung“, ohne den man Gefahr läuft, sich im Detail zu verlieren und sich möglicherweise zu lange und zu aufwändig einem nebensächlichen Aspekt des ganzen Problemfeldes zu widmen [Baccini & Bader, 1996]. Dieser Grundsatz ist während des gesamten methodischen Vorgehens im Auge zu behalten.

Die Ergebnisse der Grobbilanz und Sensitivitätsanalyse werden benötigt:

- ✓ Für ein grundlegendes Verständnis des Systems und der Bedeutung seiner Komponenten (Güter, Prozesse, Subsysteme). Es werden die für die Fragestellungen relevanten Güter und Prozesse identifiziert.
- ✓ Für das Ausscheiden unwichtiger Güter und Prozesse bei der weiteren Untersuchung.
- ✓ Für die Optimierung der Systemdefinition (iterativer Arbeitsablauf).
- ✓ Für die Festlegung der Intensität des Arbeitsaufwandes für die Untersuchung (Datenbeschaffung und -beschreibung) der einzelnen Systemkomponenten.

3.2.3.1 Grobabschätzung der ausgewählten Güter

Im Vordergrund steht eine grobe quantitative Abschätzung möglichst aller ausgewählten Güter und nicht die Qualität der Zahlen, d. h. dass im Allgemeinen Literaturdaten ausreichend sind. Der Vorgang umfasst:

- ✓ Sammlung der Güterdaten (Güterflüsse und Stoffkonzentrationen).
- ✓ Umrechnung der Rohdaten auf Input- und Outputflüsse.
- ✓ Berechnung der Stoffflüsse aus den Güterflüssen und Stoffkonzentrationen.

3.2.3.2 Bilanzierung

Bilanziert werden die Güter- und Stoffflüsse der einzelnen Prozesse, der Subsysteme und des Gesamtsystems [Baccini & Bader, 1996].

Gemäß dem Massenerhaltungsgesetz kann die Massenbilanz eines Prozesses mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$\sum_i Input_i = \sum_j Output_j + \Delta Lager \quad (Gleichung 1)$$

$\Delta Lager$ ist die Lagerveränderung innerhalb des Prozesses, die bei Lagerzuwachs einen positiven, bei Lagerabbau einen negativen Wert annimmt.

3.2.3.3 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse ist ein wichtiger Zwischenschritt im Ablauf der Durchführung einer Stoffflussanalyse. In diesem Arbeitsteilschritt werden die Systemdefinitionen sowie die Zielsetzung und Fragestellungen überprüft und gegebenenfalls geändert. Zusätzlich wird die Bedeutung der einzelnen Systemkomponenten ermittelt. Möglicherweise können auch schon erste Antworten auf Fragestellungen geliefert werden.

Die Sensitivitätsanalyse untersucht den Einfluss der Parameter beziehungsweise ihrer Schwankungen auf die Systemvariablen. Die Parameter bei einem einfachen Input-Output-Modell sind die Importflüsse und die Transferkoeffizienten (siehe Kapitel 3.2.4.3). Die Systemvariablen bei diesem Modell sind alle anderen Flüsse. Es wird ermittelt, wie stark sich die Systemvariablen bei einer Änderung der Systemparameter

ändern und welche die wichtigsten (sensibelsten) Systemparameter für eine Systemvariable oder für das ganze System sind. Diese Informationen sind wichtig für das Verständnis, die Steuerung und die Optimierung des gesamten Systems [Baccini & Bader, 1996].

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse werden jene Prozesse und Güter identifiziert, bei deren Veränderung das Gesamtsystem am heftigsten reagiert. Im Zuge der Sensitivitätsanalyse wird ebenfalls die Signifikanz der Flüsse zur Beantwortung der Fragestellungen abgeschätzt. Diese Abschätzungen bilden die Grundlage, um Prioritäten für nachfolgende Untersuchungen und Berechnungen zu setzen.

Aufgrund der Erkenntnisse der Sensitivitätsanalyse wird abgeklärt, ob die Systemdefinitionen entsprechend angepasst werden sollen. Ziel der Anpassungen ist die Modellierung eines optimalen Systems, das heißt, eines Systems, welches die Beantwortung der Fragestellungen mit geringstem Aufwand für Datenerhebung und -verarbeitung ermöglicht.

Eine Systemanpassung kann einerseits eine Reduktion oder Erweiterung des Systems sein oder andererseits eine Detaillierung oder Vereinfachung der Systembestandteile (Güter und Flüsse). Ein wichtiger Punkt bei der Vereinfachung ist, ab welcher Größe ein Prozess oder ein Gut in der weiteren Untersuchung nicht mehr berücksichtigt wird. Dies ist vor allem abhängig von der Zielsetzung und den Fragestellungen des Projektes. Die Grenzziehung erfolgt individuell. Bei bisherigen Studien hat es sich als tauglich erwiesen, all jene Flüsse welche $< 1\%$ des größten Flusses betragen, nicht mehr zu berücksichtigen. Es ist jedoch notwendig, die Gültigkeit dieser Annahme für jeden Stoff anhand seiner Gefährlichkeit (Schadstoffpotenzial) und seines Ressourcenpotenzials zu überprüfen.

3.2.4 Datenbeschaffung und -verarbeitung

Der vierte Arbeitsschritt der SFA umfasst Datenbeschaffung (Recherche oder Messprogramm), Datenaufbereitung (Kalibrierung) und Bilanzierung. Die Kalibrierung und Bilanzierung ergeben Rückschlüsse auf die Qualität der Daten (Datenlücken und Unsicherheiten), was zu einer neuerlichen Recherche oder Messung führen kann.

3.2.4.1 Untersuchungs- oder Messprogramm

Auf Basis der Grobbilanz und der Sensitivitätsanalyse wird ein Untersuchungs- und/oder Messprogramm geplant. Der Arbeitsvorgang umfasst:

- ✓ Planung des Untersuchungs- oder Messprogramms: Festlegung des Untersuchungsprogramms für die Prozesse und deren Güter. Überprüfung der Verfügbarkeit und Qualität der Daten, die durch die grobe Datensammlung im vorigen Arbeitsschritt abgeschätzt werden konnten. Erweist sich die Datenlage als nicht ausreichend, ist die Planung eines speziellen Messprogramms erforderlich.
- ✓ Durchführung der Datensammlung: Literaturstudie, Befragung, Fragebogen und/oder Messung.
- ✓ Beschreibung des methodischen Vorgehens.

- ✓ Beschreibung der Daten: Besonders wichtig sind für diesen Punkt die Angabe der Datenquelle und die Genauigkeit (Bandbreite oder Minimal-, Mittel- und Maximalwerte).
- ✓ Allgemeine und technische Beschreibung der Güter und Prozesse, zwecks besserer Verständlichkeit der Rohdaten.

3.2.4.2 Berechnung und Bilanzierung der Massenflüsse

In diesem Teilschritt werden die Rohdaten für die Bilanzierung der Prozesse, Subsysteme und des Gesamtsystems aufbereitet, die Massenflüsse berechnet und anschließend durch Gegenüberstellung von Output und Input kalibriert. Kommt es zwischen zwei Prozessen sowohl zu einem Input- als auch einem Outputfluss, wird je nach Fragestellung meist der daraus resultierende Nettofluss dargestellt. Der Vorgang umfasst:

- ✓ Ermittlung der Güterflüsse und der Stoffkonzentrationen.
- ✓ Bilanzierung der Güterflüsse: Berechnung, Abgleich und Kalibrierung der Daten.
- ✓ Berechnung der Stoffflüsse (Stofffrachten) durch Multiplikation der Güterflüsse mit den Stoffkonzentrationen.
- ✓ Bilanzierung der Stoffflüsse: Abgleich und Kalibrierung der Daten.

Der Datenabgleich ist die Umrechnung der Rohdaten auf Input- und Outputflüsse. Die Einheit der zu bilanzierenden Flüsse ist Masse pro Zeit oder Masse pro Zeit und Querschnitt (z. B. pro Fläche, pro Einwohner).

Die Kalibrierung der Daten erfolgt durch Gegenüberstellung der Inputflüsse zu den Outputflüssen, wobei eine etwaige Lagerveränderung berücksichtigt wird. Dabei ergeben sich möglicherweise nicht zusammenpassende Flüsse, d. h. die Bilanz geht nicht auf. Wenn dies der Fall ist, wird folgendermaßen vorgegangen:

- ✓ Analyse, welche Flüsse falsch oder ungenau bestimmt wurden.
- ✓ Neuerliche Überprüfung des Datenmaterials, eventuell neuerliche Datenerfassung.
- ✓ Anwendung von Bandbreiten der einzelnen Flüsse und Überprüfung, ob die Prozesse innerhalb der Bandbreiten bilanziert werden können.

Dieses Vorgehen führt zu einer Kalibrierung („Eichung“) des Systems. Die angestrebte Genauigkeit z. B. für regionale Güter- und Stoffbilanzen liegt bei $\pm 20\%$. Eine höhere Genauigkeit würden in der Regel einen großen Mehraufwand bedeuten und empfiehlt sich nur bei hohem Gefährdungs- oder Nutzungspotenzial.

3.2.4.3 Berechnung der Transferkoeffizienten

Die Transferfunktion ist eine lineare Funktion mit den Transferkoeffizienten als Konstante und beschreibt die Verteilung eines Inputgutes innerhalb eines Prozesses auf verschiedene Outputgüter. Auf Basis der Güter- und Stoffflüsse werden die Transferkoeffizienten für den Güterfluss und die untersuchten Stoffe berechnet.

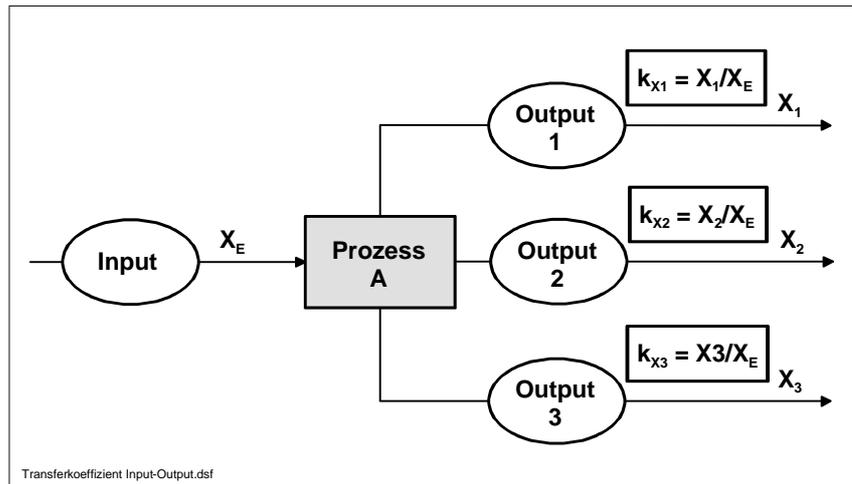


Abbildung 3-7: Transferfunktion; zeigt die Verteilung des Inputgutes X in einem Prozess auf drei verschiedene Outputgüter

Der Transferkoeffizient $k_{x,j}$ ist definiert als (aus [Baccini & Brunner, 1991]):

$$k_{x,j} = \frac{\text{Output}_{x_j}}{\sum_i \text{Output}_{x_i}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Der Transferkoeffizient (TK) $k_{x,j}$ bezeichnet die Fraktion des gesamten in den Prozess eingeführten Stoffes x, die in das Gut j transferiert wird. So wurde z. B. in der Welser Restmüllverbrennungsanlage ein Cadmium-Transferkoeffizient in die Filterasche von 0,34 ermittelt, d. h., dass sich 34 % des im Restmüll enthaltenen Cadmiums nach der Verbrennung in der Filterasche befinden (vgl. Abbildung 3-8)

Wenn das Lager des Prozesses konstant bleibt, gilt:

$$\sum_j k_{x,j} = 1 \quad (\text{Gleichung 3})$$

Die Stofftransferkoeffizienten sind unabhängig von der Zusammensetzung des Gesamtinputs und zählen daher zu den Systemparametern. Der Transferkoeffizient ist eine konstante, prozessspezifische Kenngröße, die von Anlage und Betriebsweise abhängig ist.

Die Gütertransferkoeffizienten sind keine Systemparameter, da sie sehr wohl von der Zusammensetzung des Inputs abhängig sind. So ist zum Beispiel bei einer Restmüllverbrennungsanlage der Gütertransfer abhängig vom Aschegehalt des Inputs.

Transferkoeffizienten eignen sich:

- ✓ Zu einer übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse.
- ✓ Als Ausgangsbasis für die Beurteilung der Aufkonzentrierung oder Verdünnung von Stoffen.

- ✓ Zur Darstellung der Effizienz, mit der eine Inputmasse in eine Outputmasse übergeführt wird.

3.2.5 Präsentation und Interpretation der Resultate

Die Präsentation und Interpretation der Resultate besteht aus folgenden Teilschritten:

- ✓ Erläuterung eventueller Lücken und Unsicherheiten des Datenmaterials.
- ✓ Darstellung der Mittelwerte und Bandbreiten der Massenflüsse in Tabellen.
- ✓ Darstellung der Mittelwerte der Güter- und Stoffbilanzen in Flussdiagrammen (siehe Abbildung 3-9).
- ✓ Darstellungen der Transferkoeffizienten (siehe Abbildung 3-8).
- ✓ Darstellung der Ergebnisse mittels Tabellen und Grafiken. Güter- und Stoffflussdiagramme, Tabellen und graphischen Darstellungen der Transferkoeffizienten.

Die Resultate aus den Güter- und Stoffbilanzen müssen für eine ansprechende Präsentation nochmals auf die Hauptaussagen vereinfacht werden, wobei jedoch immer die Nachvollziehbarkeit der Vereinfachungen gewährleistet bleiben muss.

Die wichtigsten Prozesse, Güter- und Stoffflüsse sollen sofort erkennbar sein, wobei in erster Linie auf die Hauptaussagen und Beantwortung der Fragestellungen des Projektes Bezug genommen werden soll. Weiters sollten die Grenzen und Unsicherheiten der gewählten Methodik und der Datenerfassung samt ihren Ungenauigkeiten bzw. Bandbreiten beschrieben werden.

Die Resultate werden üblicherweise für das Gesamtsystem, für die Subsysteme und eventuell für einzelne Prozesse dargestellt. Neben der Darstellung in Güter- und Stoffflussdiagrammen werden die Bilanzen besonders hinsichtlich folgender Punkte ausgewertet und interpretiert:

- ✓ Die Summe der Input- (bzw. Importflüsse) und Outputflüsse (bzw. Exportflüsse) und deren Gegenüberstellung. Erklärung einer etwaigen Differenz.
- ✓ Die wichtigsten Prozesse des Systems oder Subsystems, bezogen auf den Masseumsatz auf Güter- oder Stoffebene.
- ✓ Die wichtigsten Güter des Systems, Subsystems oder Prozesses, bezogen auf den Masseumsatz oder Stofffluss.
- ✓ Die wichtigsten Quellen und Senken der betrachteten Stoffe.
- ✓ Die theoretischen Möglichkeiten zur Steuerung, sei es durch Veränderung der Güter, der verfahrenstechnischen Anpassung der Prozesse oder der Stoffkonzentrationen.

Nachfolgend zwei Beispiele für die grafische Darstellung der Transferkoeffizienten am Beispiel der Müllverbrennungsanlage in Wels und eines Systems am Beispiel des Papierhaushaltes Österreichs.

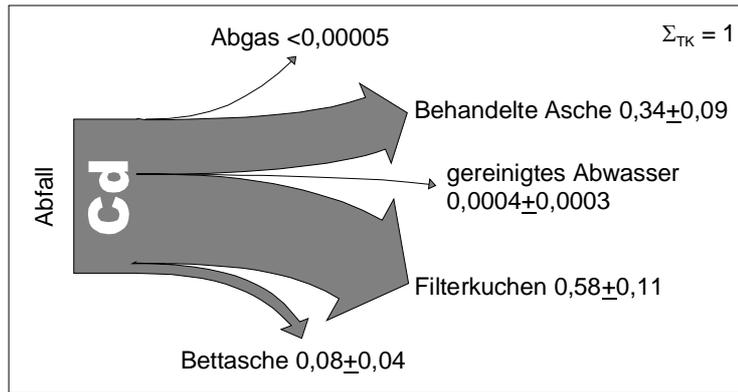


Abbildung 3-8: Beispiel für eine Transferfunktion: Verteilung des Stoffes Cadmium in einer Müllverbrennungsanlage {Morf, 1997 #164}

Die Abbildung 3-8 zeigt am Beispiel des Stoffes Cadmium, wie sich Cadmium aufgrund der Transferkoeffizienten in einer Müllverbrennungsanlage auf die einzelnen Outputgüter verteilt. Mit dieser Darstellungsform (Sankey-Diagramm) kann sehr rasch und anschaulich die Bedeutung jedes einzelnen Flusses beurteilt werden.

Die Abbildung 3-9 zeigt ein Beispiel für die grafische Präsentation einer Güterbilanz. Die übersichtliche Darstellung der Güterflüsse mit Pfeilstärken bewirkt, dass auf den ersten Blick erkennbar ist, welches die wichtigsten Prozesse und Güter in diesem System sind. Zusätzlich zur Darstellung des Gesamtsystems können bei Bedarf auch die Subsysteme in separaten Abbildungen dargestellt werden.

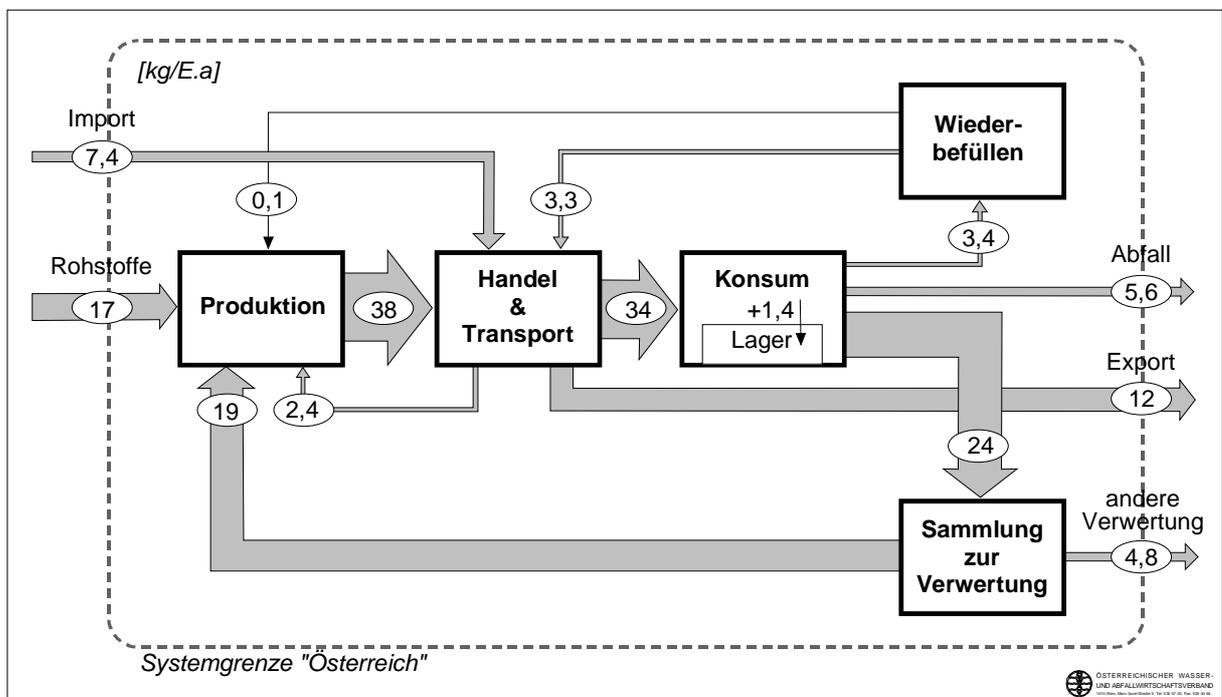


Abbildung 3-9: Beispiel für ein Güterflussdiagramm: Verpackungsglasfluss in Österreich

Mit dem Abschluss dieses Arbeitsschritts werden die Voraussetzungen geschaffen, aus den Resultaten die entsprechenden Schlussfolgerungen zu ziehen und die Fragen zu beantworten. Wird jedoch in Ziel- oder Fragestellungen eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung oder eine Abschätzung der Effektivität möglicher Maßnahmen verlangt, werden entsprechende Szenarios definiert und ausgewertet.

3.2.6 Szenarios (Simulation)

Dieser Arbeitsschritt ist optional und wird eingesetzt, wenn Aussagen über zukünftige Entwicklungen des Güter- und Stoffumsatzes gemacht werden sollen oder wenn die Wirkungen verschiedener Handlungsmaßnahmen quantifiziert und gegenübergestellt werden sollen.

Szenarios können zur Beschreibung und Abschätzung von verschiedenen Entwicklungen eingesetzt werden:

- Wirtschaftstrends
- Regulatorische Maßnahmen (Gesetze, Grenzwerte). Es kann die Wirksamkeit geltender und möglicher neuer gesetzlicher Bestimmungen quantifiziert werden.
- Verfahrenstechnische Änderungen

Bei einem Szenario werden die Systemparameter des Ist-Zustandes (Importflüsse, Stoffkonzentrationen oder Transferkoeffizienten) verändert. Je nachdem, wie viele Parameter verändert werden, wird unterschieden zwischen:

- Reines Szenario: Es wird nur ein Systemparameter geändert.
- Gemischtes Szenario: Es wird an mehreren Reglern gleichzeitig gedreht, das heißt, es werden mehrere Systemparameter geändert. Die geänderten Parameter wirken meist synergetisch auf den Güter- und Stoffumsatz, könnten prinzipiell aber auch antagonistisch sein. Es kann daher ein gemischtes Szenario nicht durch additive Überlagerung mehrerer reiner Szenarios ersetzt werden.

Weiters wird, je nach Art der Änderung der Systemparameter, unterschieden zwischen:

- Stationäre Modellierung: Die zu verändernden Parameter des Ist-Zustandes werden durch einen neuen Wert ersetzt oder mit einem Faktor multipliziert.
- Dynamische Modellierung: Für die zu verändernden Parameter wird eine mathematische Gleichung höherer Ordnung (mindestens erste Ordnung) definiert.

Darstellung der Resultate der Szenarios:

- Tabellen und Grafiken (Stoffflussdiagramme) der Bilanzen: Siehe Darstellung der Resultate des Ist-Zustandes (Kapitel 3.2.5).
- Vergleichende Darstellung mehrerer Szenarios (z. B. um die wirkungsvollsten Handlungsempfehlungen darzustellen) oder Szenarios mit Ist-Zustand: Signifikante Güter- oder Stoffflüsse werden bezogen auf den Massefluss miteinander verglichen. Als grafische Darstellung kann z. B. ein Balkendiagramm gewählt werden.

Beispiel: Abfallwirtschaftskonzept für organische Abfälle

Es werden folgende drei Szenarios ausgewählt und definiert:

- Maximale Separatsammelmenge: Der gesamte anfallende organische Abfall wird getrennt gesammelt.
- 90 % Separatsammelmenge: Als praktisch maximale Separatsammelmenge wird ein Prozentsatz von 90 % der anfallenden organischen Abfälle angenommen.
- Keine Separatsammlung: Alle organischen Abfälle werden mit dem Restmüll entsorgt.

Durch Gegenüberstellung der Resultate der einzelnen Szenarios kann gegebenenfalls ein optimales Szenario abgeleitet werden.

Szenarien dienen dazu, um den Einfluss der Änderung der Ausprägungen von Eingangsparametern auf die Ausprägung der Ausgangsparameter zu zeigen.

Es können auch Szenarien gebildet werden, deren Umsetzung aufgrund von bestehenden Rahmenbedingungen nicht möglich sein wird. Das Szenario „maximale Separatsammlung“ ist ohne eine völlige Akzeptanz für die Separatsammlung in der Bevölkerung unrealistisch. Es kann jedoch dargestellt werden, wie weit das Szenario „90 % Separatsammlung“ vom theoretischen Fall der „Maximalen Separatsammelmenge“ entfernt ist.

3.2.7 Schlussfolgerungen

Im letzten Arbeitsschritt der Stoffflussanalyse werden aufgrund der Resultate und eventuellen Szenarios die Schlussfolgerungen gezogen. Dieser Schritt beinhaltet die Beantwortung der Fragen und wichtige Handlungsempfehlungen.

Nun können die nächsten Schritte gesetzt werden, beispielsweise in Form der Bewertung der Ergebnisse der Stoffflussanalyse und anschließend in Form von konkreten Umsetzungsschritten der politischen oder wirtschaftlichen Entscheidungsträger.

4 Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

Ausgangspunkt dieses Kapitels sind die Ziele der Abfallwirtschaft. Anhand von Beispielen wird gezeigt, welchen Beitrag die SFA zur Erreichung dieser Ziele leisten kann. Weiters werden die Einsatzmöglichkeiten und Stärken der SFA in der Abfallwirtschaft aufgezeigt.

Zwei wesentliche Ziele der nachhaltigen Abfallwirtschaft sind der Schutz von Mensch und Umwelt und die Schonung von Ressourcen. Die SFA liefert quantitative und qualitative Informationen über Stoffe, die Ressourcen oder Schadstoffe bzw. Indikatoren dafür sein können.

4.1 Ziele der Abfallwirtschaft

Im Abfallwirtschaftsgesetz 2002 werden die Ziele der Abfallwirtschaft definiert. Demnach ist lt. § 1 (1) die Abfallwirtschaft „im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit so auszurichten, dass:

1. *schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*
2. *die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,*
3. *Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,*
4. *bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und*
5. *nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.“*

Obwohl auch hygienische und andere Aspekte eine große Bedeutung haben, sind aufgrund der stark gestiegenen Stoffumsätze die Ziele der Abfallwirtschaft in erster Linie stofforientiert (z. B. Schutz des Menschen und der Umwelt heute und morgen, Schonender Umgang mit Ressourcen) und im Weiteren massebezogen (Schonung von Deponievolumen). Dies ist eindeutig aus den Zielen des AWG abzuleiten.

Die Priorität liegt klar in der stofflichen Ausrichtung der AWS. Es sind Stoffe, d. h. einzelne chemische Elemente oder deren Verbindungen, die zu unerwünschten Emissionen führen, die beispielsweise die Deponietauglichkeit gefährden oder die als Wertstoff für eine Wiederverwertung in Frage kommen. Dies bedeutet, dass vorrangig die Inhaltsstoffe eines Abfalls über dessen Zuordnung zu Abfallverwertungs- oder -entsorgungsstrategien, also dessen weiteres Schicksal als Sekundärrohstoff oder als Abfall entscheiden. Um die Ziele des AWG zu erreichen, spielt demnach die frühere Gebrauchsfunktion eines zu Abfall gewordenen Gutes eine untergeordnete Rolle. Bei-

spielsweise die Funktion „Verpackung“ bei Kunststoff, die „Informationsübertragung“ bei Papier oder der „Wassertransport“ einer Bleiwasserrohrleitung.

Umweltbedrohung wie auch Ressourcenpotenzial sind durch potenzielle Schad- und Wertstoffe bedingt, die normalerweise die Funktionsfähigkeit der Gebrauchsgüter gewährleisten. Beispielsweise wird Brom als Flammenschutzmittel eingesetzt. Werden nun Sammelsysteme auf Funktionen von Gütern ausgerichtet (z. B. Verpackungsverordnung), erfolgt üblicherweise keine optimale Konzentration von Stoffen. Dadurch wird eine weitere Verwertung und/oder Entsorgung der Wert- oder Schadstoffe erschwert oder sogar verunmöglicht. Wird die Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten ausgerichtet, können Stoffe effizienter, umweltverträglicher und Ressourcen schonender bewirtschaftet werden.

4.2 Die Bedeutung der Stoffflussanalyse für die Ziele der Abfallwirtschaft

Welches sind nun die Aufgaben der Abfallwirtschaft? Einerseits soll die Abfallwirtschaft das Ressourcenpotenzial, das in den Abfällen enthalten ist, möglichst effizient nutzen beziehungsweise dessen Nutzung fördern und ermöglichen. Die effiziente (Wieder-)Nutzung der bereits aus der Erdkruste ausgebeuteten Ressourcen bedeutet sowohl eine Schonung von Primärressourcen und eine Verringerung der damit verbundenen Emissionen der Primärproduktion als auch eine Schonung von Deponeievolumen im Nachfeld der Nutzung bzw. eine Reduktion von Emissionen bei der Entsorgung. Ob nun der lineare Durchfluss eines Gutes oder Stoffes oder ein Recycling die Ziele des AWG effizient erfüllen, hängt von vielen Faktoren ab. Mit Hilfe von Stoffflussanalysen als Erfassungs- und Bilanzierungsinstrument können die Grundlagen geschaffen werden, um diese Fragen mittels Bewertungsmethoden zu beantworten. Neben der Ressourcennutzung ist es die zweite prioritäre Aufgabe der Abfallwirtschaft, die langfristige Umweltverträglichkeit jener Prozesse, die in ihrer Verantwortung liegen, zu gewährleisten.

Ressourcennutzung und Umweltverträglichkeit können nicht getrennt betrachtet werden. Bei jedem Prozess, unabhängig davon, ob es sich um einen Behandlungs- oder einen Verwertungsprozess handelt, entstehen Emissionen und Rückstände, die der Umwelt zu übergeben sind. Das bedeutet, sie sind in *geeignete* letzte Senken oder Zielprozesse überzuführen. In diesem Zusammenhang ist die Frage von Bedeutung, welche Stoffkonzentrationen verringert (Beispiel Kohlendioxid) oder erhöht (Beispiel Blei) werden müssen. Die Strategien sind sorgfältig auszuwählen, da mit der Festlegung der letzten Senke bzw. des Zielprozesses die Stoffe der Umwelt übergeben werden und i. d. R. keine weitere anthropogene Einflussnahme mehr besteht. Sind Stoffe einmal großräumig verteilt, ist die Energie, die eingesetzt werden müsste, diese Stoffe wieder zu konzentrieren, beinahe unendlich. Das Wissen um den Beitrag der Abfallwirtschaft zum Stoffhaushalt Österreichs ist sehr wichtig. Die Entscheidungsträger in der Abfallwirtschaft müssen deren letzte Senken kennen und das langfristige Verhalten der Stoffe in diesen Senken abschätzen können.

Mit Hilfe der Stoffflussanalyse (und allfällig notwendiger Bewertungsverfahren) können insbesondere folgende Fragen beantwortet werden:

- Sind die Ziele des AWG derzeit erreicht?
- Welche Maßnahmen führen zu einer besseren Zielerreichung?
- Welche Maßnahmen sind zu priorisieren?
- Wie effektiv sind Maßnahmen, wie groß ist ihr Einfluss?
- Welche Probleme können in Zukunft auftreten?
- Welche Maßnahmen können wir heute setzen, um Probleme zukünftig zu vermeiden?

4.2.1 Erreichen der Ziele der Abfallwirtschaft

Mit Hilfe der SFA (Güterbilanz und Stoffbilanz von Indikatorsubstanzen) kann die Erreichung der Ziele quantifiziert werden:

Tabelle 4-1: AWG-Ziele und ihre Quantifizierung

AWG-Ziel	Quantifizierungsmethode	Beispiele für Indikatorstoffe
Schutz von Menschen und Umwelt	Stoffbilanz	Blei, Cadmium, Chlor, Chrom, Stickstoff, FCKW, Dioxin, Vanadium, Nickel, Kupfer
Geringhaltung von klimarelevanten Emissionen	Stoffbilanz	Kohlenstoff, Methan, FCKW
Schonung von Ressourcen	Güterbilanz	Eisen, Aluminium, Zink, Kupfer, Nickel, Stickstoff, Phosphor, Zellulose, Wasser
Keine Gefährdung durch stoffliche Verwertung	Stoffbilanz	Blei, Cadmium, Zink,
Keine Gefährdung zukünftiger Generationen	Stoffbilanz	Kohlendioxid, Methan, Hexachlorbenzol, FCKW, Blei, Cadmium, Chlor, Chrom, Quecksilber

Im Hinblick auf die Abfallwirtschaft relevante Stoffflüsse sind diejenigen, die entweder Mensch und Umwelt gefährden, und/oder ein großes Ressourcenpotenzial darstellen. Jede Methode zur Bestimmung der prioritären Stoffströme muss demzufolge in der Lage sein, 1. sowohl Umweltgefährdung wie auch Ressourcenpotenzial zu erkennen, und 2. erkannte Gefährdungen und Potenziale zu bewerten.

Die Früherkennung von Belastungen von Mensch und Umwelt kann nur über eine Kombination verschiedener Ansätze erfolgen. Die prioritären Stoffströme können nur dann eruiert werden, wenn alle wesentlichen Stoffe einem groben Screening gemäß folgendem Vorgehen untersucht werden: Als Kriterium für „wesentlich“ kann beispielsweise die Zugehörigkeit zur Liste der toxisch relevanten Stoffe (Toxic Release Inventory - TRI) oder der Liste, für die in der IPPC-Richtlinie Grenzwerte existieren, gelten. Ein anderer Ansatz wäre beispielsweise, die Quotienten zwischen der Masse an in Österreich in Verkehr gesetzter Gesamtmenge eines Stoffes und seiner Toxizitätsschwelle in den Umweltmedien zu bestimmen. Notwendig ist jedenfalls ein erster Schritt in Form einer Stoffflussanalyse, in der die Hauptquellen, Pfade und Senken

eines Stoffes identifiziert werden. Im zweiten Schritt werden die Flüsse bestimmt, die in den Medien (Wasser, Boden, Luft, anthropogene Güter wie z. B. Konsumgüter oder Recyclingprodukte) von der Quelle bis zur letzten Senke langfristig durch Akkumulation, Transformation oder Abreicherung entstehen können. Im dritten Schritt müssen diese Flüsse bewertet werden, wobei vorerst die Bewertung anhand von Toxizitätsdaten erfolgen wird. Allerdings bestehen nicht für alle Stoffe solche Informationen. Deshalb wird es notwendig sein, den in Kapitel 4.3.2.2 beschriebenen anthropogenen Referenzansatz oder eine andere, sich an natürlichen Verhältnissen orientierende Bewertungsmethode (z. B. SPI), einzusetzen.

Die Bedeutung des in Abfällen enthaltenen Ressourcenpotenzials von Stoffen kann nur anhand von Stoffflussanalysen der gesamten Volkswirtschaft beurteilt werden. Die Abbildung 4-1 zeigt anhand einiger ausgewählter Stoffe und der Energie, welche Bedeutung die Abfallwirtschaft im Vergleich zur gesamten Volkswirtschaft hat.

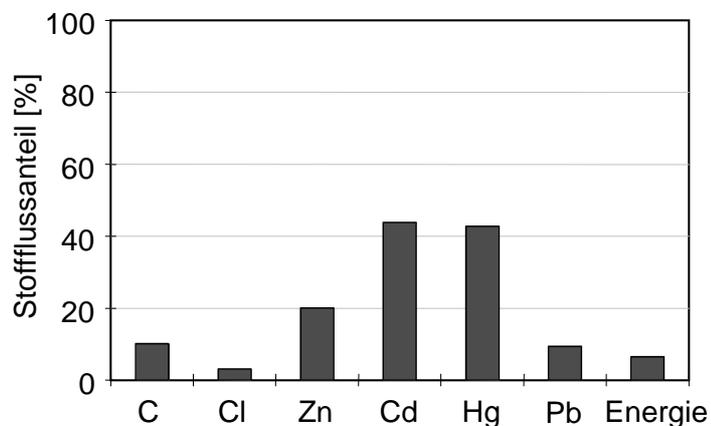


Abbildung 4-1: Geschätzte Anteile nationaler Stoff- bzw. Energieflüsse in brennbaren Abfallfraktionen zum gesamten Verbrauch an Stoffen bzw. Energie in den Prozessen „Produktion“ und „Konsum“ der Anthroposphäre [Morf & Brunner, 1999].

Beispielsweise fließt ein hoher Prozentsatz der in Österreich gebrauchten Schwermetalle Cadmium und Quecksilber über die Abfallwirtschaft, insbesondere in den brennbaren Abfällen. Es ist deshalb außerordentlich wichtig, dass thermische Verfahren, die brennbare Abfälle verarbeiten, für die Abscheidung dieser Stoffe geeignet sind.

Durch die Erstellung von Bilanzen für diese Materialien können folgende Auswirkungen menschlichen Handelns bewertet werden:

- Abfallproduktion und Gefährdungspotenzial der Abfälle
- Abbau von Rohstoffen
- Stoffliche und thermische Wiederverwertungsraten
- Wiederverwertungspotenziale
- Schadstoffemissionen
- Abfallexporte

4.2.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Zielerreichung

Die SFA bildet die Grundlage für die Festlegung von Maßnahmen, die getroffen werden, um die Ziele der Abfallwirtschaft besser zu erfüllen. Mit Hilfe der Stoffflussanalyse ist es möglich, die Auswirkungen bestimmter Maßnahmen zu überprüfen. Bereits vor dem Setzen einer bestimmten Maßnahme oder eines Maßnahmenbündels kann der Systemzustand, der sich danach einstellen wird, „simuliert“ werden. Verschiedene Maßnahmen können so miteinander verglichen werden und eine optimale Auswahl von Maßnahmen vorgeschlagen werden.

- Ansatzpunkte von Maßnahmen
- Priorität für die zeitlich vordringlichsten Maßnahmen, Abfolge von Maßnahmen
- Priorität für die effektivsten Maßnahmen

An welchem Punkt muss angesetzt werden, um eine gesamthafte und effiziente Stoffbewirtschaftung zu erreichen?

Mit Maßnahmen, die am hinteren Ende des Systems ansetzen (Filterstrategie, „End-of-Pipe-Lösungen“) können Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden kurzfristig reduziert werden. Diese Maßnahmen können in erster Linie die durch große, punktförmige Quellen verursachten Probleme lösen. Sie bewirken jedoch auch eine Problemverschiebung, da die „Filterrückstände“ (Klärschlamm, Filterstaub usw.) wiederum entsorgt werden müssen. Von einem volkswirtschaftlichen Gesichtspunkt aus sind die am hinteren Ende des Systems ansetzenden Maßnahmen möglicherweise ineffiziente Instrumente, um Umweltbelastungen zu reduzieren. Es können weder zukünftige Belastungen der Umwelt noch eine Verschwendung von Ressourcen frühzeitig erkannt werden.

Mit der zunehmenden Betrachtung ganzer Produktlebenszyklen hat sich der Schwerpunkt des umweltpolitischen Interesses an Stoffflüssen tendenziell weg von der bloßen Akutgefährdung hin zu längerfristigen Gefährdungs- und Belastungsmechanismen und -szenarien weiterentwickelt. Übergreifende, stoffflussorientierte Gesichtspunkte, wie die der Ressourcenschonung, des nachhaltigen Wirtschaftens oder die Nutzung ökologisch sinnvoller Kreisläufe und Nutzungskaskaden, stehen zunehmend im Vordergrund der Diskussion.

Die Prioritätensetzung für die zeitlich dringendsten und effektivsten Maßnahmen erfolgt aus gesamtheitlicher und nicht aus partikulärer Sicht, damit sind effiziente Entscheidungen und wirtschaftliche Maßnahmen durchführbar. Durch die Integration der Abfallwirtschaft in ein Gesamtsystem Rohstoffabbau – Produktion – Konsum – (Recycling) – Entsorgung wird die Stoffbewirtschaftung möglich.

In einigen Ländern wird versucht, über das Schließen von Kreisläufen v. a. Güter und teilweise auch Stoffe zu bewirtschaften. Oft werden Recyclingquoten für bestimmte Abfälle, z. B. Verpackungen gefordert. Mit Hilfe von Stoffflussanalysen kann gezeigt werden, inwieweit dadurch abfallwirtschaftliche Ziele, z. B. die Ressourcenschonung, erreicht werden können. Die getrennte Sammlung von Abfällen stellt keinen Selbstzweck dar, das Ziel dieser Maßnahmen ist die Erfüllung der Ziele der Abfallwirtschaft. Eine Konsequenz mehrerer Sammelsysteme ist eine erhöhte Regeldichte bezüglich der Verwertung von Abfällen und ein erhöhter Aufwand der privaten Haushalte für

die Sammlung und Bereitstellung von Abfällen. Durch die gesamtheitliche Betrachtung aller für eine Verwertung in Frage kommenden Abfälle können diejenigen Maßnahmen identifiziert werden, die mit den geringsten Mitteln die Erfüllung der Ziele der Abfallwirtschaft sicherstellen. Der Erfolg von Maßnahmen ist daran zu messen, inwieweit sie zur Erfüllung der Abfallwirtschafts-Ziele beitragen.

4.2.3 Prognose (Ex-ante-Evaluierung)

Die SFA eignet sich, um frühzeitig Gefährdungen der Ziele der Abfallwirtschaft (vor allem: Schutz von Mensch und Umwelt sowie Schonung von Ressourcen) zu erkennen. Im Besonderen sind dies die:

- Anreicherung von Schadstoffen in der Umwelt und der Anthroposphäre
- Zu- und Abnahmen von Emissionen
- Schadstoffverlagerungen in Recyclingprodukte usw.
- Akkumulierung bzw. Erschöpfung von Ressourcen in Lagern.

Mit Hilfe der Stoffflussanalyse ist es möglich, zukünftige Entwicklungen zu simulieren. Beispielsweise können mit ihrer Hilfe Stoffe, die sich derzeit im Lager befinden und die in absehbarer Zeit entsorgt werden müssen, identifiziert werden. Art und Menge der zu entsorgenden Stoffe können bereits im Voraus abgeschätzt werden, so dass es möglich ist, rechtzeitig Maßnahmen zu setzen, die eine geordnete, die Ziele der Abfallwirtschaft volkswirtschaftlich optimal erfüllende, Entsorgung gewährleisten. In der FCKW-Studie [Obernosterer, 1994] konnte gezeigt werden, dass sich Methoden, die sich ausschließlich auf direkte Müllanalysen konzentrieren, FCKW-haltige Abfälle erst dann erkennen können, wenn diese bereits in der Abfallwirtschaft anfallen. Trotz dieser, für jeden Stoff zutreffenden Feststellung werden weiterhin die meisten Müllanalysen ohne Stoffflussanalyse durchgeführt. Dies bedeutet, dass durch alleinige Messungen innerhalb der Abfallwirtschaft zukünftige Probleme nicht erkannt werden können. In der FCKW-Studie wurde die SFA als Instrument zur Früherkennung angewendet, indem die noch in Verwendung befindlichen, akkumulierten Mengen (Lager) und die potenziellen zukünftigen Flüsse aus diesen Lagern abgeschätzt wurden. Es konnte gezeigt werden, welche Mengen an FCKW-haltigen Abfällen in Zukunft anfallen.

4.2.4 Effektivität der gesetzten Maßnahmen (Ex-post-Evaluierung)

Auffallend an den durchgeführten Stoffflussanalysen in der Abfallwirtschaft ist, dass sich viele Studien in einem phänomenologischen Ergebnis gleichen. Oft sind gesetzte Maßnahmen an sichtbaren oder offensichtlichen Problemen - gemessen im gesamten System - wenig effizient. Als Beispiele dienen abfallwirtschaftliche Maßnahmen in den Bereichen der FCKW-Entsorgung (Obernosterer, 1994), der Kunststoffabfälle (Fehring,) und der lizenzierten Aluminiumverpackungen (Daxbeck, 2000). Ein Messen der Effizienz von Maßnahmen am gesamten Stoffhaushalt verhindert, dass mit vergleichsweise hohem Aufwand vergleichsweise niedrige Erfolge erzielt werden.

Nachdem eine Maßnahme gesetzt wurde, eignet sich die Stoffflussanalyse andererseits als Instrument zur Überprüfung der „Richtigkeit“ der gewählten Entscheidung.

Vorab modellierte Stoffströme und Transferkoeffizienten können mit den in der Realität gemessenen Werten verglichen werden. Aus den Ergebnissen dieser Evaluation kann dann entweder auf die Richtigkeit der getroffenen Annahmen oder eventuell auf weiteren Forschungsbedarf geschlossen werden.

4.2.5 Überwachung (Monitoring)

Die SFA ist ein Werkzeug, welches Monitoring ermöglicht. Es konnte z. B. mittels SFA-Studien (Morf et al., 1999) gezeigt werden, dass Müllverbrennungsanlagen dafür geeignet sind, die Erfolge abfallwirtschaftlicher Maßnahmen durch ein kontinuierliches, kostengünstiges Monitoring der Abfallzusammensetzung zu kontrollieren.

4.3 Anwendungsmöglichkeiten der SFA in der Abfallwirtschaft

Dieser Abschnitt beschreibt das Potenzial der SFA in der Abfallwirtschaft. Die Ergebnisse der SFA, Material- und Energiebilanzen, können verwendet werden als:

- *Direkte Information für Empfehlungen, Maßnahmen und Schlussfolgerungen*
- *Basis für weiterführende Bewertungen*
- *Basis für Stoffbuchhaltung und Stoffbewirtschaftung*

4.3.1 Material- und Energiebilanzen

Die Material- und Energiebilanzen werden als Flussdiagramme dargestellt und zeigen den Metabolismus von Gütern, Stoffen und Energie. Die Bilanzen enthalten detaillierte Informationen (vgl. Tabelle 4-2) betreffend das Management von Güter- und Stoffflüssen.

Tabelle 4-2: Materialbilanzen und die daraus zu entnehmenden Informationen

Güterbilanz	Energiebilanz	Schadstoffbilanz	Rohstoffbilanz
Abfallproduktion	Energieerzeugung und -verbrauch	Schadstoffemissionen in Atmo- und Hydrosphäre	Abbau von Rohstoffen
Abfallimport und -export	Energetische Verwertung	Schädigungspotenzial von Abfällen	Wiederverwertungsraten
Potenziale, Grenzen und Ausgangspunkte für Maßnahmen zur effektiven Abfallreduktion	Potenziale, Grenzen und Ausgangspunkte für Maßnahmen zur effektiven Energieeinsparung und energetischen Verwertung	Potenziale, Grenzen und Ausgangspunkte für Maßnahmen zur effektiven Reduktion von Umweltverschmutzung	Potenziale, Grenzen und Ausgangspunkte für Maßnahmen zur effektiven Rohstoffschonung
		Identifizierung von verantwortlichen Gütern	Potenziale, Grenzen und Ausgangspunkte für Maßnahmen zu effektivem Recycling. Identifizierung von wieder verwertbaren Gütern.

4.3.2 Mögliche Bewertungsansätze für Stoffflussanalysen

Die Basis der im Folgenden angeführten Bewertungsansätze ist eine Güter- bzw. Stoffbilanz.

Das Ergebnis einer Bewertung ist in der Regel eine Maßzahl, die mit dem Ergebnis von Alternativen verglichen werden kann bzw. deren positive oder negative Änderung registriert wird. Diese Maßzahl kann auf unterschiedlicher Datenbasis aufbauen und verschiedenste Kriterien wie ökonomische, ökologische und soziale berücksichtigen. Die Auswahl eines Bewertungskriteriums ist damit auch mit einer Werthaltung verbunden. In den letzten Jahren wurde eine große Anzahl von Bewertungsinstrumenten entwickelt, die auf der Stoffflussanalyse aufbauen. Ziel dieser Bewertungsinstrumente ist es, aus der Menge an Informationen, die sich aus der Analyse von Güter-, Stoff- und Energieflüssen ergibt, ein zusammenfassendes Urteil zu generieren. Im Folgenden werden hier einige Bewertungsmethoden näher beschrieben.

4.3.2.1 Grenzwertansatz

Eine erste Bewertung von Stoffbilanzen eines Verfahrens kann durch den Vergleich mit bestehenden Emissionsgrenzwerten erfolgen, die in der Regel für gasförmige und flüssige Emissionen vorliegen und im Allgemeinen human- bzw. ökotoxikologisch begründet sind. Bezogen sich Grenzwerte von Anlagen früher lediglich auf die Konzentration von Stoffen z. B. im Abgas, so werden heute zunehmend auch Frachten begrenzt.

Die festen Reststoffe und Emissionen der Verfahren können nicht ausreichend durch Stoffkonzentrationen beurteilt werden, da z. B. eine Grenzwertüberschreitung eines Reststoffes durch Verdünnung mit anderen Materialien vermieden werden kann. Diese Verdünnung widerspricht den Grundsätzen der Abfallwirtschaft. Es ist daher notwendig, sowohl bei den Emissionen als auch den festen Reststoffen die Frachten der Stoffe zu berücksichtigen. Ein frachtbezogener Ansatz ist der folgende als „geogen/anthropogener Referenzansatz“ bezeichnete.

4.3.2.2 Geogen/anthropogener Referenzansatz

In diesem Bewertungsansatz wird der Einfluss anthropogener Flüsse und Lager auf die korrespondierenden geogenen Flüsse und Lager untersucht. Der Referenzansatz berücksichtigt demnach folgende Anforderungen für eine nachhaltige Entwicklung:

- (1) Anthropogen induzierte Materialströme dürfen die globalen Pufferspeicher in den Stoffkreisläufen der Umwelt in ihrer Größe nicht ändern.
- (2) Anthropogene Materialflüsse dürfen die lokale Assimilationsfähigkeit nicht übersteigen und sollen die Schwankungsbreite geogener Flüsse nicht überschreiten.

Beim geogen/anthropogenen Referenzansatz wird demnach der Einfluss der vom Menschen induzierten Frachten auf die Umwelt als Indikator herangezogen. Beispielsweise kann die Veränderung des geogenen Prozesses „Boden“ durch die Emission einer MVA (anthropogen induzierter Materialstrom) untersucht werden.

Gemäß den oben stehenden Anforderungen für eine nachhaltige Entwicklung können Stoffflüsse dann als umweltverträglich bezeichnet werden, wenn sie die geogenen Flüsse und Reservoirs nicht wesentlich verändern. Dies kann in der Regel für Änderungen < 1-10 % der geogenen Flüsse und Reservoirs als gesichert angenommen werden. Die Höhe des gewählten Prozentsatzes ist meist nicht technisch-naturwissenschaftlich begründbar, sondern spiegelt eine Werthaltung bzw. das Sicherheitsbedürfnis einer Gesellschaft (Vorsorgeprinzip) wider.

4.3.2.3 Ansatz der kritischen Volumina

Voraussetzung für die Anwendung dieses Bewertungskriteriums ist die Kenntnis der emittierten Frachten und die Existenz eines Grenzwertes (Konzentrationen), der für die Auswirkung des betrachteten Schadstoffes relevant ist (z. B. Immissionsgrenzwert, MAK⁷-Wert, TRK⁸-Wert u. a.), wobei unterhalb dieses Grenzwertes keine Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit, der Umwelt allgemein oder infrastruktureller Einrichtungen zu erwarten ist.

$$V_{i,j} = \frac{E_{i,j}}{GW_j} \quad \text{Gleichung 4-1}$$

- mit i eine Technik, ein Prozess oder ein System
 j ein Schadstoff, der in die Luft, das Wasser oder den Boden abgegeben wird
 $V_{i,j}$ Kritisches Volumen für den Schadstoff j bei der Technik i
 $E_{i,j}$ freigesetzte Menge des Schadstoffes j durch Technik i
 GW_j geeigneter Grenzwert für den Schadstoff j

Das kritische Volumen $V_{i,j}$ ist ein Maß dafür, wieviel das betrachtete Umweltmedium (Luft, Wasser oder Boden) mit dem Schadstoff j verunreinigt werden kann, ohne dass die betrachtete Grenzkonzentration für den Schadstoff j überschritten wird. Das kritische Volumen $V_{i,j}$ verknüpft die Emissionsseite mit der Immissionsseite und ermöglicht so den Vergleich verschiedener Techniken oder Prozesse.

Mit dem Ansatz der kritischen Volumina können verschiedene (Schad)stoffe zueinander in Beziehung gesetzt werden und deren kritische Einzelvolumina zu einem kritischen Gesamtvolumen (für die Umweltkompartimente Luft, Wasser und Boden) aggregiert werden. Kritische Volumina sind für Szenarienvergleiche, die auf Stoffflussanalysen beruhen, sehr gut geeignet.

$$V_i = \sum_{j=1}^n V_{i,j} \quad \text{Gleichung 4-2}$$

- mit V_i Kritisches Volumen für eine bestimmte Technik, einen Prozess oder ein System unter Berücksichtigung aller Schadstoffe $j=1...n$ durch diese Technik. V_i gibt die Belastung durch alle Schadstoffe, die durch die Anwendung einer Technik emittiert werden, wider.

⁷ MAK – Maximale Arbeitsplatzkonzentration

⁸ TRK – Technische Richtkonzentration

4.3.2.4 Ansatz der Stoffkonzentrierungseffizienz SKE

Jedes biologische oder technische System (Mensch, Abfallbehandlungsverfahren) kann einen Stoff entweder mehrheitlich verdünnen oder konzentrieren. „Mehrheitlich“ ist dabei folgendermaßen zu verstehen: Ein System erzeugt in der Regel mehrere verschiedene Outputgüter (z. B. Produkte, Abfälle, Emissionen) und diese können einzeln für sich gesehen sehr unterschiedliche Konzentrationen von Stoffen aufweisen. So ist z. B. das mit dem Restmüll importierte Cadmium im Reingas einer MVA verdünnt und in der Flugasche konzentriert. Die entscheidende Frage ist aber, ob das System MVA mehrheitlich Cadmium verdünnt oder konzentriert.

Das Gebot zur Konzentrierung von anorganischen (Schad)stoffen ist auch in den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes implizit verankert: Um den Schutz von Mensch und Umwelt sicherstellen zu können, dürfen Emissionen der Abfallwirtschaft Atmosphäre und Hydrosphäre nur gering belasten. So müssen Schadstoffe, welche nicht zerstört werden können (z. B. Schwermetalle), in die festen Reststoffe von Abfallbehandlungsverfahren transferiert werden. Diese Reststoffe können entweder deponiert oder als Ressource verwendet werden. Um Reststoffe gesichert nachsorgefrei ablagern zu können, müssen sie entweder erdkrustenähnliche Zusammensetzung aufweisen oder hoch konzentriert, immobilisiert und damit in kleiner Masse in speziell überwacht und ausgestatteten Deponien eingebracht werden.

Eine Methode, welche nun die Stoffverdünnung bzw. -konzentrierung eines Verfahrens quantifiziert, ist der Ansatz der Stoffkonzentrierungseffizienz (SKE) [Rechberger, 1999]. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe der statistischen Entropie, welche die Streuung von Verteilungen quantifiziert. Ein System transformiert Verteilungen der Stoffkonzentrationen (c) und Massenflüsse (\dot{m}). Diese Transformation kann anhand der statistischen Entropie quantifiziert werden (Stoffverdünnungszahl SVZ) und wird als Stoffkonzentrierungseffizienz SKE des Verfahrens bzw. Systems bezeichnet. Dieser Bewertungsansatz eignet sich nicht nur zum Vergleich von Verfahren, sondern auch zur Optimierung und zur Gestaltung neuer Verfahren.

4.3.2.5 Materialinput pro Serviceeinheit (MIPS)

Der Bewertungsansatz „Materialinput pro Serviceeinheit“ MIPS [Schmidt-Bleek & Klütting, 1993], [Schmidt-Bleek & Behrensmeier, 1998] ergibt ein Maß für den aggregierten Massenfluss an Gütern, der durch eine Dienstleistung (z. B. Haarschnitt, Transport) entsteht. Ist diese Serviceeinheit definiert, werden alle dafür benötigten Materialien (Inputgüter) und deren Massen bestimmt. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus des Bewertungsobjektes zu erfassen. Diese Materialbilanz gliedert die Inputs in fünf Kategorien: abiotische und biotische Rohstoffe, Bodenbewegungen, Wasser und Luft. Zusätzlich wird der „ökologische Rucksack“ dieser Materialien berücksichtigt, d. h. es wird der Energie- und Rohstoffverbrauch für die Gewinnung, Aufbereitung, Transport und Verarbeitung und auch der Aufwand für die Herstellung und Erhaltung der nötigen Infrastruktur mitquantifiziert. Das MIPS-Konzept definiert das Vorgehen, wie die Erhebung der Inputgüter zu erfolgen hat, wie und wo die Systemgrenzen zu ziehen sind und wie mit einer unzureichenden Datenlage umzugehen ist.

Für abfallwirtschaftliche Problemstellungen ergibt sich zuallererst die Frage nach der Definition einer geeigneten Serviceeinheit. Diese könnte z. B. die Entsorgung einer Tonne Restmüll sein. Da sich das MIPS-Konzept auf die Ebene der Güter beschränkt, scheint es für erste Abschätzungen des Aufwands von Entsorgungsvarianten geeignet zu sein (z. B. Treibstoff für die Sammlung, Hilfsstoffe und Betriebsmittel des Abfallbehandlungsverfahrens). Da jedoch nur der Input und nicht der Output sowie keine Inhaltsstoffe bewertet werden, ist das MIPS-Konzept zur Bewertung von Güterbilanzen in der Abfallwirtschaft nicht geeignet. Zur Bewertung von Stoffbilanzen ist die Methode aufgrund ihres Konzeptes und ihrer Struktur nicht anzuwenden.

4.3.2.6 Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) oder Ökobilanzen sind ursprünglich Methoden, um die Umweltauswirkungen von Produkten zu bestimmen. Eine LCA besteht gemäß Norm [ÖN EN ISO 14040, 1997] aus einem Bilanzierungsziel, einer Sachbilanz, einer Wirkungsbilanz (Klassifizierung und Abschätzung) und einer Bilanzauswertung.

Die Sachbilanz besteht aus einer Energie- und Massenbilanz inkl. der wesentlichen Schadstoffemissionen in Luft und Wasser sowie dem Anfall an Abfällen und dem Flächenverbrauch. Die Wirkungsbilanz besteht aus den beiden Teilschritten Klassifizierung und Abschätzung („Characterisation“). Unter Klassifizierung versteht man die Zuordnung der Ergebnisse der Sachbilanz zu vorgegebenen „Umweltwirkungskategorien“ (z. B. Inanspruchnahme von Ressourcen, Treibhauseffekt, Ozonabbau, Human- und Ökotoxizität etc.). Die Abschätzung beinhaltet die Berechnung der einzelnen Wirkungskategorien. In der Bilanzauswertung werden die Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz mit Ziel und Rahmen zusammengeführt, um Empfehlungen und Schlussfolgerungen abzugeben. Optional können die unterschiedlichen Wirkungskategorien auch gewichtet und zu einem finalen Bewertungswert aggregiert werden. Dies hat sich jedoch in der Praxis aufgrund unterschiedlicher Gewichtungsschlüssel und dem subjektiven Einfluss bei der Auswahl der Gewichtungsschlüssel nicht bewährt.

Bei Kombination von SFA und LCA werden einzelne Umweltwirkungskategorien für die Bewertung ausgewählt. Die Bilanzen der SFA können direkt oder als Ausgangsbasis für die LCA-Sachbilanz verwendet werden. Ob die SFA-Bilanzen ergänzt werden müssen, hängt von den Anforderungen der gewählten Umweltwirkungskategorien ab.

4.3.2.7 Methode der ökologischen Knappheit (Ökofaktoren, Umweltbelastungspunkte)

Die Wurzeln der Methode der ökologischen Knappheit gehen in die Schweiz [Müller-Wenk, 1978] zurück und wurden letztmalig von Braunschweig [Braunschweig & Müller-Wenk, 1993] überarbeitet. Die Methode der ökologischen Knappheit geht davon aus, dass jedes Umweltmedium nur bis zu einem bestimmten Grad mit Schadstoffen belastet werden darf. Unter der ökologischen Knappheit wird in diesem Zusammenhang das Verhältnis zwischen der beschränkten Belastbarkeit der natürlichen Umwelt und dem Ausmaß der von der menschlichen Zivilisation ausgehenden Einwirkungen auf diese Umwelt, verstanden. Vom Menschen verursachte Einwirkungen auf die Umwelt sind z. B. Kohlendioxid-, Stickoxid- oder Schwermetallemissionen. Diese belasten die natürliche Umwelt, welche in der Methode der ökologischen Knappheit durch die

Kompartimente Luft, Wasser, Boden und dem Ressourcenverbrauch der Primärenergiebereitstellung beschrieben werden. Nicht bewertbar sind nicht energetische Ressourcen.

Die dominante Größe der Methode der ökologischen Knappheit ist der Knappheitsfaktor (Ökofaktor), welcher die Knappheit der Umweltmedien und der Ressourcen zum Ausdruck bringt. Dieser Faktor wird mittels der nachstehenden Formel berechnet.

$$\text{Ökofaktor} = \frac{1(\text{UBP})}{F_k} * \frac{F}{F_k} * c \quad \left[\frac{\text{ÖP}}{\text{g}} \right]$$

F.....aktueller Fluss (g)
 F_k.....kritischer Fluss (g)
 ÖP.....Ökopunkte
 UBP... Umweltbelastungspunkte
 c..... dimensionsloser Faktor (10¹²)

Der aktuelle Fluss (F) repräsentiert die Umwelteinwirkung pro Zeiteinheit in der jeweils betrachteten Region (z. B. Österreich), wobei im Regelfall das Bezugsintervall ein Jahr ist. Der kritische Fluss spiegelt die ökologisch gerade noch als zulässig erachtete Emissionsmenge pro Zeiteinheit (ein Jahr) wider und ist idealerweise als ökologische Zielvorgabe in einer Gesetzesmaterie (Immissionsgrenzwerte) verankert.

Der Ökofaktor setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, welche die ökologische Relevanz bzw. die ökologische Knappheit zum Ausdruck bringen:

$\frac{\text{akt. Fluß}}{\text{krit. Fluß}} \Rightarrow$ Je größer das Verhältnis vom aktuellen zum kritischen Fluss ist, umso größer ist der Ökofaktor. Durch dieses Verhältnis wird die ökologische Bedeutung zum Ausdruck gebracht, die von der Menge über den kritischen Fluss ausgeht.

$\frac{1}{\text{krit. Fluß}} \Rightarrow$ Dieser Faktor berücksichtigt die Umwelteinwirkungsart in Bezug auf ihre Umweltbelastung. Weisen zwei Umwelteinwirkungsarten das gleiche Verhältnis vom aktuellen zum kritischen Fluss auf, dann ist jene Einwirkungsart ökologisch belastender, welche den kleineren kritischen Fluss hat. Durch diesen Ausdruck wird die ökologische Schädlichkeit – je schädlicher die Umwelteinwirkungsart umso sensibler reagiert die natürliche Umwelt – abgebildet.

Die Methode der ökologischen Knappheit ist eine grenzwertorientierte Methode und erfasst demnach Materialien mit hoher umweltpolitischer Relevanz. Die Ökofaktoren für Österreich wurden im Jahr 1999 berechnet [Staber & Hofer, 1999], [Plas et al., 1999].

Um eine MFA mit der ökologischen Knappheit zu bewerten, müssen die Materialbilanzen zu Sachbilanzen adaptiert werden. Hierbei ist besondere Rücksicht auf das Zusammenpassen der Systemgrenzen der MFA und der Sachbilanz zu nehmen. Die Bewertungsmethode ist besonders dann zweckmäßig, wenn das Ziel der Untersuchung die Betrachtung des gesamten Lebenswegs „from cradle to grave“ der Güter zur Aufgabe hat.

Die Material- und Energieströme der Sachbilanz, die auf der MFA aufbaut, werden mit den Ökofaktoren bewertet und zur Gesamtökopunktezahl addiert. Jene Alternative

(Produkt, Prozess, Unternehmen) mit der vergleichsweise höheren Punktezahl ist als ökologisch schlechter einzustufen.

4.3.2.8 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Das Konzept des kumulierten Energieaufwandes wurde vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) entwickelt [VDI 4600, 1997]. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der in Zusammenhang mit der Herstellung (KEA_H), Nutzung (KEA_N) und Entsorgung (KEA_E) eines Produktes oder einer Dienstleistung entsteht.

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E$$

- *Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung: KEA_H*
Erfasst Energieaufwendungen, die sich bei der Herstellung selbst sowie bei der Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung der Fertigungs-, Hilfs- und Betriebsstoffe und Betriebsmittel ergeben.
- *Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung: KEA_N*
Berücksichtigt den Betriebsenergieverbrauch, den Energieaufwand für die Herstellung und Entsorgung von Ersatzteilen, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie von Betriebsmitteln, die für Betrieb und Wartung erforderlich sind.
- *Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung: KEA_E*
Ist die Summe der Energieaufwendungen zur Bereitstellung der Entsorgungseinrichtungen, der eigentlichen Entsorgung des Produktes, aber auch der produktbedingten Hilfs- und Betriebsstoffe.

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung des kumulierten Energieaufwandes ist die eindeutige Festlegung der Bilanzgrenzen vor dem Untersuchungsbeginn. Für den betrachteten Bilanzraum werden die grenzüberschreitenden Energie- und Materialströme erfasst. Die Materialbilanz ist insofern notwendig, da sie die Grundlage für die Ermittlung stofflich bedingter Energieverbräuche ist. So müssen einem Rohstoff neben der für seine Bereitstellung benötigten Energie (Gewinnung, Aufbereitung, Transport etc.), auch Energieverbräuche aus Prospektion, Exploration, Errichtung von Transportwegen und Anlagen usw. anteilmäßig zugerechnet werden. Die energetischen Aufwendungen teilen sich in die direkten prozessbedingten Energieaufwendungen und den indirekten, nur über Schlüssel und Abschreibung zuweisbaren Aufwand, der für die Bereitstellung des Prozesses notwendigen Geräte, Maschinen und Anlagen und die Rahmenbedingungen des Umfelds notwendig ist (Heizung, Beleuchtung, Kantine, Verwaltung etc.).

Das Ergebnis dieser Bewertungsmethode ist der kumulierte Energieaufwand eines Produktes oder einer Dienstleistung in Joule. Jenes Produkt bzw. jene Dienstleistung mit dem kleineren KEA-Wert ist aus methodenspezifischer Sicht als ökologisch besser einzustufen. Neben einem Vergleich mit möglichen Produktalternativen liefert der KEA-Wert Hinweise auf die energieoptimale Wahl von Werkstoffen und der Prozesstechnik, die energetische Bedeutung von Kreislaufführungen und des Recyclings sowie die energieoptimierte Nutzungsdauer ökonomischer Güter. Vielfach wird diese Methode zur ökologischen Gesamtbeurteilung von Produkten herangezogen. Es be-

steht jedoch eine große Unsicherheit, inwieweit eine Korrelation zwischen dem Energieverbrauch und der Gesamtheit der Umweltbeeinflussung besteht.

Um den heutigen Standards für Ökobilanzen sowie nationalen und internationalen Energiestatistiken zu genügen, wurde die KEA-Methode im Rahmen eines Forschungsprojekts des Umweltbundesamtes Berlin weiterentwickelt [Fritsche et al., 1999].

Wichtigste Neuerungen der verbesserten Methode sind:

- (1) Unterscheidung von KEA_{Summe} (gesamter KEA) und den Komponenten
 $KEA_{\text{nichtererneuerbar}}$ = fossile + nukleare Primärenergien
 $KEA_{\text{erneuerbar}}$ = regenerative Primärenergien
 KEA_{andere} = energetisch genutzte Reststoffe (z. B. Müll)
- (2) Der fortentwickelte KEA klammert den Energieinhalt von Brennstoffen aus, die stofflich genutzt werden (z. B. Bauholz), und setzt definitorisch den Nutzungsgrad jeder Primärenergiegewinnung auf 100 % (z. B. Bergbau, Solarzelle, Wasserkraftwerk).

4.3.2.9 ECO-Indikator 99

Der ECO-Indikator 99 [Goedkoop & Spriensma, 2000], [Goedkoop et al., 2000] ist als Instrument für den Designer (Planer) und Produktmanager entwickelt worden, um die ökologischen Aspekte von Produkten entlang des Lebensweges bewerten zu können. Bei der Erstellung der ECO-Indikatoren wird die Umwelt durch die drei Kategorien menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen und die dabei auftretenden Schäden abgebildet.

- Menschliche Gesundheit: Unter dieser Kategorie wird die Anzahl und Dauer von Seuchen und die verlorenen Jahre, welche auf den vorzeitigen Tod durch Umwelteinflüsse zurückzuführen sind, zusammengefasst. Die Beschreibung dieser Schäden erfolgt durch die Kanzerogenität, Atmungsbeschwerden durch organische und anorganische Stoffe, Klimaveränderung, radioaktive Strahlung und Ozonschichtzerstörung.
- Qualität des Ökosystems: Zur Beschreibung der Qualität werden die Effekte Ökotoxizität, Versauerung, Eutrophierung und Landnutzung herangezogen, welche auf die verschiedensten Pflanzen und Organismen unterschiedliche Auswirkungen haben.
- Ressourcen: Unter dieser Kategorie wird die Mehrenergie herangezogen, die benötigt wird, um in der Zukunft mineralische und fossile Rohstoffe gewinnen zu können. Die Beeinträchtigung der Landwirtschaft sowie der Ressourcen Sand, Kies etc. werden unter der Landnutzung berücksichtigt.

Derzeit gibt es standardisierte Indikatoren für Emissionen in die Luft und das Wasser, Ressourcenverbräuche (Rohstoffe und Energieträger) sowie Flächenverbräuche. Zur Berechnung der Indikatoren wurden primär durchschnittliche europäische Daten herangezogen. Die Ausnahmen stellen die Indikatoren für die Deponierung und thermische Verwertung dar, welche auf Basis Schweizer Daten berechnet wurden.

Um eine MFA mit der ECO-Indikator-Methode zu bewerten, müssen die Materialbilanzen zu Sachbilanzen adaptiert werden. Hierbei ist besondere Rücksicht auf das Zusammenpassen der Systemgrenzen der MFA und der Sachbilanz zu nehmen. Die Bewertungsmethode ist besonders dann zweckmäßig, wenn das Ziel der Untersuchung die Betrachtung des gesamten Lebenswegs „from cradle to grave“ der Güter zur Aufgabe hat.

Die ECO-Indikator-Methode führt die Daten der Sachbilanz direkt in eine Vollaggregation über. Dabei werden die Materialien und Energie der Sachbilanz mit dem jeweiligen ECO-Indikator multiplikativ verknüpft. Das Ergebnis sind ECO-Punkte (dimensionslos) für die jeweiligen Materialien und Energie. Die ECO-Punkte je Material und Energie können zu einer Gesamtpunktezahl zusammengefasst werden, welche die ökologische Bedeutung der jeweiligen Alternative zum Ausdruck bringt. Je höher die Punktezahl eines Produktes im Vergleich zu anderen ist, um so ökologisch schlechter ist die Alternative einzustufen.

4.3.3 Stoffbuchhaltung

Die Durchführung von Stoffflussanalysen ist in der Regel mit hohem Aufwand verbunden. Eine elegante und kostengünstige Möglichkeit der periodischen Ermittlung relevanter Stoffflüsse bietet die Stoffbuchhaltung. Anhand weniger, sorgfältig ausgewählter Güter- oder Stoffflüsse, die leicht messbar sind, wird auf den gesamten Fluss eines Stoffes geschlossen. Die Kenntnis der relevanten Schlüsselprozesse, anhand derer auf den Gesamtstofffluss geschlossen werden kann, ist eine Grundvoraussetzung für die Etablierung einer Stoffbuchhaltung und kann mit Hilfe einer Stoffflussanalyse gewonnen werden. D. h. wenn einmal eine Stoffflussanalyse durchgeführt wurde, kann eine laufende Stoffbuchhaltung eingeführt werden [Daxbeck et al., 1998].

Die Stoffbuchhaltung wird als Ergänzung zu bestehenden Monitoringmethoden eingesetzt und bildet die Grundlage für die Stoffwirtschaft⁹. Stoffwirtschaft bedeutet, dass Potenziale gefunden und genutzt werden, Schadstoffe gefunden und reduziert, substituiert oder vermieden werden. Eine Stoffwirtschaft hat einen direkten Einfluss auf die Gestaltung und die Produktion und damit einen indirekten Einfluss auf die Entsorgung am Ende der Lebensdauer der Produkte.

4.4 Implementierung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft

In diesem Kapitel wird beispielhaft darauf verwiesen, in welchen Gesetzen, Normen, Regelungen oder Veröffentlichungen der Einsatz von Input-Output-Analysen bzw. Stoffflussanalysen bereits jetzt vorgeschrieben oder zumindest empfohlen wird.

⁹ 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 deren Behandlung und Ablagerung in den Abfällen Einfluss genommen werden kann.

In Nordrhein-Westfalen (D) wurde im Herbst 2000 in einem Erlass die Stoffflussanalyse explizit als Grundlage zur abfallrechtlichen Beurteilung von thermischen Entsorgungsmaßnahmen in Genehmigungsverfahren genannt. Bei Verwertungsprozessen ist darauf zu achten, dass das stoffliche Problem nicht verlagert oder verteilt wird. Das bedeutet, dass keine Anlagen ohne genaue Kenntnis der Transferkoeffizienten für alle relevanten Stoffe realisiert werden dürfen. Für Betriebe hat dieser Erlass zur Folge, dass sie mittels einer Stoffflussanalyse nachweisen müssen, dass die Verwertung von Abfällen zu keiner Umweltbeeinträchtigung führt [Ministerium für Umwelt, 2000].

Diese Forderung findet sich im AWG 2002 in den Zielen in ähnlicher Form ebenfalls wieder: „Bei einer stofflichen Verwertung dürfen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential haben als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen“. Die Prüfung der Einhaltung dieses Zieles kann mittels Stoffflussanalysen erfolgen [BGBl 102/2002, 2002].

Stoffwirtschaftliche Aspekte bilden einen wichtigen Ansatz für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001. Im Bundesabfallwirtschaftsplan wird gefordert, dass Stoffflussanalysen für die Abfallwirtschaft einzusetzen sind. Beispielsweise sind Güter- und Stoffflussanalysen für die Beurteilung der zwischenzeitlich aufgebauten Lager einzusetzen. Weiters wird gefordert, dass für die volkswirtschaftlich und abfallwirtschaftlich mengenmäßig wichtigsten Güter- und Stoffbilanzen zu erstellen sind, denn nur mit diesem Wissen ist garantiert, dass die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen auch im Rahmen der gesamten Volkswirtschaft effizient und wirtschaftlich sinnvoll sind [BMLFUW, 2001].

Branchen- und Abfallwirtschaftskonzepte stellen eine Möglichkeit dar, Stoffflussanalysen einzusetzen. Anhand von Stoffflussanalysen können die richtigen, wirkungsvollen Entscheidungen bezüglich der Vermeidung, Verwertung und umweltverträglichen Entsorgung getroffen werden. Auch Umweltverträglichkeitserklärungen müssen Stoffbilanzen enthalten. Nur mittels Stoffbilanzen, die den Abfallinput anhand der Transferkoeffizienten mit dem Output verknüpfen, können Emissionsprognosen im Detail nachgeprüft werden und allenfalls notwendige Maßnahmen vorgeschlagen werden [BMLFUW, 2001].

Im Nationalen Umwelt Plan (NUP) wird eine aktive Bewirtschaftung der Stoffe nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und der langfristigen Umweltverträglichkeit gefordert. Erneuerbare Rohstoffe sollen nur in dem Maße, wie sie nachwachsen, genutzt werden. Die natürlich vorhandenen Konzentrationen und Flüsse von Stoffen in Wasser, Boden und Luft sollen durch den menschlichen Beitrag nicht wesentlich verändert werden. Der Abfallwirtschaft kommt hier eine große Bedeutung zu, da sie als einziger Wirtschaftszweig in der Lage ist, Stoffe über Deponien oder in letzten Senken umweltverträglich zu sammeln. Dazu müssen aber die relevanten Stoffflüsse bekannt sein. Auf diese Weise können die quantitativen und qualitativen Probleme der Abfall- und der Rohstoffwirtschaft gemeinsam behandelt und gelöst werden. Als Maßnahme zur Verbesserung der Kenntnis der Stoffströme wird im NUP die Stoffbuchhaltung vorgeschlagen. Diese Forderung wurde bereits für den BAWP 1995 aufgestellt [Österreichische Bundesregierung, 1995].

Das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz enthält im § 6 genaue Anweisungen, welche Angaben die Umweltverträglichkeitserklärung zu enthalten hat. Beispielsweise

sind Angaben bezüglich der Art und Menge der zu erwartenden Rückstände und Emissionen (Belastung des Wassers, der Luft und des Bodens, Lärm, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlung usw.), die sich aus der Verwirklichung und dem Betrieb ergeben, zu machen. Weiters soll eine Beschreibung der möglichen erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt, infolge der Nutzung der natürlichen Ressourcen, der Emission von Schadstoffen, der Verursachung von Belästigungen und der Art, Menge und Entsorgung von Abfällen erfolgen [BGBl 697/1993 i.d.g.F, 2002]. Auch in diesem Falle ist der Einsatz von Güter- und Stoffflussanalysen eine effiziente Möglichkeit, die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen.

Schlussendlich soll noch auf den UVE-Leitfaden des Umweltbundesamtes hingewiesen werden, in dem empfohlen wird, im Rahmen einer UVE die Stoffflüsse zu bilanzieren, d. h.. eine Stoffflussanalyse durchzuführen [Brandl et al., 2002].

5 Fallstudien

Die zwei nachfolgenden Fallstudien sollen anhand konkreter Beispiele aus der Abfallwirtschaft zeigen, wie die Methode der Stoffflussanalyse praktisch angewendet wird. Es werden alle methodischen Arbeitsschritte beschrieben, die für das jeweilige System relevanten Prozesse und Güter ausgewählt, beschrieben und miteinander verknüpft und die Systemgrenzen gezogen. Weiters werden die Systeme grafisch dargestellt und soweit vorhanden, mit Durchschnittszahlen versehen. Die sich aus dem Beispiel Müllverbrennungsanlage ergebenden Transferkoeffizienten können im Falle des Fehlens realer Daten als Schätzungen verwendet werden. Der Schwerpunkt der Fallstudien liegt bei der Demonstration der Methode und nicht bei den Resultaten. Diese können je nach Bewertungsschritt, der nicht Gegenstand der Stoffflussanalyse ist sondern dieser folgt, unterschiedlich ausfallen. Je nach Fragestellung kann die Güter- oder Stoffflussanalyse auch mit einem wesentlich geringeren Aufwand durchgeführt werden.

5.1 Beispiel: Stoffflussanalyse einer Müllverbrennungsanlage

Das vorliegende Beispiel beschreibt die Anwendung der Stoffflussanalyse auf eine Müllverbrennungsanlage (MVA). Das methodische Vorgehen wird anhand einer konkreten Müllverbrennungsanlage A erläutert, es eignet sich jedoch grundsätzlich für Verbrennungsanlagen, wie beispielsweise Zementdrehrohr- oder Wirbelschichtöfen.

5.1.1 Fragestellung

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Wie verteilt sich der Input (Restmüll) in die Müllverbrennungsanlage A auf die Produkte der Verbrennung (Transferkoeffizienten auf Güterebene)?
- Wie hoch ist die Konzentration von Kohlenstoff, Chlor und Cadmium im Restmüll?
- Wie verteilen sich die Stoffe Kohlenstoff, Chlor und Cadmium im Restmüll auf die Produkte der Verbrennung (Transferkoeffizienten auf Stoffebene)?

5.1.2 Systemdefinition

In einem ersten Schritt wird das System definiert. Eine Müllverbrennungsanlage besteht aus einer Vielzahl von Anlageteilen. Zur Beantwortung der gestellten Frage genügt es, das System Müllverbrennungsanlage in folgende drei Hauptprozesse zu unterteilen:

1. Prozess **Ofen** bestehend aus Einfülltrichter, Rost, Kessel und Entschlackung inklusive Schlackenausstrag.

2. Prozess **Elektrofilter**, bestehend aus den Filtern und dem Filteraustragssystem.
3. Prozess **weitergehende Rauchgasreinigung inklusive Abwasserreinigung**, bestehend aus der sauren Wäsche, der alkalischen Wäsche, der Denox-Anlage und der Abwasserreinigung inklusive Schlammmentwässerung.

Die räumliche Systemgrenze wird durch die drei Hauptprozesse der Müllverbrennungsanlage bestimmt. Der Müllbunker sowie die Vorratsbehälter für Chemikalien etc. befinden sich daher außerhalb des Systems. Als zeitliche Grenze wird ein Kalenderjahr herangezogen. In keinem der Prozesse befindet sich ein Lager.

Die Abbildung 5-1 zeigt die Systemdefinition der Müllverbrennungsanlage A.

In den Tabelle 5-1 bis Tabelle 5-3 sind die Güterlisten für die 3 Prozesse dargestellt. Neben den Input- und Outputgütern sind die Herkunfts- und Zielprozesse angeführt und beschrieben.

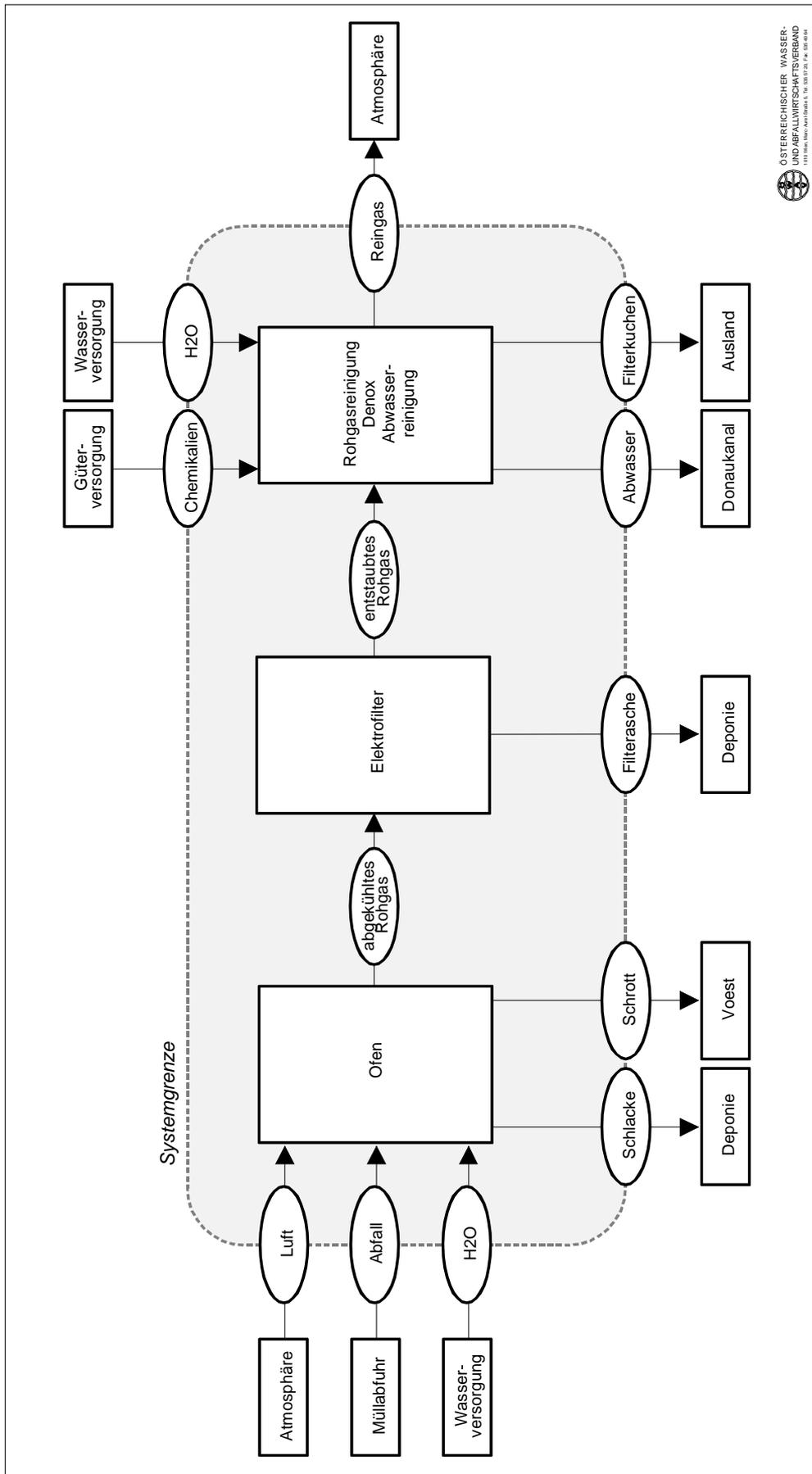


Abbildung 5-1: Systemdefinition einer Müllverbrennungsanlage

Tabelle 5-1: Güterliste für den Prozess „Ofen“

Ofen				
Dieser Prozess besteht aus dem Einfülltrichter, Rost, Kessel und Entschlackung inklusive Schlackenaustrag				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Müllbunker	Restmüll	Ofen	der zur Behandlung/Verwertung übergebene Abfall
	Atmosphäre	Zuluft	Ofen	als Verbrennungsluft für die primäre und sekundäre Feuerung
	Wasserversorgung	Frischwasser I	Ofen	zur Kühlung der Schlacke
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Ofen	abgekühltes Rohgas	Elektrofilter	Abgas aus dem Verbrennungsprozess
	Ofen	Schlacke	Reststoffdeponie	Hauptreststoff der Verbrennung vom Magnetabscheider in der MVA aus der Schlacke herausgeholt
	Ofen	Schrott	Recycling	

Tabelle 5-2: Güterliste für den Prozess „Elektrofilter“

Elektrofilter				
Dieser Prozess besteht aus dem Elektrofilter und den Filteraustragsystem				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Ofen	abgekühltes Rohgas	Elektrofilter	Abgas aus dem Verbrennungsprozess
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Elektrofilter	entstaubtes Rohgas	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Rohgas vor der nassen Reinigungsstufe
	Elektrofilter	Elektrofilterstaub	Untertagedeponie	aus dem Elektrofilter

Tabelle 5-3: Güterliste für den Prozess „Weitergehende Rauchgasreinigung inklusive Abwasserreinigung“

Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung				
Dieser Prozess besteht aus der sauren und alkalischen Wäsche, der Denoxanlage und der Abwasserreinigung inklusive Schlammwässerung				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Elektrofilter	entstaubtes Rohgas	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Rohgas vor der nassen Reinigungsstufe
	Wasserversorgung	Frischwasser II	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	für die nasse Reinigungsstufe
	Vorratsbehälter für Chemikalien	Chemikalien	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Natronlauge, Kalk
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Reingas	Atmosphäre	gereinigtes Abgas
	Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Abwasser	Vorfluter	gereinigtes Abwasser
Weitergehende Rauchgasreinigung inkl. Abwasserreinigung	Filterkuchen	Untertagedeponie	aus der Abwasseraufbereitung	

5.1.3 Notwendige Anpassungen des Systems bei anderen thermischen Anlagen

Für die Bilanzierung von anderen thermischen Verbrennungsanlagen sind folgende Änderungen vorzunehmen:

Im Falle eines Zementwerkes wird der Restmüll durch die Inputgüter *primäre* (Kohle) und *sekundäre* (Kunststoff, Altreifen etc.) *Brennstoffe* ersetzt. Das Outputgut *Schlacke* fällt in einem Zementwerk nicht an und das Outputgut *Schrott* wird durch das Gut *Zement* ersetzt. Frischwasser und Abwasser sind bei einem Zementwerk nicht notwendig bzw. vorhanden. Die beiden Prozesse für die Rauchgasreinigung (Elektrofilter und weitergehende Rauchgasreinigung) können zu einem zusammengefasst werden, wobei die Filterasche bei einem Zementwerk in der Regel wieder dem Prozess Verbrennung zugeführt wird.

5.1.4 Güterbilanz

Die folgende Anleitung für die Bilanzierung der Müllverbrennungsanlage basiert auf der Vorgehensweise im Projekt MAPE „Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage“ [Schachermayer et al., 1994]. Die Probenahme erfolgte während eines Versuchszeitraumes von 48 Stunden. Daher sind die Rohdaten mit diesem Zeitbezug versehen. Für die Darstellung der Resultate werden die Ergebnisse, wie in der zeitlichen Grenze festgelegt, auf ein Jahr bezogen. Die nachstehenden Berechnungen werden insofern vereinfacht durchgeführt, dass lediglich mit Mittelwerten gerechnet wird. Weiters werden die Zwischenergebnisse auf zwei signifikante Stellen gerundet. Bei den darauf folgenden Berechnungsschritten werden diese gerundeten Zahlen verwendet. Dies erhöht die Nachvollziehbarkeit, die Resultate können aber dadurch geringfügig von denen im angeführten Bericht abweichen.

5.1.4.1 Inputgüter der Müllverbrennungsanlage

Restmüll

Der zur Verbrennung angelieferte Restmüll wird samt Müllfahrzeug mittels Brückenswaage gewogen und in einem separaten Teil des Bunkers abgeladen. Um sicherzustellen, dass die während des Versuchszeitraumes gezogenen Proben von Schlacke, Elektrofilterasche, Abwasser und Filterkuchen repräsentativ für den verbrannten Müll sind, muss die Anlage einige Stunden vor Versuchsbeginn mit dem angelieferten Restmüll beschickt werden. Die nach Versuche noch im Bunker verbleibende Müllmenge kann anhand des Volumens und der Müllschüttdichte abgeschätzt werden. Innerhalb des Versuchszeitraumes von 48 Stunden wurden 1.900 t Restmüll verbrannt.

Alternativ zu dieser Vorgehensweise kann man den Kran mit einer Seilwaage ausrüsten und die in den Trichter eingefüllte Müllmasse auf diese Art bestimmen.

Zuluft

Die Masse der zugeführten Primär- und Sekundärluft wird in der Warte kontinuierlich aufgezeichnet. Im Versuchszeitraum wurden 6,7 Mio. Nm³ Luft zugeführt. Bei einer Dichte von Luft von 1,3 kg/Nm³ wurden demnach 8.700 t Luft zugeführt.

Chemikalien

Der am Vorratsbehälter ablesbare Verbrauch an Natronlauge betrug 6,1 t, der Kalkverbrauch 9,0 t.

Wasserzufuhr

Die Wasserzufuhr zur Anlage kann an der Wasseruhr abgelesen werden. Er betrug 1.200 m³. Bei einer Dichte von 1,0 t/m³ wurden demnach 1.200 t Wasser zugeführt.

5.1.4.2 Outputgüter der Müllverbrennungsanlage

Schlacke und Schrott

Die Masse der anfallenden Schlacke und des am Magnetabscheider in der MVA abgetrennten Schrotts wird durch Abwiegen der Fahrzeuge auf einer Brückenwaage vor und nach der Beladung bestimmt. Im Versuchszeitraum fielen 440 t Schlacke und 53 t Schrott an.

Elektrofilterstaub

Der anfallende Elektrofilterstaub wurde während des Versuches direkt in ein Silofahrzeug überführt. Die Wägung ergab 46 t.

Abwasser

Der aus der Verbrennungsanlage ausgeschleuste Abwasserfluss kann mit Hilfe einer Wasseruhr bestimmt werden. In 48 Stunden waren dies 670 m³, dies entspricht einer Masse von 670 t.

Reingas

Zur Bestimmung des Reingasflusses stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Bei einer gleichmäßigen Reingasgeschwindigkeit kann der Reingasvolumenstrom im Kamin mittels Prandtl'schem Staurohr bestimmt werden.

Falls die Rohgasmenge vor der Quenche kontinuierlich bestimmt wird, kann man vom Druckunterschied des Rauchgases vor und nach der nassen Rauchgasreinigung über eine Regressionsfunktion auf den Volumenstrom des feuchten Rauchgases schließen. Auf diese Weise wurde ein Reingasfluss von 9 Mio. Nm³ im Versuchszeitraum berechnet. Bei einer Dichte des feuchten Reingases von 1,2 kg/Nm³ wurden demnach 11.000 t Reingas an die Atmosphäre abgegeben.

Filterkuchen

Im Versuchszeitraum konnte die Masse des anfallenden Filterkuchens nicht bestimmt werden. Es wurde mit einem durchschnittlichen Wert von 1,4 kg/t Müll gerechnet. Somit ergibt sich eine Masse von 2,7 t in 48 Stunden.

Gipsschlamm

Aus verfahrenstechnischen Gründen ist es nicht möglich, bei der Verbrennungsanlage

A den Gipsschlamm zu bestimmen. Er wird im Prozess der Schlacke zugeführt.

5.1.4.3 Güterbilanz MVA feucht für den Versuchszeitraum

In der folgenden Tabelle sind die oben beschriebenen Ergebnisse zusammengefasst. Sie zeigt die Güterbilanz MVA feucht für den Versuchszeitraum von 48 Stunden.

Tabelle 5-4: Güterbilanz MVA feucht

	Gut	Masse feucht
		[t/48 h]
Input	Restmüll	1.900
	Zuluft	8.700
	Natronlauge	6,1
	Kalk	9,0
	Wasserzufuhr	1.200
	Summe Input (gerundet)	12.000
Output	Schlacke	440
	Schrott	53
	Elektrofilterstaub	46
	Abwasser	670
	Reingas	11.000
	Filterkuchen	2,7
	Summe Output (gerundet)	12.000

5.1.4.4 Wassergehalt in den Input- und Outputgütern der Müllverbrennungsanlage

Da die Angaben für Stoffkonzentrationen üblicherweise auf die Trockensubstanz bezogen sind, werden im Folgenden die Wassergehalte der einzelnen Input- und Outputgüter bestimmt.

Wassergehalt der Zuluft

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zeichnet den Luft- und Dampfdruck auf. Anhand dieser Daten kann man mit Hilfe der Gaskonstanten den Wassergehalt der Luft berechnen. Er betrug zur Zeit des Versuches 1,1 Vol-%.

Wassergehalt des Reingases

Der Wassergehalt des Reingases kann gravimetrisch bestimmt werden. Dazu wird ein definiertes Volumen des Reingases durch eine Flasche mit getrocknetem Silikagel geleitet. Aus der Gewichtsänderung kann man den Wassergehalt des Gases berechnen. Er betrug 20 Vol-%.

Wassergehalt des Restmülls

Der Wassergehalt des Restmülls kann über mehrere Schritte berechnet werden. Er setzt sich einerseits aus dem im Restmüll direkt enthaltenen Wasser und andererseits aus dem bei der Verbrennung durch Oxidation von Wasserstoff (im Restmüll ca. 2,3 Gew-%) zu Wasser entstehenden Anteil zusammen.

Ausgangspunkt der Berechnung ist das Reingas. Der Wassergehalt im Reingas setzt sich aus dem Wassergehalt des Restmülls, dem oxidativen Wassergehalt des Restmülls, dem Wassergehalt der Zuluft und dem in der nassen Rauchgasreinigung zugeführten Wasserdampf zusammen. Zieht man nun vom Wassergehalt des Reingases alle diese Wassergehalte ab, erhält man den Wassergehalt des Restmülls. Im Versuchszeitraum wurde dafür ein Wassergehalt von 30 % ermittelt.

Wassergehalt der Schlacke und des Filterkuchens

Der Wassergehalt kann durch Wägung vor und nach der Trocknung ermittelt werden. Der im Versuchszeitraum ermittelte Wassergehalt der Schlacke lag bei 15 %, jener des Filterkuchens bei 34 %.

5.1.4.5 Güterbilanz MVA trocken für den Versuchszeitraum

In der folgenden Tabelle sind die oben beschriebenen Ergebnisse zusammengefasst. Sie zeigt die Güterbilanz MVA trocken für den Versuchszeitraum von 48 Stunden.

Tabelle 5-5: Güterbilanz MVA trocken

		Masse trocken	
		Gut	[t/48 h]
Input	Restmüll		1.300
	Zuluft		8.600
	Natronlauge		6
	Kalk		9
	Summe Input (gerundet)		9.900
Output	Schlacke		370
	Schrott		53
	Elektrofilterstaub		46
	Reingas		9.400
	Filterkuchen		1,8
	Summe Output (gerundet)		9.900

Für die Berechnungen der Stoffkonzentrationen im Reingas und im Abwasser sind nicht die Masse, sondern das Volumen notwendig. In der Müllverbrennungsanlage A fallen in 48 Stunden 670 m³ Abwasser an. Das Volumen des Reingases beträgt pro 48 Stunden 7,2 Mio. m³_{trocken}.

5.1.5 Stoffbilanz

5.1.5.1 Probeentnahmestellen und Probenanzahl

Während die meisten für die Erstellung der Güterbilanz notwendigen Daten im laufenden Betrieb standardmäßig erhoben werden beziehungsweise aus den Aufzeichnungen der Buchhaltung entnommen werden können, sind für die Erstellung von Stoffbilanzen Analysen unumgänglich.

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten von Müllverbrennungsanlagen ist die Lage der Messpunkte relativ eingeschränkt. Die Proben sollten nach Möglichkeit aus einer Verbrennungslinie stammen. Für die Beprobung des Filterkuchens und des gereinigten Abwassers konnte dies nicht realisiert werden, da die Abwasserreinigung für beide Linien gemeinsam erfolgt.

Die **Schlacken**proben wurden direkt nach dem Magnetabscheider vor dem Austrag in den Schlackenbunker vom Förderband entnommen. Stündlich wurden 5 Proben à 2 kg entnommen und gemischt. Nach Ablauf jeder Stunde wurden davon 2 Proben für die weitere Probenaufbereitung gezogen.

Der **Elektrofilterstaub** wurde kurz hinter dem Elektrofilter entnommen. Stündlich wurden 4 Proben à 2 kg entnommen und gemischt. Nach Ablauf jeder Stunde wurden davon 2 Proben für die weitere Probenaufbereitung gezogen.

Aufgrund der geringen anfallenden Masse an **Filterkuchen** muss die Kammerfilterpresse nur zwei bis dreimal pro Woche entleert werden. Für eine für den verbrannten Restmüll repräsentative Beprobung wurden daher zwei Kammerfilterpressen entleert und von jeder 5 Mischproben à 10 kg gezogen.

Das **Abwasser** wurde nach dem letzten Schlammabscheider vor der Einleitung in den Donaukanal beprobt. Jede halbe Stunde wurde eine Probe von 1 l gezogen.

Von den oben genannten Produkten der Verbrennung wurden im Labor ausgewählte Stoffkonzentrationen bestimmt. Der am Magnetabscheider abgetrennte **Schrott** wurde nur massenmäßig erfasst und für die Stoffbilanz wurde die Annahme getroffen, dass er aus 100 % Eisen besteht.

Aus früheren **Reingas**messungen konnte berechnet werden, dass bei der Anlage A die Metalle zu weniger als 1 % mit dem Reingas emittiert werden. Die ohnehin online gemessenen SO₂-Gehalte wurden übernommen. Daher wurden am Kamin nur die CO₂ Konzentrationen des Reingases kontinuierlich gemessen.

5.1.5.2 Stoffkonzentrationen in den Outputgütern

Je nach Outputgut sind für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen unterschiedliche Aufbereitungsschritte notwendig. Bevor die Proben im Labor aufgeschlossen und analysiert werden können, müssen sie gesiebt, zerkleinert, gemahlen und homogenisiert werden.

In der folgenden Tabelle sind die im Labor bestimmten Mittelwerte und Bandbreiten der Stoffkonzentrationen in den einzelnen Outputgütern dargestellt. Bei den nachfolgenden Berechnungen werden, wie oben erwähnt, nur die Mittelwerte berücksichtigt.

Tabelle 5-6: Im Labor ermittelte Stoffkonzentrationen in den Outputgütern

Outputgut	Einheit	Cd			Cl			C		
		Mittelw.	von	bis	Mittelw.	von	bis	Mittelw.	von	bis
Schlacke	[mg/kg]	3,8	2,8	5,0	3.000			16.000	14.000	18000
Schrott	[mg/kg]									
Elektrofilterstaub	[mg/kg]	230	210	250	76.000	70.000	81.000			
Abwasser	[mg/l]				8.200	7.500	8.900			
Reingas	[mg/Nm ³]				4,1	3,6	4,6	44.000	43.000	45000
Filterkuchen	[mg/kg]	13	12	15	4.300	3.700	5.000			

5.1.5.3 Bestimmung der Stoffflüsse in den Outputgütern

Anhand der Tabelle 5-5 und Tabelle 5-6 können nun durch Multiplikation die Stofffrachten für die ausgewählten Stoffe, die im Versuchszeitraum von 48 Stunden in die Outputgüter transferiert wurden, berechnet werden. Die Schlackenproben wurden in eine Fraktion < 35 mm (81 Masse-%) und eine Fraktion > 35 mm unterteilt. Es wurde angenommen, dass die Fraktion > 35 mm hauptsächlich aus Steinen besteht, welche für die ausgewählten Stoffflüsse keinen relevanten Beitrag liefern. Im Labor wurde daher nur die Fraktion < 35 mm analysiert. Daher muss für die Berechnung der Stoffflüsse in die Schlacke die Multiplikation noch um den Faktor 0,81 korrigiert werden.

Tabelle 5-7: Berechnung der Stoffflüsse im Versuchszeitraum von 48 Stunden

Outputgut	Cd	Cl	C
	[kg/48 h]	[kg/48 h]	[kg/48 h]
Schlacke	1,1	900	4.800
Schrott			
Elektrofilterstaub	11	3.500	
Abwasser		5.500	
Reingas		30	320.000
Filterkuchen	0,023	7,7	

5.1.5.4 Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Restmülls

Da im Bilanzzeitraum in der Müllverbrennungsanlage keine Lager auf- oder abgebaut werden, kann die stoffliche Zusammensetzung des verbrannten Restmülls durch Aufsummieren der einzelnen Stoffflüsse in den Outputgütern berechnet werden. Der Quotient aus Stofffluss durch die verbrannte Restmüllmenge ergibt die Stoffkonzentration im Restmüll.

Tabelle 5-8: Stoffliche Zusammensetzung des Restmülls

Stoff	Stofffluß	Stoffkonzentration im Restmüll
	[kg/48 h]	[g/kg TS]
Cd	12	0,0093
Cl	9.900	7,6
C	320.000	250

5.1.6 Resultate

5.1.6.1 Resultate der Güterbilanz

Da jedes Müllfahrzeug, welches Restmüll an die Anlage A anliefert, gewogen wird, ist die jährlich verbrannte Menge an Restmüll bekannt. Mit Hilfe der in Tabelle 5-4 angeführten Daten kann man die Güterbilanz der Anlage für ein Jahr hochrechnen. Die Abbildung 5-2 zeigt die Güterbilanz der Müllverbrennungsanlage A.

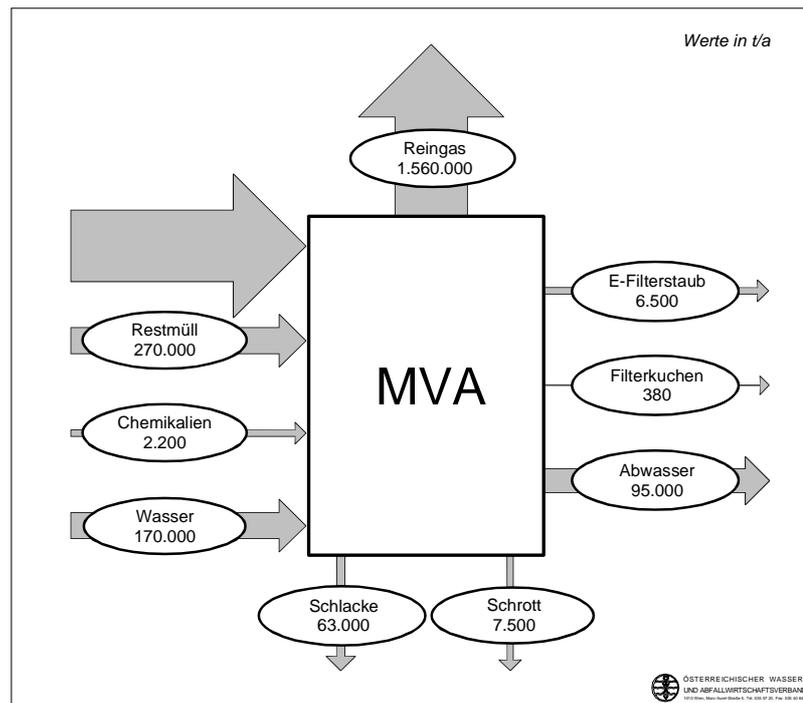


Abbildung 5-2: Güterbilanz der Müllverbrennungsanlage A für ein Jahr

Anhand der in Abbildung 5-2 dargestellten Ergebnisse der Güterbilanz können die Transferkoeffizienten für Restmüll für die Outputgüter der Verbrennung berechnet werden. Da hier ausschließlich die Verteilung des Restmülls auf die Outputgüter von Interesse ist, bleiben die Inputgüter Wasser und Luft unberücksichtigt.

Zunächst wird angenommen, dass sich nach der Verbrennung keine Restmüllbestandteile im Abwasser befinden. Diese Annahme ist auf Güterebene zulässig, nicht jedoch auf Stoffebene (z. B. bei Chlor).

Die Chemikalien bestehen aus Natronlauge (870 t/a), welche ins Abwasser gelangt, und aus Kalk (1.300 t/a), welcher nach der Verbrennung als Gipsschlamm der Schlacke zugeführt wird. Um die vom Restmüll stammende Masse an Schlacke nicht durch Chemikalien (Kalk bzw. Gipsschlamm) zu verfälschen, müssen für die Berechnung des Transferkoeffizienten in die Schlacke diese 1.300 t/a abgezogen werden.

Zuletzt werden die Massen der Outputgüter addiert. Die Differenz zur Restmüllmasse darf als Masse Reingas angesehen werden.

In der Tabelle 5-9 sind neben den Massen der brennstoffbürtigen Outputgüter die Transferkoeffizienten von feuchtem Restmüll in die Produkte der Verbrennung bei der Müllverbrennungsanlage A dargestellt.

Tabelle 5-9: Transferkoeffizienten von Restmüll in die Produkte der MVA

Transferkoeffizienten von feuchtem Restmüll in die Produkte der Verbrennung		
Produkte der Verbrennung	Masse [t/a]	Transferkoeffizient [-]
Reingas	193.920	0,72
Schlacke	61.700	0,23
Schrott	7.500	0,028
Elektrofilterstaub	6.500	0,024
Filterkuchen	380	0,0014
Summe = Masse Restmüll	270.000	1,0

Die Tabelle zeigt, dass 72 % des Restmülls in das Reingas und 23 % in die Schlacke transferiert werden. Im Schrott und Elektrofilterstaub befinden sich jeweils weniger als 3 %. Im Filterkuchen befinden sich 0,14 % des ursprünglichen Restmülls.

5.1.6.2 Resultate der Transferkoeffizienten auf Stoffebene

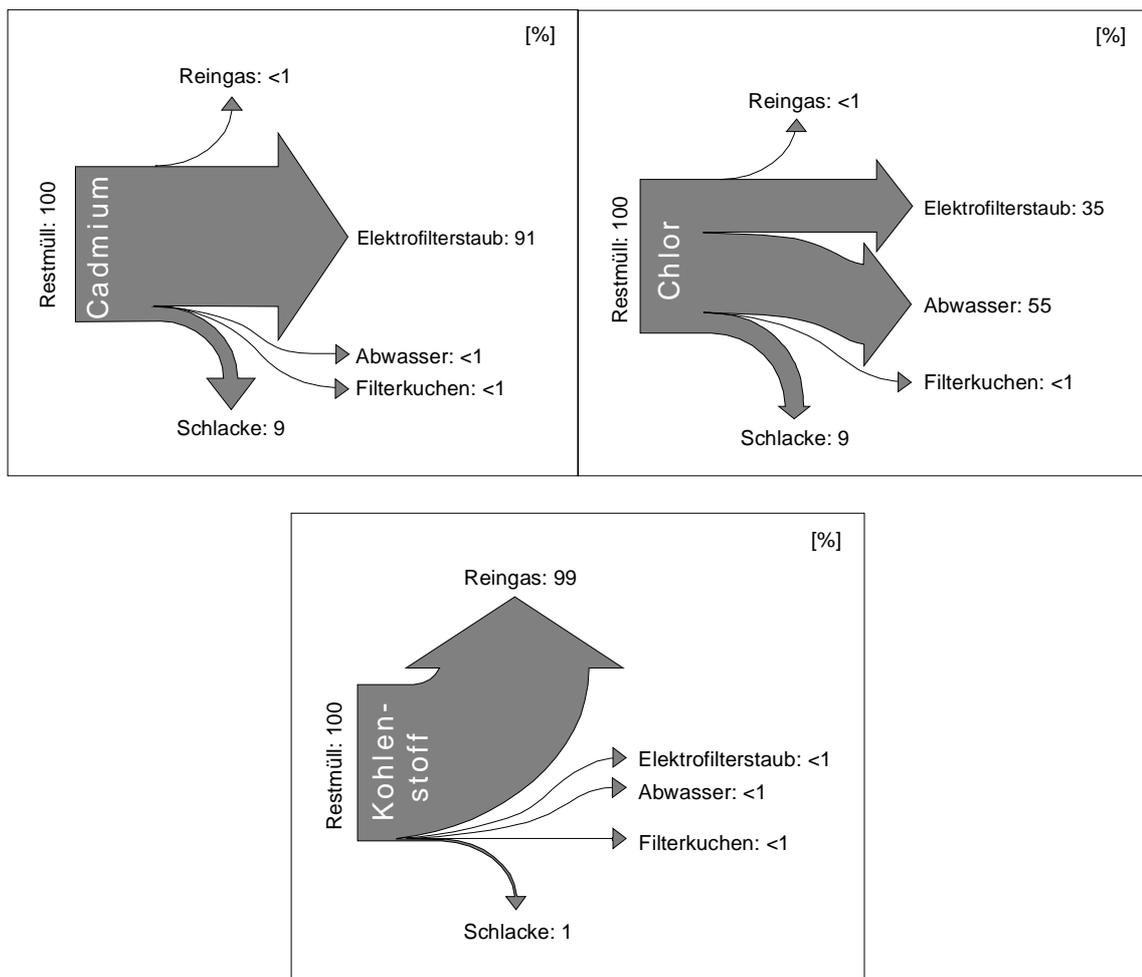
Anhand der Tabelle 5-7 und der Tabelle 5-8 können durch einfache Schlussrechnungen die Transferkoeffizienten der Stoffe berechnet werden.

Tabelle 5-10: Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe im Restmüll in die Produkte der Verbrennung

Transferkoeffizienten der ausgewählten Stoffe im Restmüll in die Produkte der Verbrennung			
Produkte der Verbrennung	Cd	Cl	C
	[-]	[-]	[-]
Schlacke	0,091	0,091	0,015
Schrott			
Elektrofilterstaub	0,91	0,35	
Abwasser		0,55	
Reingas		0,0030	0,985
Filterkuchen	0,0019	0,00077	
Summe	1,0	1,0	1,0

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse in grafischer Form aufbereitet. Diese Darstellung erlaubt eine rasche Identifizierung der wesentlichen Outputgüter.

Abbildung 5-3: Verteilung der ausgewählten Stoffe im Restmüll in die Produkte der Verbrennung



5.2 Beispiel: Güterflussanalyse eines abfallwirtschaftlichen Betriebes

Im vorliegenden Beispiel wird eine Güterflussanalyse eines Entsorgungsunternehmens in ihre einzelnen methodischen Schritte untergliedert dargestellt. Das methodische Vorgehen sowie die Resultate (siehe Kapitel 5.2.1 bis 5.2.4 sowie Kapitel 5.2.6) werden, soweit möglich, anhand eines allgemeinen Falles erläutert. Im Kapitel Güterbilanz (siehe Kapitel 5.2.5) werden die Güterflüsse dann am Beispiel eines konkreten Entsorgungsunternehmens B dargestellt.

Der „allgemeine Fall“ erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist als Kompromiss zwischen der Komplexität des allgemeinen Falles und der Vorgabe einer möglichst einfachen Darstellung in der Fallstudie zu sehen.

Der „allgemeine Fall“ ist sehr breit dargestellt, um möglichst vielen Entsorgungsbetrieben die Möglichkeit zu geben, sich darin wieder zu finden.

5.2.1 Zielsetzung und Fragestellungen

Das Ziel dieser Fallstudie ist die Erstellung einer Güterflussanalyse eines abfallwirtschaftlichen Unternehmens durch das abfallwirtschaftliche Unternehmen selbst.

Die daraus resultierende Güterflussanalyse soll dem Unternehmen dazu dienen, den eigenen Betrieb besser kennen zu lernen. Die Güterflussanalyse ist NICHT als Kontrollinstrument der Behörden gedacht.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Welche sind die massenmäßig wichtigsten Güter (gegliedert nach Abfallschlüsselnummern gemäß ÖNORM S2100)?
- Welchen Weg nehmen die einzelnen Güter durch das System „Entsorgungsunternehmen“?
- Welche sind die zentralen Prozesse dieses Systems?
- Wie groß ist der Gesamtfluss an Abfällen durch die Anlage?
- Stimmen Input und Output des Entsorgungsunternehmens überein? Ist eine mögliche Differenz durch Lagerschwankungen erklärbar?
- In welchem Ausmaß verändern sich die Abfallschlüsselnummern der Abfälle innerhalb des Systems (z. B. in Folge von Sortierung oder Lagerung)?

5.2.2 Systemdefinition

Der abfallwirtschaftliche Betrieb stellt, zum Teil auf mehrere Standorte aufgeteilt, abfallwirtschaftliche Dienstleistungen zur Verfügung. Dem Kunden werden dabei in der Regel Komplettlösungen angeboten, welche die Bereitstellung, Wartung und regelmäßige Entleerung von Sammelbehältern sowie Beratung, Logistik und Controlling beinhalten.

Die zentralen Prozesse innerhalb des Entsorgungsunternehmens sind die (getrennte) Erfassung, die Sammlung bzw. der Transport von Abfällen, weiters Kompostierung, Sortierung, Verwertung und Beseitigung.

Die entsorgten Güter umfassen zumeist sämtliche Abfallarten, vom gefährlichen Abfall bis zu ARA-lizenzierten Abfällen.

Die Systemdefinition umfasst die Definition der Systemgrenze (räumlich und zeitlich) sowie Definition der Prozesse und Güter und deren Verknüpfung (siehe Abbildung 5-4).

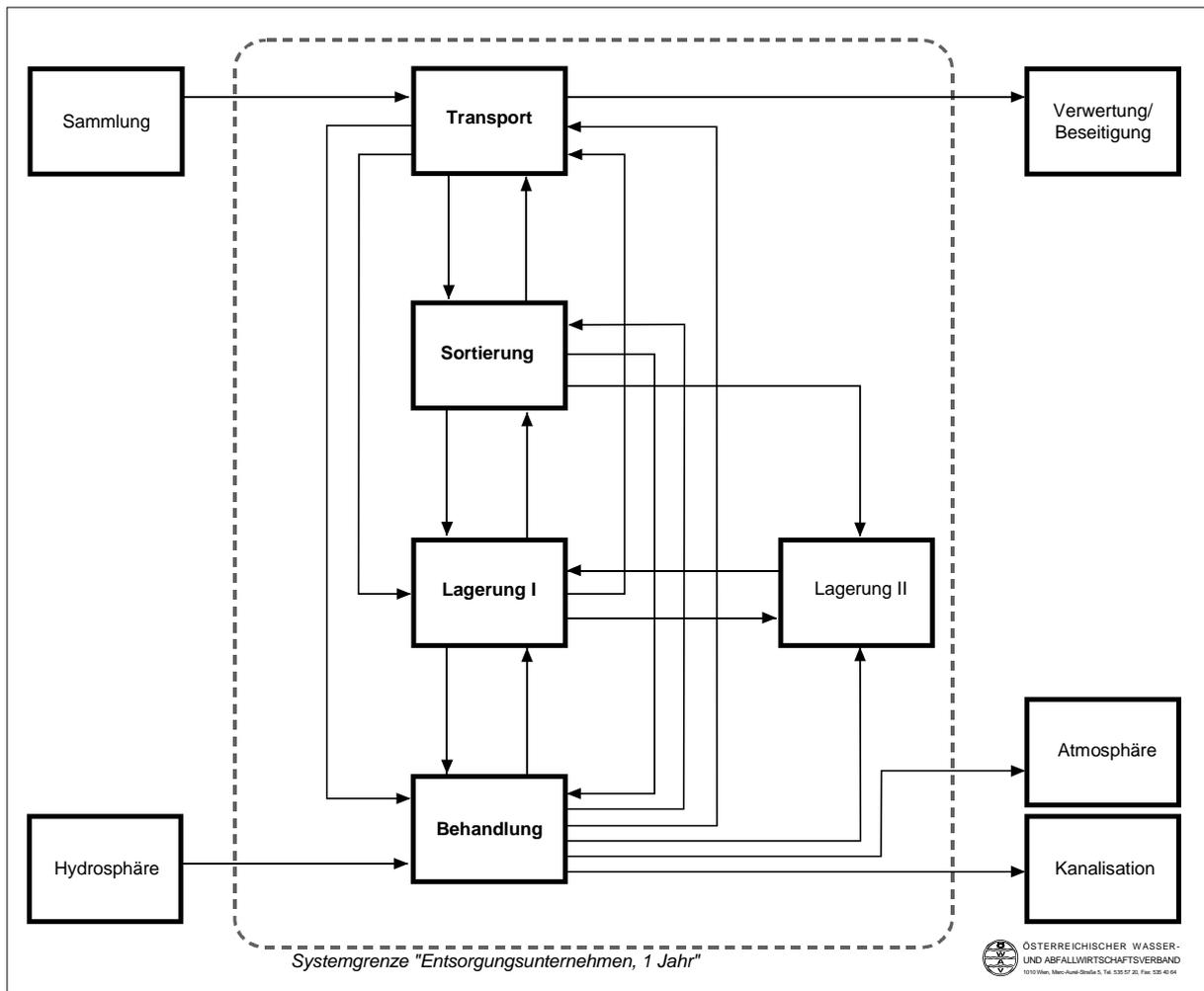


Abbildung 5-4: Systemdefinition eines Entsorgungsunternehmens

5.2.2.1 Systemgrenze

Als **zeitliche Systemgrenze** wird ein Jahr gewählt.

Die **räumliche** Systemgrenze wird durch den Standort des Entsorgungsunternehmens definiert. Konkret sind dies die Grundstücksgrenzen des Betriebes. Verfügt ein Entsorgungsunternehmen über mehrere Standorte, so ist es von Vorteil, für jeden Standort eine separate Systemgrenze zu definieren. Damit besteht die Möglichkeit, jeden einzelnen Standort individuell zu erfassen und darzustellen. Trotzdem sollte bereits von Beginn an ein Gesamtsystem über alle Standorte definiert werden, damit ein Gesamtüberblick über den gesamten Betrieb möglich ist.

Ist eine eindeutige Zuordnung einzelner Güterflüsse zu einem bestimmten Standort nicht möglich, so sind entsprechende Abschätzungen, bzw. Annahmen vorzunehmen. Beispielsweise kann der Energieträgerverbrauch der Fahrzeugflotte auf jene Standorte aufgeteilt werden, an dem die Fahrzeuge überwiegend zum Einsatz kommen.

5.2.2.2 Prozessauswahl

Ein Entsorgungsunternehmen stellt ein komplexes System mit einer Vielzahl an Prozessen dar. Bei der Prozessauswahl ist es von großer Bedeutung, dass die ausgewählten Prozesse eindeutig definiert und auch eindeutig voneinander abgegrenzt werden.

Es gilt, das System „Abfallwirtschaftlicher Betrieb“ für die Fragestellung ausreichend darstellen zu können. Es ist jedoch notwendig und sinnvoll, Vereinfachungen vorzunehmen.

Folgende Vereinfachungen wurden in diesem Fallbeispiel getroffen:

Der Prozess Deponie, der nach oben angeführten Kriterien relevant ist, wird aus Gründen der Vereinfachung in diesem Fallbeispiel nicht berücksichtigt. Im Einzelfall ist jedoch zu prüfen, ob wichtige Prozesse tatsächlich ausgeklammert werden dürfen.

Das Wechselspiel zwischen Trocknung und Befeuchtung der einzelnen Güter (z. B. durch Regen) wurde aus Vereinfachungsgründen nur im Prozess Behandlung berücksichtigt. Es wird die Annahme getroffen, dass sich der Wassergehalt der Abfälle innerhalb der anderen Prozesse des Systems nicht wesentlich ändert.

Die Prozesse Verwaltung, Sammlung, Waage, Umladung oder Presse werden nicht separat berücksichtigt. Diese Prozesse sind für die Fragestellung nicht relevant, weil sie keinen Einfluss auf den Massenfluss haben. Somit reduziert sich das System auf die nachfolgenden fünf Prozesse (siehe Abbildung 5-4):

1. Prozess **Transport**

Im Prozess Transport wird der Standort der Güter geändert, ohne die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Güter zu verändern.

Der Prozess Transport umfasst die Sammlung und Übernahme der Abfälle (Entleerung der Sammelbehälter, Aufladen der Mulde, Abpumpen von Fäkalien), den Transport zum Standort, die Wägung (zumeist mittels Brückenwaage) und das Ab- bzw. Umladen der Güter auf der Anlage.

Beim Abtransport der Abfälle aus dem Betrieb werden die oben genannten Arbeitsschritte in der umgekehrten Reihenfolge, vom Verladen über die Wägung bis zum Transport zur Verwertung bzw. Beseitigung durchlaufen.

2. Prozess **Sortierung**

Im Prozess Sortierung findet eine mechanische Trennung der Abfälle statt.

Der Prozess Sortierung besteht aus Sortierhallen bzw. -anlagen, in der die Abfälle manuell und/oder maschinell sowohl nach qualitativen (z. B. Entfernung von Störstoffen aus dem Altpapier) als auch nach wirtschaftlichen Kriterien (z. B. Separierung der Wertstoffe aus dem Sperrmüll) in verschiedene Abfallgruppen aufgeteilt werden.

3. Prozess **Lagerung I**

Im Prozess Lagerung werden Abfälle an einem Standort vorübergehend aufbewahrt (gestapelt). Dies hat im Allgemeinen logistische Gründe (z. B. das Ansammeln von geringen Mengen eines angelieferten Abfalls zu einer rentabel transportfähigen Menge).

Der Prozess Lagerung I besteht aus Lagerhallen und -flächen, in bzw. auf denen Abfälle gelagert werden, ohne dabei physikalisch oder chemisch verändert zu werden.

4. Prozess **Lagerung II**

Im Prozess Lagerung II werden Abfälle ebenfalls vorübergehend an einem Standort aufbewahrt.

Der Prozess Lagerung II besteht ebenso wie Lagerung I aus Lagerhallen und -flächen, in bzw. auf denen Abfälle gelagert werden, ohne dabei physikalisch oder chemisch verändert zu werden.

Die Trennung in die Prozesse Lagerung I und Lagerung II ist nicht räumlich, sondern durch das methodische Vorgehen bestimmt. Sie wird durchgeführt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass gewisse Abfälle innerhalb des Systems ihre Abfallschlüsselnummer ändern. Diese Änderung geschieht einerseits durch Sortierung von Wertstoffen (z. B. Altholz aus dem Sperrmüll), andererseits während der Lagerung, da es für manche Güter keine Abnehmer gibt, wodurch der Abfall vor der Entsorgung die Abfallschlüsselnummer ändert (z. B. verlassen manche Abfälle, die als Kunststoffabfälle importiert werden, die Anlage als „Feste Siedlungsabfälle“).

Abfälle, deren Abfallschlüsselnummer sich auf ihrem Weg durch das System verändert (nach einer Sortierung oder Behandlung bzw. während der Lagerung), werden nach dieser Änderung dem Prozess Lagerung II zugeordnet.

Die Prozesse Lagerung I und Lagerung II sind die beiden einzigen Prozesse, bei denen es zu Lagerveränderungen (Lagerzuwachs und -abnahme) kommen kann.

5. Prozess **Behandlung**

Der Prozess Behandlung umfasst die Kompostierung, aber auch die MBA und die Verbrennung. Zur Vereinfachung wird nachfolgend der Prozess Behandlung exemplarisch auf die Kompostierung reduziert.

Der Prozess Behandlung besteht somit aus den Rottehallen und -flächen, auf denen organische Abfälle abgelagert, kompostiert und anschließend abgesiebt werden.

5.2.2.3 Güterauswahl

Importgüter sind die aus der Abfallsammlung stammenden Abfälle. **Exportgüter** sind die zur Verwertung bzw. Beseitigung weitertransportierten Abfälle. Dabei werden die Abfälle jeweils nach Abfallschlüsselnummer getrennt erfasst.

In Tabelle 5-11 bis Tabelle 5-15 werden die Güterflüsse definiert und beschrieben: Für jedes Gut werden die Herkunfts- und Zielprozesse angeführt. Die genauen Bezeichnungen der Güter ergeben sich aus den jeweiligen Herkunfts- bzw. Zielprozessen. Der Name des Gutes leitet sich vom Herkunftsprozess ab. Um diese nach den Zielprozessen unterscheiden zu können, wird eine Buchstabenkombination angefügt, die den Herkunfts- und den Zielprozess angibt (z. B. hat das Gut „transportierter Abfall **TS**“ als Herkunftsprozess den **T**ransport und als Zielprozess die **S**ortierung).

Die in Tabelle 5-11 bis Tabelle 5-15 angeführten Güter sind in der höchsten Aggregationsebene (Ebene 1) aufgelistet. Sie stellen den gesamten Güterfluss zwischen den einzelnen Prozessen dar. In den einzelnen Gütergruppen sind unter Umständen mehrere Abfallschlüsselnummern enthalten. Der Grund für diese starke Aggregation liegt in der Einfachheit und Klarheit der Darstellungsmöglichkeiten. Auf diese Weise kann ein rascher Überblick über das System gewonnen werden.

Tabelle 5-11: Güterliste für den Prozess „Transport“

Transport				
Der Prozess Transport umfasst die Sammlung und Übernahme der Abfälle, den Transport zum Standort, die Wägung und das Ab- bzw. Umladen der Güter auf der Anlage.				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Sammlung	gesammelter Abfall IT	Transport	<i>Abfälle, die nach der Sammlung entweder zum Standort oder direkt zur Verwertung / Beseitigung transportiert werden</i>
	Sortierung	sortierter Abfall ST	Transport	<i>Abfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden</i>
	Lagerung I	gelagerter Abfall LIT	Transport	<i>Abfälle, die nach einer Lagerung abtransportiert werden</i>
	Behandlung	behandelter Abfall BT	Transport	<i>Abfälle, die unmittelbar nach einer Behandlung abtransportiert werden</i>
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Transport	transportierter Abfall TS	Sortierung	<i>Abfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden</i>
	Transport	transportierter Abfall TLI	Lagerung I	<i>Abfälle, die nach der Anlieferung gelagert werden</i>
	Transport	transportierter Abfall TB	Behandlung	<i>Abfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung behandelt werden</i>
	Transport	abtransportierter Abfall	Verwertung / Beseitigung	<i>Abfälle, die entweder von der Sammlung direkt oder vom Standort zur Verwertung / Beseitigung transportiert werden</i>

Tabelle 5-12: Güterliste für den Prozess „Sortierung“

Sortierung				
Der Prozess Sortierung besteht aus Sortierhallen bzw. -anlagen, in der die Abfälle manuell und/oder maschinell sowohl nach stofflichen als auch nach wirtschaftlichen Kriterien in verschiedene Abfallgruppen aufgeteilt werden.				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Transport	transportierter Abfall TS	Sortierung	<i>Abfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden</i>
	Lagerung I	gelagerter Abfall LIS	Sortierung	<i>Abfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden</i>
	Behandlung	behandelter Abfall BS	Sortierung	<i>Abfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden</i>
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Sortierung	sortierter Abfall SLI	Lagerung I	<i>Abfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden</i>
	Sortierung	sortierter Abfall SLII	Lagerung II	<i>Abfälle, die durch Aussortierung die Abfallschlüsselnummer ändern</i>
	Sortierung	sortierter Abfall SB	Behandlung	<i>Abfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden</i>
Sortierung	sortierter Abfall ST	Transport	<i>Abfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden</i>	

Tabelle 5-13: Güterliste für den Prozess „Lagerung I“

Lagerung I					
Der Prozess Lagerung I besteht aus Lagerhallen und –flächen, in bzw. auf denen Abfälle gelagert werden, ohne dabei physikalisch oder chemisch verändert zu werden.					
		Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
Input		Transport	transportierter Abfall TLI	Lagerung I	Abfälle, die nach der Anlieferung gelagert werden
		Sortierung	sortierter Abfall SLI	Lagerung I	Abfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
		Lagerung II	gelagerter Abfall LIILI	Lagerung I	Abfälle, die während der Lagerung die Abfallschlüsselnummer ändern
		Behandlung	behandelter Abfall BLI	Lagerung I	Abfälle, die nach einer Behandlung gelagert werden
		Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
Output		Lagerung I	gelagerter Abfall LIS	Sortierung	Abfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
		Lagerung I	gelagerter Abfall LILII	Lagerung II	Abfälle, die während der Lagerung die Abfallschlüsselnummer ändern
		Lagerung I	gelagerter Abfall LIB	Behandlung	Abfälle, die nach einer Lagerung behandelt werden
		Lagerung I	gelagerter Abfall LIT	Transport	Abfälle, die nach einer Lagerung abtransportiert werden

Tabelle 5-14: Güterliste für den Prozess „Lagerung II“

Lagerung II				
Der Prozess Lagerung II besteht auch aus Lagerhallen und –flächen, in bzw. auf denen Abfälle gelagert werden, ohne dabei physikalisch oder chemisch verändert zu werden.				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Sortierung	sortierter Abfall SLII	Lagerung II	Abfälle, die durch Aussortierung die Abfallschlüsselnummer ändern
	Lagerung I	gelagerter Abfall LILII	Lagerung II	Abfälle, die während der Lagerung die Abfallschlüsselnummer ändern
	Behandlung	behandelter Abfall BLII	Lagerung II	Abfälle, die während der Behandlung die Abfallschlüsselnummer ändern
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Lagerung II	gelagerter Abfall LILII	Lagerung I	Abfälle, die während der Lagerung die Abfallschlüsselnummer ändern

Tabelle 5-15: Güterliste für den Prozess „Behandlung“

Behandlung				
Der Prozess Behandlung besteht aus den Rottehallen und -flächen, auf denen organische Abfälle abgelagert, kompostiert und anschließend abgesiebt werden.				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Transport	transportierter Abfall TB	Behandlung	Abfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung behandelt werden
	Sortierung	sortierter Abfall SB	Behandlung	Abfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
	Lagerung I	gelagerter Abfall LIB	Behandlung	Abfälle, die nach einer Lagerung behandelt werden
Hydrosphäre	Regenwasser	Behandlung		
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
	Behandlung	behandelter Abfall BS	Sortierung	Abfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	behandelter Abfall BLI	Lagerung I	Abfälle, die nach einer Behandlung gelagert werden
	Behandlung	behandelter Abfall BLII	Lagerung II	Abfälle, die während der Behandlung die Abfallschlüsselnummer ändern
	Behandlung	behandelter Abfall BT	Transport	Abfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	Abgas	Atmosphäre	Rotteverlust
Behandlung	Sickerwasser	Kanalisation		

In Tabelle 5-16 wurde die Güterliste für den Prozess Sortierung dahingehend erweitert dargestellt, dass die in obigen Tabellen angeführten Güter auf Holzabfälle (Abfallschlüsselnummer 17xxx), Papierabfälle (Abfallschlüsselnummer 18xxx), Metallabfälle (Abfallschlüsselnummer 35xxx), Kunststoffabfälle (Abfallschlüsselnummer 57xxx) und Feste Siedlungsabfälle (Abfallschlüsselnummer 91xxx) aufgesplittet wurden. Dadurch wurde die darunter liegende, detailliertere Aggregationsebene (Ebene 2) erreicht. Diese Ebene ist Grundlage für die in den Tabelle 5-11 bis Tabelle 5-15 angeführten Güterlisten der Ebene 1, die durch Aufsummierung erreicht wird.

Die Güterlisten können für jeden Prozess und je nach Fragestellung um beliebig viele Abfallfraktionen erweitert werden. Es können einzelne Abfallfraktionen weiter aufgesplittet werden. Ist es beispielsweise notwendig zu wissen, wie groß der Anteil an Eisen- und Nichteisenmetallen ist, so können die Metallabfälle in diese Fraktionen unterteilt werden. Eine Aufspaltung in gefährliche und nicht gefährliche Abfälle ist ebenfalls möglich. Dadurch entstehen immer tiefere und detailliertere Ebenen. Der Detaillierungsgrad hängt im Wesentlichen von der Zielsetzung und den Fragestellungen ab und wird demzufolge in der in Tabelle 5-16 sowie Tabelle 5-17 angeführten Form gewählt.

Zusätzlich ist es möglich, einzelne Abfälle (z. B. Altpapier) auf ihrem Weg durch das System zu verfolgen bzw. darzustellen, indem nur die Flüsse dieses einen Gutes betrachtet werden.

Tabelle 5-16: *Input-Güterliste für den Prozess „Sortierung“ – nach Abfallfraktionen aufgesplittet*

Sortierung				
Dieser Prozess besteht aus Sortierhallen bzw. -anlagen				
Herkunftsprozess	Input Güter	Zielprozess	Beschreibung	
Input	Transport	transportierte Holzabfälle TS-H	Sortierung	Holzabfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden
	Transport	transportierte Papierabfälle TS-P	Sortierung	Papierabfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden
	Transport	transportierte Metallabfälle TS-M	Sortierung	Metallabfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden
	Transport	transportierte Kunststoffabfälle TS-K	Sortierung	Kunststoffabfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden
	Transport	transportierte feste Siedlungsabfälle TS-F	Sortierung	Feste Siedlungsabfälle, die unmittelbar nach der Anlieferung sortiert werden
	Lagerung I	gelagerte Holzabfälle LIS-H	Sortierung	Holzabfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
	Lagerung I	gelagerte Papierabfälle LIS-P	Sortierung	Papierabfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
	Lagerung I	gelagerte Metallabfälle LIS-M	Sortierung	Metallabfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
	Lagerung I	gelagerte Kunststoffabfälle LIS-K	Sortierung	Kunststoffabfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
	Lagerung I	gelagerte feste Siedlungsabfälle LIS-F	Sortierung	Feste Siedlungsabfälle, die vor einer Sortierung gelagert werden
	Behandlung	behandelte Holzabfälle BS-H	Sortierung	Holzabfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	behandelte Papierabfälle BS-P	Sortierung	Papierabfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	behandelte Metallabfälle BS-M	Sortierung	Metallabfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	behandelte Kunststoffabfälle BS-K	Sortierung	Kunststoffabfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden
	Behandlung	behandelte feste Siedlungsabfälle BS-F	Sortierung	Feste Siedlungsabfälle, die vor einer Sortierung behandelt werden

Tabelle 5-17: Output-Güterliste für den Prozess „Sortierung“ – nach Abfallfraktionen aufgesplittet

Sortierung			
Dieser Prozess besteht aus Sortierhallen bzw. -anlagen			
Herkunftsprozess	Output Güter	Zielprozess	Beschreibung
Sortierung	sortierte Holzabfälle SLI-H	Lagerung I	Holzabfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
Sortierung	sortierte Papierabfälle SLI-P	Lagerung I	Papierabfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
Sortierung	sortierte Metallabfälle SLI-M	Lagerung I	Metallabfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
Sortierung	sortierte Kunststoffabfälle SLI-K	Lagerung I	Kunststoffabfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle SLI-F	Lagerung I	Feste Siedlungsabfälle, die nach einer Sortierung gelagert werden
Sortierung	sortierte Holzabfälle SLII-H	Lagerung II	Holzabfälle, die durch Aussortierung die Abfällschlüsselnummer ändern
Sortierung	sortierte Papierabfälle SLII-P	Lagerung II	Papierabfälle, die durch Aussortierung die Abfällschlüsselnummer ändern
Sortierung	sortierte Metallabfälle SLII-M	Lagerung II	Metallabfälle, die durch Aussortierung die Abfällschlüsselnummer ändern
Sortierung	sortierte Kunststoffabfälle SLII-K	Lagerung II	Kunststoffabfälle, die durch Aussortierung die Abfällschlüsselnummer ändern
Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle SLII-F	Lagerung II	Feste Siedlungsabfälle, die durch Aussortierung die Abfällschlüsselnummer ändern
Sortierung	sortierte Holzabfälle SB-H	Behandlung	Holzabfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
Sortierung	sortierte Papierabfälle SB-P	Behandlung	Papierabfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
Sortierung	sortierte Metallabfälle SB-M	Behandlung	Metallabfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
Sortierung	sortierte Kunststoffabfälle SB-K	Behandlung	Kunststoffabfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle SB-F	Behandlung	Feste Siedlungsabfälle, die nach einer Sortierung behandelt werden
Sortierung	sortierte Holzabfälle ST-H	Transport	Holzabfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden
Sortierung	sortierte Papierabfälle ST-P	Transport	Papierabfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden
Sortierung	sortierte Metallabfälle ST-M	Transport	Metallabfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden
Sortierung	sortierte Kunststoffabfälle ST-K	Transport	Kunststoffabfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden
Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle ST-F	Transport	Feste Siedlungsabfälle, die unmittelbar nach einer Sortierung abtransportiert werden

Es ist jedoch problemlos möglich, die oben angeführten Güterlisten zu erweitern, indem man beispielsweise die einzelnen Abfälle nach ihrer Schlüsselnummer aufsplittet (siehe auch Kapitel 5.2.5).

5.2.3 Grobbilanz

Als nächster Schritt wird eine Grobbilanzierung durchgeführt, um die Verfügbarkeit und Genauigkeit der benötigten Daten sowie etwaige Lücken feststellen zu können.

Die für die Güterbilanz benötigten Daten können in zwei Gruppen eingeteilt werden: In jene, die als Messwerte vorliegen, und jene, die geschätzt werden müssen.

In Abbildung 5-5 sind jene Güterflüsse mit **M** ausgewiesen, die im Allgemeinen gemessen werden, und jene mit **S** ausgewiesen, die im Allgemeinen geschätzt werden. Jene Güterflüsse, die teilweise gemessen und teilweise geschätzt werden, sind mit **M/S** ausgewiesen.

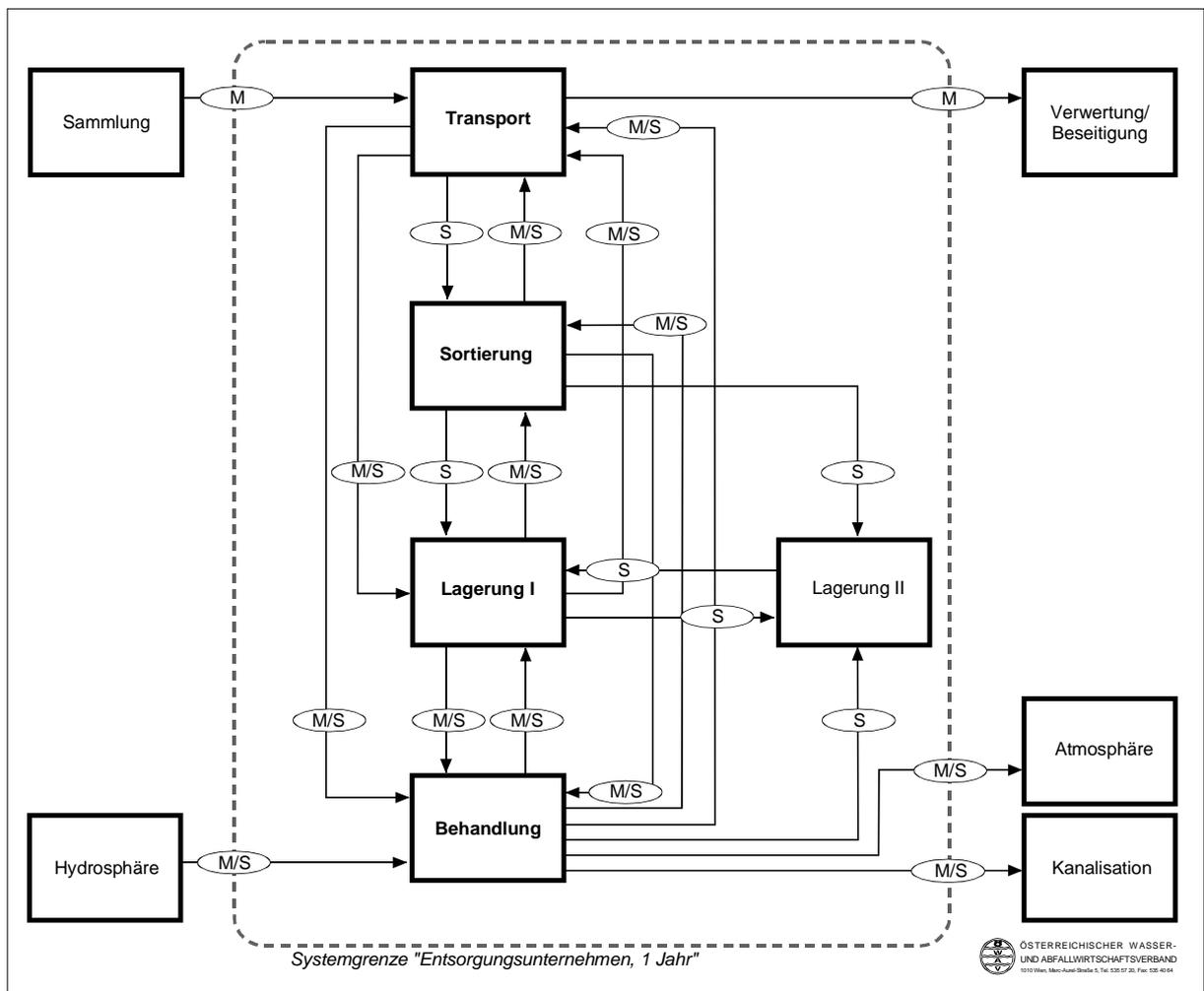


Abbildung 5-5: Systemdefinition eines Entsorgungsunternehmens mit Hinweis auf den Ursprung der Daten (M Messung, S Schätzung, M/S Messung und/oder Schätzung)

Es werden alle Güter, welche die Systemgrenze passieren, massenmäßig bestimmt. Da sämtliche Gütertransporte mit Einnahmen bzw. Ausgaben (für die Beseitigung bzw. für die Weitergabe zur Verwertung ist beides möglich) verbunden sind, sind dazu im Allgemeinen keine separaten Messungen erforderlich. Jedes Müllfahrzeug wird vor und nach dem Abkippen bzw. Aufladen des Mülls mittels Brückenwaage gewogen. Werden Güter per Bahn transportiert, wird die Masse mittels Gleiswaage bestimmt.

Somit können sowohl die Import- als auch Exportgüter der Buchhaltung entnommen werden, und die Masse des am Standort umgeschlagenen Abfalls berechnet werden. Sollte es aufgrund fehler- oder lückenhafter Werte nicht möglich sein, die Bilanz zu

schließen, können die fehlenden Werte durch zwischengeschaltete Messungen bestimmt werden.

Einen besonderen Fall stellt der Rotteverlust dar. Dieser Anteil des behandelten Abfalls (Restmülls bzw. Klärschlamm), der bei der Rotte in die gasförmige Phase übergeht, kann nicht direkt bestimmt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass es im Bilanzierungszeitraum von einem Jahr zu keiner Lagerbildung innerhalb des Systems kommt. Daher kann der Rotteverlust über das Massenerhaltungsgesetz bestimmt werden.

5.2.4 Feinbilanz

Innerhalb des Systems werden im Allgemeinen keine Messungen der Flüsse durchgeführt. In manchen Fällen ist es jedoch sinnvoll, Aufsplittungen von Gütern abzuschätzen.

Zum einen ist es notwendig abzuschätzen, welcher Anteil eines Abfalls (z. B. Sperrmüll) der Sortierung zugeführt wird, und zum anderen, wie sich der Abfall bei der Sortierung auf die verschiedenen aus der Sortierung entstehenden Abfälle (Holzabfälle, Metallabfälle etc.) aufteilt.

Durch die Verfügbarkeit von Input- und Outputdaten lässt sich die Güte der Schätzung beim Schließen der Bilanz überprüfen. Die Summe der Importgüter muss (unter Berücksichtigung möglicher Lagerschwankungen) gleich der Summe der Exportgüter sein. Somit besteht die Möglichkeit, die Werte der Schätzung iterativ zu verbessern.

Sollte es mittels Schätzung nicht möglich sein, die fehlenden Werte zu ermitteln, können diese mit Hilfe von speziellen Messprogrammen bestimmt werden.

Die Aufteilung der hereingehenden Abfälle in die einzelnen Outputflüsse im Prozess Sortierung wird im Allgemeinen geschätzt (siehe Abbildung 5-5). Hier können Messungen, Aussagen über die genaue mengenmäßige Aufteilung eines Abfalls bei der Sortierung liefern. Speziell bei Wertstoffen ist es von Interesse, exakt bestimmen zu können, aus welchen Abfällen diese ursprünglich stammen bzw. wie sie sich auf diese aufteilen.

5.2.5 Güterbilanz des konkreten Entsorgungsunternehmens B

In Abbildung 5-6 wird das System des allgemeinen Falles an das konkrete Entsorgungsunternehmen B angepasst. Da im konkreten Unternehmen keine Behandlung erfolgt, wird dieser Prozess aus der Systemdefinition herausgenommen.

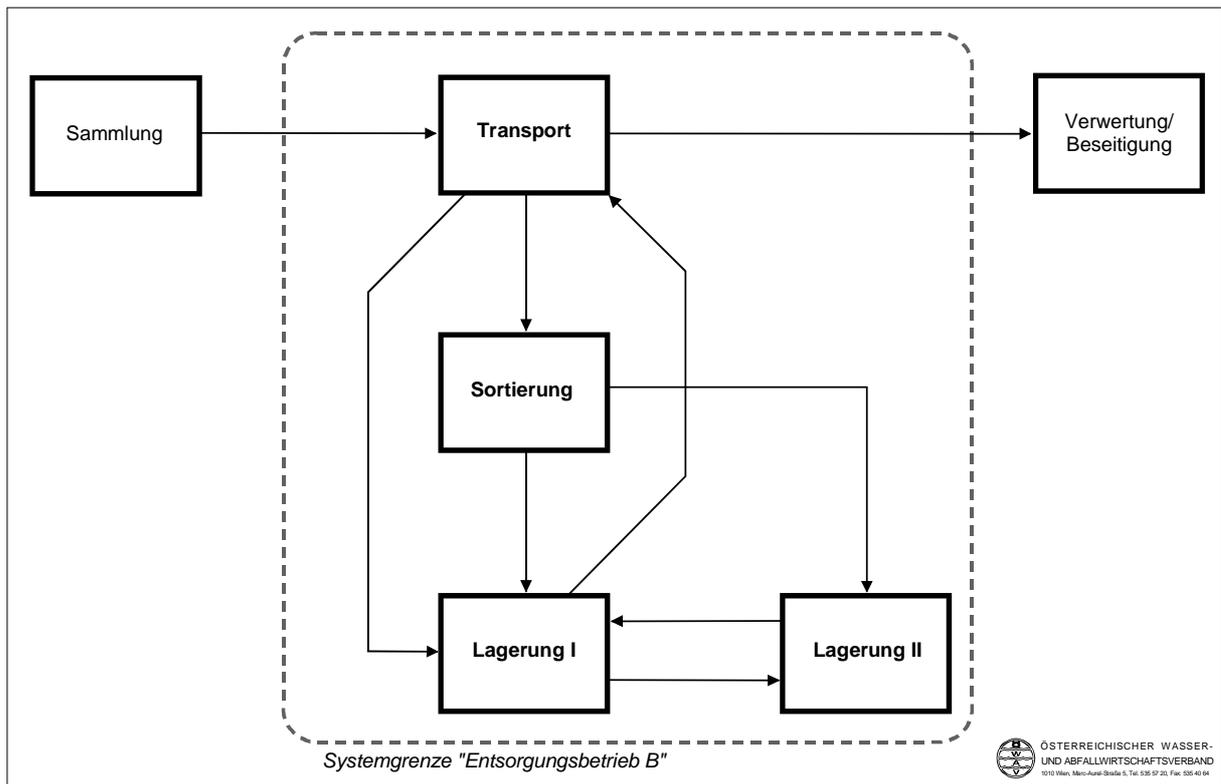


Abbildung 5-6: Systemdefinition des konkreten Entsorgungsbetriebes B

In den Tabelle 5-18 bis Tabelle 5-20 sind exemplarisch für den Prozess Sortierung die verschiedenen Ergebnisebenen dargestellt. In Tabelle 5-20 werden die Abfallmengen nach Abfallschlüsselnummer angegeben.

Tabelle 5-18: Abfallmengen des Entsorgungsbetriebes B im Prozess Sortierung (Ebene 3)

Sortierung				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Transport	17115	3.100	Sortierung
	Transport	17201	8.500	Sortierung
	Transport	17202	2.200	Sortierung
	Transport	18718	27.000	Sortierung
	Transport	91401	20.000	Sortierung
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Sortierung	17115	2.500	Lagerung I
	Sortierung	17201	6.800	Lagerung I
	Sortierung	17202	1.700	Lagerung I
	Sortierung	18718	25.000	Lagerung I
	Sortierung	91401	14.000	Lagerung I
	Sortierung	17115	630	Lagerung II
	Sortierung	17201	1.700	Lagerung II
	Sortierung	17202	430	Lagerung II
	Sortierung	18718	1.300	Lagerung II
Sortierung	91401	5.900	Lagerung II	

In Tabelle 5-19 sind die Abfallmengen gemäß den Güterdefinitionen laut

Tabelle 5-16 aggregiert (Ebene 2). Die Werte ergeben sich aus der Summe der Abfallmengen der Abfallschlüsselnummern gemäß Tabelle 5-18 zu Abfallgütergruppen (z. B. werden alle Holzabfälle mit der Abfallschlüsselnummer 17xxx aggregiert).

Tabelle 5-19: Abfallmengen des Entsorgungsbetriebes B im Prozess Sortierung (Ebene 2)

Sortierung				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Transport	transportierte Holzabfälle TS-H	14.000	Sortierung
	Transport	transportierte Papierabfälle TS-P	27.000	Sortierung
	Transport	transportierte feste Siedlungsabfälle TS-F	20.000	Sortierung
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Sortierung	sortierte Holzabfälle SLI-H	11.000	Lagerung I
	Sortierung	sortierte Papierabfälle SLI-P	25.000	Lagerung I
	Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle SLI-F	14.000	Lagerung I
	Sortierung	sortierte Holzabfälle SLII-H	2.800	Lagerung II
	Sortierung	sortierte Papierabfälle SLII-P	1.300	Lagerung II
	Sortierung	sortierte feste Siedlungsabfälle SLII-F	5.900	Lagerung II

In Tabelle 5-20 sind die gesamten Abfallmengen gemäß Tabelle 5-12 zusammengefasst. Die Werte ergeben sich aus der Summe der Abfallgütergruppen gemäß Tabelle 5-19.

Tabelle 5-20: Abfallmengen des Entsorgungsbetriebes B durch den Prozess Sortierung (Ebene 1)

Sortierung				
Input	Herkunftsprozess	Input Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Transport	transportierter Abfall TS	60.000	Sortierung
Output	Herkunftsprozess	Output Güter	Abfallmenge [t]	Zielprozess
	Sortierung	sortierter Abfall SLI	50.000	Lagerung I
	Sortierung	sortierter Abfall SLII	10.000	Lagerung II

In den Abbildung 5-7 bis Abbildung 5-9 sind Güterbilanzen für das konkrete Entsorgungsunternehmen B in verschiedenen Ebenen dargestellt.

In Abbildung 5-7 sind die Güterflüsse der massenmäßig wichtigsten Abfallgütergruppen der Ebene 2 durch das System dargestellt. Die Input- und Outputflüsse für den Prozess Sortierung entsprechen den Werten in Tabelle 5-19.

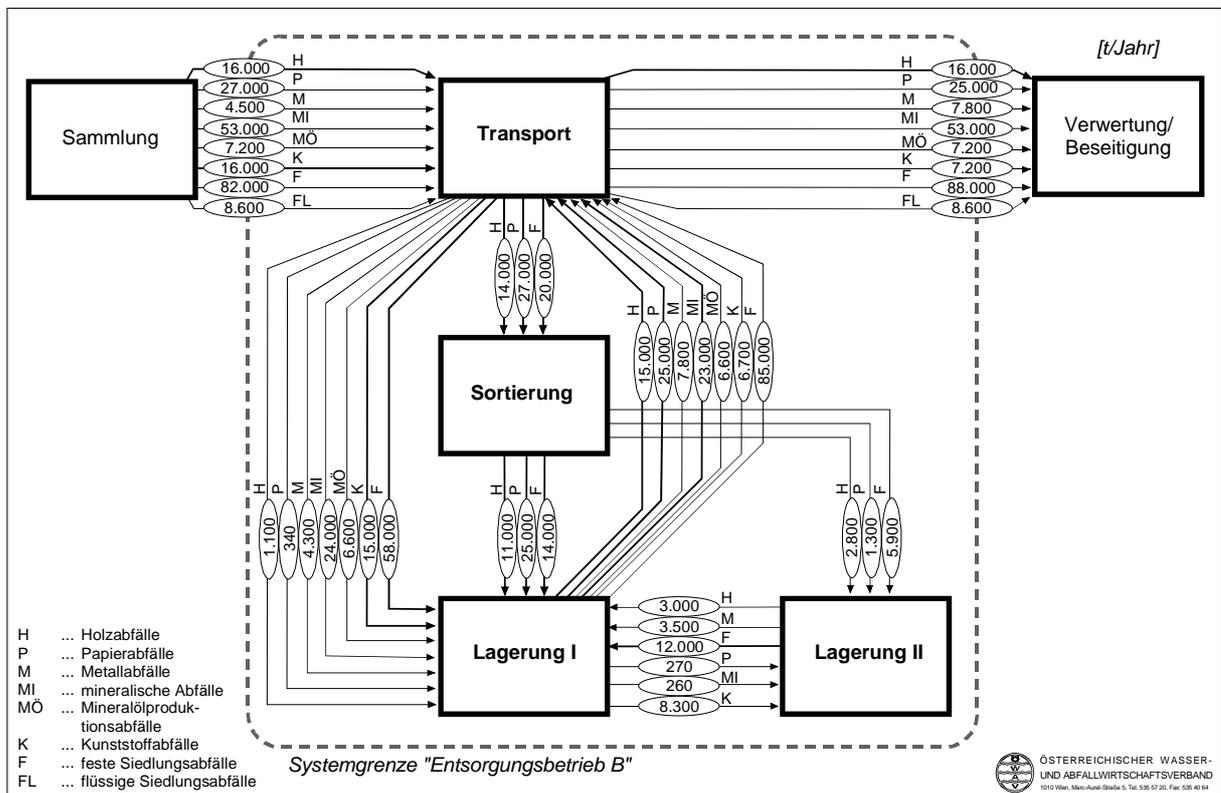


Abbildung 5-7: Güterflussanalyse der massenmäßig wichtigsten Abfallgruppen des Systems „Entsorgungsbetrieb B“ (Anmerkung: Im Prozess „Lagerung II“ ändern einige Inputgüter ihre Schlüsselnummern, z. B. das Inputgut „Kunststoffe“, das den Prozess als Outputgut „feste Siedlungsabfälle“ wieder verlässt.)

In Abbildung 5-8 sind die Güterflüsse in der höchsten Aggregationsebene (Ebene 1) für das System „Entsorgungsbetrieb B“ dargestellt. Es können die Gesamtwerte der Güterflüsse zwischen den einzelnen Prozessen, nicht jedoch bestimmte Gütergruppen quantifiziert werden. Die Güterflüsse ergeben sich durch Aggregation der Abfallmengen aller Abfallgruppen. Die Input- und Outputflüsse für den Prozess Sortierung entsprechen den Werten in Tabelle 5-20.

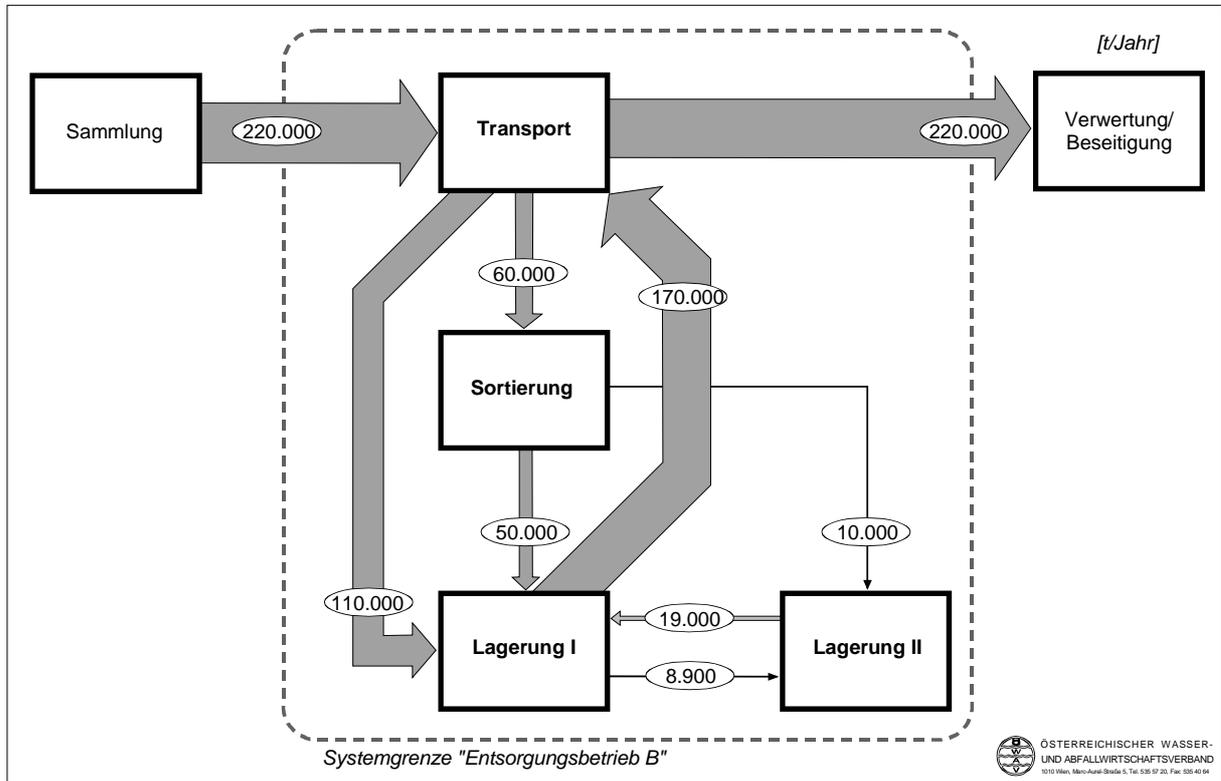


Abbildung 5-8: Güterflussanalyse des Systems „Entsorgungsbetrieb B“

Der in Abbildung 5-7 als einer von acht Flüssen dargestellte Papierabfallfluss durch das System des „Entsorgungsbetriebes B“ ist in Abbildung 5-9 explizit dargestellt.

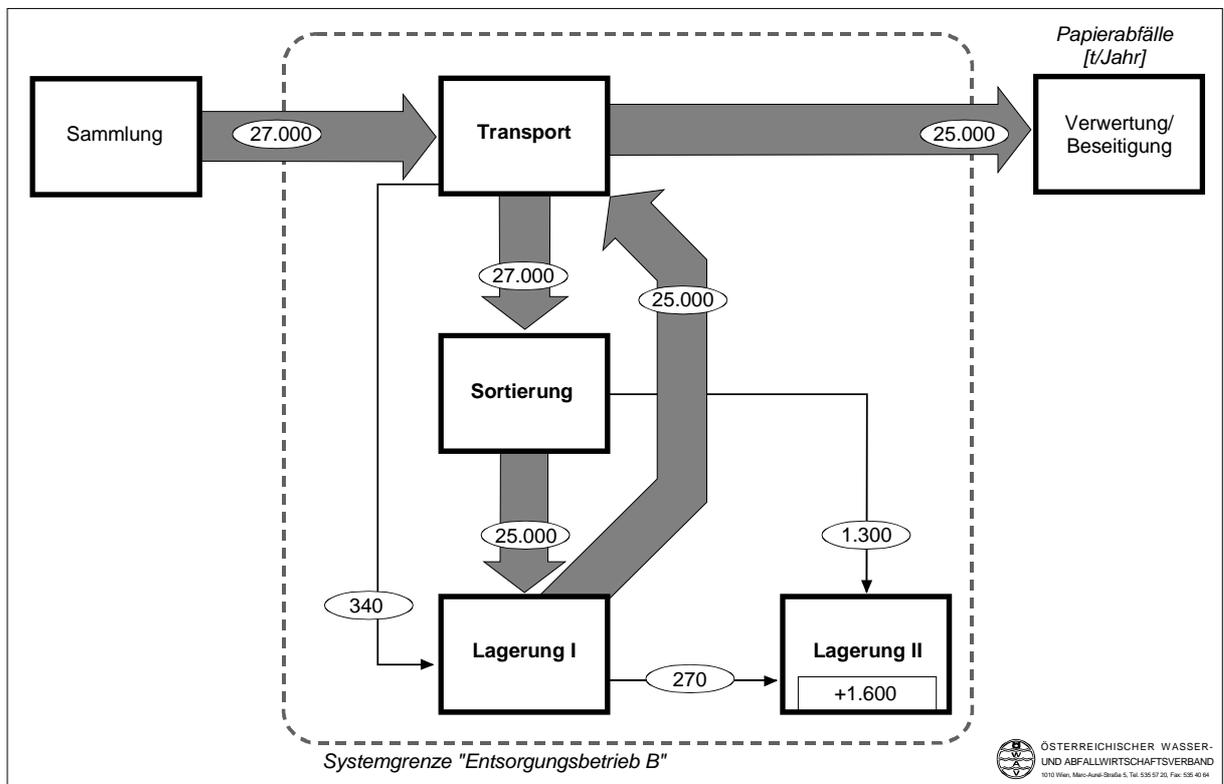


Abbildung 5-9: Güterflussanalyse von Papierabfällen des Systems „Entsorgungsbetrieb B“ (Anmerkung: Der Prozess „Lagerung II“ hat kein Outputgut „Papier“. Das Inputgut „Papier“ ändert im Prozess seine Schlüsselnummer und verlässt den Prozess „Lagerung II“ als Outputgut „Restmüll“, welches in dieser, auf die Güterflüsse von Papier beschränkten Abbildung nicht dargestellt wird.)

5.2.6 Resultate

Mit Hilfe der Güterbilanz ist es möglich, die zentralen Güterflüsse innerhalb eines Entsorgungsunternehmens zu bestimmen. Dabei können die Güter nach einzelnen Abfallschlüsselnummern in Gruppen aggregiert oder als Gesamtflüsse ausgewiesen werden, wobei in dieser Reihenfolge der Detaillierungsgrad ab- bzw. die Übersichtlichkeit zunimmt. Bei der Abwägung ob der Übersichtlichkeit oder dem Detaillierungsgrad der Vorzug zu geben ist, muss auf die technische Machbarkeit im jeweiligen Betrieb Bedacht genommen werden.

Folgende Aussagen können mit einer Güterbilanz gemacht werden:

- Input-Output Analyse des Systems „Entsorgungsunternehmen“ (siehe Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8)
- Identifikation der (massenmäßig) wichtigsten Güter (nach Abfallschlüsselnummer) und Prozesse im System (siehe Abbildung 5-7)
- Identifikation der wichtigsten Güterflüsse sowie des Gesamtflusses zwischen den einzelnen Prozessen (siehe Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8)
- Identifikation der Abfälle, die innerhalb des Systems ihre Abfallschlüsselnummer ändern (siehe Lagerung II in Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8)
- Identifikation der Güterflüsse einzelner Abfälle durch das System (siehe Abbildung 5-9)
- Einfache und klare Darstellung, auf welchen Pfaden Güter durch das Unternehmen fließen (siehe Abbildung 5-7 bis Abbildung 5-9)
- Identifikation möglicher Schwachstellen

6 Glossar und Abkürzungsverzeichnis

6.1 Glossar

anthropogen	durch den Menschen verursacht, beeinflusst
AWG	AbfallWirtschaftsGesetz BGBl 102/2002 (2002) Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
Der ECO-Indikator 99	Der ECO-Indikator 99 ist als Instrument für den Designer (Planer) und Produktmanager entwickelt worden, um die ökologischen Aspekte von Produkten entlang des Lebensweges bewerten zu können. Bei der Erstellung der ECO-Indikatoren wird die Umwelt durch die drei Kategorien menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen und die dabei auftretenden Schäden abgebildet.
EMAS	Das Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) ist ein von der EU per Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates erlassenes Verfahren für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung. Für eine EMAS-Zertifizierung sind notwendig: 1. Aufnahme des Ist-Zustandes, 2. Einführung eines Umweltmanagementsystems, 3. Umweltprüfung, 4. Umwelterklärung. Die einzelnen Schritte sind von einem befugten Gutachter zu beurteilen.
End-of-Pipe - Lösungen	Maßnahmen die sich auf die Ende der Nutzungsdauer eines Produktes konzentrieren und die Herstellung und Nutzung des Produktes nicht miteinbeziehen.
FCKW	FluorChlorKohlenWasserstoffe Fluor- und chlorhaltige Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Länge. Sie wurden u.a. als Treibgas in Spraydosen und Kunststoffschäumen oder als Kältemittel in Kühlaggregaten und Klimaanlage verwendet. Wegen ihrer ozonschichtzerstörenden Wirkung wurde deren Einsatz größtenteils verboten.
GWP	Global Warming Potential Treibhauspotenzial; Beschreibt die Wirksamkeit eines Gases in der Atmosphäre für den Treibhauseffekt im Verhältnis zu CO ₂ . Als Bezugspunkt wird das GWP von CO ₂ mit 1 festgelegt.

ISO 14.001	Internationale Norm. Spezifikation und Anleitung zur Anwendung eines Umweltmanagementsystems. EMAS stellt weitergehende Ansprüche an das Unternehmen als ISO 14.001, z. B. fehlt eine verpflichtende Umwelterklärung.
KEA	Kumulierter EnergieAufwand Der kumulierte Energieaufwand gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der in Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung entsteht
LCA	Life Cycle Assessment oder Ökobilanzen sind ursprünglich Methoden, um die Umweltauswirkungen von Produkten zu bestimmen. Eine LCA besteht gemäß Norm [ÖN EN ISO 14040, 1997] aus einem Bilanzierungsziel, einer Sachbilanz, einer Wirkungsbilanz (Klassifizierung und Abschätzung) und einer Bilanzauswertung.
Lithosphäre	Im Schalenbau der Erde die obersten 100 km. Die Lithosphäre umfasst sowohl die Erdkruste als auch die obersten Teile des Erdmantels, welche von der Festigkeit her eine Einheit bilden und auf den darunterliegenden Schichten verschiebbar sind.
MAK-Wert	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration Grenzwert für die Konzentration von Schadstoffen an einem Arbeitsplatz bei einer durchschnittlichen Expositionsdauer von 8 Stunden pro Arbeitstag.
MIPS	MaterialInput Pro Serviceeinheit Der MIPS zugeordnete Wert ergibt sich aus dem für die Produktion des jeweiligen Produktes notwendigen Materialinput, dividiert durch die Serviceeinheit (als Maß für den Nutzen eines Produktes). MIPS wurde bisher in der Materialinputanalyse für Unternehmen und Volkswirtschaften angewendet, um die Umweltbelastung eines Produktes bzw. Verfahrens oder einer Dienstleistung abzuschätzen und mit alternativen Varianten zu vergleichen.
Ökobilanz	Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs
ÖNORM S2100	In dieser ÖNORM werden die Schlüssel-Nummern für Abfälle festgelegt und Hinweise für eine mögliche Behandlung gegeben.

PVC	PolyVinylChlorid Kunststoff für vielfältige Anwendungen. Bei der Verbrennung von PVC entsteht Salzsäure, welche die Entstehung von Dioxinen bei Verbrennungsprozessen (z. B. Müllverbrennung) fördert.
Sachbilanz	Phase der Ökobilanz, die die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs umfasst.
SKE	StoffKonzentrierungsEffizienz Eine Methode, welche die Stoffverdünnung bzw. -konzentrierung eines Verfahrens quantifiziert. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe der statistischen Entropie, welche die Streuung von Verteilungen quantifiziert.
SPI	Sustainable Process Index Mit dem SPI kann der Einfluss eines Produktes oder einer Dienstleistung über dessen gesamten Lebenszyklus unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit abgeschätzt werden.
TRK-Werte	Technische RichtKonzentrations-Werte werden aufgestellt für gefährliche (krebserzeugende und krebserdächtige) Stoffe, für die z.Z. keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) aufgestellt werden können. Unter der TRK eines gefährlichen Stoffes versteht man diejenige Konzentration als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Technik erreicht werden kann und die als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist.
Wirkungsabschätzung	Phase der Ökobilanz, die dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient.

6.2 Abkürzungsverzeichnis

ARA	Altstoff Recycling Austria AG
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
AWS	Abfallwirtschaft
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
d. h.	das heißt
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GFA	Güterflussanalyse
GWP	global warming potential
i. d. R.	in der Regel
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISO	International Organisation for Standardization
KEA	Kumulierter Energieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MFA	Materialflussanalyse
MIPS	Material Input per Service Unit
MVA	Müllverbrennungsanlage
NUP	Nationaler Umwelt Plan
ÖN	Österreichische Norm
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
PIOT	physical input output table
PVC	Polyvinylchlorid
RMA	Ressourcen Management Agentur
s. u.	siehe unten
SFA	Stoffflussanalyse
SKE	Stoffkonzentrierungseffizienz
SPI	sustainable process index
SVZ	Stoffverdünnungszahl
TK	Transferkoeffizient
TRI	Toxic Release Inventory
TRK	Technische Richtkonzentration
TU	Technische Universität
UVE	Umweltverträglichkeitserklärung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
z. B.	zum Beispiel

7 Literatur

- Baccini, P.; Bader, H.-P. (1996) Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Baccini, P.; Brunner, P. H. (1991) Metabolism of the Anthroposphere. Springer-Verlag. Berlin, New York.
- Baccini, P.; Daxbeck, H.; Glenck, E.; Henseler, G. (1993) METAPOLIS. Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. 34A. Nationales Forschungsprogramm 25 "Stadt und Verkehr". ETH-Zürich. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG). Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt. Zürich.
- BGBl 102/2002 (2002) Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
- BGBl 697/1993 i.d.g.F (2002) Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 - UVP-G 2000).
- BMLFUW (2001) Bundes-Abfallwirtschaftsplan. Bundesabfallbericht 2001. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- Brandl, K.; Blab, A.; Glas, N.; Kienzl, K.; Kralik, M.; Konecny, R.; Riss, A.; Schneider, J.; Schwarzl, B.; Zulka, P.; Lang, J. (2002) UVE-Leitfaden. Eine Information zur Umweltverträglichkeitserklärung. Fachliche Aspekte. Umweltbundesamt GmbH. Wien.
- Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R. (1993) Ökobilanzen für Unternehmen. Eine Wegleitung für die Praxis. Verlag Paul Haupt Bern. Stuttgart. Wien. Bern, Stuttgart, Wien.
- Daxbeck, H.; Baumeler, A.; Merl, A.; Smutny, R.; Brunner, P. H. (1999) Grenzen der Erfassung und Verwertung von Altpapier in Österreich. (Projekt GEVA). Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Daxbeck, H.; Brunner, P. H. (1993) Stoffflußanalysen als Grundlagen für effizienten Umweltschutz. Oesterreichische Wasserwirtschaft 45 (3/4). S. 90-96.
- Daxbeck, H.; Lampert, C.; Morf, L.; Obernosterer, R.; Rechberger, H.; Reiner, I.; Brunner, P. H. (1996) Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien. (Projekt PILOT). Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Daxbeck, H.; Schönbauer, A.; Brunner, P. H. (1998) Machbarkeitsstudie Nationale Stoffbuchhaltung. Testbeispiel Zink. (Projekt Stobu - Zn). Monographien/Bd. 107. Umweltbundesamt Wien. Wien.

- Fritsche, U. R.; Jenseit, W.; Hochfeld, C. (1999) Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA). Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits. Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.). Darmstadt.
- Goedkoop, M.; Effting, S.; Marcel, C. (2000) The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Live Cycle Impact Assessment, Manuel for Designers. 2nd edition. PRé product ecology consultants. Amersfoort.
- Goedkoop, M.; Spriensma, R. (2000) The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Live Cycle Impact Assessment, Methodology Report. 2nd edition. 1999/36A. PRé product ecology consultants. Amersfoort.
- Koch, M.; Plinke, E.; Oertlin, M. (1999) Dioxine und Furane. Stoffflussanalyse. 312. Schriftenreihe Umwelt. Umweltgefährdende Stoffe. Prognos. Bern.
- Ministerium für Umwelt, N., Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2000) Arbeitshilfe. Stoffflussanalyse bei abfallrechtlichen Beurteilungsfragen. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- Morf, L. S., E. Ritter, et al. (1997). Güter- und Stoffbilanz der MVA Wels, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien.
- Morf, L.; Brunner, P. H. (1999) Online-Messung der Stoffbilanz auf der MVA Spittelau - Bericht über die Phase A 'Planung und Implementierung'. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Müller-Wenk, R. (1978) Die ökologische Buchhaltung - Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. Campus Verlag. Frankfurt/Main, New York.
- Obernosterer, R. (1994) Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe FCKW, CKW, Halone. Stoffflußanalyse Österreich. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- ÖN EN ISO 14040 (1997) Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen (ISO 14040:1997).
- Österreichische Bundesregierung (1995) Österreich. Nationaler Umweltplan. Bundesministerium für Umwelt. Wien.
- Plas, C.; Kucher, S.; Rainer, C.; Frey, L.; Ölz, R. (1999) Ökobilanzen in Unternehmen. Anpassung der ÖBU-Methode auf österreichische Verhältnisse. 23/1998. Schriftenreihe des BMUJF. Bundesministeriums f. Umwelt, Jugend u. Familie. Wien.

- Rechberger, H. (1999) Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft. Dissertation. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Schachermayer, E.; Bauer, G.; Ritter, E.; Brunner, P. H. (1994) Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. 56. Umweltbundesamt Wien. Wien.
- Schmidt-Bleek, F.; Behrensmeier, R. (1998) MAIA : Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Wuppertal Texte. Birkhäuser. Berlin, Basel, Boston.
- Schmidt-Bleek, F.; Klütting, R. (1993) Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS: Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser. Berlin, Basel, Boston.
- Staber, W.; Hofer, M. (1999) Bewertung von Umweltauswirkungen im Rahmen der EMAS, der ISO 14001 und der IPPC: Ökopunkte Österreich. Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben. Leoben.
- VDI 4600 (1997) Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden (VDI 4600:1997).



Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

A-1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Telefon: 01/535 57 20, Telefax: 01/535 40 64, e-Mail: buero@oewav.at

Zusammenschluss aller an der Wasser- und Abfallwirtschaft interessierten Kreise aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

Veranstaltungen

Österreichische Wasserwirtschaftstagung
Österreichische Abfallwirtschaftstagung
Österreichische Umweltrechtstage
Verbandstag der österreichischen Wasser- und Abfallverbände
Tagung Hochwasserschutz
Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen
Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagennachbarschaften
Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
Exkursionen im In- und Ausland
Vorträge

Fachausschüsse und Arbeitsgruppen

Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern, Gutachten und Studien für bestimmte Fachgebiete der Wasser- und Abfallwirtschaft

Beratung und Information

Auskünfte und individuelle Beratung
Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Dokumentationsstelle „Wasser – Abfall“, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW) ¹⁾
Tätigkeitsbericht des ÖWAV
Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform *)
Schriftenreihe des ÖWAV *)
Regelblätter *), Arbeitsbehelfe *) und Merkblätter des ÖWAV
ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen *)
KA-Betriebsinfo ¹⁾
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer ¹⁾
Schriftenreihe „Die Talsperren Österreichs“ ¹⁾
Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der TU Graz ¹⁾
Veröffentlichungsreihe Konstruktiver Wasserbau/Landschaftswasserbau der TU Wien ¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA
(vormals European Water Pollution Control Association – EWPCA)

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Water Association – IWA (vormals International Water Services Association – IWSA und International Association on Water Quality – IAWQ, gem. mit ÖVGW)
- International Commission on Large Dams – ICOLD
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)
- International Solid Waste Association (ISWA)

*) im Kommissionsverlag bei ON Österreichisches Normungsinstitut, Wien

¹⁾ Mitherausgeber