



**Evaluierung der Sammel- und Sortierleistung
der ARGEV mittels der Indikator
Güterkonzentrierungseffizienz (GKE)**

**Evaluation der Sammel- und Sortierleistung
der ARGEV mittels der Indikatoren Güter-
und Stoffkonzentrierungseffizienz (GKE, SKE)**

ESIS

Endbericht

(Entwurf)

Helmut Rechberger
Elisabeth Schachermayer
Stefan Skutan
Paul H. Brunner

Im Auftrag der
ARGEV-Verpackungsverwertungs-GmbH

Wien, im Oktober 2000

Projektleitung:

Helmut Rechberger

Grafische Gestaltung und Layout:

Helmut Rechberger, Stefan Skutan, Inge Hengl

Impressum:

Technische Universität Wien
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Abteilung Abfallwirtschaft
A-1040 Wien, Karlsplatz 13/226.4
Tel.: +43 1 58 801 226 41 (Skr.)
Fax.: +43 1 504 22 34
E-Mail: aws@iwa.tuwien.ac.at
<http://www.iwa.tuwien.ac.at>



Kurzfassung

Die Güter- bzw. Stoffkonzentrierungseffizienz (GKE bzw. SKE) beschreibt die Aufkonzentrierung oder Verdünnung von Gütern bzw. Stoffen im Ablauf von Prozessen. Die Basis dieser Maßzahl ist der Vergleich der statistischen Entropien von Eingangsmaterialien und Produkten von Prozessen. Die statistische Entropie ist umso höher, je gleichmäßiger der betrachtete Stoff in der Gesamtheit der Eingangsmaterialien bzw. Produkte verteilt ist. Ist ein Prozess in der Lage Güter/Stoffe zu konzentrieren, so ist der Wert der statistischen Entropie für die Produkte niedriger als jener der Eingangsmaterialien, die GKE/SKE nimmt einen positiven Wert an. Jede Konzentrierung ist aber nur mit dem Einsatz von Energie möglich.

Die Konzentrierungsleistung der ARGEV in der österreichischen Abfallwirtschaft wurde in dieser Arbeit anderen Müllbehandlungs-Verfahren gegenübergestellt. Hierfür stellte die ARGEV Daten von der Sammlung in privaten Haushalten und Industrie und Gewerbe, und der Sortierung von Verpackungen und stoffgleichen Nicht-Verpackungen zur Verfügung; zusammen mit Restmüllanalysen und Daten über in Verkehr gebrachten Mengen wurden nach der Methode der Stoffflussanalyse (Baccini & Brunner, 1991) Jahresbilanzen erstellt. Die Güterflüsse durch Sammlung und Sortierung wurden mit der Methode nach Rechberger, 1999 hinsichtlich der GKE bewertet.

Diese Bewertung lieferte folgende Ergebnisse:

- Die Trennung und Sammlung von Gütern im Haushalt und Industrie und Gewerbe ist wichtiger als die nachfolgende Sortierung; der heutige Anteil der Sortierleistung an der gesamten Konzentrierungseffizienz liegt bei 10-20 %, ausgenommen Al- und PET-Verpackungen, wo der Anteil bei rund 40 bzw. 50 % liegt.
- Würde die Sammlung von reinem Aluminium über Getränkedosen hinaus auf alle Artikel mit einem Aluminiumgehalt > 95 % ausgedehnt, so würde sich die Konzentrierungseffizienz im Vergleich zu heute (20 %) mehr als verdoppeln (47 %).
- Für Eisen und Eisenverpackungen lässt sich durch die Magnetabscheidung bei thermischer oder auch mechanisch biologischer Behandlung des Restmülls eine ähnlich hohe Konzentrierungseffizienz erreichen, wie durch Sammlung und Sortierung. Mit geeigneten Abscheideverfahren für Aluminium aus der Schlacke bzw. aus Sortierfraktionen wäre der gleiche Effekt zu erzielen.
- Die Konzentrierungseffizienz von PET Verpackungen und von Getränkeverbundkartons durch Sammlung und Sortierung liegt bei rund 50 % und hat sich in den letzten vier bzw. fünf Jahren kaum verändert; das heißt, die Maßnahmen der letzten fünf Jahre haben die Konzentrierungseffizienz nicht signifikant positiv beeinflusst.



Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG	1
2	ZIELE UND FRAGESTELLUNGEN	2
3	METHODEN UND DATEN	3
4	VORGEHEN	8
5	RESULTATE	12
5.1	Metallverpackungen	12
5.1.1	<i>Metallverpackungen insgesamt</i>	12
5.1.2	<i>Aluminiumverpackungen</i>	15
5.1.3	<i>Eisenverpackungen</i>	17
5.2	Metalle	22
5.2.1	<i>Aluminium</i>	22
5.2.2	<i>Eisen</i>	26
5.3	Kunststoff (KS)-Verpackungen	30
5.3.1	<i>Polyethylenterephthalatverpackungen PET</i>	33
5.3.2	<i>Getränkeverbundkartons GVK</i>	35
6	BEANTWORTUNG DER FRAGEN & ZUSAMMENFASSUNG	40
7	LITERATUR	43
8	ANHANG	44



1 Einführung

Die ARGEV Verpackungsverwertungs-GmbH ist im Rahmen des ARA-Systems in Österreich für die Sammlung und Sortierung aller Verpackungen aus Kunststoff, Metall, Holz, Textilien, Faserstoffen, Keramik und Materialverbunden zuständig. Die ARGEV verfügt damit einerseits über ein umfangreiches Datenmaterial bzgl. des Aufkommens und der Verwertung/Behandlung dieser Verpackungen und andererseits über die Sortierleistung verschiedenster Sortiersysteme. Für die ARGEV stellt sich daher die Frage, wie sie ihre nunmehr bereits langjährige Tätigkeit durch einen geeigneten Indikator darstellen und bewerten kann, um damit die Basis für eine Erfolgskontrolle und Weiterentwicklung zu legen.

Durch die Sammlung von Verpackungen gelangen diese nicht mit den Haushaltsabfällen in die kommunale Restabfallentsorgung, sondern in das Verpackungsregime. Mit der Sammlung ist damit eine Konzentrierung dieser Verpackungen verbunden, die durch nachgeschaltete Sortierprozesse noch erhöht wird. Je effizienter Sammlung und Sortierung durchgeführt werden, desto höher ist die Menge an Verpackungen und die Sortenreinheit. Lässt man den Aufwand, der mit der Einsammlung von Verpackungen verbunden ist vorerst außer Acht, so bewirkt die separate Sammlung eine Entropieabnahme (Informationsgewinn) – die Verpackungen sind nicht gleichverteilt im Restmüll, sondern konzentriert im Bereich der ARGEV. Mit praktisch sehr hohem (theoretisch unendlichem) Aufwand könnte man eine 100%ige Sammlung von Verpackungen erreichen. Dann würde jedoch die Entropie des Gesamtsystems (Sammlung und dafür nötiger Aufwand) einen Maximalwert erreichen. Es gilt daher das Optimum für den Quotienten aus Nutzen (Menge und Reinheit der Verpackungen) und Aufwand (Energie, Materie, Kosten) zu bestimmen. Dafür ist es notwendig den Nutzen durch eine Maßzahl (Indikator) zu quantifizieren.

Die Methode zur Bestimmung der Stoffkonzentrierungseffizienz untersucht inwieweit abfallwirtschaftliche Verfahren Stoffe wie z.B. Nährstoffe oder Schwermetalle konzentrieren können. Die Methode ordnet dem untersuchten System (Anlage, Verbund von mehreren Anlagen, Region) eine stoffspezifische Maßzahl (Entropie) zu und ermöglicht es damit entweder verschiedene Optionen untereinander zu vergleichen oder Zeitreihen für ein System zu erstellen. Der SKE-Ansatz scheint damit geeignet zu sein, die durch die Tätigkeit der ARGEV erzielte Konzentrierung von Verpackungen zu quantifizieren und damit den oben definierten Nutzen zu beschreiben.

Die Leistungen der ARGEV werden jedoch momentan auf der Ebene der Güter und nicht bzw. kaum auf jener der Stoffe beurteilt. D.h. die Ziele der ARGEV beziehen sich darauf eine möglichst große Menge an Verpackungen sortenrein zu sammeln. Es wird nicht die Frage gestellt, inwieweit dadurch die Bewirtschaftung von Polyethylen, Aluminium oder Eisen verändert wird. Es ist daher der SKE-Ansatz an diese unterschiedliche Fragestellung (Konzentration von Gütern und nicht von Stoffen) und an die durch die ARGEV vorgegebene Datengrundlage anzupassen.



2 Ziele und Fragestellungen

Das Ziel des Projektes besteht darin, die Sammel- und Sortierleistung der ARGEV über die vergangenen Jahre darzustellen und damit den Beitrag des Unternehmens zur Abfallwirtschaft auf Basis einer naturwissenschaftlichen Größe (Entropie) zu bestimmen. Diese neue Maßzahl stellt eine wertvolle Ergänzung im Bewertungsinstrumentarium dar und kann als Funktion verschiedener anderer, etablierter Maßzahlen wie Behälteranzahl, Tonnenkilometer, Treibstoffverbrauch, Kosten etc. angegeben werden. Daraus können dann Optimierungsmaßnahmen abgeleitet werden. Einzelne Sortierprozesse können bzgl. ihrer Sortierleistungen miteinander verglichen und damit einer Verfahrensbewertung unterzogen werden. Auch anhand dieser Erkenntnisse ist eine Optimierung des Systems möglich.

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

1 Systemdefinition

- 1.1 Wie sind die zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen für die Tätigkeit der ARGEV zu ziehen?
- 1.2 Welches sind die relevanten Prozesse im System?
- 1.3 Welche Daten können durch die ARGEV zur Verfügung gestellt werden?

2 Anwendung/Adaption der Methode

- 2.1 Welche Güterflüsse aus dem Verpackungssortiment können mit den vorgegebenen Methoden untersucht werden?
- 2.2 Inwieweit muss die angewandte Methode der Datenlage und Fragestellung angepasst werden?

3 Ergebnisse

- 3.1 Wie groß ist die GKE/SKE für die untersuchten Güter/Stoffe?
- 3.2 Was sind die Trends der GKE/SKE für die Sammel- und Sortierleistung des Systems ARGEV über die letzten Jahre für die ausgewählten Güter/Stoffe?
- 3.3 Welche Aussagen über die Optimierung des Systems bzgl. der GKE/SKE lassen sich treffen?
- 3.4 Was sind die momentan effizientesten Sortiertechnologien im System ARGEV.



3 Methoden und Daten

Um die Fragen des gegenständlichen Projektes beantworten zu können wurden zwei Methoden angewandt: Die Methode der Stoffflussanalyse (SFA) nach Baccini & Brunner, 1991 und die Methode der Stoffkonzentrierungseffizienz (SKE) nach Rechberger, 1999. Mittels der SFA wurden die untersuchten Systeme und Varianten beschrieben. Der SKE-Ansatz diente zur Bewertung der Systeme. Im Folgenden werden beide Methoden kurz beschrieben.

Methoden der Stoffflussanalyse SFA

Die Erstellung einer Stoffflussanalyse SFA kann allgemein in folgende neun Teilschritte eingeteilt werden:

1. Formulierung der Ziele und Fragestellung
2. Systemdefinition (Auswahl der zeitlichen und örtlichen Systemgrenzen, Prozesse, Güter und Stoffe)
3. Erste Abschätzung der Güter- und Stoffbilanz anhand verfügbarer Daten, um die wichtigsten Güterflüsse und Prozesse zu identifizieren
4. Erstellung eines Untersuchungs- und Messprogramms für die Bestimmung der Güter- und Stoffflüsse unter Einbeziehung der notwendigen Genauigkeit der Resultate
5. Bestimmung der Massenflüsse der Güter
6. Bestimmung der Stoffkonzentrationen in den Gütern
7. Berechnung der Stoffflüsse aus den Massenflüssen und den Stoffkonzentrationen einschließlich der Abschätzung der Unsicherheiten der Resultate
8. Berechnung und Optimierung der Transferkoeffizienten
9. Numerische und graphische Darstellung der Resultate einschließlich detaillierter Berichterstattung, um diese nachvollziehbar und interpretierbar zu machen

ad 1: Der erste Schritt bei der Erstellung einer Stoffflussanalyse besteht in der Ausformulierung des zu erreichenden Zieles und den daraus abgeleiteten Fragestellungen. Dieser Schritt ist in einem iterativen Verfahren mit den darauf folgenden Schritten abzustimmen. Möglicherweise sind die Ziele oder die Fragen nach den Schritten zwei bis vier und den Bedingungen der Praxis wie limitierendes Budget, Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Daten, begrenzter Bilanzierungszeitraum usw. zu revidieren.

ad 2: Mit dem zweiten Schritt beginnt nun die Vereinfachung eines üblicherweise komplexen Systems auf die relevanten Prozesse. In Abhängigkeit der Fragestellungen werden die "Systemgrenzen" gezogen. Diese sind für alle vier Dimensionen zu bestimmen, d.h. die Abgrenzung ist räumlich und zeitlich vorzunehmen. Ein "System" kann entweder eine bestimmte Anlage sein, wie z.B. eine Müllverbrennungsanlage, oder eine Kombination von einzelnen Prozessen (z.B. Abfallsammlung, Müllverbrennung und Reststoffdeponien) bis hin zur gesamten Abfallwirtschaft bestehend aus allen dazugehörigen Transport-, Sammel-, Behandlungs-, Verwertungs-, Recycling- und Entsorgungsprozessen. Nachdem die Grenzen nach außen definiert sind, werden die zu untersuchenden Prozesse und Güter ausgewählt. Ein "Prozess" ist definiert als ein Transport, eine Lagerung oder eine Transformation von Gütern



bzw. deren Stoffen. Als "Güter" bezeichnet man handelbare Substanzen, welche aus einem (z.B. Fe-Verpackungen) oder mehreren Stoffen (z.B. Verbundverpackung) bestehen können. Ein "Stoff" ist definiert als ein Element (z.B. Aluminium) oder eine chemische Verbindung (z.B. CO₂). Die einzelnen Prozesse werden über die jeweiligen Güterflüsse miteinander verknüpft, wobei jedes Gut über einen Herkunfts- und Zielprozess verfügt. Der Prozess selbst wird als black box verstanden, d.h. die Vorgänge innerhalb des Prozesses werden in der Regel nicht untersucht, mit einer Ausnahme: ein etwaiges "Lager" und dessen Veränderung fließen in die Betrachtung mit ein. Nach dem Massenerhaltungsgesetz kann die Bilanz eines Prozesses im Fließgleichgewicht für Stoffe, die keine Umwandlung erfahren, durch folgende Gleichung dargestellt werden:

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j$$

wobei a_i die Edukte (Ausgangsprodukte) eines Prozesses und b_j die Produkte einschließlich der Abfälle, die in einem Prozess entstehen, repräsentieren. Nachdem das System mit seinen Prozessen und Gütern definiert wurde, ist eine erste provisorische Bilanz abzuschätzen, welche bereits möglichst viele Güter und Prozesses beinhalten soll. Die Qualität der Zahlen steht in dieser Phase nicht im Vordergrund. Es ist in dieser Phase meist nicht notwendig, eigene Messungen durchzuführen, Literaturstudien können durchaus ausreichen. Als Bilanzierungszeitraum (zeitliche Systemgrenze) kann je nach Fragestellung ein Jahr, ein bis mehrere Tage, oder ein bis mehrere Stunden herangezogen werden.

ad 3: Die provisorische Bilanz ermöglicht es, die für das System sensiblen Prozesse und Güter zu bestimmen. Es sollen jene Flüsse identifiziert werden, bei deren Veränderung das System am stärksten reagiert. Die Bedeutung eines Prozesses für das Gesamtsystem hängt sehr von den zu untersuchenden Stoffen ab.

ad 4: Erst jetzt sollte mit der Planung des eigentlichen Messprogramms begonnen werden. Es müssen die tatsächlich zu untersuchenden Prozesse und Güter ausgewählt werden. Es geht dabei um die Frage, ab welcher Größe ein Prozess oder ein Gut zuwenig relevant und deshalb in der Untersuchung nicht mehr zu berücksichtigen ist. Diese Grenzziehung erfolgt in Abhängigkeit von der Fragestellung und muss im Einzelfall bestimmt werden. Bei den bisherigen Untersuchungen hat es sich in der Regel als sinnvoll erwiesen, jene Flüsse welche deutlich 1% des größten Flusses unterschreiten, nicht mehr zu berücksichtigen. Bei Emissionsflüssen in die Umwelt gilt diese Regel nicht.

ad 5: Die erste definitiv zu erstellende Bilanz ist die Güterbilanz, wobei in dieser Phase nur mehr die in Punkt 4 ausgewählten Güter bestimmt werden. Diese Bilanz ist die Voraussetzung für die nächsten folgenden Schritte.

ad 6: Für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen in den jeweiligen Gütern stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Sie können entweder durch Literaturstudien oder ebenfalls durch ein Messprogramm ermittelt werden.

ad 7: Die Stoffflüsse werden durch Multiplikation der Massenflüsse mit den jeweiligen Stoffkonzentrationen ermittelt: $\dot{X}_{ij} = c_{ij} \cdot \dot{m}_i$ i...Gut, j...Stoff

ad 8: Die Ergebnisse der Stoffbilanzierung werden sehr anschaulich mit Hilfe der Transferkoeffizienten (Verteilungskoeffizienten) dargestellt. Der Transferkoeffizient k_i ist definiert als



$$k_i = \frac{\dot{X}_{\text{Produkt}}}{\dot{X}_{\text{Edukt}}} (\cdot 100)$$

wobei die Summe aller $k_i = 1$ (bzw. 100 für Prozentangabe) ist. \dot{X}_{Produkt} bezeichnet den Stofffluss über das Produkt für welches der Transferkoeffizient gilt, \dot{X}_{Edukt} ist der Stofffluss im Edukt, daher in der Regel im Abfall.

ad 9: Liegen die Güter- und Stoffbilanzen vor, ist es wichtig, diese dementsprechend graphisch aufzubereiten, um die Hauptaussagen hervorzuheben.

Methode der Stoffkonzentrierungseffizienz

Mittels der Methode der Stoffkonzentrierungseffizienz kann das Ausmaß, mit dem ein System Stoffe verdünnt oder konzentriert, quantifiziert und damit bewertet werden. Die SKE bewertet die Resultate einer SFA (Massenflüsse und Stoffkonzentrationen) mit Hilfe der Statistischen Entropie. Die Entropie ist in der Statistik ein Mittel, um die Streuung von Verteilungen zu quantifizieren. Im Sinne der Methode kann ein System als Prozess betrachtet werden, der Verteilungen von Massenflüssen (\dot{m}) sowie Stoffkonzentrationen (c) transformiert (vergl. Abbildung 1).

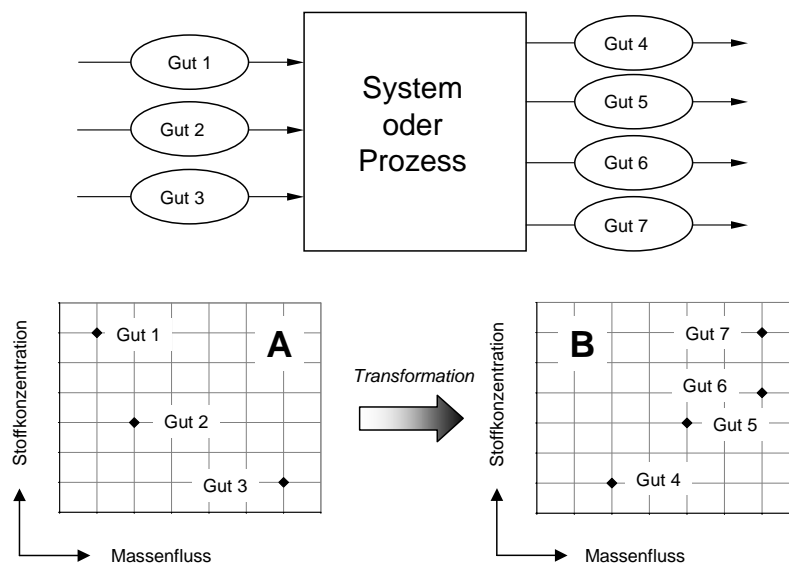


Abbildung 1: Ein System transformiert die Input-Verteilung von Stoffkonzentrationen und Massenflüssen in eine Output-Verteilung. Die Streuungen der Verteilungen können mittels der Statistischen Entropie quantifiziert werden und werden als Stoffverdünnungszahlen (SVZ) bezeichnet. Die Differenz zwischen der SVZ für den Input und den Output wird als Stoffkonzentrierungseffizienz (SKE) definiert.



Die statistische Entropie dieser Verteilungen kann jeweils für den Input und den Output quantifiziert werden, sie wird als Stoffverdünnungszahl SVZ definiert. Diese SVZ ist eine Funktion von Massenflüssen und Stoffkonzentrationen und bewegt sich im Intervall [0,1]. Die Stoffkonzentrierungseffizienz SKE (in %) eines Prozesses, ist wiederum definiert als die bezogene Differenz zwischen den SVZ von Input und Output und bewegt sich im Intervall [Min,100]. Min ist dabei in der Regel ein negativer Wert und von der Stoffkonzentration in den Inputs abhängig. Prozesse mit einer negativen SKE (Verdünnungsprozesse) sind bspw. Deponien ohne Sickerwassererfassung und Müllverbrennungen ohne weitergehende Rauchgasreinigung.

In der vorliegenden Studie wurde die Methode der SKE nicht nur auf Stoffbilanzen (Aluminium, Eisen), sondern auch auf Güterbilanzen (PET, Folien) angewandt. Dazu wurde die Größe „Stoffkonzentration“ durch die Größe „Gutkonzentration“ in den Formeln zur Berechnung der SKE ersetzt. Die Gutkonzentration gibt bspw. den Anteil an PET in den Leichtverpackungen (Massenfluss) in % an. Für PET-Verpackungen wurde also quantifiziert inwieweit dieses Gut durch das System ARGEV durch Sammlung und Sortierung konzentriert wird. Findet die Konzentrierung auf der Güterebene statt wird diese durch die Maßzahl Güterkonzentrierungseffizienz (GKE) beschrieben.

Auf der stofflichen Ebene werden die Stoffverdünnungszahlen für Input und Output mit folgender Formel berechnet:

$$H(c_{ij}, \dot{m}_i) = \text{ld}(\dot{X}_j) - \frac{1}{\dot{X}_j} \sum_{i=1}^k \dot{m}_i \cdot c_{ij} \cdot \text{ld}(c_{ij})$$

H Statistische Entropie

$$\dot{X}_j = \sum_{i=1}^k \dot{m}_i \cdot c_{ij}$$

c_{ij} Konzentration eines Stoffes j im Gut i

\dot{m}_i Massenfluss des Gutes i

$$H_{\max,j} = \text{ld}\left(\sum_{i=1}^k \dot{m}_{i,j}\right)$$

ld Dualer Logarithmus

k Anzahl der Güter

$$\text{SVZ}_j = \frac{H(c_{ij}, \dot{m}_i)}{H_{\max,j}} \quad [-]$$

$$\text{SKE}_j = \frac{\text{SVZ}_{I,j} - \text{SVZ}_{O,j}}{\text{SVZ}_{I,j}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Auf Güterebene (z.B. PET) ist j der Index für die entsprechende Verpackung, Güterverdünnungszahl GVZ und Güterkonzentrierungseffizienz GKE werden analog berechnet.



Daten

Die Daten für die untersuchten Güter- und Stoffbilanzen wurden durch die ARGEV zur Verfügung gestellt. Da die Angaben zu Güterflüssen in der Regel „verrechnungs-relevante“ Daten sind, wurden diese bisher sehr genau erhoben. Die Güterbilanzen sind daher für die Berechnung der SKE/GKE mehr als ausreichend exakt.

Die Bilanzen für einzelne Verpackungen (z.B. PET) und Stoffe (z.B. Fe) sind weniger exakt, da sie in der Praxis schwieriger zu messen sind (Konzentrationsmessungen aufgrund von Sortieranalysen). Sie ergeben sich aus Sortieranalysen verschiedener In- und Outputgüter (z.B. LVP-Fraktion, Mischkunststofffraktion), aus der Bilanzierung (Input = Output), als auch anhand theoretischer und praktischer Überlegungen (Sortiertiefe, Reinheit nicht untersuchter Güterflüsse, etc.). Die zum Teil getroffenen Annahmen sind im Anhang begründet und sind als durchwegs plausibel zu erachten. Es kann mit großer Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die begangenen Fehler in den Bilanzen das Resultat nicht relevant beeinflussen. Das kann mit einfachen Sensitivitätsanalysen unsicherer Werte gezeigt werden. Sofern die Quelle eines Datums nicht angegeben wurde, wurde diese von der ARGEV zur Verfügung gestellt.



4 Vorgehen

Für die untersuchten Stoffe und Güter wurden Bilanzen für verschiedene Szenarien erstellt, die an der jeweiligen Stelle beschrieben sind. Als Ausgangsniveau für die Güter-/Stoffkonzentrierungseffizienz (GKE/SKE) wurde dabei jenes Szenario herangezogen, bei dem sämtliche Verpackungen der privaten Haushalte (HH) und der haushaltsähnlichen Industrie- und Gewerbebetriebe (IG) über den Restmüll einer Entsorgung zugeführt werden. Das entspricht einer GKE/SKE von 0% (siehe Abb. 2). Gedanklich wird nun davon ausgegangen, dass durch die Konsumenten die Verpackungen aus dem Restmüll herausgenommen und den entsprechenden Sammelsystemen der ARGEV zugeführt werden. Dadurch wird die GKE/SKE positiv. Durch die im Auftrag der ARGEV durchgeführte weitere Sortierung der verschiedenen Verpackungen wird die GKE/SKE weiter erhöht. Dies ist in Abbildung 2 exemplarisch für Metallverpackungen dargestellt.

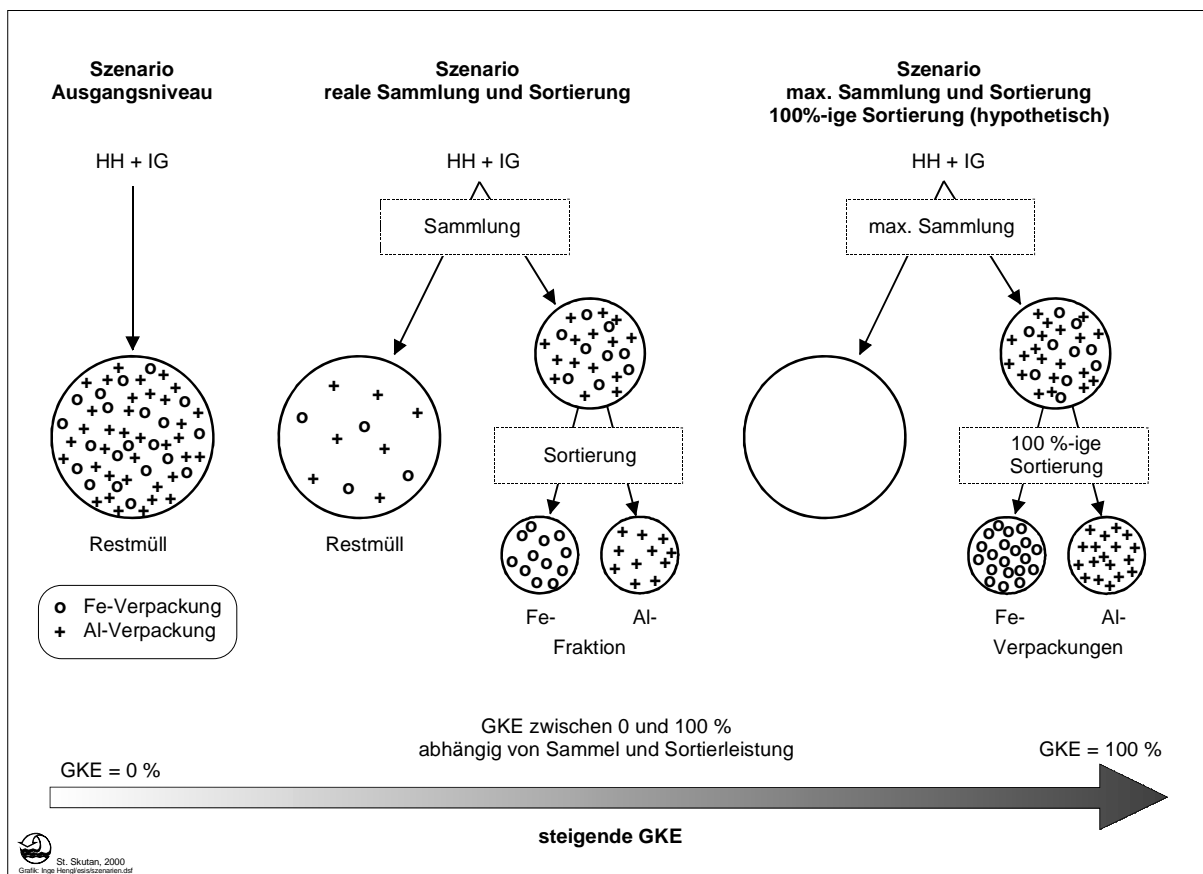


Abbildung 2: Darstellung verschiedener Konzentrierungen von Aluminium- und Eisen-Verpackungen in drei Szenarien und deren Einordnung nach dem Indikator GKE



Als Maximum der GKE/SKE (100%) wurde in der Regel jenes Szenario herangezogen, bei dem die Sammlung in HH und IG derart effizient erfolgt, dass sich im Restmüll keine Verpackungen mehr befinden und die gesammelten Verpackungen durch die ARGEV vollständig in reine Fraktionen sortiert wurden. Im Gegensatz zum Ausgangsniveau ist dieses Szenario nicht realisierbar (unendlich hoher Energieaufwand), es dient lediglich als Bezugspunkt für die GKE/SKE-Werte der anderen untersuchten Szenarien

In den folgenden Abbildungen ist die Vorgehensweise zur Berechnung der SKE-Werte für Aluminium exemplarisch dargestellt. Es wird jeweils die SKE für die Verteilung des Aluminiums auf die Güter in den verschiedenen Stufen berechnet. Die Konzentrierung des Aluminiums in den Stufen 1 und 2 ist ersichtlich.

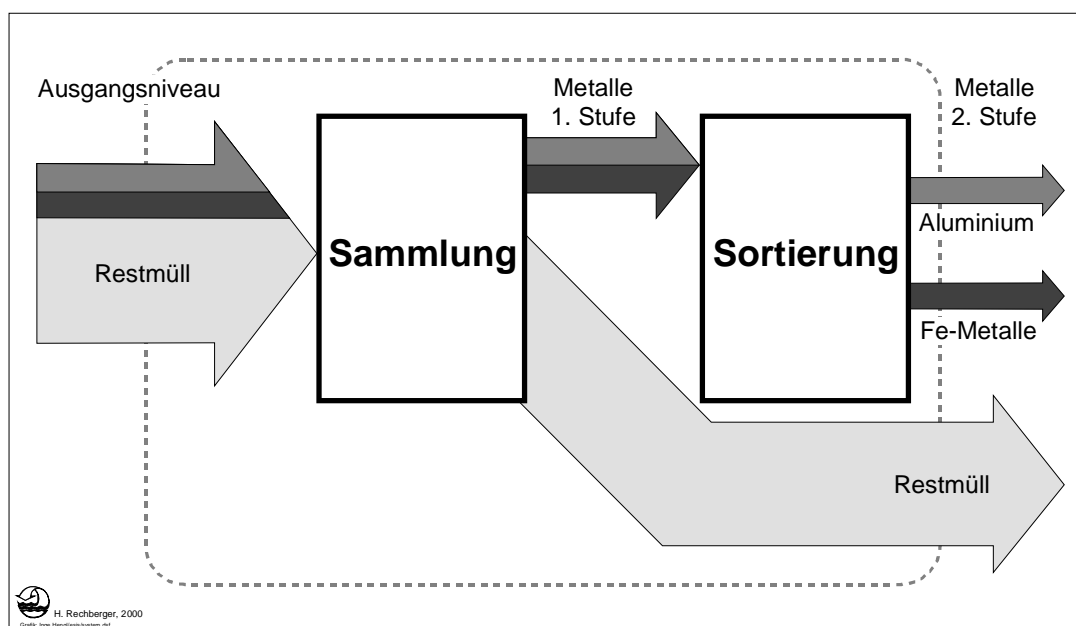


Abbildung 3: Vereinfachtes Systembild für Aluminium. Berechnet wird jeweils die Verteilung von Aluminium auf die verschiedenen Güter im Ausgangsniveau und nach Sammlung bzw. Sortierung. Im Ausgangsniveau ist das Aluminium im Restmüll verteilt, d.h. maximal verdünnt. Durch die Sammlung wird ein Teil des Aluminiums in eine Metallfraktion gebracht, der andere Teil verbleibt im Restmüll. Im Prozess Sortierung wird das gesammelte Aluminium aus der Metallfraktion in eine sortenreine Fraktion gebracht, auf den Al-Anteil im Restmüll hat der Prozess Sortierung keinen Einfluss mehr.

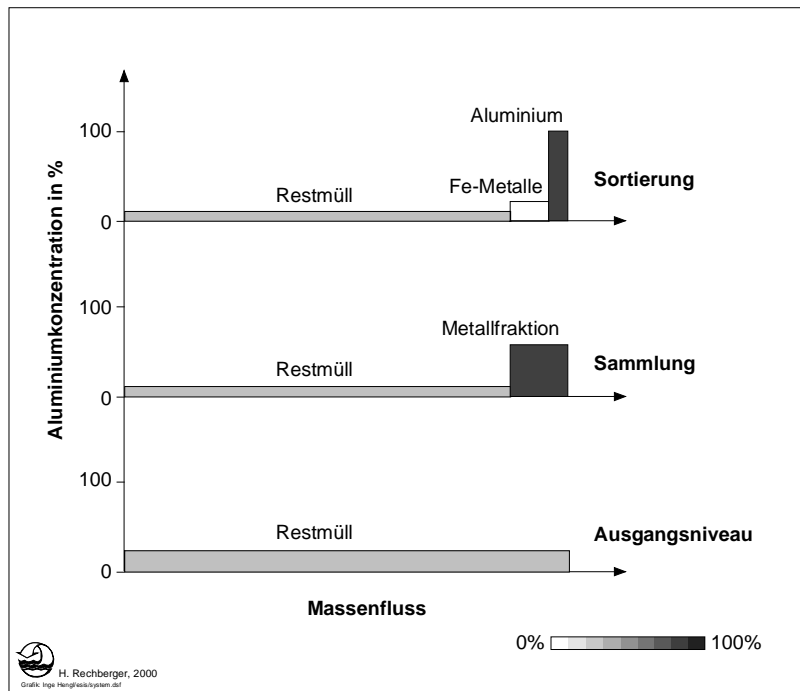


Abbildung 4: Exemplarische Verteilung des Aluminiums auf die verschiedenen Güter im Ausgangsniveau, sowie nach Sammlung und Sortierung. Je dunkler die Flächen, desto höher die Aluminiumkonzentration.

In Abb. 3 ist der Verlauf der GKE bei steigenden Sammelmengen aufgetragen.

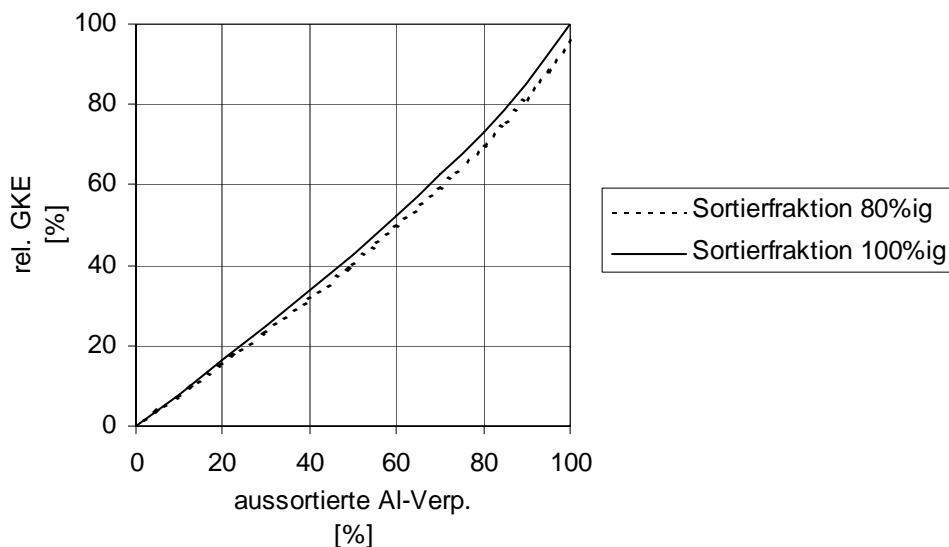


Abbildung 5: GKE für Al-Verpackungen vs. Anteil aussortierte Al-Verpackungen, bei Abtrennung aus dem Restmüll in eine 100%ige bzw. 80%ige Fraktion



Die ausgezogene Linie entspricht dem Verlauf bei Aussortierung aus dem Restmüll in eine reine Fraktion, die strichlierte Linie dem bei Sortierung in eine Fraktion mit 20 % Verunreinigungen. Die GKE steigt immer überproportional mit der Sammelmenge, der Kurvenverlauf beginnt aber mit geringer Steigung. In diesem Beispiel führt die vollständige Abtrennung in eine 80 %ige Fraktion zu einer rel. GKE von 95,3 %. Bei Prozessen wie diesem, die einen mengenmäßig kleinen aber hoch konzentriertes Output-Strom neben großen Output-Strömen mit niedrigen Konzentrationen erzeugen, bewirkt eine kleine Veränderung in der Konzentration der großen Output-Ströme eine starke Veränderung der GKE, während sich eine Veränderung der Konzentration im konzentrierten Output-Strom über einen weiten Bereich kaum auswirkt.



5 Resultate

5.1 Metallverpackungen

5.1.1 Metallverpackungen insgesamt

Die ARGEV ist im Rahmen des ARA-Systems für die Sammlung und Sortierung von Alu- und Fe-Verpackungen zuständig. Die Menge der lizenzierten Metallverpackungen 1999 belief sich auf rd. 48.000 t/a, davon waren 10.700 t/a Al-Verpackungen und 38.000 t/a Fe-Verpackungen. Laut Daxbeck et al., 2000 ist die Menge der Al-Verpackungen im Restmüll mit 12.400 t/a größer als die lizenzierte Menge. Die von der ARGEV gesammelte Menge übertraf mit 31.800 t/a die gesetzlich vorgegebene Sammelquote von 65%. Es ist zu beachten, dass sich die Mischquote aus Al- und Fe-Verpackungen sehr unterschiedlich zusammensetzt, die Sammelquote der Fe-Verpackungen (77%) ist mehr als doppelt so hoch wie jene der Al-Verpackungen (31%).

Folgende Szenarien wurden untersucht:

- „1999, Sammlung und Sortierung“: Ist-Zustand, Sammlung und Sortierung von Metallverpackungen im Jahr 1999.
- „1999, 100%ige Sortierung“: Die Sortierleistung wird in diesem Szenario in bezug auf Metall-Verpackungen maximiert, d.h. die gesammelten Mengen werden in reine Metallverpackungen und den Sortierrest aufgetrennt. Dieses Szenario stellt die 100%-Marke der Sortierleistung dar.
- „1999, Restmüll 100% MBA“: Szenario in dem aller Restmüll auf Mechanisch-biologischen Anlagen (MBA) aufbereitet wird, Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand 1999
- „1999, 100% MBA“: keine Sammlung und Sortierung, alle Metallverpackungen im Restmüll, der gesamte Restmüll läuft in MBAen

Es ist nicht möglich die thermische Restmüllbehandlung in die Berechnungen aufzunehmen, da die teilweise Vernichtung der Al-Verpackungen bei der Müllverbrennung nicht bewertet werden kann.

In Tabelle 1 sind die Bilanzen der untersuchten Szenarien zusammengestellt.



Tabelle 1: Güter- und Metall-Verpackungsbilanzen für die untersuchten Szenarien (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	Met-Vp-Gehalt	Güterfluss	Bezeichnung	Güterfluss	Met-Vp-Gehalt	Güterfluss
I	\dot{m}_i	$c_{i, \text{Met-VP}}$	$\dot{X}_{i, \text{Met-VP}}$		\dot{m}_i	$c_{i, \text{Met-VP}}$	$\dot{X}_{i, \text{Met-VP}}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
1999, Sammlung + Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	1,7	21.400	Restmüll	1.280.000	1,7	21.400
MET HH	34.300	72	24.700	NVP-Müll	35.900	2,5	900
LVP HH	91.900	0,7	700	Ferro	25.300	100	25.300
MET IG	2.700	95	2.500	Fraktionen	41.600	0	0
MIX HH	9.000	11	1.000	MKF	54.800	0,51	300
LVP IG	22.100	0	0	Alu	2.300	100	2.300
				MV	95	50	48
1999, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
wie bei 1999, Sammlung + Sortierung				Restmüll	1.280.000	1,7	21.400
				Metall-Vp	28.800	100	28.800
				Sortierrest	131.000	0	0
1999, Restmüll 100 % MBA							
Sammlung				Sortierung + MBA			
wie bei 1999, Sammlung + Sortierung				>70mm	513.000	1,1	5.800
				25-70mm	235.000	1,4	3.100
				<25mm	402.000	1,3	5.200
				Fe-Schrott	41.000	18	7.200
				NVP-Müll	35.900	2,5	900
				Ferro	25.300	100	25.300
				Fraktionen	41.600	0	0
				MKF	54.800	0,51	300
				Alu	2.300	100	2.300
				MV	95	50	48
1999, 100% MBA							
Sammlung				Sortierung + MBA			
Restmüll	1.441.000	3,5	50.300	>70mm	578.000	1,4	8.000
				25-70mm	265.000	2,4	6.300
				<25mm	453.000	1,7	7.700
				Fe-Schrott	68.000	42	28.400



Legende zu Tabelle 1:

MET HH: Metallfraktion aus den privaten Haushalten; MIX HH: Fraktion, in der Leichtverpackungen und Metalle gemeinsam gesammelt werden; MET IG: Metallfraktion aus Industrie und Gewerbe; LVP HH: Leichtverpackungen aus Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungen aus Industrie und Gewerbe; Ferro: Eisenmetallfraktion; Alu: Aluminiumfraktion; MV: Mischverpackungen; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; Me-Vp: sortenreine Metall-Verpackungsfraction der hypothetischen 100%igen Sortierung; Sortierrest: Me-verpackungsfreier Sortierrest der hypothetischen 100%igen Sortierung; >70mm, 25-70mm,<25mm, Fe-Schrott: Outputfraktionen der MBA

In Abb. 6 sind die GKE für die beschriebenen Szenarien aufgeschlüsselt nach den Beiträgen der einzelnen Prozessschritte dargestellt.

Die Bezugspunkte für die GKE sind: (1) der vollständige Verbleib der Metallverpackungen im Restmüll, das entspricht der größtmöglichen Gleichverteilung der Metallverpackungen im betrachteten System (GKE = 0%) und (2) die vollständige Auftrennung in eine reine Metallverpackungs-Fraktion und einen metallverpackungsfreien Restmüll (GKE = 100%).

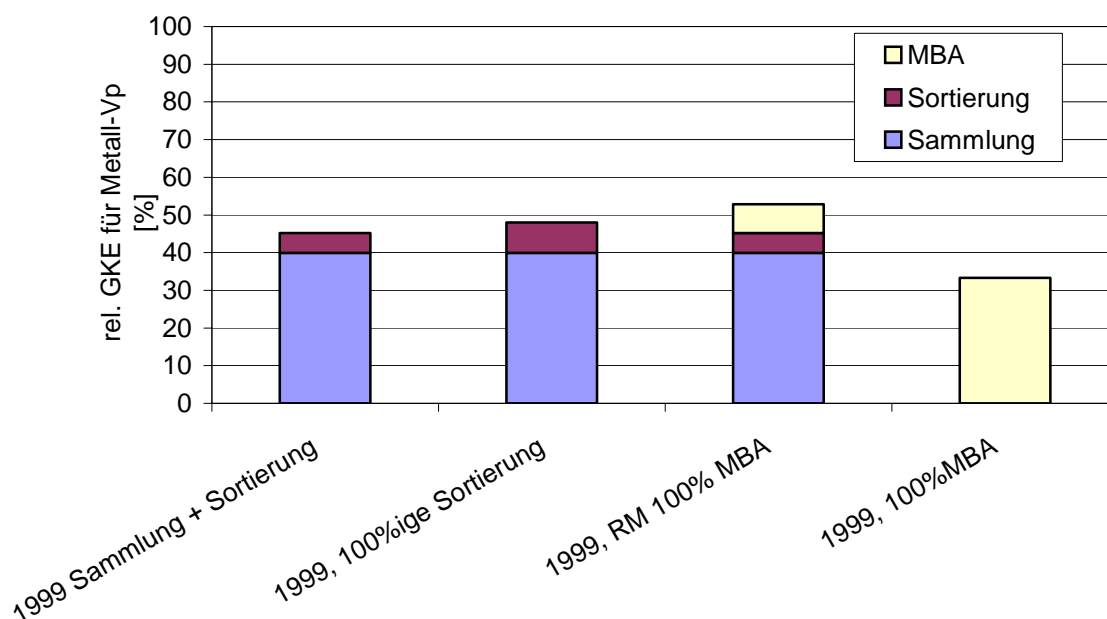


Abbildung 6: relative GKE für Metallverpackungen in den beschriebenen Szenarien

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sammlung im bestehenden System, den größten Beitrag zur GKE liefert. Der Anteil der Sortierung ist relativ gering, daher lässt sich die Gesamt-GKE durch die hypothetische 100 %ige Sortierung kaum steigern (vgl. Balken „1999, 100%ige Sortierung“). Die Beiträge der MBA stützen sich rein auf die relativ effiziente magnetische Fe-Abscheidung, die Al-Verpackungen leisten keinen Beitrag, sie bleiben verdünnt in den Output-Gütern der MBA (siehe weiter unten). D.h. die GKE einer MBA der Metall-Verpackungen ist vorrangig Funktion von Fe-Verpackungsanteil und Effizienz der Magnetabscheidung.



5.1.2 Aluminiumverpackungen

Derzeit ist die Menge an lizenzierten Al-Verpackungen 10.744 t/a. Die Menge an Al-Verpackungen, welche 1999 durch die ARGEV gesammelt wurde ist ca. 3.320 t/a, das entspricht rund 31% der lizenzierten Menge. Bezogen auf die Gesamtmenge an Al-Verpackungen (Summe aus Menge im Restmüll nach Daxbeck et al., 1999 und Sammelmenge) beträgt die Sammelquote 21%.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

- „Ist-Zustand 1999“: Sammlung und Sortierung von Al-Verpackungen im Jahr 1999
- „1999, Restmüll 100% MBA“: Dieses Szenario beschreibt eine Behandlung des gesamten Restmüllaufkommens durch MBA
- „1999, 100%ige Sortierung“: In diesem Szenario wird angenommen, dass die Sammelleistung wie im Ist-Zustand bleibt, jedoch die Al-Verpackungen durch eine hypothetische 100%ige Sortierung in eine reine Fraktion und einen Al-verpackungsfreien Sortierrest aufgetrennt werden.
- „1999, 3-fache Sammlung“: In diesem Szenario wird angenommen, dass die durch HH und IG gesammelte Menge verdreifacht werden kann, die Menge an Fe-Verpackungen bleibt gleich. Die Effizienz der Sortierung dieser erhöhten Sammelmengen (Transferkoeffizienten) bleibt wie im Ist-Zustand. Die tatsächliche erreichbare Sortierleistung für diesen Fall ist nicht bekannt, die Annahme konstanter Transferkoeffizienten stellt lediglich eine Näherung dar.
- „1999, 100% MBA“: Szenario ohne Sammlung und Sortierung, aller Restmüll wird in MBA behandelt

Es ist nicht möglich, die Restmüllbehandlung durch MVAen einzubeziehen, da die teilweise Vernichtung der Al-Verpackungen durch die Verbrennung nicht bewertet werden kann.

Tabelle 2: Güter- und Al-Verpackungsbilanzen für die untersuchten Szenarien (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	Al-Vp-Gehalt	Güterfluss	Bezeichnung	Güterfluss	Al-Vp-Gehalt	Güterfluss
I	\dot{m}_i	$c_{i,Al-VP}$	$\dot{X}_{i,Al-VP}$		\dot{m}_i	$c_{i,Al-VP}$	$\dot{X}_{i,Al-VP}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
Ist-Zustand 1999							
	Sammlung				Sortierung		
Restmüll	1.280.000	0,97	12.000	Restmüll	1.280.000	0,97	12.000
MET HH	34.000	9,0	3.100	Ferro	25.000	1,8	500
MIX HH	1.500	2,5	40	Alu	2.300	99	2.300
MET IG	3.000	5	130	MV	100	10	10
				NVP-Müll	10.700	5,0	500



Fortsetzung Tabelle 2

1999, RM 100% MBA							
Sammlung				Sortierung + MBA			
Restmüll	1.280.000	0,97	12.000	>70mm	513.000	1,1	5.500
MET HH	34.000	9,0	3.100	25-70mm	235.000	1,0	2.300
MIX HH	1.500	2,5	40	<25mm	403.000	1,2	4.600
MET IG	3.000	5	130	Fe-Schrott	40.600	0	0
				Ferro	25.000	1,8	500
				Alu	2.300	99	2.300
				MV	100	10	10
				NVP-Müll	10.700	5,0	500

1999, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,97	12.000	Restmüll	1.280.000	0,97	12.000
MET HH	34.000	9,0	3.100	Al-Vp	3.300	100	3.300
MIX HH	1.500	2,5	40	Sortierrest	35.000	0	0
MET IG	3.000	5	130				

1999, 3-fache Sammlung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.275.000	0,46	6.000	Restmüll	1.275.000	0,46	6.000
MET HH	40.000	23	9.200	Ferro	26.000	5,4	1.400
MIX HH	1.600	7,0	100	Alu	6.800	99	6.800
MET IG	3.000	14	400	MV	110	25	30
				NVP-Müll	12.000	14	1.600

1999, 100% MBA							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.320.000	1,2	15.600	>70mm	528.000	1,3	6.900
				25-70mm	242.000	1,2	2.900
				<25mm	415.000	1,4	5.900
				Fe-Schrott	68.000	0	0

Legende: MET HH: Metallfraktion aus den privaten Haushalten; MIX HH: Fraktion, in der Leichtverpackungen und Metalle gemeinsam gesammelt werden; MET IG: Metallfraktion aus Industrie und Gewerbe; Ferro: Eisenmetallfraktion; Alu: Aluminiumfraktion; MV: Mischverpackungen; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; Al-Vp: sortenreine Al-Verpackungsfraktion der hypothetischen 100%igen Sortierung; >70mm, 25-70mm, <25mm, Fe-Schrott: Outputfraktionen der MBA

Der Klärschlamm-Input der MBA bleibt in den Bilanzen für Verpackungen unberücksichtigt, da er frei von Verpackungen ist.



Die Ergebnisse der GKE-Berechnungen spiegeln die niedrige Sammelquote für Al-Verpackungen wieder. Gleichzeitig ist die Sortierung in ihrer Trennleistung im Ist-Zustand relativ weit von der hypothetischen 100%igen Sortierung entfernt, bei Fe-Verpackungen ist das nicht so (siehe unten). Grund dafür ist der hohe Anteil an Al-Verpackungen (ca. 10%) in der MV-Fraktion.

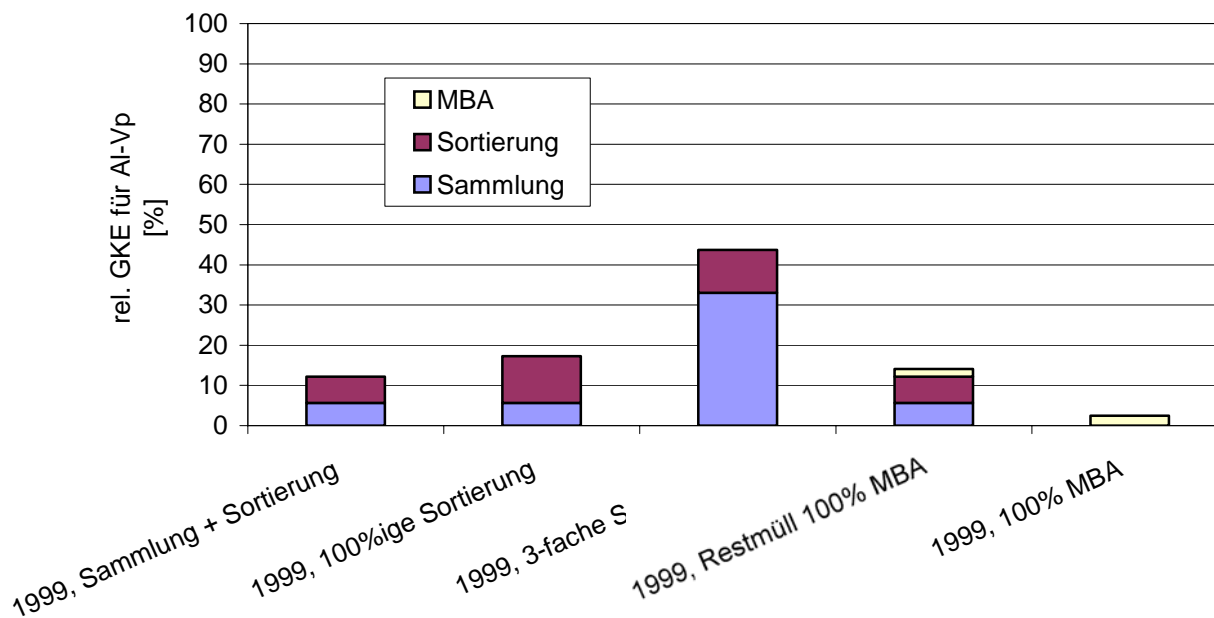


Abbildung 7: Güterkonzentrierungseffizienzen für Al-Verpackungen 1999:

Das einzig wirksame Mittel, die GKE zu verbessern, liegt zweifellos in der Erhöhung der Sammelmenge. Die angegebene 3-fache Sammlung entspricht einer Sammelquote von ca. 62%. Die Bedeutung der Sammlung ist umso höher als MVA und herkömmliche MBA nicht in der Lage sind, Konzentrierungseffekte bei Al-Verpackungen zu erzielen. Die leicht positive SKE der MBA ergibt sich aus den leichten Konzentrationsunterschieden der Outputgüter und der Verringerung der Mengen durch die Rotte.

5.1.3 Eisenverpackungen

Die ARGEV hat im Jahr 1999 rund 28.500 t an Fe-Verpackungen gesammelt. Die Menge an lizenzierten Fe-Verpackungen lag bei rund 37.000 t/a, die gesetzlich vorgegebene Quote von 65% wurde damit erfüllt.

Fe-Verpackungen verbrennen in der MVA nicht wie Al-Verpackungen, sie werden wie auch bei der MBA über Magnetabscheider abgeschieden. Die Szenarien inkludieren daher beide Behandlungsverfahren für Restmüll. Im Szenario „Ist-Zustand 1999“ ist der Restmüll auf MVA, MBA und Deponie gemäß den tatsächlichen Mengen aufgeteilt: 460.000 t/a MVA, 190.000 t/a MBA, Rest Deponie. Zu beachten ist die „Verdünnung“ der Fe-Verpackungen im Fe-Schrott durch Nichtverpackungen. Dadurch ergibt sich z.B. der Fe-Verpackungsanteil von 18% im Schrott, obwohl dieser zu 99 % aus Fe besteht.



Folgende Szenarien wurden untersucht:

- „1998, Ist-Zustand“: Sammlung, Sortierung und Restmüllbehandlung im Ist-Zustand von 1998
- „1999 Ist-Zustand“: Sammlung, Sortierung und Restmüllbehandlung im Ist-Zustand von 1999
- „1999, 100%ige Sortierung“: hypothetische Auftrennung der Sammelmengen in reine Fe-Verpackungen und Fe-verpackungsfreien Sortierrest
- „1999, Restmüll 100% MVA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, Behandlung des gesamten Restmülls in MVA
- „1999, Restmüll 100% MBA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, Behandlung des gesamten Restmülls in MBA
- „1999, 100% MVA“: Keine Sammlung und Sortierung, Behandlung des gesamten Restmülls einschließlich der darin enthaltenen gesamten Verpackungen in MVA
- „1999, 100% MBA“: Keine Sammlung und Sortierung, Behandlung des gesamten Restmülls einschließlich der darin enthaltenen Verpackungen in MBA

Tabelle 3: Güter- und Fe-Verpackungsbilanzen für die untersuchten Szenarien (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	Fe-Vp-Gehalt	Stofffluss	Bezeichnung	Güterfluss	Fe-Vp-Gehalt	Stofffluss
i	\dot{m}_i	$C_{i,Fe-VP}$	$\dot{X}_{i,Fe-VP}$		\dot{m}_i	$C_{i,Fe-VP}$	$\dot{X}_{i,Fe-VP}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
Ist-Zustand 1998							
	Sammlung			Sortierung, MVA, MBA			
Restmüll	1.280.000	0,99	12.700	NVP-Müll	33.900	0,59	200
MET HH	36.000	65	23.500	Ferro	25.900	98	25.400
LVP HH	91.700	0,72	700	Fraktionen	39.800	0	0
MET IG	1.700	91	1.600	MKF	50.100	0,19	100
LVP IG	22.500	0	0	Alu	2.400	0	0
				<u>MVA</u>			
				Schlacke	126.500	0,72	900
				Flugasche	11.500	0	0
				Fe-Schrott	14.600	25	3.600
				<u>MBA</u>			
				>70 mm	76.000	0,10	80
				25-70 mm	34.900	0,54	190
				<25 mm	59.600	0,19	110
				Fe-Schrott	6.000	25	1.500
				<u>Deponie</u>			
				Restmüll	631.000	0,99	6.300



Fortsetzung Tabelle 3

Ist-Zustand 1999							
Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.280.000	0,71	9.100	NVP-Müll	35.900	0,59	200
MET HH	34.300	63	21.700	Ferro	25.300	99	25.100
LVP HH	91.900	0,72	700	Fraktionen	41.600	0	0
MET IG	2.700	89	2.400	MKF	54.800	0,14	80
MIX HH	9.000	8,3	800	ALU+MV	2.400	0	0
LVP IG	22.100	0	0	M6	3.000	100	3.000
M6	3.000	100	3.000	<u>MVA</u>			
				Schlacke	126.500	0,51	700
				Flugasche	11.500	0	0
				Fe-Schrott	14.600	18	2.600
				<u>MBA</u>			
				>70 mm	76.000	0,07	50
				25-70 mm	35.000	0,38	130
				<25 mm	59.600	0,14	80
				Fe-Schrott	6.000	18	1.100
				<u>Deponie</u>			
				Restmüll	631.000	0,71	4.500

1999, 100%ige Sortierung

Sammlung		Sortierung + MVA + MBA			
Wie Ist-Zustand 1999		Fe-Vp	28.300	100	28.300
		Sortierrest	134.600	0	0
		MVA, MBA, Deponie wie Ist-Zustand 1999			

1999, Restmüll 100% MVA

Sammlung		Sortierung + MVA			
Wie Ist-Zustand 1999		Sortierfraktionen wie Ist-Zustand 1999			
		<u>MVA</u>			
		Schlacke	352.000	0,51	1.800
		Flugasche	32.000	0	0
		Fe-Schrott	40.600	18	7.300



Fortsetzung Tabelle 3

1999, Restmüll 100% MBA				
Sammlung		Sortierung + MBA		
Wie Ist-Zustand 1999		Sortierfraktionen wie Ist-Zustand 1999		
		<u>MBA</u>		
		>70 mm	512.000	0,07 360
		25-70 mm	235.000	0,38 900
		<25 mm	402.000	0,14 540
		Fe-Schrott	40.600	18 7.300

1999, 100% MVA							
Sammlung				MVA			
Restmüll	1.444.000	2,6	37.400	Schlacke	397.000	1,9	7.500
				Flugasche	36.000	0	0
				Fe-Schrott	68.000	44	29.900

1999, 100% MBA							
Sammlung							
Restmüll	1.444.000	2,6	37.400	>70 mm	578.000	0,26	1.500
				25-70 mm	265.000	1,4	3.700
				<25 mm	453.000	0,50	2.200
				Fe-Schrott	68.000	44	29.900

Legende: MET HH: Metallfraktion aus den privaten Haushalten; MIX HH: Fraktion, in der Leichtverpackungen und Metalle gemeinsam gesammelt werden; MET IG: Metallfraktion aus Industrie und Gewerbe; LVP HH: Leichtverpackungsfraktion aus Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungsfraktion aus Industrie und Gewerbe; M6: Diese Fraktion wird von der ARGEV aus dem Restmüll zugekauft; Ferro: Eisenmetallfraktion; Alu: Aluminiumfraktion; MV: Mischverpackungen; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; Fe-Vp: sortenreine Fe-Verpackungsfraktion der hypothetischen 100%igen Sortierung; Schlacke, Flugasche, Fe-Schrott: Output-Güter der MVA; >70mm, 25-70mm, <25mm, Fe-Schrott: Output-Güter der MBA

Der Klärschlamm-Input der MBA bleibt in den Bilanzen für Verpackungen unberücksichtigt, da er frei von Verpackungen ist.

In den Ergebnissen schlagen sich die hohen Sammelquoten von Fe-Verpackungen nieder, gleichzeitig gibt es mit der Magnetabscheidung ein sehr effizientes Mittel zur Abtrennung von Fe-Verpackungen aus Restmüll bzw. MVA-Schlacken.

Die Sammlung stellt im Ist-Zustand den stärksten Konzentrierungseffekt dar, die Sortierung leistet aus der Sicht der Stoffverteilung nur einen geringen Beitrag. Die Sortiereffizienz ist aber gut, die GKE der realen Sortierung liegt in der Nähe der hypothetischen 100%igen Sortierung. Charakteristisch ist die Verbesserung der GKE von Fe-Verpackungen durch Einbeziehung der



Restmüll-Behandlung. Die GKE reagiert stark auf die sinkenden Gehalte im Restmüll. Die „Verdünnung“ der Fe-Verpackungen durch Nichtverpackungen im Schrott verursacht das relativ schlechte Abschneiden der Szenarien „1999, 100% MVA“ und „1999, 100% MBA“, obwohl die dem Restmüll entzogene Menge nur 6 % niedriger ist als die durch die Sammlung gewonnene.

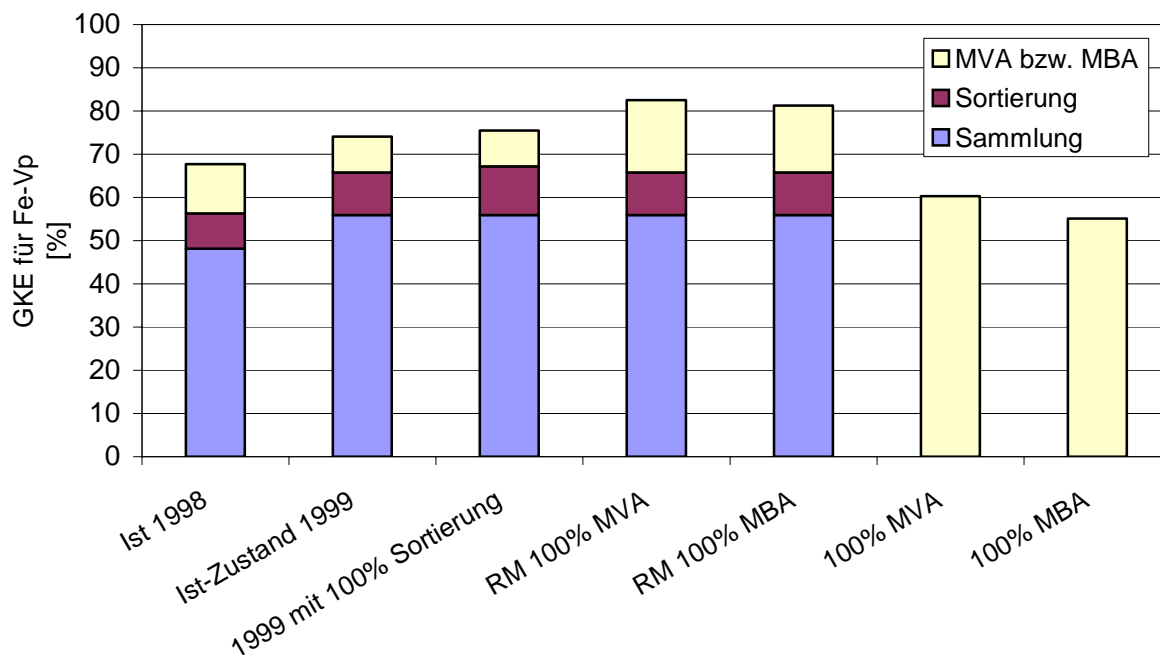


Abbildung 8: Güterkonzentrierungseffizienzen von Fe-Verpackungen 1998 und 1999 in den beschriebenen Szenarien



5.2 Metalle

In die Berechnung der SKE gehen die betrachteten Metalle jeweils als Gesamtgehalte, d.h. ungeachtet ihrer jeweiligen chemischen Bindungsformen ein. Die angegebenen Mengen entsprechen daher nicht den (primär) verwertbaren metallischen Anteilen (Oxidationsstufe 0), sondern diese sind nur Teile davon. Eisen und Aluminium sind z.B. wesentliche Bestandteile von keramischen Materialien oder Erde. Der Anteil der metallischen Menge kann sich während des Durchlaufens der Prozesse ändern. Beispielsweise verbrennen die dünnwandigen Al-Verpackungen zum Teil in der MVA, Fe verrostet und senkt damit den metallischen Anteil im Lauf der MBA-Behandlung bzw. bei der Lagerung auf der Deponie.

5.2.1 Aluminium

Für den Aluminiumgehalt im Restmüll wird von Daxbeck et al., 2000 ein Bereich von 12,8 – 18,4 g/kg angegeben. Das entspricht im Mittel einer Menge von ca. 20.000 t/a.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

- „1999, Ist-Zustand“: Sammlung und Sortierung von Al, Restmüllbehandlung im Jahr 1999
- „1999, 100%ige Sortierung“: Sammelleistung von HH und IG wie im Ist-Zustand 1999, jedoch Sortierung der Sammelfractionen in reines Al und aluminiumfreien Sortierrest durch hypothetische 100%ige Sortierung
- „1999, 3-fache Sammlung“: gesammelte Menge verdreifacht, Sortierung mit gleicher Effizienz (Transferkoeffizienten) wie im Ist-Zustand
- „1999, Restmüll 100% MVA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, gesamter Restmüll wird in MVAen behandelt
- „1999, Restmüll 100% MBA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, gesamter Restmüll wird in MBA behandelt
- „1999 100% MVA“: keine Sammlung und Sortierung von Al, der gesamte Restmüll (inkl. Al) wird in MVAen behandelt. Die Weiterbehandlung der Reststoffe der MVAen (für Al vor allem relevant die Schlacke) wird in diesem Szenario nicht betrachtet.
- „1999, Sammlung Güter >95% Aluminium“: keine Sammlung und Sortierung gemäß Ist-Zustand, hypothetische Aussortierung aus dem gesamten Restmüll: alle Güter mit > 95% Aluminium (inkl. Verpackungen) werden in eine reine Fraktion gebracht



Tabelle 4: Güter- und Aluminiumbilanzen für die untersuchten Szenarien (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güter- fluss	Alu- Gehalt	Stoff- fluss	Bezeichnung	Güter- fluss	Alu- Gehalt	Stoff- fluss
i	\dot{m}_i	$c_{i,Al}$	$\dot{X}_{i,Al}$		\dot{m}_i	$c_{i,Al}$	$\dot{X}_{i,Al}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]

1999, Ist-Zustand

Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.280.000	1,6	20.000	Ferro	25.300	1,9	470
MET HH	34.300	11	3.700	Alu	2.300	99	2.300
LVP/MET	1.500	2,6	40	MV	95	10	10
MET IG	2.670	5,5	150	NVP-Müll	10.700	5	540
				NVP-Al	790	99	780
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	127.000	5,1	6.500
				Flugstaub	12.000	6,2	700
				Fe-Schrott	15.000	0	0
				<u>MBA:</u>			
				>70 mm	76.000	1,8	1.300
				25-70 mm	35.000	1,8	600
				<25 mm	60.000	2,1	1.200
				Fe-Schrott	6.100	0,40	20
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>				<u>Deponie:</u>			
KS 30% TS	32.000	0,75	240	Restmüll	630.000	1,6	9.800
KS 5% TS	3.000	0,13	4				

1999, 100%ige Sortierung

Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.280.000	1,6	20.000	Al	4.100	100	4.100
MET HH	34.300	11	3.700	Sortierrest	35.200	0	0
LVP/MET	1.500	2,6	40				
MET IG	2.670	5,5	150	<u>MVA, MBA, Deponie:</u>			
				wie bei 1999, Ist-Zustand			
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>							
wie bei 1999, Ist-Zustand							



Fortsetzung Tabelle 4

1999, 3-fache Sammlung							
Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.273.000	0,93	11.900	Ferro	26.300	5,4	1.400
MET HH	42.000	28	11.600	Alu	6.800	99	6.800
LVP/MET	1.600	7,4	100	MV	100	25	30
MET IG	3.000	15	440	NVP-Müll	11.800	14	1.600
				NVP-Al	2.400	99	2.300
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	126.000	3,1	3.800
				Flugstaub	11.000	3,7	400
				Fe-Schrott	15.000	0	0
				<u>MBA:</u>			
				>70 mm	76.000	1,1	800
				25-70 mm	35.000	1,1	400
				<25 mm	59.000	1,3	800
				Fe-Schrott	6.100	0,40	20
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>				<u>Deponie:</u>			
KS 30% TS	32.000	0,75	240	Restmüll	627.000	0,93	5.900
KS 5% TS	2.900	0,13	4				

1999, Restmüll 100% MVA							
Sammlung				Sortierung + MVA			
wie bei 1999, Ist-Zustand				<u>Sortierung:</u> wie bei 1999, Ist-Zustand			
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	352.000	5,1	18.000
				Flugstaub	32.000	6,2	2.000
				Fe-Schrott	41.000	0	0

1999, Restmüll 100% MBA							
Sammlung				Sortierung+ MBA			
wie bei 1999, Ist-Zustand				<u>Sortierung:</u> wie bei 1999, Ist-Zustand			
				<u>MBA:</u>			
				>70 mm	513.000	1,8	9.000
				25-70 mm	235.000	1,8	4.200
				<25 mm	402.000	2,1	8.300
				Fe-Schrott	41.000	0,40	160
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>							
KS 30% TS	214.000	0,75	1.600				
KS 5% TS	19.500	0,13	25				



Fortsetzung Tabelle 4

1999, 100% MVA							
Sammlung				MVA			
Restmüll	1.320.000	1,8	24.000	Schlacke	397.000	5,4	21.600
				Flugstaub	36.000	6,7	2.400
				Fe-Schrott	69.000	0	0

1999, Sammlung Güter >95% Aluminium							
Sammlung				Aussortierung			
Restmüll	1.320.000	1,8	24.000	Güter mit >95% Al	15.700	98	15.400
				Restmüll	1.304.000	0,87	11.400

Legende: MET HH: Metallfraktion aus den privaten Haushalten; MIX HH: Fraktion, in der Leichtverpackungen und Metalle gemeinsam gesammelt werden; MET IG: Metallfraktion aus Industrie und Gewerbe; LVP Met: Metalle aus der LVP/MET-Sammlung HH; Ferro: Eisenmetallfraktion; Alu: Aluminiumfraktion; MV: Mischverpackungen; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; >70mm, 25-70mm, <25mm, Fe-Schrott: Output-Güter der MBA; Güter mit >95% Al: Güter im Restmüll mit einem Al-Gehalt von > 95%

Die berechneten Stoffkonzentrierungseffizienzen für die untersuchten Szenarien sind in Abb. 9 dargestellt.

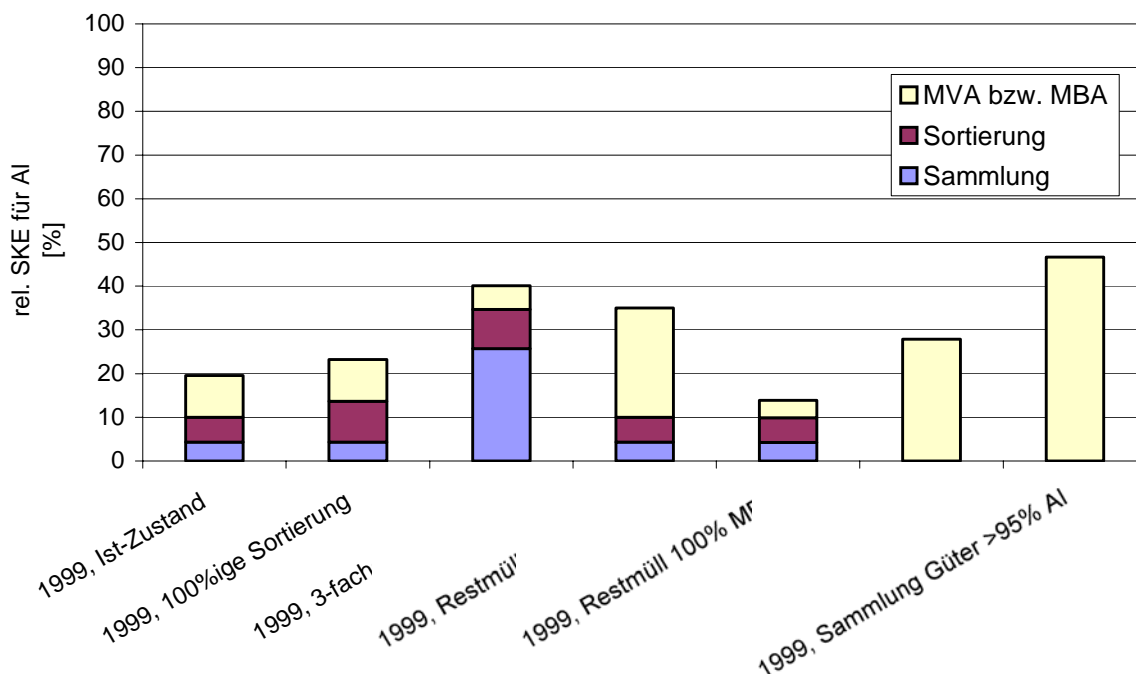


Abbildung 9: Stoffkonzentrierungseffizienzen (SKE) für Aluminium in verschiedenen Szenarien.



Darin bedeutet SKE = 0%, dass keine separate Sammlung von Aluminium durchgeführt wird. SKE = 100% gilt im hypothetischen Optimalszenario, wenn 100% des Aluminiums aus HH und IG und das Aluminium des Klärschlammes vom MBA-Input als reines Metall abgeschieden werden. Als weitere Referenzszenarien wurden berechnet: Die SKE, wenn alles Aluminium, das rationell durch Sammlung aus dem Restmüll geholt werden kann, in eine sortenreine Fraktion gebracht wird. Anhand der Daten von Daxbeck et al., 2000 beträgt dieser Anteil ca. 57%, wenn man alle Güter mit einem Alu-Anteil $\geq 95\%$ berücksichtigt. Die Häufigkeit der Aluminiumgehalte von Gütern im Restmüll ist bei $<5\%$ und $>95\%$ konzentriert, d.h. die meisten nicht gesammelten Güter im Restmüll dieses Szenarios weisen einen Al-Anteil $< 5\%$ auf. Dieses Referenzszenario stellt damit das Maximum der durch Sammlung und mechanische Sortierung zu erreichenden Konzentrierung dar. Die SKE des Ist-Zustands ist relativ gering. Es zeigt sich, dass auch eine Optimierung der Sortierleistung der ARGEV noch keine wesentliche Verbesserung ergibt, sondern die Sammelleistung in den privaten Haushalten erhöht werden muss. Mit ca. der dreifachen Sammelmenge und gleichbleibender Sortiereffizienz (Annahme gleiche Transferkoeffizienten wie im Ist-Zustand) könnte die SKE etwa verdoppelt werden. Die SKE für Aluminium einer Müllverbrennungsanlage (MVA) liegt bei ca. 30%. Die MVA ist zwar nicht in der Lage eine an metallischem Aluminium hoch angereicherte Fraktion zu erzeugen, doch führt die starke Mengenreduktion vom Restmüll zu den Outputgütern der MVA zur relativ großen SKE, auch wenn die Aufkonzentrierung dadurch aus der Sicht der Verwertung des enthaltenen Aluminiums unwesentlich erscheint. Überhaupt unberücksichtigt bleibt die teilweise Verbrennung des Aluminiums und die damit verbundene Verschlechterung der Möglichkeiten einer potentiellen Verwertung.

Für die Verteilung des Aluminiums in der MVA wurde angenommen, dass 90% in der Schlacke verbleiben und 10% in die Flugasche gelangen. Die Konzentration des Fe-Schrotts wurde vereinfachend mit 0% angenommen (Daxbeck et al., 2000). Es kann gezeigt werden, dass Konzentrationen bis 15% Al im Schrott keinen relevanten Einfluss auf die SKE haben ($<10\%$ relativ). Ebenso sind die Emissionen von Aluminium in Atmosphäre und Hydrosphäre derart gering, dass sie sich in der SKE nicht widerspiegeln.

5.2.2 Eisen

Die ARGEV hat im Jahr 1999 rund 28.500 t an Fe-Verpackungen gesammelt. Die Menge an lizenzierten Fe-Verpackungen liegt bei rund 37.000 t/a, sodass die gesetzlich vorgegebene Quote von 65% mehr als erfüllt wurde. Für den Fe-Gehalt (Fe-Verpackungen und Fe-Nichtverpackungen) im Restmüll wird in Schachermayer et al., 1995 bzw. Morf et al., 1997 ein Bereich zwischen 35 - 40 g/kg angegeben. Das entspricht in etwa einer Menge von 45.000 – 50.000 t/a an Eisen, die im Restmüll verbleiben.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

- „1998, Ist-Zustand“: Sammlung und Sortierung von Fe und Restmüllaufbereitung im Ist-Zustand 1998



- „1999, Ist-Zustand“: Sammlung und Sortierung von Fe und Restmüllaufbereitung im Ist-Zustand 1999
- „1999, 100%ige Sortierung“: Sammelleistung von HH und IG wie im Ist-Zustand 1999, jedoch Sortierung der Sammelfractionen in reines Fe und eisenfreien Sortierrest durch hypothetische 100%ige Sortierung
- „1999, Restmüll 100% MVA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, gesamter Restmüll wird in MVAen behandelt
- „1999, Restmüll 100% MBA“: Sammlung und Sortierung wie im Ist-Zustand, gesamter Restmüll wird in MBA behandelt
- „1999 100% MVA“: keine Sammlung und Sortierung von Eisen, der gesamte Restmüll (inkl. Fe) wird in MVAen behandelt
- „1999, 100% MBA“: keine Sammlung und Sortierung von Eisen, der gesamte Restmüll (inkl. Fe) wird in MBAen behandelt

Tabelle 5: Güter- und Eisenbilanzen für die untersuchten Szenarien (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	Fe-Gehalt	Stofffluss	Bezeichnung	Güterfluss	Fe-Gehalt	Stofffluss
i	\dot{m}_i	$C_{i,Fe}$	$\dot{X}_{i,Fe}$		\dot{m}_i	$C_{i,Fe}$	$\dot{X}_{i,Fe}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
1998, Ist-Zustand							
	Sammlung			Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.280.000	3,9	50.000	NVP-Müll	33.900	0,59	200
MET HH	36.000	79	28.000	Ferro	25.900	98	25.400
LVP HH	92.000	0,72	660	Fraktionen	39.800	0	0
MET IG	1.700	88	1.500	MKF	50.100	0,19	95
LVP IG	22.500	0	0	Alu	2.300	0	0
				NVP-Fe	5.200	99	5.100
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	127.000	2,6	3.200
				Flugstaub	11.500	1,6	180
				Fe-Schrott	14.800	99	14.600
				<u>MBA:</u>			
				>70 mm	76.000	0,49	380
				25-70 mm	34.900	2,8	1.000
				<25 mm	59.600	1,4	830
				Fe-Schrott	6.000	99	6.000
				<u>Deponie:</u>			
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>				Restmüll	631.000	3,9	24.700
KS 30% TS	32.000	2,4	760				
KS 5% TS	2.900	0,4	10				



Fortsetzung Tabelle 5

1999, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
Restmüll	1.280.000	3,9	50.000	NVP-Müll	36.000	0,59	210
MET HH	34.000	79	27.000	Ferro	25.000	99	25.000
LVP HH	92.000	0,72	660	Fraktionen	42.000	0	0
MET IG	2.700	88	2.400	MKF	55.000	0,14	80
MIX HH	9.000	8,7	790	Alu + MV	2.400	0	0
LVP IG	22.000	0	0	M6	3.000	100	3.000
M6	3.000	100	3.000	NVP-Fe	5.700	99	5.600
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	127.000	2,6	3.200
				Flugstaub	12.000	1,6	180
				Fe-Schrott	14.800	99	14.600
				<u>MBA:</u>			
				>70 mm	76.000	0,49	380
				25-70 mm	35.000	2,8	1.000
				<25 mm	60.000	1,4	830
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>				Fe-Schrott	6.100	99	6.000
KS 30% TS	32.000	2,4	760	<u>Deponie:</u>			
KS 5% TS	2.900	0,4	10	Restmüll	631.000	3,9	24.700

1999, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung + MVA + MBA			
wie bei 1999, Ist-Zustand				Fe	34.000	100	34.000
				Sortierrest	129.000	0	0
				<u>MVA, MBA, Deponie:</u>			
				wie bei 1999, Ist-Zustand			

1999, Restmüll 100% MVA							
Sammlung				Sortierung + MVA			
wie bei 1999, Ist-Zustand				<u>Sortierung:</u>			
				wie bei 1999, Ist-Zustand			
				<u>MVA:</u>			
				Schlacke	352.000	2,6	9.000
				Flugstaub	32.000	1,6	500
				Fe-Schrott	41.000	99	41.000



Fortsetzung Tabelle 5

1999, Restmüll 100% MBA"							
Sammlung				Sortierung + MBA			
wie bei 1999, Ist-Zustand				<u>Sortierung:</u> wie bei 1999, Ist-Zustand			
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>				<u>MBA:</u>			
KS 30% TS	214.000	2,4	5.100	>70 mm	513.000	0,49	2.500
KS 5% TS	19.500	0,4	80	25-70 mm	235.000	2,8	6.600
				<25 mm	402.000	1,4	5.600
				Fe-Schrott	41.000	99	41.000

1999, 100% MVA							
Sammlung				MVA			
Restmüll	1.444.000	5,8	84.000	Schlacke	397.000	3,8	15.000
				Flugasche	36.000	2,3	840
				Schrott	69.000	99	68.000

1999, 100% MBA							
Sammlung				MBA			
Restmüll	1.444.000	5,8	84.000	>70 mm	578.000	0,68	4.000
				25-70 mm	265.000	3,8	10.200
				<25 mm	453.000	1,8	8.000
				Fe-Schrott	69.000	99	68.000
<u>Klärschlamm-Input in MBA:</u>							
KS 30% TS	242.000	2,4	5.800				
KS 5% TS	22.000	0,4	90				

Legende: MET HH: Metallfraktion aus den privaten Haushalten; MIX HH: Fraktion, in der Leichtverpackungen und Metalle gemeinsam gesammelt werden; MET IG: Metallfraktion aus Industrie und Gewerbe; LVP HH: Leichtverpackungsfraction aus Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungsfraction aus Industrie und Gewerbe; M6: Diese Fraktion wird von der ARGEV aus dem Restmüll zugekauft; Ferro: Eisenmetallfraktion; Alu: Aluminiumfraktion; MV: Mischverpackungen; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; Fe-Vp: sortenreine Fe-Verpackungsfraction der hypothetischen 100%igen Sortierung; Schlacke, Flugasche, Fe-Schrott: Output-Güter der MVA; >70mm, 25-70mm, <25mm, Fe-Schrott: Output-Güter der MBA

Die berechneten Stoffkonzentrierungseffizienzen für die untersuchten Szenarien sind in Abb. 10 dargestellt. Darin bedeutet SKE = 0%, dass keine separate Sammlung von Eisenmetallen durchgeführt wird. SKE = 100% gilt im hypothetischen Optimalszenario, wenn 100% des Eisens aus HH und IG sowie das Eisen des Klärschlamm-Inputs der MBAen in reiner Form abgeschieden werden.

Für die Verteilung des Eisens in der MVA wurden Werte von Schachermayer et al., 1995 verwendet. Danach verbleiben ca. 18% in die Schlacke, 1% gelangt in die Flugasche und ca. 80% in den Schrott. Die Emissionen von Eisen in Atmosphäre und Hydrosphäre sind vernachlässigbar.



Anders als beim Aluminium wird das Eisen sowohl durch die Sammeltätigkeit der ARGEV als auch durch die Restmüllbehandlungsverfahren gut erfasst. Der Vergleich der Ist-Werte mit den Szenarien mit vollständiger Behandlung des Restmülls zeigt, dass die Deponierung des unbehandelten Restmülls die SKE des Gesamtsystems deutlich verschlechtert. Die effiziente Magnetabscheidung bei MBAen und MVAen wäre bei der Behandlung des gesamten Restmülls und Verzicht auf die Sammlung und Sortierung in der Lage mit ähnlichem SKE zu arbeiten, wie ein System mit Sammlung und Sortierung.

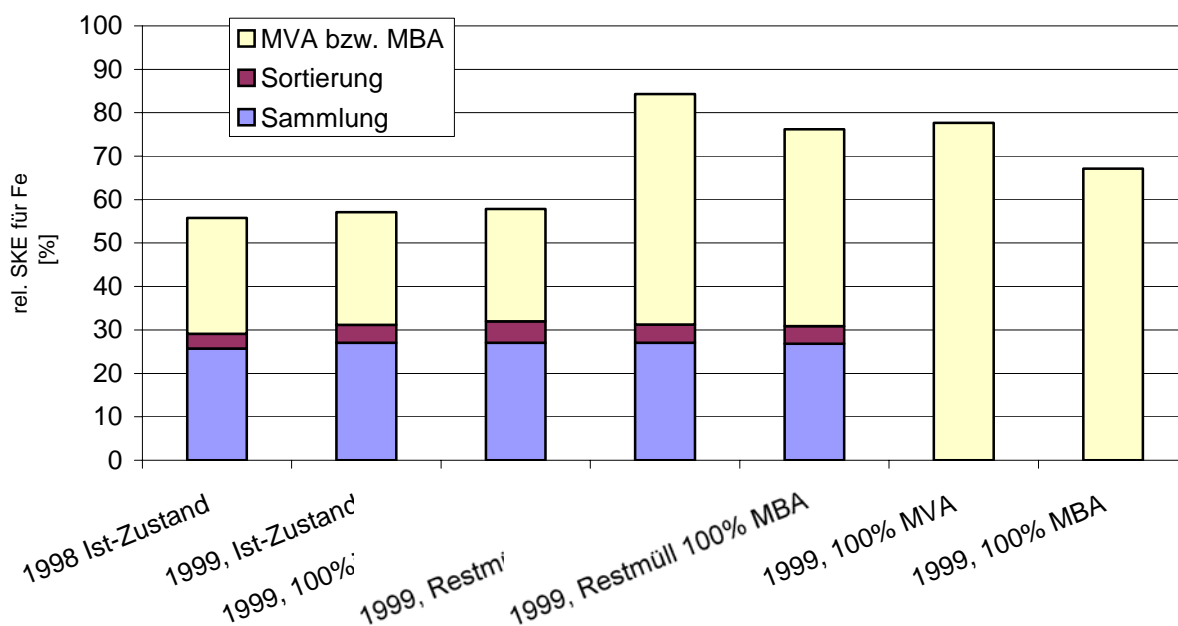


Abbildung 10: Stoffkonzentrierungseffizienzen (SKE) für Eisen in den verschiedenen Szenarien.

5.3 Kunststoff (KS)-Verpackungen

Der Einsatz von Kunststoffverpackungen in Österreich betrug im Jahr 1999 170.000 – 190.000 t (ÖKK). Die ARGEV hat in den Jahren 97-99 im Mittel 90.000 t/a an Kunststoff-Verpackungen gesammelt. Unter der Annahme, dass die nicht gesammelte Menge in den Restmüll wandert, ergibt sich ein Bereich von etwa 6 – 8% für den Gehalt an KS-Verpackungen im Restmüll. Dieser Bereich lässt sich auch aus diversen Restmüllanalysen für Wien und einer Restmüllanalyse der Stadt Kufstein ableiten (MA 48, 1999; Taibon et al., 1999; Nelles et al., 1999). Das entspricht in etwa einer Menge von 80.000 – 100.000 t/a an Kunststoff-Verpackungen, die im Restmüll verbleiben. Für die Berechnungen wurde die Menge der 1999 in Verkehr gebrachten KS-Verpackungen mit 180.000 t angenommen und daraus die Menge im Restmüll als Differenz aus der in Verkehr gebrachten Menge und Sammelmenge berechnet.

Folgende Szenarien wurden für den Zeitraum 1997-1999 untersucht:



- „199., Ist-Zustand“: Sammlung und Sortierung von KS-Verpackungen im jeweiligen Jahr.
- „1999, 100%ige Sortierung“: Sammelleistung wie im Ist-Zustand, KS-Verpackungen werden durch eine hypothetische 100%ige Sortierung in eine reine Fraktion und einen KS-verpackungsfreien Sortierrest aufgetrennt

Tabelle 6: Güter- und Kunststoff-Verpackungsbilanzen für die untersuchten Szenarien 1997-1999 (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	KS-Gehalt	Güterfluss	Bezeichnung	Güterfluss	KS-Gehalt	Güterfluss
i	\dot{m}_i	$c_{i,KS}$	$\dot{X}_{i,KS}$		\dot{m}_i	$c_{i,KS}$	$\dot{X}_{i,KS}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
1997, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	6,6	84.000	Restmüll	1.280.000	6,6	84.000
LVP HH	86.000	57	50.000	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	85	19.000	MV GVK	1.000	0	0
				Fraktionen	36.000	99	36.000
				MKF	46.000	69	32.000
1998, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	7,0	90.000	Restmüll	1.280.000	7,0	90.000
LVP HH	92.000	58	53.000	NVP-Müll	24.000	0	0
LVP IG	22.000	86	19.000	MV GVK	1.200	0	0
				Fraktionen	39.000	99	38.000
				MKF	50.000	69	34.000
1999, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	7,8	100.000	Restmüll	1.280.000	7,8	100.000
LVP HH	99.000	59	59.000	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	98	22.000	MV GVK	1.000	0	0
				Fraktionen	41.000	99	40.000
				MKF	55.000	73	40.000



Fortsetzung Tabelle 6

1999, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	7,8	100.000	Restmüll	1.280.000	7,8	100.000
LVP HH	99.000	59	59.000	KS-Vp	80.000	100	80.000
LVP IG	22.000	98	22.000	Sortierrest	41.000	0	0

Legende: LVP HH: Leichtverpackungen aus den privaten Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungen aus IG; MKF: Mischkunststofffraktion; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; MV GVK: Mischverpackungen, Getränkeverbundkartons; Fraktionen: Summe aller KS-Fraktionen; KS-Vp: Kunststoff-Verpackungen

Die berechneten Güterkonzentrierungseffizienzen für die untersuchten Szenarien sind in Abbildung 11 dargestellt. Darin bedeutet GKE = 0%, dass keine separate Sammlung von Kunststoffen durchgeführt wird. GKE = 100% gilt im hypothetischen Optimalszenario, wenn 100% der KS-Verpackungen aus HH und IG gesammelt und in eine sortenreine Fraktion gebracht werden.

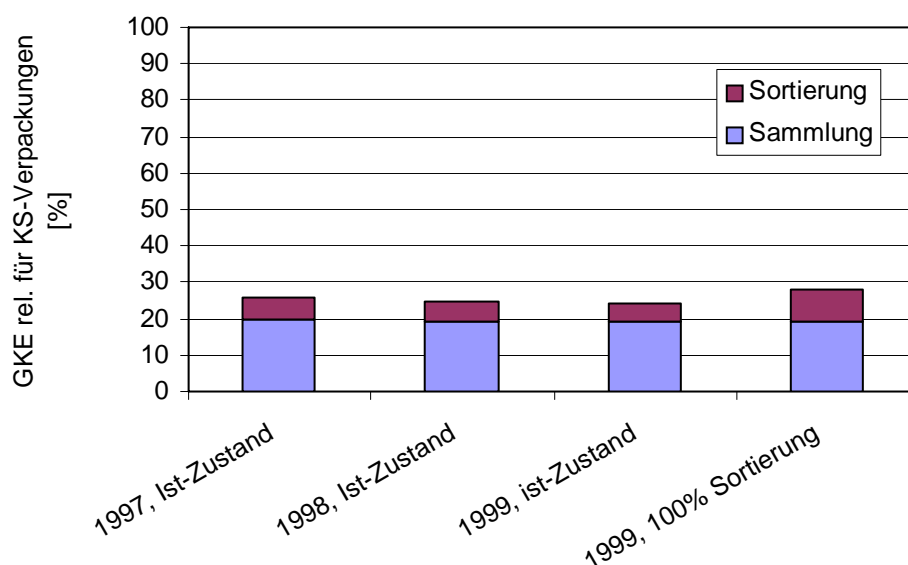


Abbildung 11: Güterkonzentrierungseffizienzen (GKE) für Kunststoff-Verpackungen in den verschiedenen Szenarien

Der Balken „1999, 100 % Sortierung“ zeigt, dass das Potential, die GKE zu erhöhen, bei der Sammlung größer ist. Ein Grund dafür ist, dass der Wert der GKE stark auf die Konzentration der Kunststoff-Verpackungen im Restmüll reagiert, d.h. erhöhte Sammelquoten bringen große GKE-Zuwächse. Die Halbierung der KS-Verpackungsmenge im Restmüll (entspricht einer Erhöhung der Sammelquote auf ca. 70%) verdoppelt in diesem Wertebereich etwa den GKE-Beitrag der Sammlung. Mit der Annahme von 5% KS-Verpackungen im Restmüll erhöht sich die GKE bei gleicher Sammelmenge und Sortierungsleistung auf ca. 40 %.



5.3.1 Polyethylenterephthalatverpackungen PET

Die Marktmenge an PET-Verpackungen hat sich von 1996 bis 1999 mehr als verdoppelt (15.700 t im Jahr 1999 nach 7.039 t 1996). Die gesammelten Mengen entwickelten sich etwa parallel dazu im Zeitraum 1996-1999 (1996: 5.100 t, 1999: 11.200 t, siehe Tab. 8), der gesammelte Anteil ist damit relativ hoch (ca. 70 %). Die Gehalte im Restmüll sind aus den Marktmengen abzüglich der Sammelmengen errechnet.

Folgende Szenarien wurden für den Zeitraum 1996-1999 untersucht:

- „199., Ist-Zustand“: Sammlung und Sortierung von PET-Verpackungen im jeweiligen Jahr.
- „1999, 100%ige Sortierung“: Sammelleistung wie im Ist-Zustand, PET-Verpackungen werden durch eine hypothetische 100%ige Sortierung in eine reine Fraktion und einen PET-verpackungsfreien Sortierrest aufgetrennt

Tabelle 7: Güter- und PET-Verpackungsbilanzen für die Jahre 1996-1999 (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güterfluss	PET-Gehalt	Güterfluss	Bezeichnung	Güterfluss	KS-Gehalt	Güterfluss
I	\dot{m}_i	$c_{i,PET}$	$\dot{X}_{i,PET}$	i	\dot{m}_i	$c_{i,PET}$	$\dot{X}_{i,PET}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]
1996, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.292.000	0,15	1.900	Restmüll	1.291.500	0,15	1.900
LVP HH	84.900	6,0	5.100	PET	3.700	100	3.700
LVP IG	20.000	~0	7	MKF	45.700	2,9	1.300
				NVP-Müll	21.900	0,2	44
				Fraktionen	33.700	0,1	34
1997, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.281.000	0,25	3.200	Restmüll	1.281.300	0,25	3.200
LVP HH	86.900	7,0	6.100	PET	4.500	100	4.500
LVP IG	21.700	0,3	60	MKF	46.100	3,4	1.600
				NVP-Müll	25.200	0,2	50
				Fraktionen	31.900	0,1	32



Fortsetzung Tabelle 7

1998, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.281.000	0,31	4.000	Restmüll	1.281.000	0,31	4.000
LVP HH	91.700	8,8	8.100	PET	6.300	95	5.900
LVP IG	22.500	1,0	220	MKF	50.100	4,6	2.300
				NVP-Müll	24.300	0,1	24
				Fraktionen	32.400	0,1	32

1999, Ist-Zustand							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.281.000	0,35	4.500	Restmüll	1.281.000	0,35	4.500
LVP HH	91.900	10,3	9.400	PET	5.600	95	5.300
LVP IG	22.100	4,4	1.000	MKF	54.800	10,6	5.800
LVP/MET	7.500	10,3	800	NVP-Müll	25.100	0,1	25
				Fraktionen	36.000	0,1	36

1999, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.281.000	0,35	4.500	Restmüll	1.281.000	0,35	4.500
LVP HH	91.900	10,3	9.400	PET	11.200	100	11.200
LVP IG	22.100	4,4	1.000	Sortierrest	110.000	0	0
LVP/MET	7.500	10,3	800				

Legende: LVP HH: Leichtverpackungen aus den privaten Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungen aus IG; LVP/MET: LVP-Sammlung aus LVP/MET; MKF: Mischkunststofffraktion; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; MV GVK: Mischverpackungen, Getränkeverbundkartons; Fraktionen: Summe aller KS-Fraktionen; KS-Vp: Kunststoff-Verpackungen

Tabelle 8: rel. PET-Sammelmenen im Zeitraum 1996-1999

Jahr	1996	1997	1998	1999
Anteil gesammeltes PET [%]	72	66	68	71

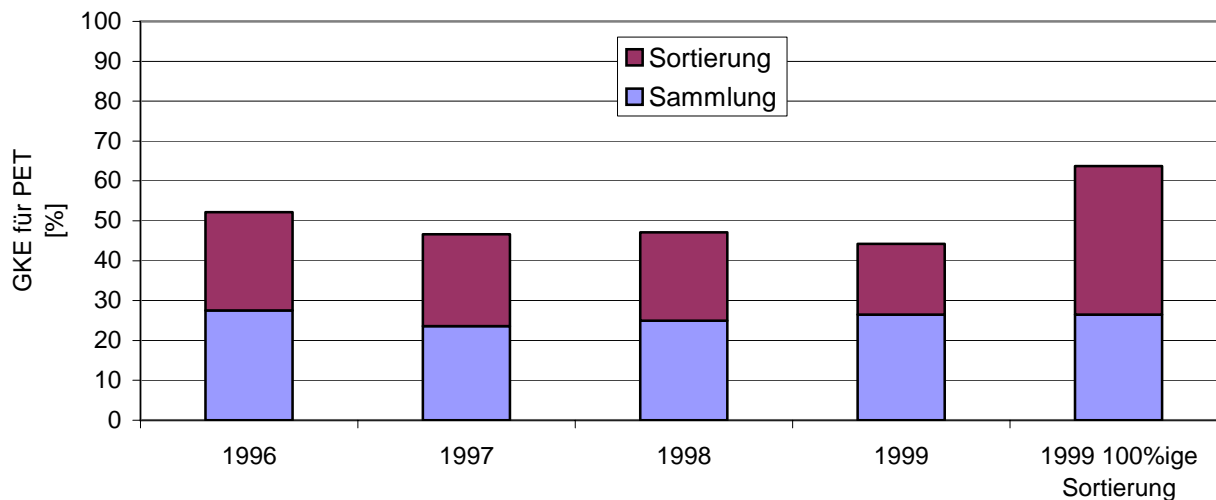


Abbildung 12: Güterkonzentrierungseffizienz für PET im Zeitraum 1996-1999

Der Verlauf der GKE über die Zeit (v.a. der Anteil der Sammlung) spiegelt im wesentlichen die Sammelquoten wider. Bei der Sortierung ist zu berücksichtigen, dass die Reinheit der PET-Fraktion für die Jahre 1998 und 1999 mit 95 (geforderte Mindestreinheit) anstatt 100 % wie in den Jahren zuvor angegeben wurde. Der deutliche Rückgang der GKE der Sortierung 1999 gegenüber 1998 ist auf den etwa als doppelt angegebenen PET-Gehalt der MKF-Fraktion zurückzuführen. Diese Umlenkung von PET in eine Fraktion mit niedrigem PET-Gehalt verschlechtert naturgemäß die GKE.

5.3.2 Getränkeverbundkartons GVK

Die ARGEV hat in den Jahren 95-99 im Mittel 8.000 t/a an Getränkeverbundkartons gesammelt. Der Gehalt an GVK im Restmüll wurde mit 0,45% angenommen. Dieser Wert ergibt sich aus der Differenz zwischen im Umlauf gesetzten GVK und den durch ARGEV und Öko-Box eingesammelten GVK (Daxbeck et al., 2000). Auf Grund von Restmüllanalysen könnte man auch höhere Werte erwarten, jedoch sind in der in diesen Analysen angegebenen Fraktion „Verbundstoffe“ in der Regel auch Windeln, Nicht-Verpackungen sowie Elektro- und Elektronikschrott enthalten (MA 48, 1999; Taibon et al., 1999; Nelles et al., 1999). Die 0,45% entsprechen in etwa einer Menge von 5.800 t/a an GVK, die im Restmüll verbleiben.

Folgende Szenarien wurden für jedes Jahr im Zeitraum 95-99 jeweils untersucht:

- „Ist-Zustand ohne Öko-Box“: Sammlung und Sortierung von GVK im jeweiligen Jahr unter Ausklammerung der durch die Öko-Box gesammelten Menge
- „Ist-Zustand mit Öko-Box“: Sammlung und Sortierung von GVK im jeweiligen Jahr
- „Zustand 1999 100%ige Sortierung“: In diesem Szenario wird angenommen, dass die Sammelleistung wie im Ist-Zustand ist, jedoch die GVKs durch hypothetische 100%ige Sortierung vollständig in eine reine Fraktion abgeschieden werden.



Tabelle 9: Güter- und GVK-Bilanzen für die untersuchten Szenarien 1995-1999 (Zahlen gerundet)

Bezeichnung	Güter- fluss	GVK- Gehalt	Güter -fluss	Bezeichnung	Güter- fluss	GVK- Gehalt	Güter -fluss
I	\dot{m}_i	$c_{i,GVK}$	$\dot{X}_{i,GVK}$		\dot{m}_i	$c_{i,GVK}$	$\dot{X}_{i,GVK}$
	[t/a]	[%]	[t/a]		[t/a]	[%]	[t/a]

1995, Ist-Zustand ohne Öko-Box

Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.290.000	0,45	5.800	Restmüll	1.290.000	0,45	5.800
LVP HH	77.000	8,4	6.500	NVP-Müll	20.000	0	0
LVP IG	22.000	0	0	GVK	1.000	100	1.000
				MKF	43.000	12,6	5.500

1995, Ist-Zustand mit Öko-Box

Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.290.000	0,45	5.800	Restmüll	1.290.000	0,45	5.800
LVP HH	77.000	8,4	6.500	NVP-Müll	20.000	0	0
LVP IG	22.000	0	0	GVK	8.800	100	1.000
Öko-Box	7.700	100	7.700	MKF	43.000	12,6	5.500

1996, Ist-Zustand ohne Öko-Box

Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.290.000	0,45	5.800	Restmüll	1.290.000	0,45	5.800
LVP HH	85.000	9,9	8.400	NVP-Müll	22.000	0	0
LVP IG	20.000	0	0	GVK	700	100	700
				MKF	46.000	16,9	7.700

1996, Ist-Zustand mit Öko-Box

Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.290.000	0,45	5.800	Restmüll	1.290.000	0,45	5.800
LVP HH	85.000	9,9	8.400	NVP-Müll	22.000	0	0
LVP IG	20.000	0	0	GVK	7.300	100	7.300
Öko-Box	6.600	100	6.600	MKF	46.000	16,9	7.700

1997, Ist-Zustand ohne Öko-Box

Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	87.000	8,8	7.700	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	1	220	GVK	800	100	800
				MKF	46.000	15,3	7.000



Fortsetzung Tabelle 9

1997, Ist-Zustand mit Öko-Box							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	87.000	8,8	7.700	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	1	220	GVK	7.900	100	7.900
Öko-Box	7.100	100	7.100	MKF	46.000	15,3	7.000

1998, Ist-Zustand ohne Öko-Box							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,9	8.100	NVP-Müll	24.000	0	0
LVP IG	22.000	2,5	570	GVK	940	100	940
				MKF	50.000	15,5	7.700

1998, Ist-Zustand mit Öko-Box							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,9	8.100	NVP-Müll	24.000	0	0
LVP IG	22.000	2,5	570	GVK	10.200	100	10.200
Öko-Box	9.300	100	9.300	MKF	50.000	15,5	7.700

1999, Ist-Zustand ohne Öko-Box							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,7	8.000	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	0,1	28	GVK	870	100	870
MIX HH	9.000	8,7	790	MKF	55.000	14,5	8.000

1999, Ist-Zustand mit Öko-Box							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,7	8.000	NVP-Müll	25.000	0	0
LVP IG	22.000	0,1	28	GVK	10.000	100	10.000
MIX HH	9.000	8,7	790	MKF	55.000	14,5	8.000
Öko-Box	9.100	100	9.100				

1999, ohne Öko-Box, 100%ige Sortierung							
Sammlung				Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,7	8.000	GVK	8.900	100	8.900
LVP IG	22.000	0,1	28	Sortierrest	113.000	0	0
MIX HH	9.000	8,7	790				



Fortsetzung Tabelle 9

1999, mit Öko-Box, 100%ige Sortierung							
	Sammlung			Sortierung			
Restmüll	1.280.000	0,45	5.800	Restmüll	1.280.000	0,45	5.800
LVP HH	92.000	8,7	8.000	GVK	17.900	100	17.900
LVP IG	22.000	0,1	28	Sortierrest	114.000	0	0
MIX HH	9.000	8,7	790				
Öko-Box	9.100	100	9.100				

Legende: LVP HH: Leichtverpackungen aus den privaten Haushalten; LVP IG: Leichtverpackungen aus IG; MIX HH: aus Sammelgebieten mit gemeinsamer LVP und Metallsammlung; MKF: Mischkunststofffraktion; NVP-Müll: Nicht-Verpackungsmüll; Fraktionen: Summe aller KS-Fraktionen; KS-Vp: Kunststoff-Verpackungen

Die berechneten Güterkonzentrierungseffizienzen für die untersuchten Szenarien sind in Abbildung 13 dargestellt. Darin bedeutet GKE = 0%, dass keine separate Sammlung von GVK durchgeführt wird. GKE = 100% gilt im hypothetischen Optimalszenario, wenn 100% der GVK aus HH und IG gesammelt und in eine sortenreine Fraktion gebracht werden.

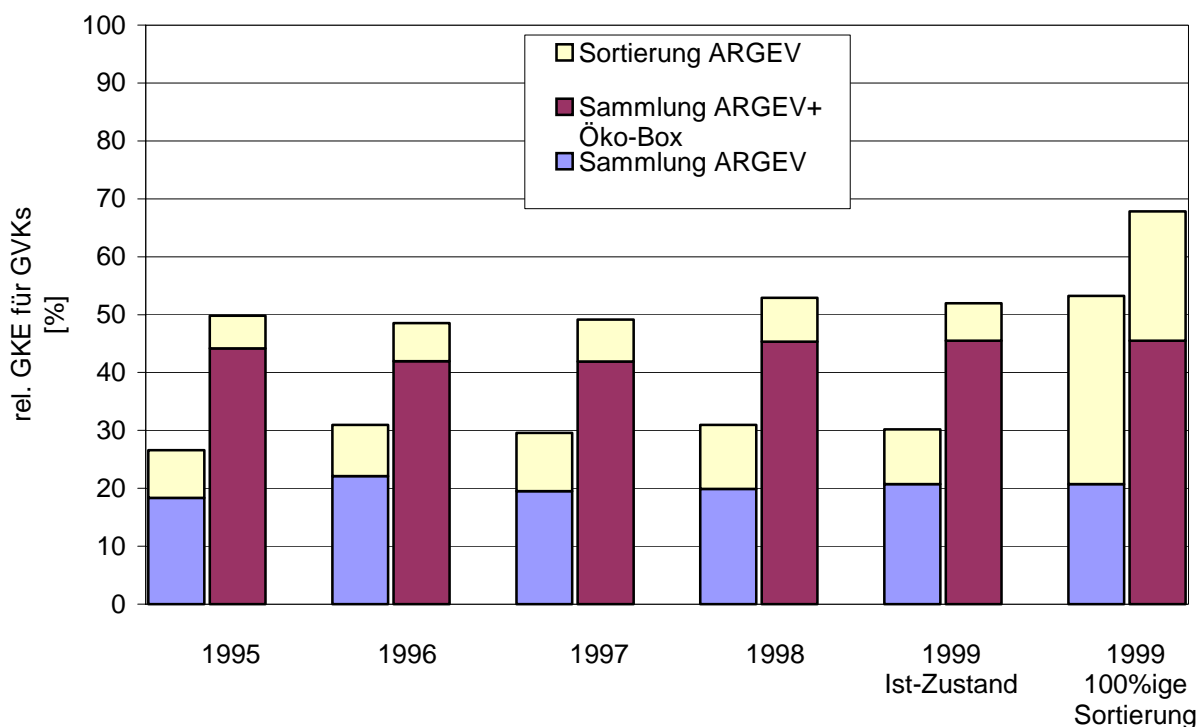


Abbildung 13: Güterkonzentrierungseffizienzen (GKE) für Getränkeverbundkartons (GVK) für die Jahre 1995-1999. Links jeweils die Balken ohne, rechts die Balken mit berücksichtigter Öko-Box-Sammelmenge



Zur Bestimmung der GKE der Sammel- und Sortierleistung der ARGEV wurde die Sammelmenge der Öko-Box als nicht existent betrachtet. Bei den Szenarien mit Öko-Box wurde die Öko-Box-Sammelmenge als Output der Haushalte (=Sammelleistung) aufgenommen und im Output der Sortierung zur sortenreinen GVK-Fraktion dazuaddiert. D.h. der Output des Gesamtsystems wurde bewertet unabhängig davon, woher die sortenreinen GVK-Mengen im einzelnen stammen. Durch die Aufnahme der Öko-Box-Menge, die einen großen Beitrag zur GKE der Sammlung leistet, verliert die Sortierleistung der ARGEV an Bedeutung für die Gesamt-GKE. Die Szenarien „100 %ige Sortierung“ zeigen, dass die Abtrennung der GVKs aus dem Leichtverpackungs-Müll nicht effizient ist, Grund für die geringe GKE der Sortierung ist der Fluss in die MKF.

Das Beispiel der GVKs zeigt sehr anschaulich die Reaktion der GKE auf unterschiedliche Output-Mengen einer aufkonzentrierten Fraktion: Die Steigerung der sortenreinen GVK-Menge durch Berücksichtigung der Öko-Box etwa um das Zehnfache gegenüber der alleinigen Sammlung und Sortierung der ARGEV bewirkt knapp die Verdoppelung der Gesamt-GKE. Etwa den gleichen Effekt hat bei Ausklammern der Öko-Box die vollständige Entfrachtung der MKF an GVKs (Szenario „100 % Sortierung“) oder eine Senkung des GVK-Gehaltes im Restmüll auf ein Viertel (ohne gesteigerte Sammelmengen).



6 Beantwortung der Fragen & Zusammenfassung

1 Systemdefinition

1.1 Wie sind die zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen für die Tätigkeit der ARGEV zu ziehen?

Als sinnvolle zeitliche Systemgrenze hat sich ein Jahr herausgestellt. Für diesen Zeitraum liegen die Massenbilanzen seitens der ARGEV vor und können sinnvoll Zeitreihen erstellt werden. Die räumliche Systemgrenze wurde im vorliegenden Projekt auf der Inputseite im privaten Haushalt beim Konsumenten gezogen. Er entscheidet letztendlich durch sein Wegwerfverhalten ob eine Verpackung im Restmüll oder im dafür vorgesehenen Sammelbehälter landet. Auf der Outputseite wurde die Systemgrenze nach der Sortierung gezogen, die Verwertung der Verpackungen wurde nicht untersucht. Trotz dieser Einschränkung konnten allgemein gültige Folgerungen gezogen werden.

1.2 Welches sind die relevanten Prozesse im System?

Es zeigte sich, dass der Prozess „privater Haushalt“ (HH + IG) für die Gesamtleistung des Systems der wichtigere ist. Je nach Verpackung könnte die Sortierleistung im Prozess „ARGEV“ mehr oder weniger gesteigert werden. Jedoch selbst bei optimierter Sortierung bleiben SKE/GKE im Ist-Zustand weit unter den theoretisch möglichen Werten, was alleine durch die Sammelleistung von „HH + IG“ begründet ist.

1.3 Welche Daten können durch die ARGEV zur Verfügung gestellt werden?

Die ARGEV stellte sehr genaue Daten zu den Massenflüssen der verschiedenen Verpackungskategorien (z.B. Leichtverpackungen, Metallfraktion) zur Verfügung. Über die Konzentration von einzelnen Verpackungsarten (z.B. PET, Al) liegen Sortieranalysen, die an verschiedenen Punkten im Prozess „Sortierung“ erfolgt sind (z.B. Input in den Prozess, Fraktion nach der Sortierung), vor. Mit diesen Angaben war es durchwegs möglich gemeinsam mit dem Auftraggeber plausible Bilanzen für die untersuchten Verpackungsarten (Al, Fe, LVP, etc.) zu erstellen. Aus der Bilanzierung ergaben sich Erkenntnisse, welche Güterflüsse in Zukunft genauer bzw. zusätzlich untersucht werden sollten.

2 Anwendung/Adaption der Methode

2.1 Welche Güterflüsse aus dem Verpackungssortiment können mit den vorgegebenen Methoden untersucht werden?

Prinzipiell können alle Güterflüsse (Verpackungsarten) innerhalb des gewählten Systems untersucht werden. Probleme ergeben sich erst dann, wenn eine Verpackung transformiert wird (z.B. Kunststoffe zu CO₂ und H₂O, Verbrennen von Al) und ihre



Verpackungseigenschaft damit endet. Dies wurde durch die gewählten Systemgrenzen ausgeschlossen.

2.2 Inwieweit muss die angewandte Methode der Datenlage und Fragestellung angepasst werden?

Die Methode der Stoffkonzentrierungseffizienz beurteilt Verteilungen von Stoffkonzentrationen und Massenflüssen. Insofern war sie für die Stoffe Aluminium und Eisen aufgrund der Datenlage direkt anwendbar. Im Gegensatz zu diesen Stoffen müsste für die Beurteilung der Kohlenstoffflüsse (Kunststoffe) die Systemgrenzen jedenfalls erweitert werden, um qualifizierte Aussagen etwa zum Vergleich mit dem Szenario „100% MVA“ machen zu können. Dazu müssten auch die Verwertungsprozesse untersucht und Emissionen berücksichtigt werden. Prinzipiell bedarf es für diese Fragestellung jedoch keiner Erweiterung der Methode. Die Konzentrierung von Gütern durch Sortierung konnte ebenfalls beschrieben werden. Dabei wurden Stoffkonzentrationen durch „Güterkonzentrationen“ ersetzt. Als „Güterkonzentration“ versteht man dabei etwa den Anteil an PET in den Leichtverpackungen. Die resultierende Maßzahl wird dann als Güterkonzentrierungseffizienz bezeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Wie groß ist die SKE für die untersuchten Güter?

Die jeweiligen Stoff- und Güterkonzentrierungseffizienzen SKE/GKE sind im Kapitel 5 dargestellt. Sie liegen im Ist-Zustand für die untersuchten Verpackungsarten zwischen 15 – 70%. Diese Werte sind jedoch insofern zu relativieren, als eine SKE/GKE = 100% einen hypothetischen Zustand widerspiegelt. Nämlich, dass 100% der Verpackungsart bzw. des Stoffes aus dem Restmüll herausgeholt wird und in eine sortenreine bzw. (stoff)reine Fraktion gebracht wird. Daher wurden auch SKE/GKE-Werte für realistische Zielszenarien berechnet. Dabei zeigt sich, dass diese Ziele heute teils schon erreicht werden.

3.2 Was sind die Trends der SKE für die Sammel- und Sortierleistung des Systems ARGEV über die letzten Jahre für die ausgewählten Güter?

Die Ergebnisse aus den untersuchten Zeiträumen lassen keine schlüssigen Trends erkennen. Die Schwankungen zwischen den Jahren lassen sich aber häufig direkt auf Veränderungen einzelner Werte in den Bilanzen zurückführen.

3.3 Welche Aussagen über die Optimierung des Systems bzgl. der GKE/SKE lassen sich treffen?

Um diese Frage zu beantworten, wird das System erneut in die Prozesse „Sammlung“ und „Sortierung“ unterteilt. Für Eisen kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die Sortierung im Prozess „Sortierung“ optimal ist. Für Aluminium könnte hingegen noch eine Steigerung erzielt werden. Zumindest für Aluminium kann gesagt werden, dass die Sammlung erhöht werden muss, um von einer effizienten Stoffsteuerung sprechen zu können. Der Vergleich mit den Szenarien „100% MVA“ oder „100% MBA“ bei Eisen legt jedoch nahe, dass die



Sinnhaftigkeit der Metallsammlung immer wieder zu überdenken ist, der zusätzliche Nutzen der Sammlung und Sortierung ist dem Aufwand gegenüberzustellen.

Metalle

Die Sammlung von Metallen verläuft sehr unterschiedlich. Während für Eisen die gesetzlich vorgeschriebene Quote erreicht und überschritten wird, ist die Sammlung von Aluminium-Verpackungen nicht zufriedenstellend. Vorbehaltlich der damit verbundenen Kosten und nur das System „Bewirtschaftung der Abfälle aus HH + haushaltsähnlicher Abfälle aus IG“ betrachtend, wäre aus stofflicher Sicht die Sammlung von Aluminium (Getränkedosen, VP- und NVP-Aluminium) als zielführend zu bezeichnen. Sollten sich die Sammelmengen für Aluminium jedoch nicht erheblich steigern lassen wäre zu überlegen, die getrennte Metallsammlung einzustellen. Die dadurch eingesparten Kosten könnten mit den auf Grund einer flächendeckenden Müllverbrennung gegenüber heute möglicherweise höheren Entsorgungskosten gegenverrechnet werden. Durch die MVA wäre für Eisenmetalle eine SKE gegeben, welche durch Sammel- und Sortiersysteme alleine nicht zu erreichen ist und auch für Aluminium ließen sich durch geeignete Abscheideaggregate für Al aus der Schlacke vertretbare SKE erzielen. Jedenfalls würden diese weit über den heute erreichten Werten für Al liegen. Man kann daher behaupten, dass die heutige Praxis der Metallbewirtschaftung aus HH + IG bezüglich der Stoff- und Geldflüsse noch nicht optimiert ist.

Leichtverpackungen

Die Sammel- und Sortierleistung ausgedrückt als GKE von Kunststoffen liegt über jener von Al-Verpackungen. Dies wird vor allem durch die privaten Haushalte erreicht. Für die Summe der Kunststoff-Verpackungen ist die GKE schlechter als für PET-Verpackungen alleine. Bei PET-Verpackungen hat die Sortierung einen ungewöhnlich hohen Anteil an der GKE des Gesamtsystems. Die GKE für GVKs liegt unter Berücksichtigung der Sammelmengen der Öko-Box bei etwa 50%. Das sehr reine Sammelgut der Öko-Box bewirkt, dass der Anteil der Sortierleistung an der GKE absolut nur ca. 5% ausmacht.

Eignung des Indikators GKE/SKE

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der Indikator SKE/GKE geeignet ist, den materiellen Nutzen der Sammel- und Sortiertätigkeit zu quantifizieren. Der Vorteil der GKE/SKE liegt darin, dass den Massenbilanzen (Güter und Stoffe) eine Maßzahl zugeordnet wird und diese damit einfach zu vergleichen sind. In Kombination mit anderen wesentlichen Indikatoren (Energieeinsatz, Kosten) lassen sich somit die Stellschrauben mit denen ein System optimiert werden kann leichter identifizieren.



7 Literatur

ARGEV (2000) Leistungsbericht 1999, ARGEV Verpackungsverwertungs GmbH, VII. Lindengasse 43/12, Wien.

Baccini, P., Brunner, P.H. (1991) Metabolism of the Anthroposphere, Springer: Berlin, New York.

Daxbeck, H., Merl, A., Ritter, E., Brunner, P.H. (2000) Analyse der Flüsse des lizenzierten Aluminiums in Österreich, Studie im Auftrag der ARGEV Verpackungsverwertungs-GmbH, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.

Domenig, M. et al. (1998) Nicht gefährliche Abfälle in Österreich, UBA-103, BMfUJF, Wien.

MA 48 (1999) Leistungsbericht 1998 der Abfallwirtschaft, Schriftenreihe der Magistratsabteilung 48, Band XX, Wien.

Morf, L.S., Ritter, E., Brunner, P.H. (1997) Güter- und Stoffbilanz der MVA Wels, Studie im Auftrag der WAV, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.

Nelles et al., (1999) Möglichkeiten und Grenzen des Restmüllsplittings am Beispiel der Abfallbehandlungsanlage Kufstein, Montanuniversität Leoben.

Rechberger, H. (1999) Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft, Wiener Mitteilungen Bd. 158, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.

Schachermayer, E., Bauer, G., Ritter, E., Brunner, P.H. (1995) Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage, Umweltbundesamt, Monographien Band 56, Wien.

Taibon, M., Vogel, E., Steiner, M. (1999) Abfalltechnische Analysen von „Leichtfraktion“ aus dem Restmüllsplitting, Studie im Auftrag der Gemeinde Wien und des SVZ Schwarze Pumpe, Technisches Büro für Umweltschutz GmbH, Innsbruck.



8 Anhang

Tabelle 1: Restmüllanalyse und Aluminiumkonzentrationen (Daxbeck et al., 2000)

Teilfraktionen	[kg/E.a]	Al-Konz. [%]	Teilfraktionen	[kg/E.a]	Al-Konz. [%]
Papier Druckerz.	14,15	1,2	FE-sonst. VP	2,25	2
Papier VP	3,5	1,0	FE-sonst., NVP	2,74	2
Papier Hygiene	8,35	1,0	Holz VP	0,76	0
Papier sonstige	9,27	1,0	Holz VP verunr.	0,11	0
Karton	4,72	1,0	Holz NVP unbehandelt	3,05	0
Wellpappe VP	3,42	1,0	Holz NVP behandelt	5,43	0
Karton, Pappe	0,99	1,0	Leder	1,77	0
Verbundstoffe	4,16	2,97	Gummi Reifen	0,07	0
Verbundstoffe	3,17	2,97	Gummi	0,78	0
Verbundstoffe NVP	4,34	2,97	Textilien	2,39	0
Spezialfraktion Windeln	9,57	0,866	Textilien	6,05	0
Weißglas VP,	3,37	0,05	Mineralische Bestandt.	33,94	1,15
Weißglas VP	3,59	0,05	Biomaterial	3,66	0,0005
Weißglas Flachglas	0,43	0,05	Biomaterial	5,66	0,0005
Weißglas Sonstiges	1,46	0,05	Biomaterial	81,77	0,0005
Buntglas Milch-, VP	3,84	0,05	Biomaterial	9,39	0,0005
Buntglas sonst. VP	0,56	0,05	Biomaterial	4,7	0,0005
Buntglas sonst. Flachgl.	0,1	0,05	Problemstoffe	3,26	1,5
Buntglas sonst. Nutzgl.	0,26	0,05	Elektro-/Elektronikschrott	2,4	4,11
KST-Körper	8,47	0	Restfeinfraktion	0,95	1,5
KST-Folien	10,49	0	Restfeinfraktion	2,37	1,5
Sonstige Kunststoffe	4,92	0			
Alu+NE-Getr.dosen	1,48	95			
Alu+NE-GVP verunr.	0,09	1,5 - 90			
Alu+NE-VP sonstige	0,46	95			
Alu+NE-VP verunr.	0,46	1,5 - 90			
Alu+NE NVP	0,6	95			
FE-Getränke VP.	0,28	2			



Tabellen-Anhang der Bilanzen mit Kommentaren zu den verwendeten Werten/getroffenen Annahmen folgt im Endbericht.