



**GUA - Gesellschaft für
umfassende Analysen GmbH**



**UV&P – Umweltmanagement-Verfahrenstechnik
Neubacher & Partner GmbH**

Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs

**Teilprojekt 4 im Gesamtprojekt
„Ausrichtung der Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten - 2.Teil“**

Endbericht

Wien, Dezember 2003

Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs

Teilprojekt 4 im Gesamtprojekt

„Ausrichtung der Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten - 2.Teil“

Endbericht

Auftraggeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Sektion VI/3
Stubenbastei 5, 1010 Wien

Auftragnehmer:

GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH
Sechshauser Straße 83, A-1150 Wien
Tel.: +431 / 892 08 14 Fax: +431 / 892 08 82
E-Mail: office@gua-group.com URL: www.gua-group.com

UV&P - Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH
Praterstraße 40/20; A-1020 Wien
Tel.: +431 / 214 95 20 Fax: +431 / 214 95 20 20
E-Mail: office@uvp.at URL: www.uvp.at

Autoren:

Harald Pilz (GUA)
Evelin Kletzer (GUA)
Franz Neubacher (UV&P)

Wien, September 2003

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	5
2	ALUMINIUMBILANZ ÖSTERREICH	7
2.1	Aluminiumflüsse in Österreich einschließlich nicht-metallischer Aluminiumflüsse	7
2.1.1	Übersicht	7
2.1.2	Datengrundlagen	11
2.1.3	Einschränkung der Detailbilanzierung auf metallisches Aluminium.....	17
2.2	Stoffbilanz metallisches Aluminium - Ergebnisse im Überblick	19
2.3	Datengrundlagen zur Stoffbilanz des metallischen Aluminium.....	24
2.3.1	Bauxitabbau, Gewinnung von Tonerde und Produktion von Primäraluminium	24
2.3.2	Aluminiumverarbeitung (Halbzeug- und Warenproduktion).....	25
2.3.3	Aluminiumkonsum	26
2.3.4	Getrennte Sammlung von Aluminiumabfällen	38
2.3.5	Shredderanlagen und Verpackungssortierung	40
2.3.6	Produktion von Sekundäraluminium	42
2.3.7	Aluminiumabfälle in Restmüllfraktionen.....	43
2.3.8	Müllverbrennung.....	45
2.3.9	Deponie	46
2.3.10	Aluminiumflüsse in Restmüllsplittinganlagen.....	46
2.4	Aluminiumflüsse, die ausschließlich durch den Konsum von metallischem Aluminium in Österreich bestimmt sind.....	47
3	UMWELTEFFEKTE	50
3.1	Primärproduktion.....	50
3.1.1	Rotschlamm.....	51
3.2	Recycling / Sekundärproduktion.....	52
3.3	Andere Prozesse.....	53
3.4	Toxikologie.....	54
3.5	Ökologische Bewertung von Aluminiumprodukten	55
4	BEWIRTSCHAFTUNG VON ALUMINIUM UND ALUMINIUMABFÄLLEN AUF BASIS DER ZIELE DES AWG.....	56
4.1	Bewertung der Prozesse, Stoffflüsse und Lager nach den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes	56
4.1.1	Lager und Lagerveränderungen.....	57
4.1.2	Stoffflüsse: Konsum und Verwertung	59
4.1.3	Stoffflüsse: Aluminiumverluste im industriellen Bereich und in der Abfallwirtschaft	61
4.1.4	Verteilung auf letzte Senken.....	63
4.1.5	Stellenwert der Abfallwirtschaft im gesamten Aluminiumhaushalt Österreichs	64
4.2	Maßnahmen für die Optimierung der Bewirtschaftung aluminiumhaltiger Abfälle im Hinblick auf die Ziele des AWG.....	64
4.3	Maßnahmen <i>außerhalb</i> der Abfallwirtschaft, die ebenfalls für die Erreichung der Ziele des AWG wesentlich sind	67
5	AUSBLICK	68
6	LITERATUR.....	69
6.1	Publikationen	69
6.2	Auskünfte	71
6.3	Links.....	71

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Anteile der Aluminiumflüsse durch die Anthroposphäre in Österreich.....	8
Abbildung 2-2: System „Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich Hinterland), Angaben in 1.000 t/a.	9
Abbildung 2-3: System „Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich Hinterland), Angaben in kg/EW.a, gerundet.	10
Abbildung 2-4: System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich „Hinterland“). Angaben in 1.000 t/a. 22	
Abbildung 2-5: System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich „Hinterland“). Angaben in kg/EW.a, gerundet.	23
Abbildung 2-6: Entwicklung des Aluminiumverbrauchs auf der Ebene von Halbzeugen (einschließlich Verarbeitungsabfälle und Exportüberschuss von Aluminiumwaren) in Österreich von 1991 bis 2001.....	27
Abbildung 2-7: Entwicklung des Aluminiumverbrauchs auf der Ebene von Halbzeugen (einschließlich Verarbeitungsabfälle und Exportüberschuss von Aluminiumwaren) nach Anwendungsbereichen in Österreich von 1989 bis 1998 in Tonnen.....	27
Abbildung 2-8: Verteilung der wichtigsten Anwendungsbereiche in Österreich, Extrapolation für 2001.....	29
Abbildung 2-9: Entwicklung der weltweiten Aluminium-Produktion seit 1966	30
Abbildung 2-10: Interpolationsmodell für die in Österreich eingesetzten Aluminium-Mengen nach Anwendungsbereichen	31
Abbildung 2-11: Interpolationsmodell für Aluminium-Abfallmengen in Österreich nach Anwendungsbereichen	32
Abbildung 2-12: Interpolationsmodell für Einsatz-, Abfall- und Lagermengen von Aluminium in Österreich. Hinweis: Die Zahlen für die Gesamte Lagermenge (Lager-Summe) sind der Übersichtlichkeit halber um einen Faktor 10 gestaucht.	33
Abbildung 2-13: Entwicklung der jährlich aus dem Bestand jährlich ausgeschiedenen Pkw und Kombi im Zeitraum 1993 - 2002 (WKÖ, 2003)	36
Abbildung 2-14: Entwicklung der pro Jahr in Österreich ordnungsgemäß verwerteten Anzahl von in Österreich anfallenden Alt-Pkw (Datenbasis: Angaben der einzelnen Shredderunternehmen; Werte gerundet; statistische Auswertung UV&P)	37
Abbildung 2-15: Fahrzeugbestand in Österreich – Änderungen im Jahr 2002 (Quelle: Porsche Austria GmbH & CO, März 2003)	38

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Übersicht der wichtigsten Aluminium-Flüsse in Österreich im Jahr 2001	8
Tabelle 2-2: Nicht-metallische Aluminiumflüsse im Bauwesen.....	14
Tabelle 2-3: Nicht-metallische Aluminiumflüsse in Papier	15
Tabelle 2-4: Stoffbilanz des Aluminiumhaushalts Österreichs (einschließl. Hinterland).....	21

Tabelle 2-5:	Verteilung des Aluminiumeinsatzes in Österreich im Jahr 2001 auf die wichtigsten Anwendungsbereiche.....	28
Tabelle 2-6:	Berechnung von Transferkoeffizienten für Aluminium in Müllverbrennungsanlagen	45
Tabelle 2-7:	Berechnung von Transferkoeffizienten für Aluminium in Restmüllsplitting-Anlagen.	47
Tabelle 3-1:	Ressourcen für die Herstellung von 1 kg Aluminium, Quelle: Ecoinvent	50
Tabelle 3-2:	Emissionen aus der Herstellung von 1 kg Aluminium, Quelle: Ecoinvent	51
Tabelle 3-3:	Übersicht Recycling-Verfahren, deren typische Ausbeuten und Energiebedarfe, Quelle: UV&P [2000]	52
Tabelle 3-4:	typische Emissionen aus drei verschiedenen Aluminium-Verwertungsverfahren, Quelle: UV&P [2000]	53
Tabelle 4-1:	Übersicht über die Lagermengen im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“	57
Tabelle 4-2:	Übersicht über die Veränderung der Lagermengen im Jahr 2001 im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“	59
Tabelle 4-3:	Übersicht über die wichtigsten Stoffflüsse im Bereich der Prozesse „Konsum“ und „Verwertung“ im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“	60
Tabelle 4-4:	Übersicht über die wichtigsten Aluminium-Verluste (deponierte Aluminiumabfälle) im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“	62
Tabelle 4-5:	Übersicht über die derzeit verwendeten letzten Senken im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“	63

1 EINLEITUNG

Aluminium ist ein wichtiger Werk- und Wirkstoff mit hervorragenden technischen und ökonomischen Eigenschaften; es wird heute in den unterschiedlichsten Gütern verwendet, beispielsweise im Hoch- und Tiefbau, in Kraftfahrzeugen, im Papier, in der Medizin, in Folien und Getränkeverpackungen etc. Bei der Gewinnung von Aluminium aus Altmetall werden deutlich weniger Energie und Stoffe verbraucht als bei der Gewinnung von primärem Aluminium. Durch ein optimales Management von Aluminium können demzufolge wesentliche Mengen an Energie und Stoffen eingespart werden, und es können große Mengen an Emissionen und Abfällen der Primärproduktion vermieden werden.

Im Projekt soll das in Österreich gebrauchte Aluminium, sein Bestand und die Abfälle „von der Wiege bis zur Bahre“ einschließlich dessen „Hinterland“ (Ort der Primärproduktion) untersucht werden. Es soll verglichen werden, ob durch die derzeitige Bewirtschaftung von Aluminium die Ziele des AWG erfüllt werden. Es sollen allenfalls Konzepte und Maßnahmen entwickelt werden, um die Ressource Aluminium besser zu nutzen, den Verbrauch an Energie zu reduzieren und Abfälle und Emissionen insgesamt zu vermindern. Insbesondere soll untersucht werden, wie der Nichtverpackungsteil von Aluminium hinsichtlich der Ziele des AWG optimal bewirtschaftet werden kann.

Damit wird im Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) erstmals ein Stoff gesamthaft bilanziert, und die Bedeutung der Abfallwirtschaft für diesen Stoff aufgezeigt. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie Aluminium enthaltende Abfälle zukünftig hinsichtlich der AWG Ziele besser bewirtschaftet werden können.

Die Studie "Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs" verfolgt folgende Ziele:

1. eine „Aluminiumbilanz Österreich“ zu erstellen
2. den Stellenwert der Abfallwirtschaft für den Aluminiumhaushalt Österreichs einschließlich des Hinterlandes zu beurteilen
3. die Frage zu beantworten, ob die derzeitige Bewirtschaftung aluminiumhaltiger Abfälle die Ziele des AWG erfüllt, und
4. Vorschläge zu erarbeiten, wie zukünftig aluminiumhaltige Abfälle optimal genutzt werden können.

Folgende Fragestellungen stehen im Vordergrund: Wie ist das System „Aluminiumhaushalt Österreich“ definiert, welche Bereiche, Prozesse, Güter und Abfälle müssen mitberücksichtigt werden (Systemgrenzen)? Wie bestimmt man die Flüsse und Lager an aluminiumhaltigen Gütern und Abfällen? Welche Aluminiumflüsse und -lager bestehen in Österreich, und welche Abfälle entstehen auf den Stufen Primärproduktion, Verarbeitung, Konsum und Abfallwirtschaft? Entspricht die heutige Bewirtschaftung von Aluminiumabfällen aller Stufen den Zielen des AWG? Wie müssen aluminiumhaltige Abfälle zukünftig verwertet und entsorgt werden damit die Ziele des AWG erfüllt werden (Konzepte und Kapazitäten zur Sammlung, Verwertung, Entsorgung)? Welche Maßnahmen sind außerhalb der Abfallwirtschaft notwendig, damit die Ziele des AWG erreicht werden können? Welche Forderungen ergeben sich bezüglich der Gestaltung des „Aluminiumhaushaltes Österreich“ für die zukünftige Abfallwirtschaft und die Aluminiumwirtschaft?

Die angestrebten Ergebnisse ergeben sich aus der Erfüllung der Projektziele:

- Erstellung einer „Aluminiumbilanz Österreich“
- Identifikation des Ressourcenpotentials von Aluminiumabfällen und der geeigneten letzter Senken für Aluminiumabfälle
- Ermittlung der Umweltbelastungen durch Verwertung und Entsorgung von Aluminiumabfällen
- Defizitanalyse der derzeitigen Verwertung und Entsorgung aluminiumhaltiger Abfälle im Hinblick auf die Ziele des AWG
- Ausarbeitung von Maßnahmen für die Optimierung der Bewirtschaftung aluminiumhaltiger Abfälle im Hinblick auf die Ziele des AWG
- Identifikation von Maßnahmen außerhalb der Abfallwirtschaft, die ebenfalls für die Erreichung der Ziele des AWG wesentlich sind
- Beurteilung des Stellenwert der Abfallwirtschaft im gesamten Aluminiumhaushalt Österreichs einschließlich des Hinterlandes.

2 ALUMINIUMBILANZ ÖSTERREICH

2.1 Aluminiumflüsse in Österreich einschließlich nicht-metallischer Aluminiumflüsse

In der vorliegenden Studie wird die Erstellung der Aluminiumbilanz für Österreich zunächst so verstanden, dass nicht nur metallisches Aluminium erfasst wird, sondern alle wichtigen Güterflüsse, in denen Aluminium als *Element oder in einer Verbindung* vorkommt. Da Aluminium mit einem Anteil von etwa 8 % das dritthäufigste Element der Erdkruste ist, ist es in vielen mineralischen Güterflüssen enthalten. Um die Größenordnung dieser Aluminiumflüsse zu erfassen, werden für die wichtigsten Güterflüsse in der Bauwirtschaft (Baumaterialien, Bodenaushub) Aluminiumkonzentrationen erhoben. Aber auch Güter wie Glas und Holz enthalten in geringen Konzentrationen Aluminium in der jeweiligen natürlich vorkommenden Form.

Die zweitwichtigste Gütergruppe für Aluminiumflüsse ist jene der metallischen Aluminiumflüsse. Die wichtigsten Anwendungsgebiete sind hierbei der Baubereich, der Transportbereich, Verpackungen und die Elektrotechnik.

Bei der Produktion von metallischem Aluminium wird zunächst aus Bauxit Aluminiumoxid gewonnen und daraus Aluminiumhydroxid erzeugt. Ca. 15 % des Aluminiumhydroxids wird allerdings nicht für die Herstellung von metallischem Aluminium verwendet, sondern für andere Zwecke eingesetzt, z. B. als Füllstoff in Papier, Kunststoffen, Kosmetika und Pharmazeutika. Dies ist der dritte Bereich relevanter Aluminiumflüsse.

In dieser ersten Ebene der Aluminiumbilanz sollen vor allem die Größenordnungen der wichtigsten Flüsse veranschaulicht werden. Aluminiumflüsse, die kleiner als 1 % des Gesamtverbrauchs an Aluminium sind (also kleiner als 24.000 t/a, s. Tabelle 2-1), werden vernachlässigt.

2.1.1 Übersicht

Tabelle 2-1 zeigt die wichtigsten Aluminiumflüsse in Österreich im Überblick (Input des Prozesses „Einsatz“). Von den insgesamt 2,4 Mio. Tonnen Aluminium befinden sich 90,6 % in mineralischer Form in Baumaterialien und Bodenaushub. 8 % werden als metallisches Aluminium verwendet und weitere 1,4 % werden als Füllstoffe in Papier, Kosmetika und Pharmazeutika, als Flammschutzmittel in Kunststoffen und in anderen Anwendungsbereichen der chemischen Industrie eingesetzt.

Der Unsicherheitsbereich der Daten wird vor allem von den unsicheren Daten zur Aluminiumkonzentration in Baumaterialien und im Bodenaushub bestimmt:

Unsicherheit der Aluminiummenge in Sand, Kies, Schotter: ± 910.000 t/a

Unsicherheit der Aluminiummenge im Bodenmaterial: ± 100.000 t/a

Unsicherheit insgesamt daher: $\pm 1.000.000$ t/a oder ± 50 % oder 1.000.000 - 3.000.000

Übersicht Al-Flüsse in Österreich

Flüsse, die kleiner als 1 % der Gesamtmenge, also kleiner 24.000 t/a sind, wurden nicht erhoben. Dennoch sind beispielhaft einige Flüsse in dieser Größenklasse angeführt.

	Input Prozess Einsatz			Anteile
	Gütermasse t/a	Al-Konz.	Al-Masse t/a	
Al in mineralischen oder organischen Verbindungen				
in Baumaterial	110.854.000	1,131%	1.254.000	52,73%
in Bodenmaterial (-aushub)	29.722.000	3,028%	900.000	37,84%
in Holz (ohne Papier)	4.551.000	0,013%	590	0,02%
in Glas	436.000	0,050%	220	0,01%
Al aus der Aluminiumhydroxid-Gewinnung				
Metallisches Aluminium (inkl. Prod.abf.)			190.000	7,99%
Nichtmetallisches Aluminium				
in Papier	2.100.000	1,000%	21.000	0,88%
in Waschmitteln	68.000	4,750%	3.200	0,13%
in Kunststoffen	760.000	0,018%	140	0,01%
Sonstiges (Kosmetika, Pharmazeutika, chem. Industrie)			9.200	0,39%
SUMME			2.378.350	100,00%

Tabelle 2-1: Übersicht der wichtigsten Aluminium-Flüsse in Österreich im Jahr 2001

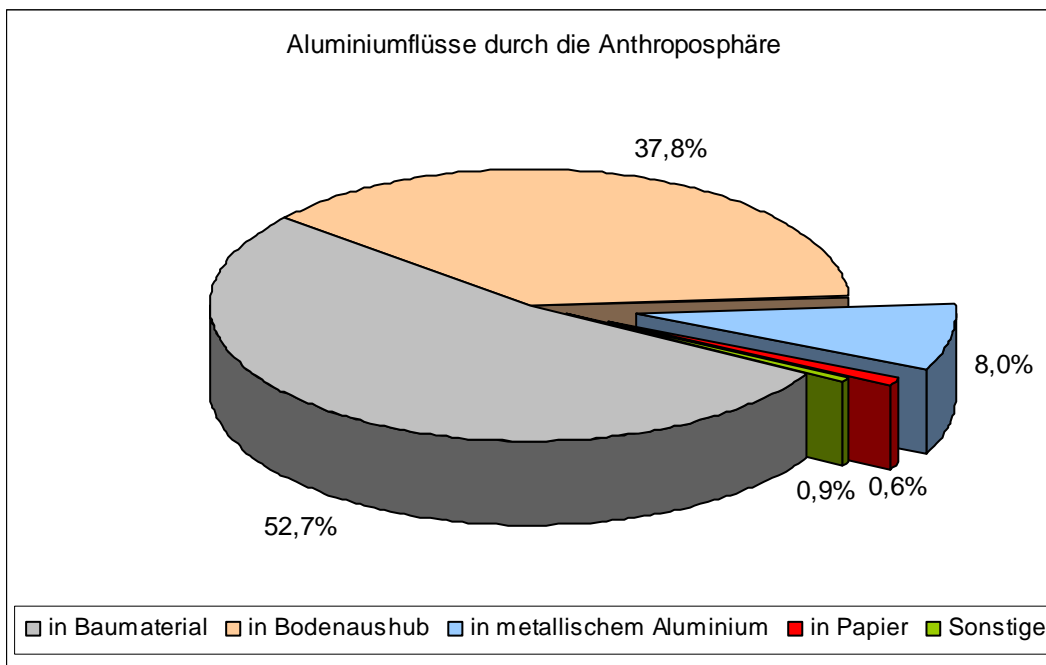
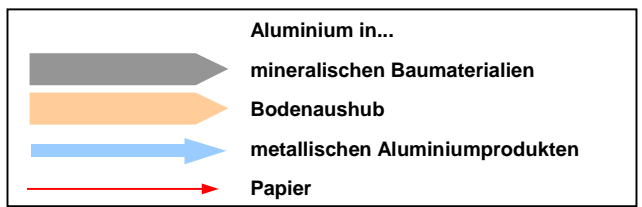
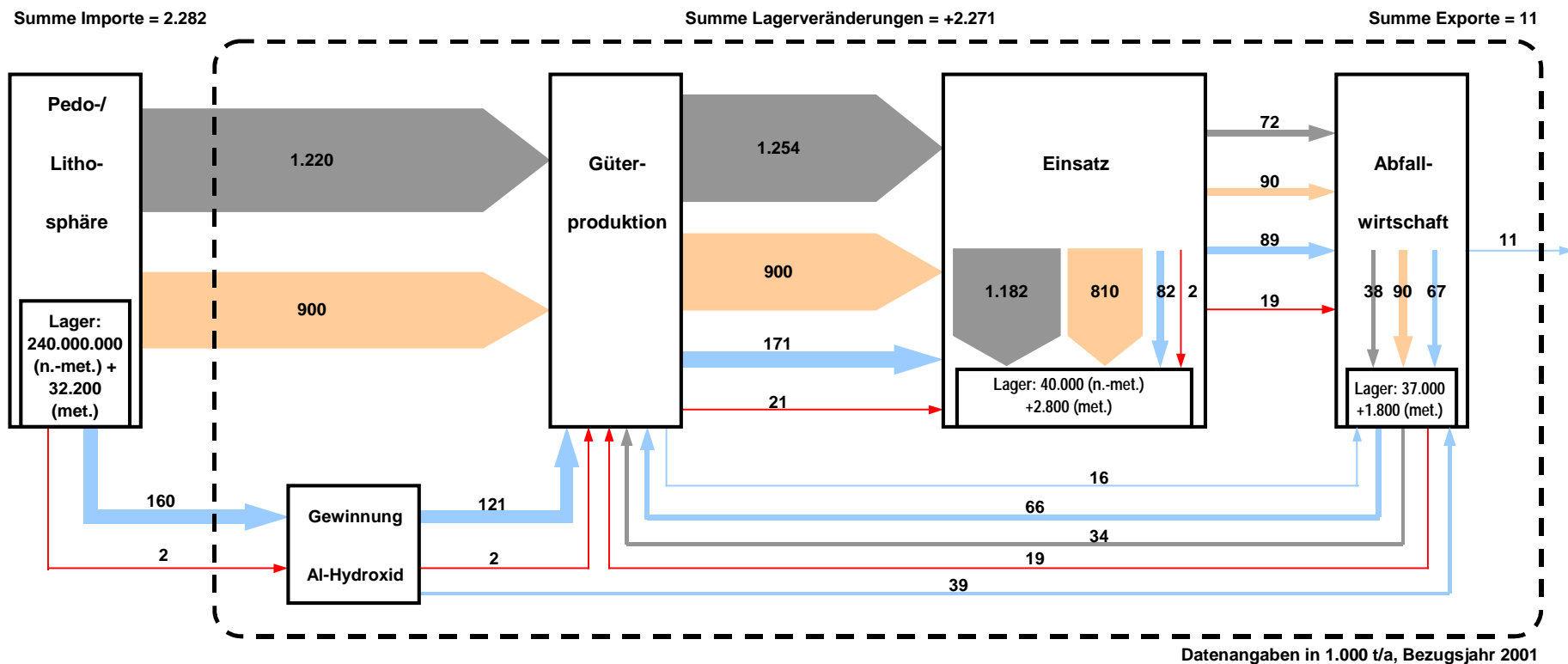


Abbildung 2-1: Anteile der Aluminiumflüsse durch die Anthroposphäre in Österreich



Metallisches Aluminium:
 Flüsse sind bezogen auf österreichische Einsatzmenge inkl. anteiliger Produktionsabfälle.
 Aluminiumflüsse, die nicht direkt mit dem österreichischen Einsatz zusammenhängen, sind nicht dargestellt.
Flüsse unter 0,5% des Gesamtflusses oder unter 12.000 t/a sind nicht dargestellt.

Beispiele:	Al in Waschmitteln	3.200
	Al in Holz (ohne Papier)	590
	Al in Glas	220
	Al in Kunststoffen	140
	Sonstiges (Kosmetika, Pharmazeutika, chem. Industrie)	9.200

Abbildung 2-2: System „Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich Hinterland), Angaben in 1.000 t/a.

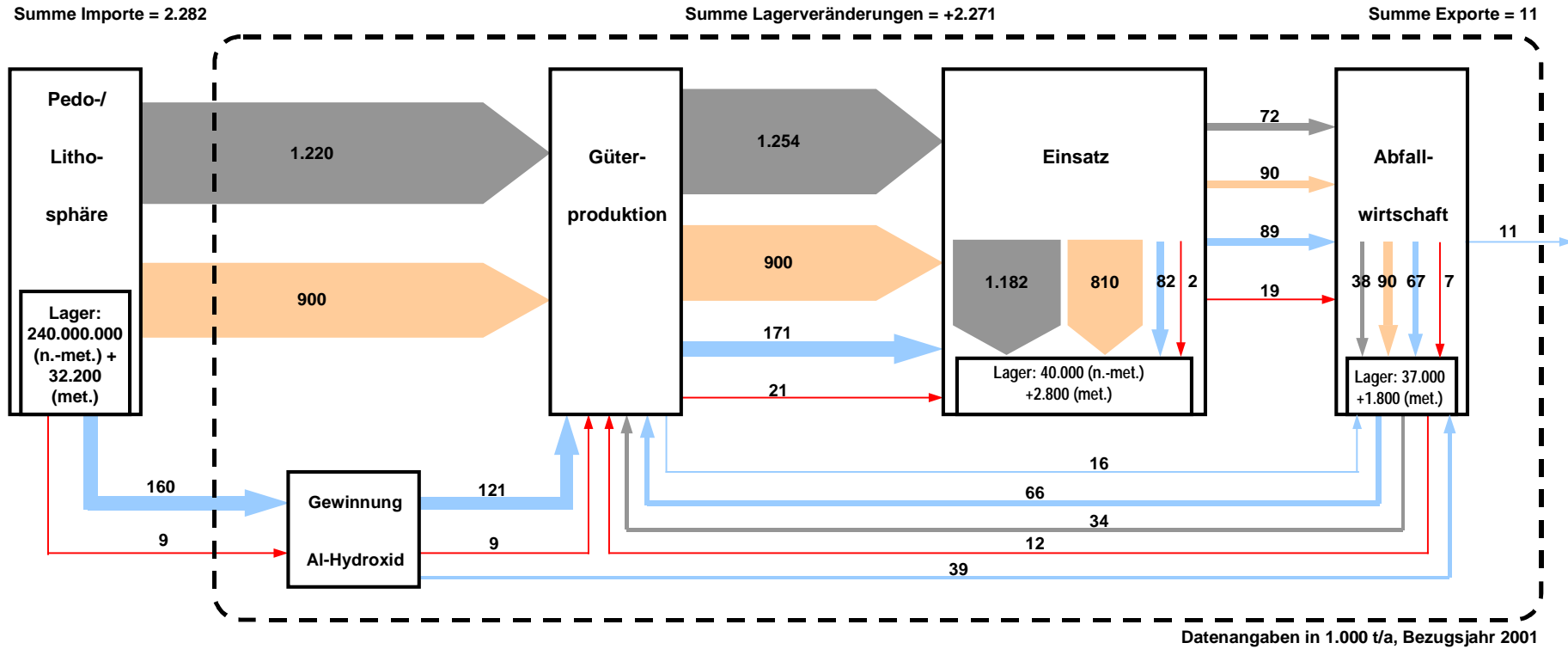


Abbildung 2-3: System „Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich Hinterland), **Angaben in kg/EW.a, gerundet.**

2.1.2 Datengrundlagen

2.1.2.1 Metallisches Aluminium

Die Daten für metallisches Aluminium beruhen auf den Angaben in Abschnitt 2.4. In den Bereichen der Primär- und Sekundärproduktion sowie der Abfallwirtschaft sind an dieser Stelle (und insbesondere in Abbildung 2-2) nur jene Stoffflüsse und Lager angegeben, die unmittelbar mit den *in Österreich* verwendeten Aluminiumwaren zusammenhängen. Importe und Exporte, die nicht mit dem österreichischen Aluminiumkonsum zusammenhängen, sowie alle aus diesen Importen und Exporten resultierenden Flüsse sind hier nicht dargestellt. In den Abschnitten 2.2 und 2.3 sind diese Importe und Exporte dagegen berücksichtigt („Gesamtsystem“, siehe z. B. Abbildung 2-4).

2.1.2.2 Aluminium-Lager in der Pedo-/Lithosphäre

Um das Aluminium-Lager in der Pedo-/Lithosphäre sehr grob abzuschätzen, werden die obersten 20 m der Fläche Österreichs betrachtet. Davon werden 2 m wie Boden (siehe Kapitel 2.1.2.4 Aluminium in Bodenaushub) und die restlichen 18 m hinsichtlich des jeweiligen Aluminiumgehaltes wie die durchschnittliche Erdkruste betrachtet.

Aluminiumlager im Boden: Die Fläche Österreichs beträgt 83870,9 km². Die durchschnittliche Dichte von Bodenmaterial beträgt 1,5 t/m³ [BOGUSLAWSKI, 1981]. Bei einem Aluminiumgehalt von 4,5 % ergibt sich daraus ein Aluminium-Lager von ca. 12,6 Milliarden Tonnen.

Aluminiumlager im Gestein: Die Dichte der wichtigsten Bestandteile von Österreichs Gesteinen, Siliciumoxid und Calciumcarbonat beträgt 2,6 bis 2,7 t/m³. Die Dichte der betrachteten 18 m dicken Gesteinsschicht wird mit 70 % davon, also 1,9 t/m³ angenommen, um Hohlräume und lockerere Strukturen zu berücksichtigen. Bei einem durchschnittlichen Aluminiumgehalt in der Erdkruste von 8 % ergibt sich daraus ein Aluminium-Lager von ca. 230 Milliarden Tonnen.

Das Aluminium-Lager der Pedo-/Lithosphäre beträgt also etwa **240 Milliarden Tonnen**.

Variiert man den Aluminium-Gehalt im Boden zwischen 3,5 und 6,5 %, sowie den des Gesteins zwischen 6 und 8 %, so schwankt diese Gesamtzahl zwischen 180 und 300 Milliarden Tonnen.

In Österreich gibt es darüberhinaus keine nennenswerten Aluminium-Vorkommen. Ein Vorkommen, das in Kriegszeiten und danach noch bis 1964 beschürft wurde, befindet sich in Unterlaussa/OÖ. Der geschätzte dort befindliche Aluminium-Vorrat beläuft sich auf etwa 40.000 t [GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2003], trägt also nicht signifikant zu Österreichs Aluminium-Lager bei.

2.1.2.3 Aluminium in mineralischen Baumaterialien

Die in Tabelle 2-2 in der ganz rechten Spalte angeführten Güterflüsse sind im wesentlichen aus DAXBECK et al. [2003] entnommen. Die Gesamtzahl zum Lagerbestand des Prozesses „Einsatz“ stammt aus GUA & T. VOGEL-LAHNER [2003], die Verteilung auf Hochbau, Tief-

bau und Straßen, sowie die Daten zu den Lagerbeständen von Baurestmassen und Bodenaushub stammen aus GLENCK et al. [1996].

Zum Aluminiumgehalt wichtiger Güterflüsse:

Sand, Kies, Schotter

Etwa 8 % der 16 km dicken Erdkruste bestehen aus Aluminium. Dieses ist somit das bei weitem häufigste Metall unseres Lebensraumes und nach Sauerstoff und Silizium das dritthäufigste Element der Erdkruste vor dem Eisen. Wegen seiner starken Affinität zum Sauerstoff findet man es allerdings nie gediegen, sondern stets in Form seiner Verbindungen. Aluminium ist in vielen Feldspäten (z. B. $K[AlSi_3O_8]$ = Orthoklas, $Na[AlSi_3O_8]$ = Albit, $Ca[Al_2Si_2O_8]$ = Anorthit) und Glimmern (z. B. $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ = Muskovit, $CaAl_2[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ = Margarit) und ihren Verwitterungsprodukten, den Tonen, in großem Umfang enthalten.

Aluminium ist also in Form verschiedener Verbindungen Haupt- oder Nebenbestandteil so gut wie aller Gesteinsarten. Es liegen nur wenige Analysen zum genauen Aluminiumgehalt von Gestein, Sand, Kies, und Schotter vor. Aus einer Tabelle mit 880 Analysen von „Rundkorn“ und „Rundkorn gebrochen“ (jedoch ohne „gebrochenes Festgestein“) geht hervor, dass der Al_2O_3 -Gehalt zwischen 0,14 und 12,4 % liegt, wobei Werte über 5 % eher selten vorkommen. Die Analysendaten sind nicht mit Fördermengen oder Flächen korrelierbar, daher kann daraus nur ein durchschnittlicher Wert abgeschätzt werden, wobei die mögliche Bandbreite unbedingt zu berücksichtigen ist.

Der vom durchschnittlichen Gehalt der Erdkruste deutlich nach unten abweichende Aluminiumgehalt ist damit zu erklären, dass der Güterfluss „Sand, Kies, Schotter“ vorwiegend aus Kalkgesteinen stammt, während Aluminium in größerer Menge in Tonen und Granitgesteinen vorkommt.

Al_2O_3 -Gehalt meist zwischen 0,5 und 4 %

Al-Gehalt daher zwischen 0,26 und 2,12 %

Durchschnitt Al-Gehalt: 1,2 %

Quelle: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT [2003]

Zement

Laut der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg bewegt sich der Aluminiumgehalt von Zement zwischen 3 und 8 %. Für die Bilanzierung wird der Mittelwert von 5.5 % herangezogen.

Beton

Zur Herstellung von Beton werden in der Regel Zement, Wasser und Zuschlagstoffe (Sand, Kies, Schotter) verwendet. In folgender Tabelle sind durchschnittliche Werte für Massenanteile der Komponenten und deren Aluminiumgehalt dargestellt:

Beton	Massenanteil	Al-Anteil
Zement	300	5,5%

Wasser	150	0,0%
Zuschlagstoff	2000	1,2%

Der Aluminiumgehalt von Beton beträgt folglich durchschnittlich 1,7 %.

Da die Bestandteile von Beton bereits als Zement und Zuschlagstoffe („Sand, Kies, Schotter“) in die Bilanz eingehen, wird Beton nicht mehr extra berücksichtigt.

2.1.2.4 Aluminium in Bodenaushub

Aluminium ist ubiquitärer Bestandteil in allen Böden. Da aus pflanzenphysiologischer Sicht nur in der Bodenlösung gelöstes Aluminium von Interesse ist, wird der Gesamtgehalt an Aluminium im Boden normalerweise nicht bestimmt. Daher wird der durchschnittliche Aluminiumgehalt der Erdkruste, also 8 % für die mineralischen Bestandteile des Bodens herangezogen.

Der Anteil mineralischer Bestandteile in Böden unterliegt einer großen Schwankungsbreite (10 bis 95 %, Rest organische Substanzen und Wasser) und wird hier mit 60 % angenommen. Daraus ergäbe sich ein Aluminiumgehalt von Bodenaushub von durchschnittlich etwa 4,8 %.

ELLENBERG et al. [1986] in GLENCK et al. [1997] gibt als Aluminiumkonzentration im Boden 4-5 % an. Der Mittelwert von 4,5 % mit einer Unsicherheit von $\pm 0,5$ Prozentpunkten wird für die hier angestellten Berechnungen herangezogen.

Nichtmetallisches Aluminium im Bauwesen

	Al-Flüsse t/a	Al-Konzentration	Güterflüsse t/a
Prozess Produktion			
Input Produktion = Output Produktion = Input Einsatz			
Lager Pedo-/Lithosphäre	240.793.353.900		
Prozess Einsatz			
Input	2.153.542	1,53%	121.960.000
Baumaterialien	1.219.798	1,12%	98.960.000
Sand, Kies, Schotter	1.166.998	1,19%	98.000.000
Zement-Zuschlagstoffe	52.800	5,50%	960.000
Sonstige Gütergruppen	n.b.		
Bodenmaterial	900.000	4,50%	20.000.000
Recyclingmaterial	33.744	1,12%	3.000.000
Diverses	n.b.		
Output = Input in AWS	161.988	0,57%	8.400.000
Lagerbestand	40.474.535	1,12%	3.598.334.708
Hochbau	13.553.309	1,12%	1.316.463.918
Straßen	41.205.891	2,23%	2.018.578.007
Tiefbau Sonstiges	2.710.662	1,12%	263.292.784
Lagerzuwachs (= Input - Output)	1.991.554	1,78%	
Prozess Abfallwirtschaft			
Input	161.988	0,57%	8.400.000
Baurestmassen	71.988	1,12%	6.400.000
Bodenaushub	90.000	4,50%	2.000.000
Output	11.248	0,47%	1.000.000
Recyclingmaterial	11.248	1,12%	1.000.000
Lagerbestand	36.960.404	2,93%	1.261.169.382
Baurestmassen	6.595.944	1,12%	586.403.598
Bodenaushub	30.364.460	4,50%	674.765.784
Lagerzuwachs	150.740	0,58%	7.400.000

Tabelle 2-2: Nicht-metallische Aluminiumflüsse im Bauwesen.

2.1.2.5 Aluminium in Papier

Aluminium wird in Form von Silikaten als Füllstoff in Papier eingesetzt. Die Aluminiumkonzentration beträgt dabei durchschnittlich ca. 1 % [DAXBECK et al., 2000].

Folgende Tabelle zeigt die Aluminiumflüsse im Zusammenhang mit Papierflüssen in Österreich:

Nichtmetallisches Aluminium in Papierflüssen

	Al-Flüsse t/a	Al- Konzentration	Güterflüsse t/a
Prozess Produktion			
Input			
Altpapier	12.480	1,00%	1.247.960
Füllstoffe & Hilfsstoffe f. d. Papierprodukt.	8.520		
Output = Input in den Einsatz	21.000	1,00%	2.100.000
Prozess Einsatz			
Input			
Papierverbrauch in Österreich	21.000	1,00%	2.100.000
Output = Input in AWS	19.206	1,00%	1.920.641
Lagerbestand	n.b.		n.b.
Lagerzuwachs (= Input - Output)	1.794	1,00%	179.359
Prozess Abfallwirtschaft			
Input			
Papierabfälle	19.206	1,00%	1.920.641
Output	19.206	1,00%	1.920.641
Altpapier zur stoffl. Verwertung	12.480	1,00%	1.247.960
Papier im Restmüll und Abwasser	6.727	1,00%	672.681
Lagerbestand	n.b.		n.b.
Lagerzuwachs	6.727	1,00%	n.b.

Tabelle 2-3: Nicht-metallische Aluminiumflüsse in Papier

Die Einsatzmenge für Papier ist aus DAXBECK et al. [2003] entnommen. Die Verhältnisse für die Güterbilanz wurde aus der Studie von PILZ [1996] übernommen.

2.1.2.6 Aluminium in Kunststoffen

In Kunststoffen wird Aluminium in Form von Aluminiumhydroxid als Flammschutzmittel zugesetzt. Diese Anwendung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Produktion halogenfreier Kabelmäntel, andere Anwendungen und Quellen (Aluminium-Flakes als Effekt-Pigment, Aluminium-Rückstände aus Katalysatoren) sind vernachlässigbar.

Im Jahr 2001 lag in Europa (EU15, Norwegen, Schweiz) das Marktvolumen halogenfreier, flammgehemmter Kabel bei etwa 40.000 t, woraus sich bei 50 % Aluminiumhydroxid-Gehalt 20.000 t Aluminiumhydroxid pro Jahr ergeben.

Umgerechnet auf Österreich¹ ergeben sich daraus 417 t Aluminiumhydroxid pro Jahr bzw. **144 t Aluminium pro Jahr**

(Quelle: SpecialChem)

2.1.2.7 Aluminium in Holz

Zur Berechnung des jährlichen Holz-Güterflusses in Österreich wird vom Heimschlag (19.000.000 m³/a) die exportierte Menge abgezogen (5.095.602 m³/a) abgezogen und die importierte Menge (3.210.005 m³/a) hinzugerechnet. Da die importierte Menge nicht direkt in Kubikmeter sondern in EUR erfasst wurde, wird unter der Annahme, dass der Wert des importierten und exportierten Holzes im Durchschnitt gleich ist, von der Exportmenge auf die Importmenge geschlossen (Export: 6,81 Mrd EUR, Import: 4,29 Mrd EUR).

Von dieser in Österreich verarbeiteten Gesamtmenge wird noch der Anteil der Papier- und Zellstoffindustrie (7.000.000 m³/a) abgezogen, woraus sich letztlich ein Holzverbrauch von 10.114.403 m³/a für Österreich ergibt.

(Quellen: Initiative Pro Holz, Forst-Platte-Papier, Fachverband der Holzindustrie Österreich)

Bei einer Dichte von Holz von 0,45 t/m³ und einem Aluminiumgehalt von durchschnittlich 0,013 % [PATT et al., 1998 in DAXBECK et al., 2000] bedeutet dies einen Aluminiumfluss von **592 t Aluminium pro Jahr**.

2.1.2.8 Aluminium in Glas; Aluminium in Waschmitteln

Der Gesamtverbrauch an Verpackungsglas, Flachglas und Glaswolle betrug in Österreich im Jahr 1994 lt. Auskunft des Fachverbands der österreichischen Glasindustrie etwa 436.000 t. Die Konzentration von Aluminium in Glas ist in DAXBECK et al. [2000] mit 0,05 % angegeben. Wegen der geringen Bedeutung der Aluminiummenge in Glas (0,01 % der Gesamtmenge) wurden keine aktuelleren oder detaillierteren Daten erhoben.

Der Verbrauch an Waschmitteln betrug 1997 in Österreich 8,4 kg pro Kopf. Bei einer Bevölkerung von 8.720.000 Einwohnern in diesem Jahr waren das insgesamt rund 68.000 kg Waschmittel. Waschmittel bestehen zu durchschnittlich 25 % aus Zeolithen. Diese werden als phosphatfreie Komplexbildner, die als Wasserenthärter dienen, zugesetzt. Bei einer Summenformel von Na₂O · Al₂O₃ · 2 SiO₂ beträgt der Al-Gehalt darin 19 %, der Al-Gehalt im gesamten Waschmittel daher 4,7 % (Quelle: <http://k.loosen.bei.t-online.de/projek41.htm>).

¹ Bevölkerungszahlen für 2001: Europa (EU15, Norwegen, Schweiz): 389.217.000, Österreich: 8121.000; Quelle: Eurostat Jahrbuch 2002

2.1.2.9 Aluminium in sonstigen Gütern

U.S. Geological Survey gibt an, dass ca. 10 % des verwendeten Aluminiumhydroxids nicht für die Produktion von metallischem Aluminium, sondern für andere Zwecke verwendet werden. Auf Basis dieser Abschätzung ergäbe sich für Österreich - bei ca. 190.000 t verarbeitetem metallischem Aluminium (= Einsatzmenge inkl. anteiliger Produktionsabfall) - eine Menge von ca. 21.000 t an Aluminium in verschiedenen Gütern in Form von Aluminiumhydroxid.

Da aber die abgeschätzte Aluminiummenge im Papier bereits 21.000 t/a beträgt (s. o.), wird die Menge des gesamten Aluminiumhydroxids, das für nicht-metallische Zwecke verwendet wird, in dieser Arbeit mit 15 % abgeschätzt, das entspricht 33.500 t Aluminium pro Jahr.

Nach Abzug der bereits separat aufgelisteten Mengen für Papier, Waschmittel und Kunststoffe verbleiben ca. 9.200 t/a für Kosmetika, Pharmazeutika und verschiedene Anwendungsbereiche in der chemischen Industrie.

2.1.3 Einschränkung der Detailbilanzierung auf metallisches Aluminium

Die wesentlichen Fragestellungen dieser Studie beziehen sich auf den Themenbereich der Ressourcenbewirtschaftung und der Ressourcenschonung durch Maßnahmen innerhalb und außerhalb der Abfallwirtschaft.

Aluminiumflüsse in Baustoffen und Bodenaushub haben jedoch keine derartige ressourcenwirtschaftliche Bedeutung, da einerseits Aluminium in dieser Form praktisch ubiquitär ist und andererseits keine bestimmte Stoffeigenschaft des Aluminium in diesen Güterflüssen der Bauwirtschaft genutzt wird. Die betreffenden Aluminiumverbindungen stellen auch kein Ressourcenpotential für die Gewinnung von metallischem Aluminium dar. Der Stellenwert der entsprechenden Aluminiumflüsse in der Abfallwirtschaft ist damit ebenfalls unbedeutend.

Auch das Aluminium in dem als Füllstoff oder Flammschutzmittel verwendeten Aluminiumhydroxid besitzt keine ressourcenwirtschaftliche bzw. abfallwirtschaftliche Relevanz, die mit jener der metallischen Aluminiumflüsse vergleichbar wäre:

- Der bedeutendste Ressourcenverbrauch im betrachteten System ist der Energieverbrauch bei Herstellung von metallischem Aluminium aus Aluminiumhydroxid. Die Gewinnung von Aluminiumhydroxid selbst verbraucht zwar ebenfalls die Rohstoffe Bauxit und Natronlauge und verursacht den Abfall „Rotschlamm“; diese Güterflüsse stellen aber aus heutiger Sicht keine kritischen Faktoren im System dar (s. Diskussion der Relevanz von Ressourcen und Abfällen für metallisches Aluminium, Abschnitt 4).
- Der wesentliche Güterfluss in diesem Bereich sind Füllstoffe im Papier. Andere Güterflüsse sind zu klein, um in dieser Studie quantifiziert werden zu können. Bei Papier sind durch den hohen Erfassungsgrad von Altpapier die Möglichkeiten zur Nutzung von Ressourcen in Abfällen (Verlängerung der Nutzungsdauer der Füllstoffe) bereits weitgehend ausgeschöpft.
- Schließlich gelangt ein Teil dieser Aluminiumflüsse gar nicht in die Abfallwirtschaft (Kosmetika, Pharmazeutika, Waschmittel, etc.).

Neben der Frage nach der Optimierung der Bewirtschaftung von Ressourcen soll die vorliegende Studie auch prüfen, ob die derzeitige Bewirtschaftung aluminiumhaltiger Abfälle die

Ziele des AWG (Schutz des Menschen und der Umwelt, Schonung von Ressourcen und Deponievolumen, nachsorgefreie Deponie) erfüllt. Die nicht-metallischen Aluminiumflüsse, die fast ausschließlich auf Aluminium in mineralischen Verbindungen beruhen, sind jedoch für keines dieser Ziele von Bedeutung.

Die Aluminiumbilanz sowie die weiteren Auswertungen und Schlussfolgerungen der Studie werden daher nach diesem einleitenden Gesamtüberblick auf den Bereich des metallischen Aluminium eingeschränkt.

2.2 Stoffbilanz metallisches Aluminium - Ergebnisse im Überblick

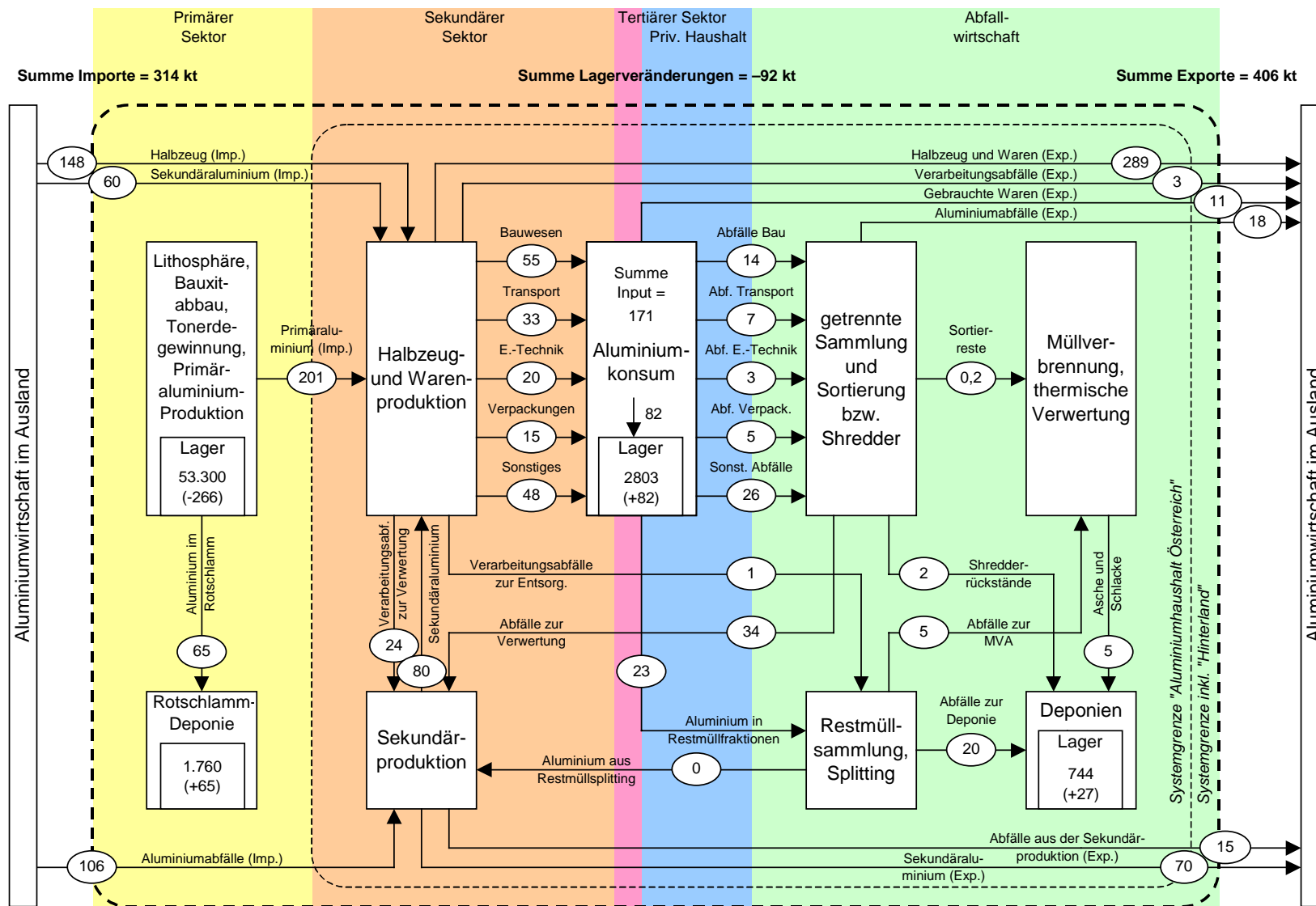
Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bilanzen und Lager im Stoffhaushalt des metallischen Aluminium in Österreich. Neben den Prozessen und Stoffflüssen in Österreich ist auch der im Ausland angesiedelte Prozess der Produktion von Primäraluminium dargestellt.

Prozess		Aluminiummasse	
		t/a oder t (Lager)	kg/EW.a oder kg/EW (Lager)
	Gütergruppe		
	Güter		(gerundet)
Prozess Primärproduktion (Lithosphäre, Bauxitabbau, Tonerdegewinnung & Primäraluminium-Prod.)			
	Input	266.400	32,90
	Aluminium im Bauxit	266.400	32,90
	Output	266.400	32,90
	Primäraluminium (Nettoimport)	201.100	24,80
	Al im Rotschlamm (=Lagerzuwachs Rotschlammdeponie)	65.300	8,10
	Lagerbestand	53.300.000	6.580,00
Prozess Halbzeug- und Warenproduktion			
	Input	488.900	60,40
	Primäraluminium (Nettoimport)	201.100	24,80
	Sekundäraluminium	139.600	17,20
	Sekundäraluminium aus dem Inland	80.000	9,90
	Sekundäraluminium aus dem Ausland	59.600	7,40
	Halbzeug (Imp.)	148.200	18,30
	Output	488.900	60,40
	Halbzeug (Exp.)	239.400	29,60
	Aluminiumwaren Exportüberschuss	49.900	6,20
	Aluminiumwaren	171.000	21,10
	Bauwesen	55.000	6,80
	Transportwesen	33.000	4,10
	Elektrotechnik	20.000	2,50
	Verpackungen	15.000	1,90
	Sonstiges	48.000	5,90
	Verarbeitungsabfälle zur Verwertung im Ausland	2.900	0,40
	Verarbeitungsabfälle zur Verwertung im Inland	24.300	3,00
	Verarbeitungsabfälle zur Entsorgung	1.400	0,20
Prozess Konsum			
	Input	171.000	21,10
	Aluminiumwaren	171.000	21,10
	Bauwesen	55.000	6,80
	Transportwesen	33.000	4,10
	Elektrotechnik	20.000	2,50
	Verpackungen	15.000	1,90
	Sonstiges	48.000	5,90
	Output	89.100	11,00
	Gebrauchte Waren	11.100	1,40
	Transportwesen	7.500	0,90
	Elektrotechnik	3.100	0,40
	Sonstiges (Möbel, etc.)	500	0,06

Prozess		Aluminiummasse	
Gütergruppe		t/a oder	kg/EW.a oder
Güter		t (Lager)	kg/EW (Lager)
			(gerundet)
Prozess Konsum, Fortsetzung Output			
Aluminiumabfälle in der getrennten Sammlung		54.700	6,80
	Bauwesen	14.300	1,80
	Transportwesen	6.800	0,80
	Elektrotechnik	2.600	0,30
	Verpackungen	4.500	0,60
	Sonstiges	26.500	3,30
Aluminiumabfälle in Restmüllfraktionen		23.300	2,90
	Bauwesen	1.600	0,20
	Transportwesen	0	0,00
	Elektrotechnik	4.500	0,60
	Verpackungen	10.500	1,30
	Sonstiges	6.700	0,80
Aluminiumabfälle ges. (inkl. Export gebr. Waren!)		89.100	11,00
	<i>Bauwesen</i>	15.900	2,00
	<i>Transportwesen</i>	14.300	1,80
	<i>Elektrotechnik</i>	10.200	1,30
	<i>Verpackungen</i>	15.000	1,90
	<i>Sonstiges</i>	33.700	4,20
Lagerbestand		2.803.000	346,00
	Bauwesen	1.122.000	138,50
	Transportwesen	344.000	42,50
	Elektrotechnik	223.000	27,50
	Verpackungen	0	0,00
	Sonstiges	1.114.000	137,50
Lagerzuwachs		81.900	10,10
	Bauwesen	39.100	4,80
	Transportwesen	18.700	2,30
	Elektrotechnik	9.800	1,20
	Verpackungen	0	0,00
	Sonstiges	14.300	1,80
Prozess getrennte Sammlung und Sortierung bzw. Shredder			
Input		54.700	6,80
Aluminiumabfälle in der getrennten Sammlung		54.700	6,80
	Schrotterfassung (Bau, ASZn, Sperrmüll, etc.)	43.400	5,40
	Altfahrzeuge	6.800	0,80
	Verpackungssammlung	4.500	0,60
Output		54.700	6,80
Exportierte Aluminiumabfälle		18.200	2,20
	Abfallexport lt. Statistik	33.600	4,10
	Korrektur Export (Bilanzwert)	-15.400	-1,90
Aluminiumabfälle zur Verwertung in Österreich		34.200	4,20
	direkt aus der Schrottsammlung	17.900	2,20
	in der NE-Metall-Fraktion von Shredderanlagen	12.000	1,50
	aus der Verpackungssammlung	4.300	0,50
Sortierreste und Shredderrückstände		2.300	0,30
	Sortierrest ARGEV zur thermischen Verwertung	200	0,02
	Shredderrückstände zur Deponie	2.100	0,30

Prozess		Aluminiummasse	
		t/a oder t (Lager)	kg/EW.a oder kg/EW (Lager) (gerundet)
Gütergruppe			
Güter			
Prozess Sekundärproduktion			
Input		164.600	20,30
Verarbeitungsabfälle aus dem Inland		24.300	3,00
Post-Consumer-Aluminiumabfälle aus getr. Samml.		34.200	4,20
Post-Consumer-Aluminiumabf. aus Restmüll-Splitting		0	0,00
Importierte Aluminiumabfälle		106.100	13,10
Output		164.600	20,30
Sekundäraluminium zur Verarbeitung im Inland		80.000	9,90
Exportiertes Sekundäraluminium		70.000	8,60
Abfall aus der Sekundärproduktion		14.600	1,80
Prozess Restmüllsammlung, Splitting			
Input		24.700	3,00
Verarbeitungsabfälle zur Entsorgung		1.400	0,20
Aluminiumabfälle in Restmüllfraktionen		23.300	2,90
Systemmüll		9.900	1,20
Sperrmüll		600	0,07
Gewerbemüll und Baustellenabfall		12.600	1,60
Bauschutt		100	0,01
gefährliche Abfälle		100	0,01
Output		24.700	3,00
Aluminiumabf. aus Restmüll-Splitting zur stoffl. Verwert.		0	0,00
Aluminiumabf. aus Restmüll-Splitting zur therm. Verwert.		0	0,00
Aluminiumabfälle zur MVA		4.900	0,60
Aluminiumabfälle zur Deponie		19.800	2,40
Prozess Müllverbrennung, thermische Verwertung			
Input		5.100	0,60
Sortierrest ARGEV zur thermischen Verwertung		200	0,02
Aluminiumabfälle zur thermischen Verwertung		0	0,00
Aluminiumabfälle zur MVA		4.900	0,60
Output		5.100	0,60
Aluminium in der Wirbelschicht-Flugasche		200	0,02
Aluminium in der MVA-Schlacke		4.500	0,60
Aluminium in MVA-Flugasche		400	0,05
Prozess Deponie			
Input		27.000	3,30
Aluminiumabfälle zur Deponie		19.800	2,40
Shredderrückstände zur Deponie		2.100	0,30
Aluminium in Schlacke		4.500	0,60
Aluminium in Flugasche		600	0,07
Lagerbestand		744.000	91,90
Reaktordeponien, Massenabfalldeponien		701.000	86,50
Reststoffdeponie, Untertage-Deponie		43.000	5,30
Lagerzuwachs		27.000	3,30

Tabelle 2-4: Stoffbilanz des Aluminiumhaushalts Österreichs (einschließl. Hinterland)



Datenangaben in 1.000 t/a, Bezugsjahr 2001

Abbildung 2-4: System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich „Hinterland“). **Angaben in 1.000 t/a.**

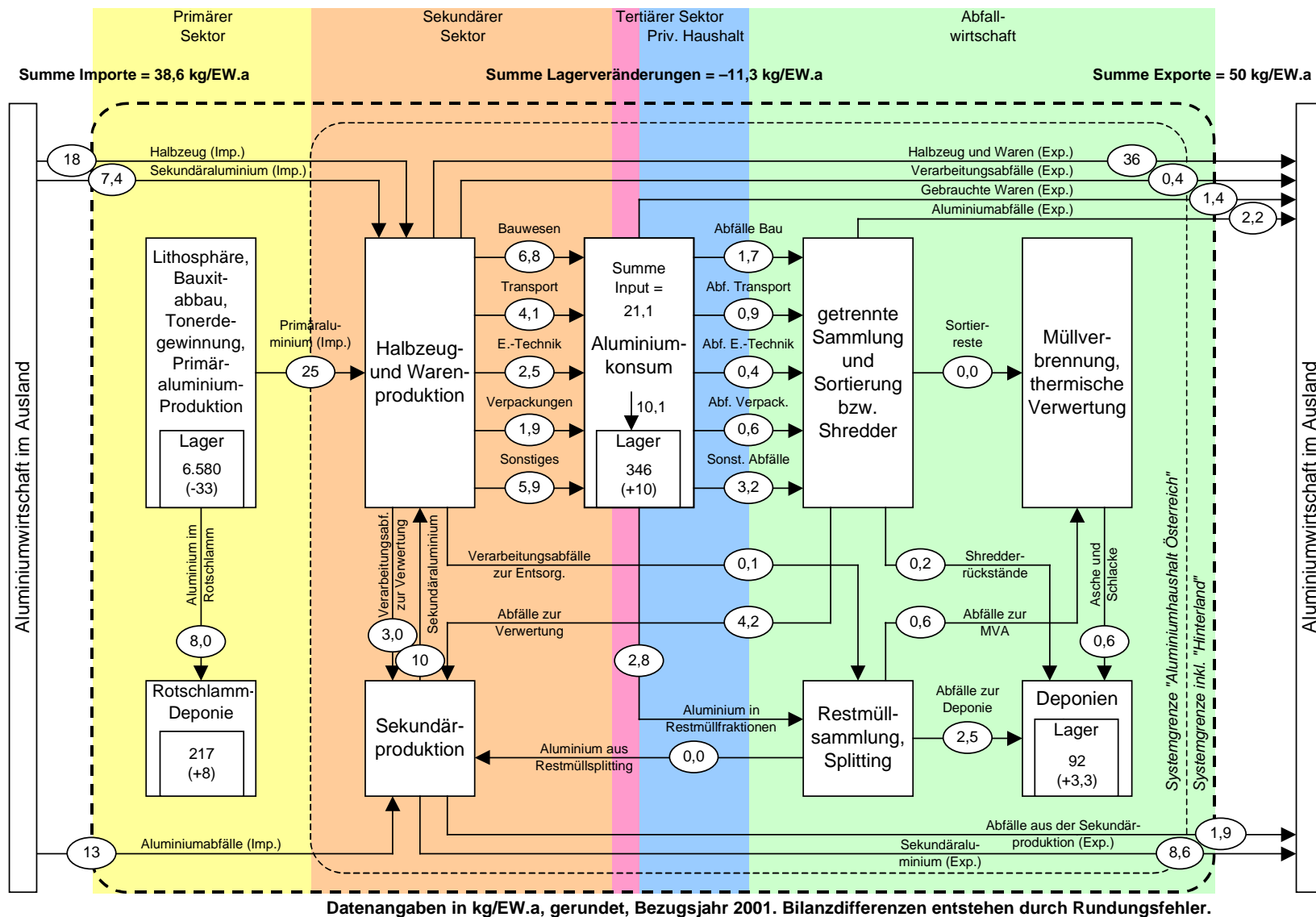


Abbildung 2-5: System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich „Hinterland“). Angaben in kg/EW.a, gerundet.

In Kapitel 4 werden die wichtigsten Stoffflüsse und Lager der oben abgebildeten Stoffbilanz für Aluminium diskutiert und im Hinblick auf ihren Beitrag zur Erfüllung der Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes bewertet.

2.3 Datengrundlagen zur Stoffbilanz des metallischen Aluminium

2.3.1 Bauxitabbau, Gewinnung von Tonerde und Produktion von Primäraluminium

Die Produktion von Primäraluminium sowie die vorgelagerten Prozesse Bauxitabbau und Tonerdegewinnung für den Aluminiumbedarf in Österreich finden zur Gänze im Ausland statt, da in Österreich keine abbauwürdigen Bauxit-Vorkommen bekannt sind (vgl. Abschnitt 2.1.2.2).

Die Menge des Primäraluminium, das für die Produktion von Halbzeugen und Waren in Österreich benötigt wird, ergibt sich aus der insgesamt notwendigen Aluminiummenge (= produzierte Halbzeuge bzw. Waren inklusive der Verarbeitungsabfälle) abzüglich der eingesetzten Menge an Sekundäraluminium. Für die vorliegende Bilanz wird die Nettoimportmenge an Primäraluminium aus der Statistik des Fachverbands der Metallindustrie Österreichs übernommen, die für 2001 mit 201.100 t angegeben wird.

Bei der Gewinnung von Tonerde (Aluminiumoxid) aus Bauxit fallen je nach Aluminiumgehalt im Erz mehr oder weniger große Mengen Rotschlamm an. Dieser besteht hauptsächlich aus Natriumaluminiumsilikaten sowie Eisen- und Titanoxiden in fein verteilter Form.

Der Anteil des Aluminiumoxids im Rotschlamm wird mit 15 – 18 % angegeben [RÖMPP, 1995; HEIDRICH, 2003]. Der Anteil von Aluminiumoxid im Erz, das als Ausgangsmaterial für die Tonerdegewinnung benutzt wird, beträgt durchschnittlich etwa 45 %. Daraus ergibt sich als Transferkoeffizient für Aluminiumoxid bzw. Aluminium in Richtung Rotschlamm (Al im Rotschlamm / Al im Ausgangsmaterial) 22 - 27 % bzw. als Mittelwert 24,5 %, der für die Berechnung der Aluminiumverluste in Richtung Rotschlamm in dieser Arbeit verwendet wird.²

Auf Basis dieser Festlegung des Aluminiumverlustes ergibt sich eine Gesamtmenge 266.400 t Aluminium, die im Jahr 2001 für österreichische Verarbeitungsprozesse im Ausland in Form von Bauxit gewonnen wurde. Davon gingen 65.300 t in Form von Aluminiumoxid im Rotschlamm als Verlust auf Rotschlammdeponien.

Der Gesamtverband der Aluminiumindustrie in Deutschland gibt an, dass die Bauxit-Vorräte unter den heutigen Nutzungsbedingungen noch mindestens 200 Jahre reichen. Als Lagermenge in der Lithosphäre wird in der vorliegenden Bilanz daher die 200-fache Menge des im Jahr 2001 abgebauten Aluminium verwendet.

Der Prozess „Rotschlammdeponie“ ist nur im Systembild (Abbildung 2-4), nicht jedoch in der Bilanzierungstabelle (Tabelle 2-4) dargestellt. Sein einziger Input und gleichzeitig Lagerzuwachs ist die oben angegebene Aluminiummenge, die in Form von Aluminiumoxid auf Rotschlammdeponien gelangt.

Die Größenordnung jener Aluminiummenge, die sich derzeit theoretisch auf Rotschlammdeponien befinden müsste (im Lager des Prozesses), wird folgendermaßen abgeschätzt:

² Bei der Berechnung des Transferkoeffizienten wird hier das im Rotschlamm gebundene Na aus der bei der Tonerdegewinnung verwendeten Natronlauge vernachlässigt.

Der gesamte Aluminiumkonsum in Österreich seit dem Jahr 1950 beträgt etwa 4,26 Mio t (Summe der Aluminiumverbräuche der Jahre 1950 – 2001; s. Prozess Konsum). Werden für die gesamte Menge Verarbeitungsabfälle von 8,5 % und eine durchschnittliche Einsatzquote von Sekundäraluminium von 30 % angenommen, so ergibt sich für die notwendige Primärproduktion eine Menge von 3,26 Mio t seit 1950. Unter Verwendung der derzeit bestehenden Verlustrate in Richtung Rotschlamm entspricht der genannten Menge an Primäraluminium ein Verlust von 1,06 Mio t Aluminium in Richtung Rotschlamm. Ein unbekannter Teil davon wurde allerdings in Flüsse bzw. Meere eingeleitet und so in der Umwelt verteilt. Die ordnungsgemäße Ablagerung von Rotschlamm auf dazu geeigneten Deponien findet erst seit einiger Zeit statt.

Das oben angegebene, theoretische Aluminiumlager in Rotschlammdeponien bezieht sich nur auf jenen Verbrauch von Primäraluminium, der durch den Einsatz von Aluminiumwaren in Österreich bedingt war bzw. ist. Dieser betrug im Jahr 2001 161.000 t (s. Abschnitt 2.4). Im bilanzierten Gesamtsystem beträgt der Verbrauch von Primäraluminium jedoch 266.000 t/a, weil die in Österreich gelegene Produktion von später exportierten Halbzeugen und Waren zunächst mitbilanziert wird. Das theoretische Aluminiumlager in Rotschlammdeponien wird für das Gesamtsystem daher aus der oben angegebenen Zahl mit dem Faktor 266/161 hochgerechnet.

2.3.2 Aluminiumverarbeitung (Halbzeug- und Warenproduktion)

Die Input- und Outputmengen auf der Ebene der Halbzeugproduktion sind in der Statistik des Fachverbands der Metallindustrie Österreichs gut dokumentiert. Aus dieser Datenquelle werden folgende Angaben für 2001 übernommen:

Nettoimport Primäraluminium:	201.100 t
Sekundäraluminium aus dem Inland:	80.000 t
Sekundäraluminium aus dem Ausland	59.600 t
Sekundäraluminiumeinsatz gesamt::	139.600 t
Import Halbzeuge:	148.200 t
Export Halbzeuge:	239.400 t

Über die Menge oder den Anteil von Verarbeitungsabfällen liegen weder seitens der Produktion noch seitens der Verwertung Angaben vor. Der bedeutendste Verwertungsbetrieb für Aluminiumabfälle in Österreich, die AMAG-Metall GmbH in Ranshofen, kann derzeit keine Angaben darüber machen, welcher Anteil der aus Österreich bezogenen Aluminiumabfälle Verarbeitungsabfall bzw. Post-Consumer-Abfall ist.

Daher wird der Anteil der Verarbeitungsabfälle mit 7 - 10 % des Inputs abgeschätzt. Für die Bilanzierung wird der Mittelwert aus diesem Intervall verwendet (8,5 %), woraus sich etwa 28.600 t Verarbeitungsabfälle ergeben. Weiters wird angenommen, dass aufgrund der großen Bedeutung der Sekundäraluminiumproduktion in Österreich 85 % der Verarbeitungsabfälle in Österreich verwertet werden, weitere 10 % im Ausland verwertet und nur 5 % deponiert werden. Diese Annahmen lassen sich gut mit den insgesamt in Österreich verwerteten Aluminium-Abfallmengen in Einklang bringen (s. Abschnitt 0).

Über den Exportüberschuss auf der Ebene der Aluminiumwaren liegen ebenfalls keine Daten vor. Diese Daten sind wegen der verschiedenen Vollständigkeits- und Auswertungs-

Probleme der vorliegenden Außenhandelsdaten wahrscheinlich auch nicht mit vertretbarem Aufwand erhebbar. Da der Wirtschaftsraum Österreich vergleichsweise klein ist, können importierte und exportierte Mengen aber durchaus relevant sein (je kleiner der Wirtschaftsraum, umso mehr können die produzierten und konsumierten Mengen voneinander abweichen).

In der vorliegenden Bilanz wird deshalb zunächst der wahrscheinliche Konsum von Aluminiumwaren bestimmt (s. u.). Die verbleibende Differenz zu den insgesamt produzierten Aluminiumwaren (49.900 t/a) wird dann als Exportüberschuss von Aluminiumwaren angesehen (Bilanzgröße).

2.3.3 Aluminiumkonsum

Wegen der nicht vorhandenen Daten zum Import bzw. Export von Aluminiumwaren bzw. von Aluminium als Bestandteil von Gütern wird der Konsum von Aluminium in Österreich auf Basis von Angaben zum Aluminiumverbrauch in solchen Ländern abgeschätzt, die mit Österreich vergleichbar sind und die einen größeren Wirtschaftsraum abdecken, wodurch sich der Unterschied zwischen Produktion und Konsum prinzipiell verkleinert.

Dazu werden zunächst die Angaben der EAA [2003] zum pro-Kopf-Verbrauch von Aluminium in Frankreich, Deutschland und Italien (Wirtschaftsraum mit insgesamt 200 Mio Einwohnern) herangezogen, der 25 kg/EW.a beträgt (Standardabweichung $\pm 14\%$). Es ist anzunehmen, dass die Angaben auf dem Halbzeugverbrauch der Länder beruhen, Verarbeitungsabfälle daher noch nicht abgezogen wurden. Der Abzug von 8,5 % Verarbeitungsabfall führt zu 22,9 kg/EW.a ($\pm 14\%$) oder 185.000 t/a (8.065.000 Einwohner im Jahr 2001 in Österreich lt. Statistik Austria, Statistisches Jahrbuch 2002).

Dieser Aluminiumkonsum würde allerdings im Bereich der Abfallwirtschaft - unter Verwendung von bereits sehr hoch angesetzten Werten für die Lebensdauer der Produkte zur Berechnung der Abfallmenge - entweder zu extrem hohen Erfassungsquoten im Rahmen der getrennten Sammlung oder zu viel zu großen Aluminiummengen in Restmüllfraktionen im Vergleich zu den Werten aus Abfallanalysen führen. Um daher einen Ausgleich zwischen der einsatzseitigen und der abfallseitigen Datenbasis zu schaffen, wird für die vorliegende Stoffbilanz der Mittelwert der unteren Intervallhälfte (19,7 - 22,9 kg/EW.a; Mittelwert **21,3 kg/EW.a**) für die weiteren Berechnungen herangezogen. Die beschriebene Abschätzung des Konsums von Aluminiumwaren in Österreich führt damit zu **171.000 t** im Jahr 2001.

Der vom Fachverband der Metallindustrie Österreichs mit **250.000 t** angegebene Verbrauch von Aluminium auf der Halbzeugebene im Jahr 2001 wird in der vorliegenden Bilanz also durch 2 Beträge reduziert: durch die Berücksichtigung von 29.000 t Verarbeitungsabfällen und durch die Annahme von 50.000 t nicht berücksichtigten Exporten von Aluminiumwaren.

Zur Festlegung der **Verteilung der konsumierten Aluminiummenge auf die wichtigsten Einsatzbereiche** werden ebenfalls mehrere Datenquellen herangezogen. Der Fachverband der Metallindustrie Österreichs erstellt seit 1989 Angaben zum Aluminiumverbrauch auf der Halbzeugebene nach Anwendungsbereichen. Um den Einfluss von untypischen Jahresspitzen zu vermeiden, wird der lineare Trend dieser Angaben berechnet (Abbildung 2-7) und bis zum Jahr 2001 extrapoliert. Wird die sich daraus ergebende prozentuelle Verteilung zwischen den Hauptanwendungsbereichen auf den oben angegebenen Konsum von 171.000 t Aluminium angewendet, ergeben sich zunächst folgende Mengen:

28 % oder 48.600 t im Baubereich, 19 % oder 32.600 t im Bereich Transport, 19 % oder 32.100 t im Bereich Verpackung, 8 % oder 14.200 t im Bereich Elektrotechnik und 25 % oder 43.500 t sonstige Anwendungen.

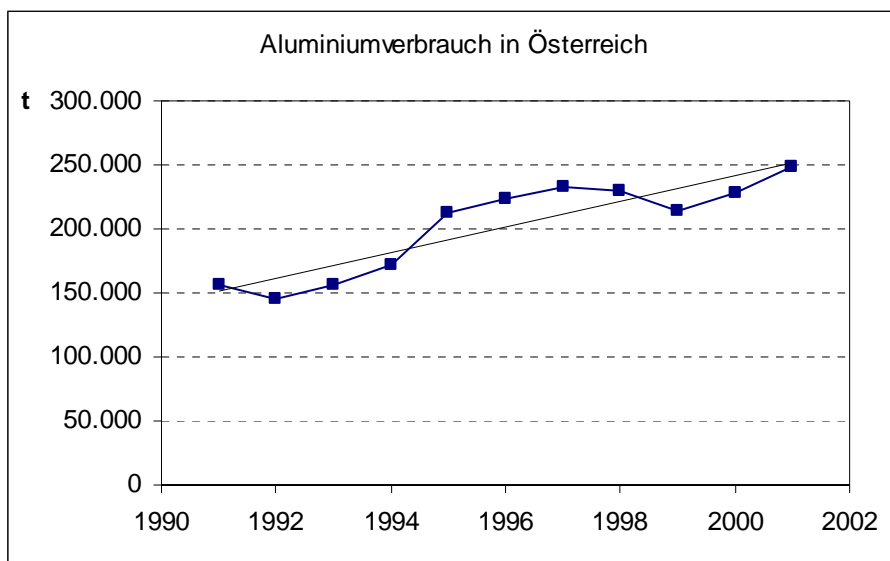


Abbildung 2-6: Entwicklung des Aluminiumverbrauchs auf der Ebene von Halbzeugen (einschließlich Verarbeitungsabfälle und Exportüberschuss von Aluminiumwaren) in Österreich von 1991 bis 2001.

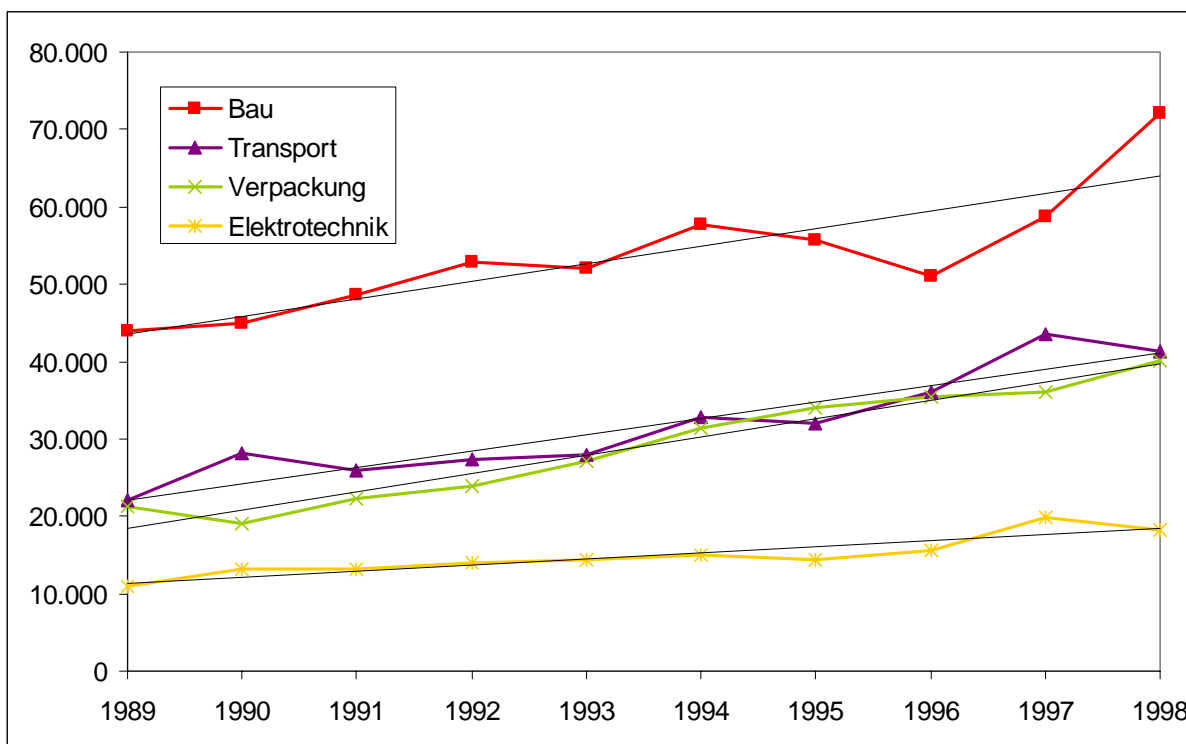


Abbildung 2-7: Entwicklung des Aluminiumverbrauchs auf der Ebene von Halbzeugen (einschließlich Verarbeitungsabfälle und Exportüberschuss von Aluminiumwaren) nach Anwendungsbereichen in Österreich von 1989 bis 1998 in Tonnen.

Die Anwendung von Aluminium im Baubereich ist in den letzten Jahren allerdings überproportional stark angestiegen (s. auch Abbildung 2-7). Bereits 1998 Betrug der Verbrauch auf der Halbzeugebene bereits 72.200 t (evt. untypischer Spitzenwert). Rechnet man mit einer jährlichen Steigerungsrate von 4 %, ergeben sich für das Jahr 2001 81.200 t. Werden davon die durchschnittlichen Verarbeitungsabfälle und Warenexporte abgezogen, ergeben sich 57.400 t für den Endverbrauch im Jahr 2001 Um den besonderen Anstieg des Verbrauchs im Bauwesen jedenfalls zu berücksichtigen, wird die konsumierte Menge im Jahr 2001 mit 55.000 t abgeschätzt.

Die im Bereich Transport verbrauchte Aluminiummenge von rund 33.000 t kann mit den verfügbaren Daten zum Aluminiumanteil in Fahrzeugen gut in Einklang gebracht werden. (s. Abschnitt 2.3.3.2) und wird daher aus der obigen Trendrechnung übernommen.

Der Aluminiumverbrauch für Verpackungen wurde im Jahr 2001 in einer sehr umfangreichen Studie erhoben [GUA et al. 2001]. Für das Bezugsjahr 1998 ergab sich dort eine Gesamtmenge von 13.100 t an Aluminiumverpackungen, die für den Geltungsbereich der Verpackungsverordnung relevant sind. Um die Steigerung des Verbrauchs seit 1998 und Verpackungen zu berücksichtigen, die nicht in den Geltungsbereich der Verpackungsverordnung fallen, wird der Verpackungsverbrauch in dieser Arbeit mit 15.000 t/a angenommen.

Da in dieser Studie bewusst kein Schwerpunkt im Bereich Verpackungen gesetzt werden soll, wird die Differenz zu dem Ergebnis der obigen Trendrechnung (32.100 t Aluminiumverpackungen) hier nicht mehr weiter diskutiert. Ein wesentlicher Grund der Diskrepanz besteht wahrscheinlich in verschiedenen Definitionen von Verpackung.

Der Aluminiumeinsatz im Bereich Elektrotechnik wird mit 20.000 t etwas höher angesetzt als in der obigen Trendrechnung (14.200 t), um Konsistenz mit den heutigen Abfallmengen herzustellen. Die gewählte Einsatzmenge wirkt sich im Modell der zeitlichen Entwicklung der Einsatzmenge auf die Einsatzmengen der früheren Jahre aus (s. unten). Ein Aluminiumeinsatz von 20.000 t im Jahr 2001 und die Annahme einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren für Produkte im Bereich Elektrotechnik führt in der Modellrechnung zu einer theoretischen Abfallmenge von etwa 10.000 t/a (s. u.). Zum Vergleich: Das gesamte Abfallpotential von Elektro- und Elektronikgeräten wurde für das Jahr 2001 mit mindestens 100.000 t abgeschätzt [Salhofer in ÖFI 2000], der Aluminiumgehalt von Elektro- und Elektronik-Altgeräten beträgt derzeit etwa 10 % [TUSCH 1995]. Allein im Bereich der Elektro- und Elektronik-Altgeräten ergibt sich damit ein Abfallpotential von mindestens 10.000 t/a.

Die schließlich für die vorliegende Stoffbilanz gewählte Verteilung des Aluminiumeinsatzes auf die wichtigsten Anwendungsbereiche stellt sich somit folgendermaßen dar:

Anwendungsbereiche	Einsatzmenge (t/a)	Anteil am Gesamteinsatz
Bau	55.000	32%
Transport	33.000	19%
Elektrotechnik	20.000	12%
Verpackung	15.000	9%
Sonstiges	48.000	28%
gesamt	171.000	100%

Tabelle 2-5: Verteilung des Aluminiumeinsatzes in Österreich im Jahr 2001 auf die wichtigsten Anwendungsbereiche

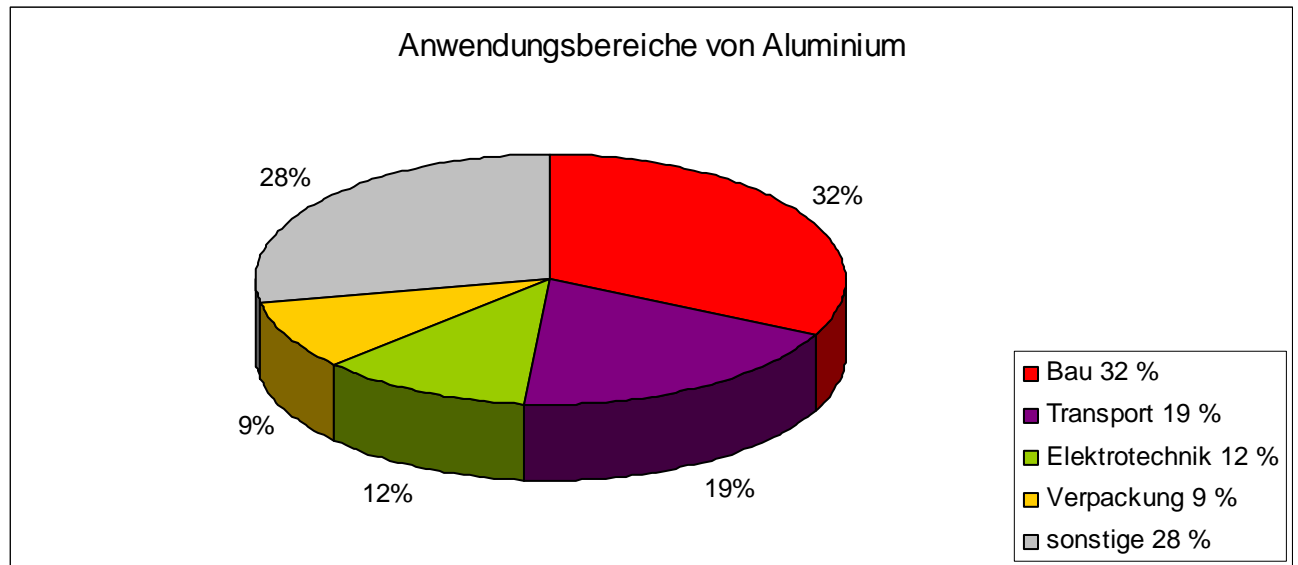


Abbildung 2-8: Verteilung der wichtigsten Anwendungsbereiche in Österreich, Extrapolation für 2001

Zeitmodell der Entwicklung von Einsatzmengen zur Berechnung von Lager- bzw. Abfallmengen

Informationen über die zeitliche Entwicklung des Einsatzes von Aluminiumwaren sind die Voraussetzung zur Berechnung von Abfallmengen über Annahmen zur Lebensdauer und zur Berechnung der heute bestehenden Lagermengen (= kumulierte Differenz von Einsatz- und Abfallmengen).

Der Verlauf des Einsatzes von Aluminium in Österreich von 1950 bis 2010 wird durch ein *stark vereinfachtes Modell* abgebildet. Aufgrund vorhandener Daten zu Einsatzmengen von 1989 bis 1998, untergliedert nach den wichtigsten Anwendungsbereichen (siehe Abbildung 2-7), wird zunächst ein linearer Trend für diese Zeit ermittelt. Die Menge in den „sonstigen“ Einsatzbereichen war zwischen 1989 und 1997 etwa gleichbleibend, die jährliche Steigerung wird daher für diesen Zeitraum Null gesetzt.

Vor 1989 wird angenommen, dass sich der Aluminium-Einsatz in Europa gleich schnell entwickelt hat wie die weltweite Produktion an Primäraluminium.

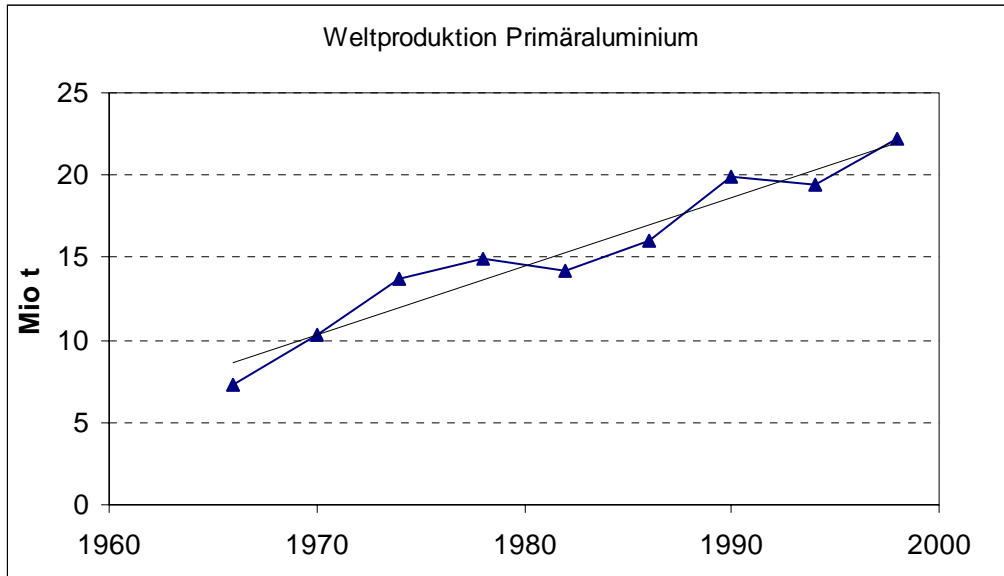


Abbildung 2-9: Entwicklung der weltweiten Aluminium-Produktion seit 1966

Die modellierten Einsatzmengen folgen nun von 1950 bis 1989 und von 1989 bis 2010 jeweils zwei unterschiedlichen linearen Trends (siehe Abbildung 2-10). Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass sich der Aluminium-Einsatz in den letzten Jahren anders entwickelt hat als noch vor einigen zig Jahren (beispielsweise ist der Einsatz im Baubereich in den letzten Jahren besonders rasch gestiegen).

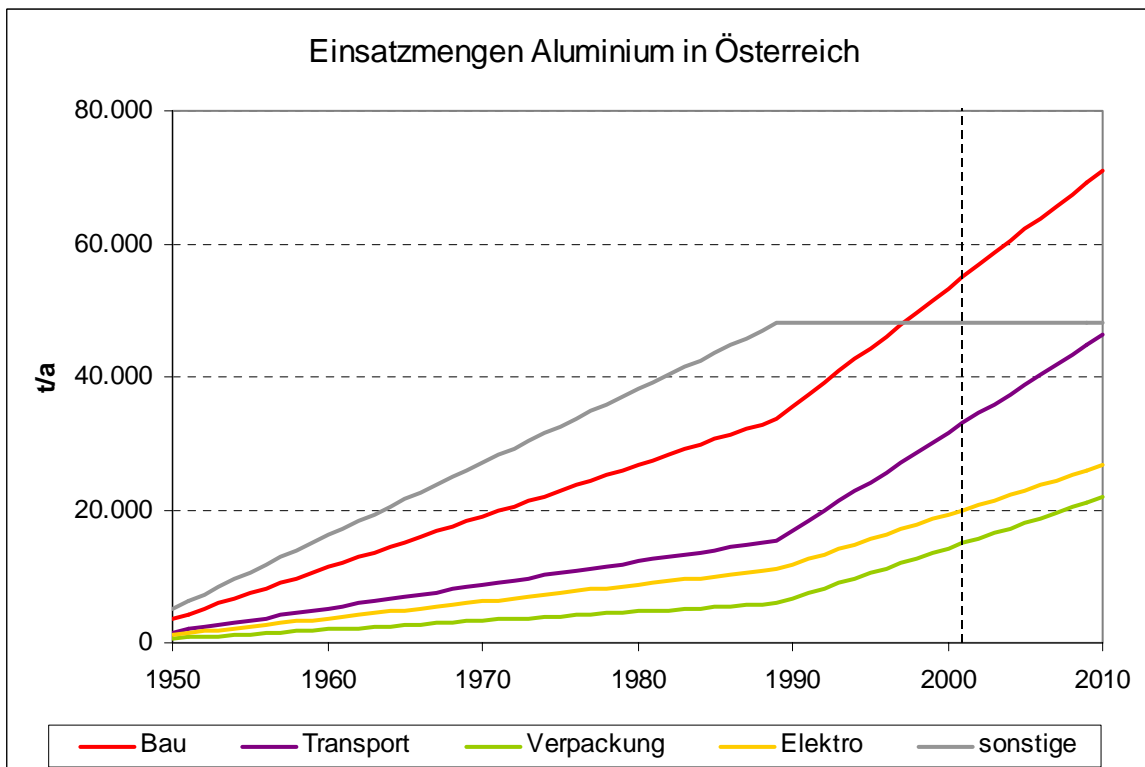


Abbildung 2-10: *Interpolationsmodell für die in Österreich eingesetzten Aluminium-Mengen nach Anwendungsbereichen*

Aus dem Modell zur zeitlichen Entwicklung der Einsatzmengen lässt sich z. B. ableiten, dass der gesamte Aluminiumkonsum in Österreich seit dem Jahr 1950 (Summe der Aluminiumverbräuche der Jahre 1950 – 2001) in der Größenordnung von 4,26 Mio t liegt.

Abfallmengen auf Basis einer Lebensdauerrechnung

Zur Modellierung der Abfallmengen wird für jeden der fünf Einsatzbereiche eine repräsentative Lebensdauer angenommen. Eingesetzte Aluminiumprodukte werden nach dieser Lebensdauer zu Abfall. In diesem stark vereinfachten Modell entspricht die Abfallmenge eines bestimmten Jahres der Einsatzmenge jenes Jahres, das so viele Jahre zurückliegt, wie es der jeweiligen Lebensdauer entspricht.

Folgende Lebensdauern werden angenommen:

Bereich	Lebensdauer (a)
Bau	35
Transport	15
Elektro	15
Verpackung	0
Sonstiges	25

Bemerkung: Die angegebenen Werte zur Lebensdauer resultieren unter anderem aus der Abstimmung der Daten in den Bereichen Einsatzmengen, Lebensdauern, Verwertungsquoten, Restmüllmengen und exportierte Abfälle, die in der erstellten Bilanz in einem rechnerischen Zusammenhang stehen (s. auch Abschnitt 2.3.7). Niedrigere Werte für die Lebensdauern (z. B. im Bereich der sonstigen Anwendungen) erhöhen die Abfallmenge und führen damit zu noch höheren Verwertungsquoten oder Restmüllmengen. Beides scheint aufgrund der Datenlage nicht plausibel zu sein. Höhere Lebensdauern senken dagegen die Abfallmenge, wodurch die Diskrepanzen bezüglich der Menge des exportierten Abfalls noch größer werden (s. Abschnitt 2.3.4.6). Die Lebensdauer im Baubereich wird deshalb nicht höher gewählt, da ansonsten die Abfallmenge aus dem Baubereich kleiner wird. Dies widerspricht dem Umstand, dass ein Großteil der heute verwerteten Post-Consumer-Abfälle aus dem Baubereich stammt.

Daraus ergeben sich folgende Abfallmengen:

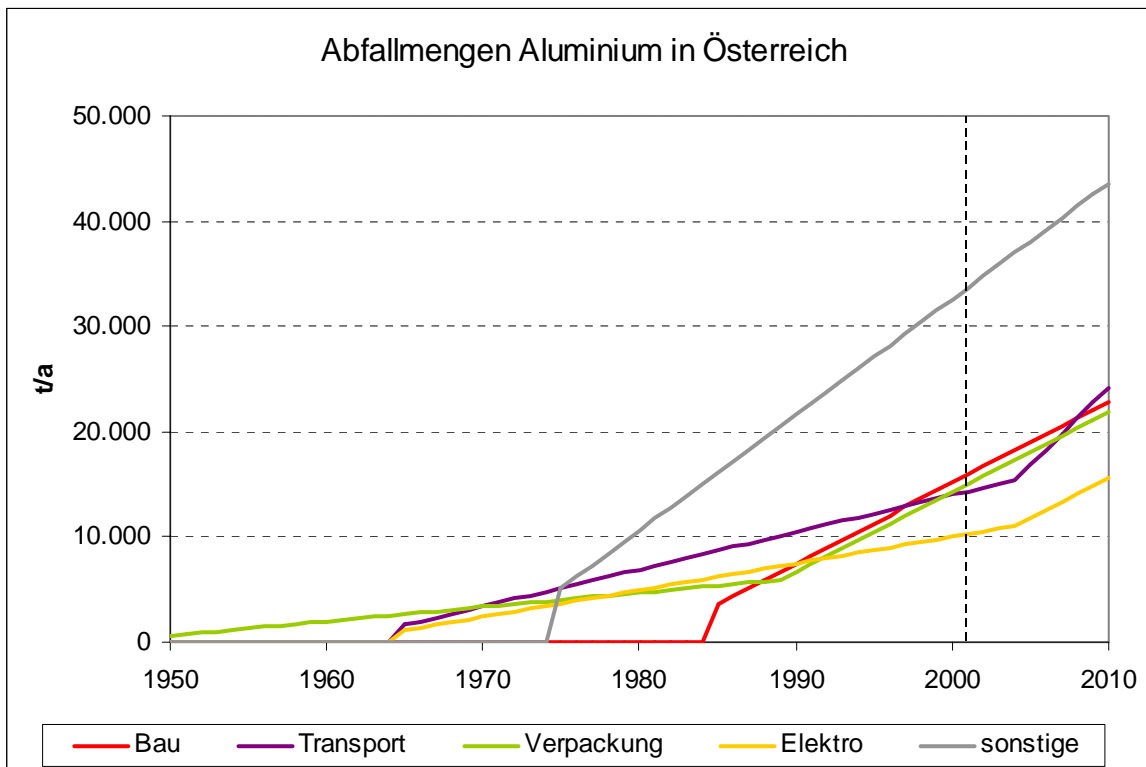


Abbildung 2-11: Interpolationsmodell für Aluminium-Abfallmengen in Österreich nach Anwendungsbereichen

Für das Jahr 2001 ergeben sich folgende Gesamt-Abfallmengen:

Bereich	Abfallmenge (t)
Bau	15.900
Transport	14.300
Elektro	10.200
Verpackung	15.000
Sonstiges	33.700

Lagermengen als Resultat der zeitlichen Entwicklung von Einsatz- und Abfallmengen

Die jährliche Differenz zwischen der Einsatzmenge und der Abfallmenge entspricht dem jährlichen Lagerzuwachs. Aus der Summe der Lagerzuwächse ergibt sich die derzeitige Gesamtmenge im Lager. Da in vielen Bereichen (besonders im Baubereich) Aluminiumprodukte lange Lebensdauern haben, ist die Lagerbildung teilweise sehr groß. Die Modellrechnung ergibt im Jahr 2001 eine Gesamtmenge an Aluminiumprodukten im Lager des Prozesses Konsum im Ausmaß von 2,8 Mio Tonnen. Die Prognose des Lagers im Jahr 2010 ergibt 3,6 Mio Tonnen.

Resultierender Lagerzuwachs und Lagerstand im Jahr 2001 nach Einsatzbereichen:

Bereich	Lagerzuwachs (t/a)	Lagerstand (t)
Bau	39.100	1.122.000
Transport	18.700	344.000
Elektro	9.800	223.000
Verpackung	–	–
Sonstiges	14.300	1.114.000

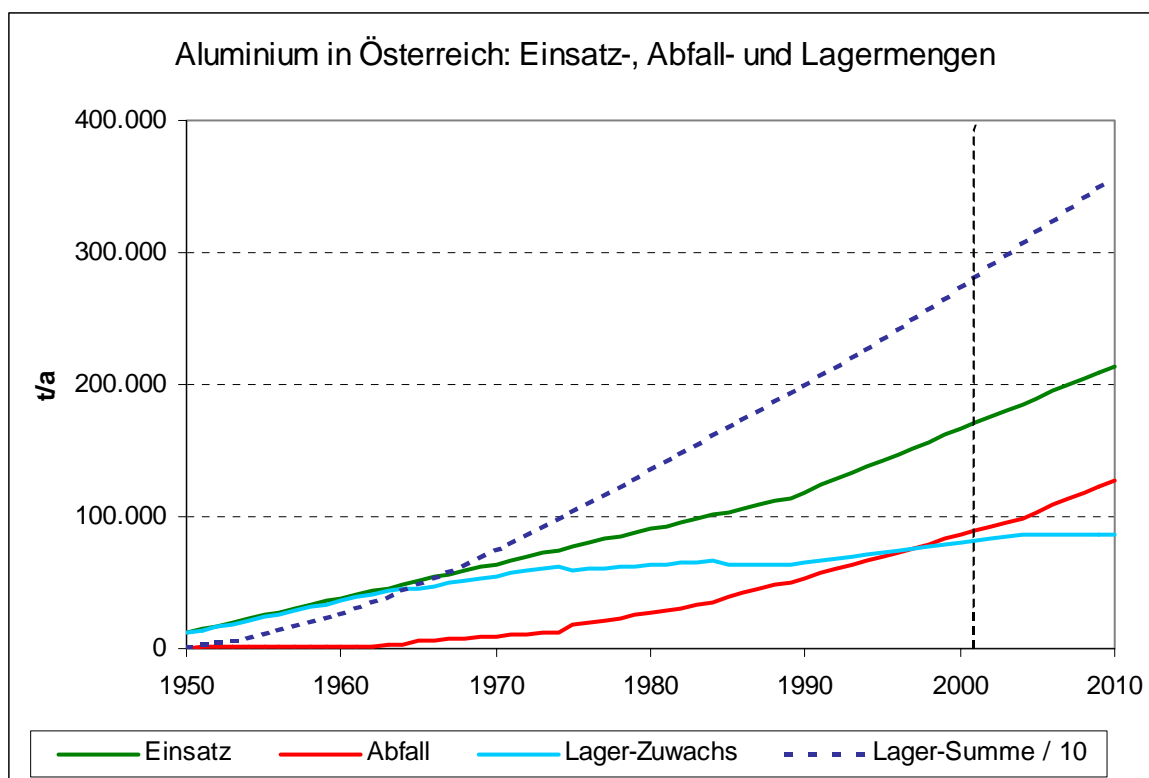


Abbildung 2-12: Interpolationsmodell für Einsatz-, Abfall- und Lagermengen von Aluminium in Österreich. Hinweis: Die Zahlen für die Gesamte Lagermenge (Lager-Summe) sind der Übersichtlichkeit halber um einen Faktor 10 gestaucht.

Export gebrauchter Waren

Nicht alle Waren aus Aluminium oder mit Aluminiumanteilen gelangen am Ende ihrer Lebensdauer in die österreichische Abfallwirtschaft. Insbesondere in den Bereichen Transportwesen und Elektrotechnik werden gebrauchte Waren für eine weitere Verwendung Richtung Osteuropa exportiert.

Aluminium in Fahrzeugen: Von den 213.000 Pkw, die im Jahr 2001 ausgeschieden wurden (Ergebnis der Trendrechnung in Abbildung 2-13), gelangten nur 121.000 Stück zu Shredderanlagen in Österreich (s. u.). Ein Großteil der verbleibenden 92.000 Fahrzeuge wurde wahrscheinlich exportiert. Bei einem Aluminiumanteil von ca. 50 kg/Alt-Pkw entspricht das

einer Menge von 4.600 t Aluminium. Zusätzlich wird auch ein Großteil der ausgeschiedenen Gütertransport-Fahrzeuge exportiert. Im Bereich Gütertransport werden heute etwa 30 % der gesamten Aluminiummenge für den Bereich Transport eingesetzt. Es wird daher angenommen, dass über den Export von Gütertransport-Fahrzeugen etwa 20 % der gesamten Abfallmenge aus dem Transportbereich exportiert werden. Insgesamt ergeben sich damit 7.500 t an Aluminium in exportierten Fahrzeugen.

Bei Elektro- und Elektronikgeräten wird angenommen, dass etwa 30 % der Abfälle, also 3.100 t/a, für eine weitere Verwendung exportiert werden. Der Export von Aluminium in sonstigen Waren (z. B. Möbel), die nicht in die Sperrmüllsammlung gelangen, sondern ebenfalls für eine weitere Verwendung exportiert werden, wird mit 500 t/a angenommen.

Getrennt gesammelte Aluminiumabfälle, Aluminium in Restmüllfraktionen

Die Mengenangaben zu den getrennt gesammelten Aluminiumabfällen in den wichtigsten Anwendungsbereichen werden in Abschnitt 2.3.4 erläutert. Die Aluminiumabfälle im Restmüll ergeben sich aus der gesamten Abfallmenge nach Abzug der exportierten Waren und der getrennt gesammelten Abfallmengen.

Zusätzlich zu den bereits dargestellten Informationen zum Konsum, Abfall und Lager an Aluminiumwaren in den Haupteinsatzbereichen sind in den folgenden Abschnitten noch weitere Details zum Aluminiumeinsatz in den Bereichen Bau und Transport dargestellt.

2.3.3.1 Detaildaten im Bereich Bauwesen

Der Baubereich ist der wichtigste Einsatzbereich von metallischem Aluminium. Dieser Bereich ist in den letzten Jahren im Vergleich mit den anderen Einsatzgebieten auch am stärksten gewachsen. Marktdaten zu einzelnen Produktbereichen sind dennoch nur schwer erhältlich. Die wenigen frei verfügbaren Informationen sind im folgenden dargestellt.

Die Firmen „Interconnection“ (www.interconnection.at) und „Kreutzer, Fischer und Partner“ (www.branchenradar.com) wären mögliche Ansprechpartner für den Ankauf von detaillierten Marktdaten.

Fenster

In der Marktstudie „Fenster in Österreich“ [INTERCONNECTION, 2003] wird der Konsum von Aluminiumfenstern in Fenstereinheiten für die letzten drei Jahre angegeben:

Jahr	Anzahl Fenstereinheiten
2000	113.611
2001	114.646
2002	118.190

In [TRITREMMELE, 1996] werden für das Jahr 1994 260.000 Fenstereinheiten genannt.

Eine Fenstereinheit entspricht einem einflügeligen Fenster mit den Außenmaßen 1,3 x 1,3 m, wofür also 5,2 m Aluminiumprofil verwendet werden. Die Masse von Aluminium in

einem Laufmeter Aluminiumfenster-Profil wird in [Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik, 1991] mit 1,91 kg, in [Forschungsinstitut für Chemie und Umwelt TU Wien, 1997] mit 3,1 kg angegeben.

Daraus ergibt sich ein jährlicher Einsatz an Aluminium für Fenster von etwa **2.000 bis 3.000 kg/a**.

Hochbau

Auf Basis von Verkaufszahlen eines führenden Österreichischen Systemanbieters für Produkte, die im Hochbau eingesetzt werden (Fenster, Türen, Fassaden u.s.w., keine Leitschienen), und der geschätzten Marktanteile in diesen Bereichen kann die Menge an eingesetztem Aluminium für diese Bereiche mit etwa **10.000 bis 30.000 t/a** abgeschätzt werden.

Lager

Aufgrund einer EU-Verordnung werden zwischen Oktober 2002 und dem Jahr 2006 alle Aluminium-Leitschienen an den Autobahnen und Schnellstraßen Österreichs durch Betolemente ersetzt. Insgesamt sind das 14.000 t Aluminium [DENK, 2003].

2.3.3.2 Detaildaten im Bereich Transport

Einsatz- und Lagermengen

Am Beginn der 90er-Jahre lag der Aluminiumgehalt von Pkws noch bei etwa 50 kg (s. u.). Die EAA [2003] erwartet im Jahr 2005 einen Aluminiumanteil von 130 kg/Pkw. Den Autoren erscheint diese Angabe überhöht, ein Aluminiumanteil von 90 - 100 kg/Pkw im Jahr 2005 wird dagegen als realistische Größenordnung angesehen. Der Aluminiumanteil der derzeit produzierten Pkws wird auf 80 kg geschätzt.

Die einzelnen Fahrzeugmodelle können jedoch stark unterschiedliche Aluminium- und Leichtmetallgehalte (Mischungen aus Aluminium und Magnesium bzw. deren Legierungen) aufweisen, wie die Herstellerangaben zu den folgenden Beispielen illustrieren:

- VW Golf A3 Kombi: 6 % Leichtmetalle
- Opel Astra – G (MJ 99): 6 % Leichtmetalle
- Reault Espace JE0X: 15 % Aluminium
- VW Lupo: 17 % Leichtmetalle
- Audi A 8: 34 % Aluminium

Derzeit gibt es über 3.300 Modelle in der EU. Eine weiterführende Informationsquelle wären die Unterlagen vom VdA, wo in den (teuren) Jahrbüchern die wesentlichen Daten enthalten sind.

Im Kalenderjahr 2001 erfolgten in Österreich 294.362 Stück Erstzulassungen [WKÖ 2002]. Wird mit 80 kg Aluminium pro Pkw gerechnet, entspricht dies einer Aluminiummenge in neuen Pkws im Ausmaß von 23.500 t.

EAA [2003] gibt an, dass etwa 5,5 % des gesamten Aluminiumverbrauchs (alle Einsatzbereiche) im Bereich der Gütertransport-Fahrzeuge eingesetzt wird. Die entsprechende Menge für Österreich beträgt 9.500 t/a. Insgesamt errechnet sich so ein Einsatz von 33.000 t Aluminium im Bereich Transport.

Vertrauliche Untersuchungen zeigen, dass in den derzeit benutzten Pkws in der EU etwa 9 bis 11 Mio. t Al enthalten sind, der Bestand beträgt gegenwärtig 186 Mio. PKW [NEUBACHER 2003]. Der durchschnittliche Aluminiumgehalt der *derzeit genutzten* Pkw läge damit bei ca. 54 kg/Pkw.

Abfallmengen

Der durchschnittliche Aluminiumgehalt der derzeit anfallenden Altfahrzeuge beträgt etwa 50 kg. Davon befinden sich etwa 25 kg im Bereich Motor und Getriebe, etwa 15 kg im Fahrwerk, etwa 7,5 kg in der Karosserie und etwa 2,5 kg in der sonstigen Fahrzeugausstattung [Aluminium – Zentrale e.V.; UV&P 1995].

Die Anzahl der jährlich aus dem Bestand ausgeschiedenen Pkw und Kombi beträgt etwa 200.000 Stück. Die jährlichen Mengen und die Entwicklung 1993 – 2002 sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Die angegebenen Mengen beinhalten die zur Entsorgung anfallenden Alt-Pkws und die zur Weiterverwendung im Ausland bestimmten Gebrauch-Pkws, einschließlich kurz zugelassener Neufahrzeuge sowie gestohlener Pkws.

Die Alt-Pkw-Verschrottung erfolgt bei einem durchschnittlichen Alter von 14 Jahren und entspricht einer Gauß'schen Verteilung. Dies heißt, dass Fahrzeuge mit einem Alter von 14 Jahren zu diesem Zeitpunkt zur Hälfte noch im Verkehr sind. Das typische Nutzungsalter ist stark vom Modell abhängig.

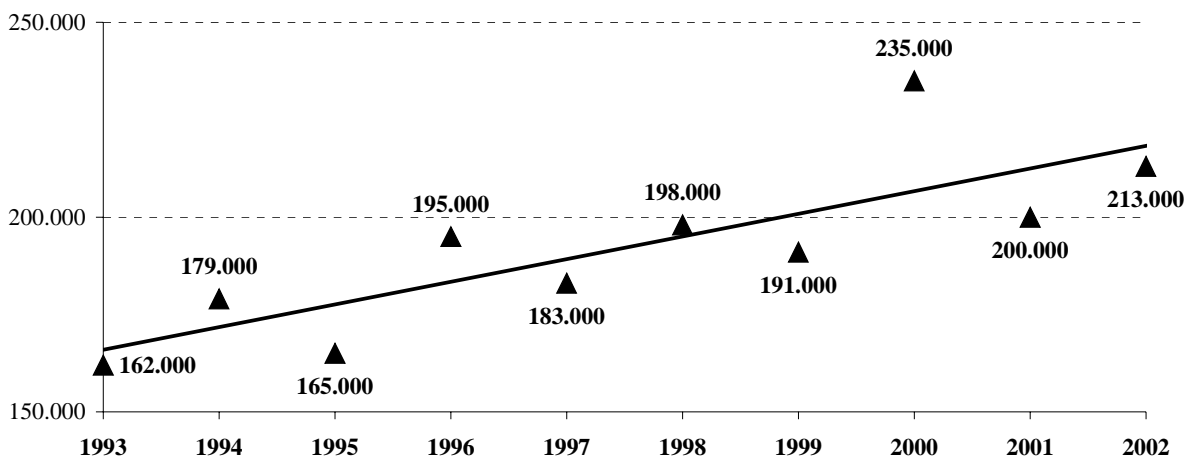


Abbildung 2-13: Entwicklung der jährlich aus dem Bestand jährlich ausgeschiedenen Pkw und Kombi im Zeitraum 1993 - 2002 (WKÖ, 2003)

Die Anzahl der in Österreich verwerteten Altfahrzeuge wird jährlich durch die Meldungen der österreichischen Shredder im Rahmen der Pkw – Recyclingvereinbarung dokumentiert (siehe Abbildung 2-14).

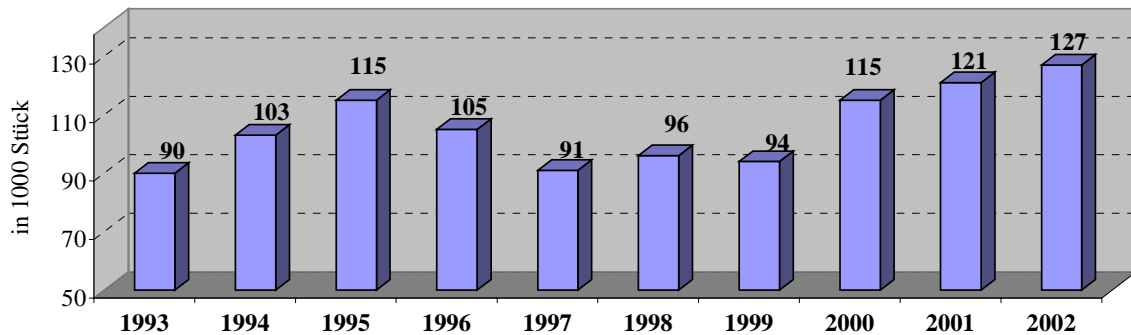


Abbildung 2-14: Entwicklung der pro Jahr in Österreich ordnungsgemäß verwerteten Anzahl von in Österreich anfallenden Alt-Pkw (Datenbasis: Angaben der einzelnen Shredderunternehmen; Werte gerundet; statistische Auswertung UV&P)

Nutzfahrzeuge und Busse fallen in Österreich nur in sehr geringem Umfang zur Verwertung an. Vertrauliche Untersuchungen beschäftigten sich damit, ein Recycling für Nutzfahrzeuge, Unimoc und Busse zu konzipieren sowie den Ist-Zustand zu erheben [NEUBACHER 2003]. Nach 9 Monaten Bearbeitungsdauer wurde dieses Projekt eingestellt, da ein Recycling dieser Fahrzeuge in Deutschland bzw. Europa de facto nicht erfolgt. Typischerweise werden diese Fahrzeuge ab einem gewissen Alter nach Polen für weitere 5 Jahre Nutzung abgegeben. Von dort gelangen sie für weitere 5 Jahre Nutzung in die Ukraine und in weiterer Folge nach Kasachstan.

Lagerbestand und Lagerzuwachs

Der Pkw Bestand in Österreich beträgt rund 4 Mio. Stück. Die aktuellen Daten sind in der folgenden Abbildung dargestellt (Anmerkung: Im Jahr 2002 führte die Statistik Austria eine umfangreiche Bereinigung der vorliegenden Daten zum Pkw-Bestand in Österreich durch, indem per 31. März 2002 die Daten mit jenen des Verbandes der Versicherungsunternehmen Österreichs abgeglichen wurden).

Der Lagerbestand an Aluminium im Bereich Pkw und Kombi in Österreich kann somit größenordnungsmäßig mit 220.000 Tonnen (4 Mio. Stück x 54 kg/Stück) angegeben werden.

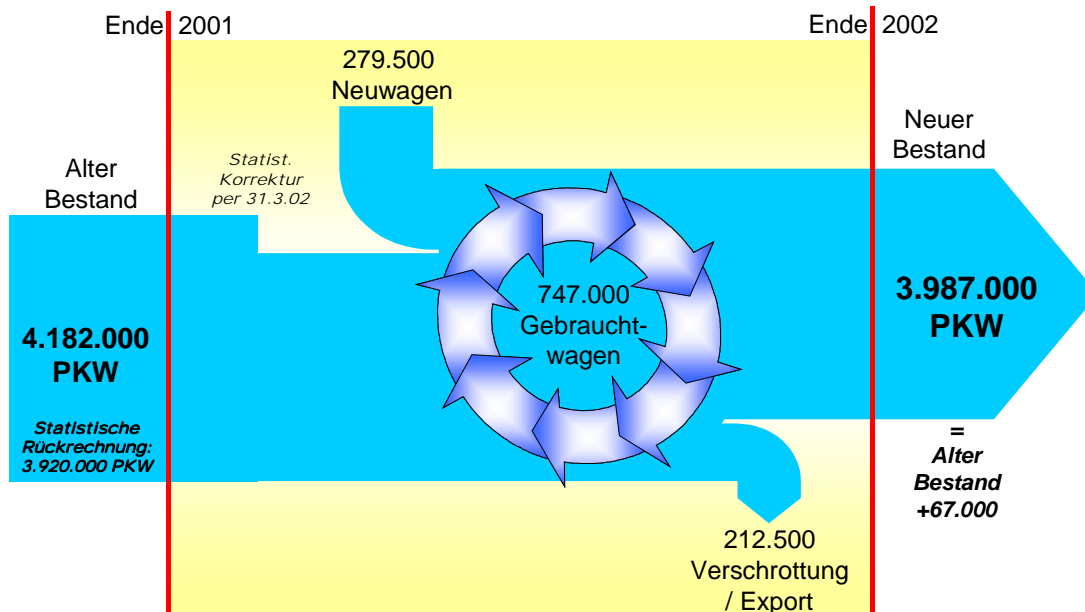


Abbildung 2-15: Fahrzeugbestand in Österreich – Änderungen im Jahr 2002 (Quelle: Porsche Austria GmbH & CO, März 2003)

2.3.4 Getrennte Sammlung von Aluminiumabfällen

2.3.4.1 Bereich Bauwesen

In vertraulichen Untersuchungen wurden in mehreren EU-Ländern die Erfassungsquoten von Aluminium beim Abbruch von Gebäuden untersucht [NEUBACHER 2003]. In „Non-Residential Buildings“ beträgt der Aluminiumanteil weniger als 1 %, in „Residential Buildings“ ist der Al-Gehalt noch geringer. Die Erfassungsquote für Aluminium aus Gebäuden liegt über 95 %, und zwar in allen untersuchten EU-Ländern. In südlichen Ländern wie Spanien werden Kleinteile (z.B. Türschilder) nicht mehr erfasst, da dies wirtschaftlich nicht zweckmäßig ist. Allerdings werden in Ländern wie Deutschland und Frankreich auch diese Kleinmengen getrennt erfasst, um das Risiko einer Verteuerung bei der Inertstoffentsorgung zu vermeiden (der zuständige Polier würde dafür zur Verantwortung gezogen, wenn bei der Bau-schuttdeponierung erhöhte Entsorgungskosten auftreten).

In der vorliegenden Bilanz wird die Verwertungsquote im Bauwesen daher mit 90 % angenommen. Eine niedrigere Erfassungsquote erhöht die bereits bestehenden Diskrepanzen im Bereich der Aluminiumabfälle im Restmüll (der aus der Bilanz resultierende Wert liegt bereits jetzt deutlich über den Werten, die sich auf Basis von Restmüllanalysen ergeben) und im Bereich der exportierten Aluminiumabfälle (der aus der Bilanz resultierende Wert liegt bereits jetzt deutlich unter den offiziellen Angaben).

2.3.4.2 Bereich Transport

Gemäß der bereits dargestellten Daten und Annahmen (s. Abschnitt 2.3.3 „Export gebrachter Waren“ und Abschnitt 2.3.3.2) verteilen sich die Aluminiumabfälle im Bereich Transport (gesamt 14.300 t) in der vorliegenden Bilanz folgendermaßen:

213.000 Pkw die im Jahr 2001 ausgeschieden wurden (Ergebnis der Trendrechnung in Abbildung 2-13) entsprechen einer Aluminiummenge von 10.650 t, das sind etwa 75 % der gesamten Aluminiumabfälle im Bereich Transport. Davon gingen 6.050 t (121.000 Stück x 50 kg/Stück) an Schredderbetriebe, der Rest wurde exportiert.

Von den übrigen 25 % der gesamten Aluminiumabfälle im Bereich Transport (vor allem Gütertransport-Fahrzeuge) werden 2.900 t exportiert, die übrigen 750 t werden in dieser Bilanz ebenfalls den österreichischen Shredderbetrieben zugeordnet.

Damit werden insgesamt 7.500 t zur weiteren Verwendung exportiert und 6.800 t in österreichischen Shredderanlagen verwertet.

2.3.4.3 Bereich Verpackung

In einer umfangreichen Studie zur Bestimmung der Verteilung von Aluminiumverpackungen in der österreichischen Abfallwirtschaft wurde die getrennt gesammelte Menge im Jahr 1998 mit 4.000 t angegeben [GUA et al. 2001]. In der vorliegenden Stoffbilanz wird ein etwas höherer Marktinput als in der genannten Studie verwendet (15.000 t statt 13.100 t, s. Abschnitt 2.3.3), weshalb hier die getrennt gesammelte Menge mit 4.500 t angenommen wird.

2.3.4.4 Bereich Elektrotechnik

Zur Frage der Verteilung von Aluminiumabfällen aus dem Bereich Elektrotechnik (besonders Aluminium in Elektro- und Elektronik-Altgeräten) auf verschiedene Wege innerhalb der Abfallwirtschaft stehen derzeit keine Daten zur Verfügung. Für die vorliegende Stoffbilanz wurden daher folgende Abschätzungen verwendet:

- 30 % der Abfälle oder 3.100 t werden zur weiteren Verwendung exportiert
- 25 % der Abfälle oder 2.600 t werden getrennt erfasst (Sperrmüllsammlung, Altstoffsammelzentren, etc.)
- 45 % der Abfälle gelangen in Restmüllfraktionen.

2.3.4.5 Sonstige Anwendungsbereiche und Gesamtwerte

Für Aluminiumabfälle aus sonstigen Anwendungsbereichen wird angenommen, dass 80 % der Abfallmenge separat erfasst werden. Eine höhere Erfassungsquote erscheint angesichts der Vielzahl der abgedeckten Anwendungsbereiche nicht plausibel. Eine niedrigere Erfassungsquote erhöht die bereits bestehenden Diskrepanzen im Bereich der Aluminiumabfälle im Restmüll (der aus der Bilanz resultierende Wert liegt bereits jetzt deutlich über den Werten, die sich auf Basis von Restmüllanalysen ergeben) und im Bereich der exportierten Aluminiumabfälle (der aus der Bilanz resultierende Wert liegt bereits jetzt deutlich unter den offiziellen Angaben).

Damit ergeben sich aus der vorliegenden Stoffbilanz folgende Erfassungsquoten (= getrennt gesammelte Menge dividiert durch gesamte Abfallmenge exkl. Export gebrauchter Waren):

Bereich	Getrennte Erfassung
Bau	90 %
Transport	100 %
Elektro	37 %
Verpackung	30 %
Sonstiges	80 %

2.3.4.6 Outputflüsse

Aluminiumabfälle zur Verwertung in Österreich: Aus den Angaben der Verwertungsbetriebe für Aluminiumabfälle in Österreich, ergänzt um eigene Annahmen zur Unterscheidung zwischen Verarbeitungsabfällen und Post-Consumer-Abfällen sowie österreichischen und importierten Abfällen resultiert eine Menge von 34.200 t an österreichischen Post-Consumer-Aluminiumabfällen (Mengenangabe ohne Verunreinigungen), die von Betrieben in Österreich verwertet werden (s. Abschnitt 2.3.6). Etwa 12.000 t davon werden aus der Schredderschwerfraktion gewonnen und ca. 4.300 t stammen aus der Sortierung von getrennt gesammelten Verpackungen (s. Abschnitt 2.3.5). Der Rest gelangt direkt über verschiedene Wege der Erfassung von Aluminiumschrott zu den Verwertungsbetrieben.

Sortierreste und Shredderrückstände: s. Abschnitt 2.3.5.

Exportierte Aluminiumabfälle: Laut Mitteilung des Fachverbandes der Metallindustrie Österreichs wurden im Jahr 2001 26.200 t Aluminiumabfälle importiert und 44.900 t Aluminiumabfälle exportiert. Die Daten der Verwertungsbetriebe führen dagegen zu einem Abfallimport von 122.000 t (offenbar werden erhebliche Mengen nicht als „Abfall“ importiert). Von den 44.900 t exportierten Abfällen sind geschätzte 2.900 t an exportierten Produktionsabfällen abzuziehen, die bereits an anderer Stelle der Bilanz berücksichtigt werden. Von den verbleibenden 42.000 t Post-Consumer-Abfällen sind etwa 20 % Verunreinigungen abzuziehen (vgl. Abschnitt 0), womit 33.600 t an exportierten Aluminiumabfällen verbleiben. In der vorliegenden Bilanz verbleiben rechnerisch aber nur 18.200 t für den Export. Diese Diskrepanz ist eine Folge der bereits angesprochenen und im Abschnitt 2.3.7 weiter erläuterten Kompromissfindung, um die grundsätzlich nicht zusammenpassenden Daten aus verschiedenen Bereichen in der Bilanz doch aufeinander abzustimmen.

Die beschriebene Diskrepanz könnte durch niedrigere Lebensdauern in den Bereichen Bau und „Sonstiges“ in Kombination mit höheren Erfassungsquoten durch die getrennte Sammlung reduziert werden. Da die Erfassungsquoten aber bereits relativ hoch angesetzt wurden, erscheint eine weitere Senkung der Lebensdauern nicht sinnvoll.

2.3.5 Shredderanlagen und Verpackungssortierung

In der österreichischen Schrottwirtschaft bestehen 6 Shredderanlagen, die mit schätzungsweise 200 Sekundärrohstoffverwertern intensiv kooperieren.

Im Bereich Aluminiumverwertung sind je nach Art des zu verwertenden Materials entsprechende Technologien im Einsatz, beispielsweise

- Pressen zur Verdichtung von Spänen und kleinstückigen Abschnitten aus der Metallbearbeitung
- Schrottscheren zur Kompaktierung und Zerkleinerung großer Teile wie Leitschienen, Drähte, große Bleche, Formrohre und Profile
- Shredderanlagen zur Aufbereitung komplexer Gemische stückiger Materialien und Verbundmaterialien

Im Hinblick auf die Rückgewinnung von Aluminium aus dem Bereich von gemischtem Sammelschrott, verunreinigten Aluminiumabfällen (z.B. Dosenschrott aus der Verpackungssammlung) und Materialverbunden (z.B. Altfahrzeuge) sind die 6 Shredderanlagen von grundlegender ökonomischer und ökologischer Bedeutung.

Aluminium wird wegen des Materialwertes zumeist als bedeutendes Wirtschaftsgut gehandelt und bei entsprechender Reinheit und Menge an den Bestbieter weiterverkauft (z.B. Rückkauf durch den Lieferanten) oder bereits innerhalb des Unternehmens verwertet (z.B. Einsatz von Abschnitten in der eigenen Gießerei).

In der Shredderanlage erfolgt nach dem Zerkleinerungsprozess die Separation in eine mittels Magnet abgetrennte Fe-Fraktion, eine mittels Windsichtung abgetrennte Leichtfraktion und eine sogenannte NE-Fraktion. Die NE-Fraktion wird mittels verschiedener physikalischer Verfahren (Siebung, Linearmotor, Schwimm-Sink Verfahren, etc.) weiter aufbereitet, sodass letztendlich auch die in Aluminiumschmelzwerken verwertbare Aluminiumfraktion rückgewonnen wird.

Die Verwertung der NE-Fraktion aus den Shredderanlagen erfolgt grenzüberschreitend, indem die in Österreich tätigen Betriebe fallweise große Mengen Vormaterial importieren und einzelne Shredderbetriebe fallweise ihre NE-Fraktion exportieren. Die weitgehende Verwertung der Aluminiumfraktion ist aber aus wirtschaftlicher Sicht jedenfalls anzunehmen.

Die Bilanz für die österreichischen Shredderbetriebe ergibt für den Bereich der Altfahrzeugverwertung, dass etwa 72 % Fe-Schrott und etwa 5 % NE-Fraktion gewonnen werden und etwa 23 % Shredderabfälle anfallen [UV&P 2001; WKÖ 2003].

Detaillierte Angaben zu den unterschiedlichen Aluminiumgehalten in der NE-Fraktion liegen naturgemäß nicht vor, da dies wesentlich von der Zusammensetzung der Einsatzstoffe und der momentanen Betriebsweise der Shredderanlage (z.B. Einstellung der Windsichtung) und der nachgeschalteten Separationstechnik abhängig ist und es in der Materialbeschaffung angesichts der Dynamik in der Schrottwirtschaft ständig zu Änderungen kommt.

In der weitergehenden Aufbereitung von Shredderabfällen können gegebenenfalls noch am Betriebsstandort des Shredders stückige Metalle rückgewonnen werden. Diese Aktivitäten sind jedoch angesichts der gegebenen Marktdynamik und Konkurrenzsituation als Erfolgs- und Betriebsgeheimnisse zu qualifizieren.

Die Größenordnung der in den österreichischen Shredderbetrieben rückgewonnen Aluminiummengen kann letztlich nur sehr grob geschätzt werden, da zuverlässige und vollständige Angaben derzeit nicht vorliegen und große Mengen an aluminiumhaltigen Abfällen (ebenso wie gebrauchte Wirtschaftsgüter) grenzüberschreitend verbracht werden. Der tatsächliche Aluminiumgehalt in einer gemischten NE-Fraktion ist naturgemäß oft nicht oder nur als Schätzwert bekannt.

Eine grobe Schätzung auf Basis informeller Recherchen lässt erwarten, dass die über österreichische Shredderanlagen rückgewonnene Aluminiummenge aus gemischtem Schrott und Materialverbunden (z.B. Altfahrzeuge) größenordnungsmäßig etwa 12.000 Tonnen pro Jahr beträgt.

Die Effizienz der Rückgewinnung von Aluminium aus dem Schredderprozess wird mit 85 % angenommen. Der resultierende Verlust von Aluminium über die Schredderschwerfraktion und die Schredderleichtfraktion beträgt daher insgesamt 2.100 t.

Lagerbestand und Lagerzuwachs

Grundsätzlich entstehen auf Grund veränderlicher Nachfrage, saisonal oder sonst schwankender Angebotssituation und stark schwankenden Preisen in der Schrottwirtschaft ständige Veränderungen im Lagerbestand, die jedoch über längere Betrachtungszeiträume ausgeglichen werden und langfristig keine Relevanz aufweisen, da jeder Schrottverwerter seine gelagerten Mengen so bald wie möglich zur Gänze – mit angestrebter Gewinnmaximierung – verwertet bzw. verkauft.

Sortierreste in der Verpackungssortierung

Nachdem im Zuge der manuellen Sortierung von getrennt gesammelten Verpackungsabfällen die Fraktionen für die stoffliche Verwertung aussortiert wurden, verbleibt die sogenannte „Mischkunststofffraktion“, die thermisch verwertet wird. Im Jahr 2001 betrug die Mischkunststofffraktion etwa 65.800 t [ARGEV 2003]. Der Aluminiumanteil der Mischkunststofffraktion wird jährlich durch Analysen festgestellt und betrug 2001 0,34 % [ÖKK 2002]. Dies führt zu 220 t Aluminium. In der vorliegenden Bilanz, für die Verunreinigungen abgezogen werden sollten, wird mit rund 200 t Aluminium als Sortierrest der Verpackungssortierung gerechnet.

2.3.6 Produktion von Sekundäraluminium

Inputflüsse:

Daten zum Input in österreichische Anlagen zur Aluminiumverwertung wurden bei den drei österreichischen Verwertungsbetrieben erhoben. Die genauesten Angaben konnten von der Salzburger Aluminium AG gemacht werden, die den Input im Jahr 2001 nach Verarbeitungsschrott und Altschrott (Post-Consumer-Abfall) und innerhalb dieser Kategorien nach Herkunft (Österreich oder Import) aufschlüsseln kann. Zusätzlich werden die Verunreinigungen von Altschrott mit durchschnittlich 15 % angegeben, bei Aluminiumabfällen aus dem Verpackungsbereich kann der Nicht-Aluminium-Anteil sogar 40 % ausmachen. Die Aluminiumverluste im Zuge des Umschmelzprozesses werden mit 7,7 % angegeben [DENK, 2003].

Der mengenmäßig bedeutendste Verwerter, die Amag-Metall GmbH, gibt für den Input im Jahr 2001 100.000 t an importierten Aluminiumschrotten und 50.000 t an Aluminiumabfällen aus Österreich an. Eine Unterscheidung nach Verarbeitungsschrott und Altschrott kann nicht getroffen werden. Der Anteil an Verunreinigungen in der Gesamtmenge wird mit etwa 15 % angegeben. Als Reststoff fallen etwa 30.000 t/a an Salzschlacke an, aus der im Zuge der Aufbereitung in Deutschland ca. 5 - 8 % Aluminium zurückgewonnen werden können [SAMS 2003].

Die Hütte Klein Reichenbach GmbH gibt für den Input im Jahr 2001 etwa 6.000 t an Verarbeitungsschrott und etwa 6.000 t an Altschrott an [FLANKL 2003]. Zur Abschätzung der Verteilung nach Herkunft (Österreich oder Import) werden die entsprechenden Verhältnisse der Salzburger Aluminium AG verwendet.

Die Inputmengen der Amag-Metall GmbH werden in der vorliegenden Stoffbilanz schließlich so auf Verarbeitungsschrott und Altschrott aufgeteilt, dass in der Gesamtsumme aller in

Österreich verwerteten Mengen das Verhältnis von Verarbeitungsschrott und Altschrott in den importierten Mengen und in den aus Österreich stammenden Mengen gleich ist.

Nach Abzug der Verunreinigungen von den Mengenangaben zum Altschrott ergibt sich folgende Abschätzung der Inputmengen in die österreichischen Verwertungsanlagen:

- Verarbeitungsschrott importiert: 45.400 t
- Verarbeitungsschrott aus Österreich: 24.300 t
- Altschrott importiert: 60.700 t
- Altschrott aus Österreich: 34.200 t

Outputflüsse:

Die Mengenangaben für Sekundäraluminium für eine Weiterverarbeitung in Österreich sowie für exportiertes Sekundäraluminium sind der Statistik des Fachverbandes der Metallindustrie Österreichs entnommen.

Der als Bilanzgröße verbleibende Abfall aus der Sekundärproduktion im Ausmaß von 14.600 t Aluminium in Verwertungsrückständen entspricht einem Aluminiumverlust von etwa 9 % der Inputmenge. Dieser Prozentsatz erscheint im Vergleich mit den Angaben der Verwerter (3 - 8 %) eher hoch. Gründe für die Diskrepanz könnten etwas zu hoch angegebene Inputmengen, zu niedrig angegebene bzw. angenommene Verunreinigungsanteile oder zu niedrige Angaben für den Aluminiumverlust bei der Verwertung sein.

Die Verwertungsrückstände werden zum größten Teil im Ausland nach dem Stand der Technik weiter behandelt. Dabei kann ein großer Teil des noch enthaltenen Aluminium wiedergewonnen und einer nachfolgenden Verwertung zugeführt werden. Die verbleibenden Reststoffe werden entweder in der Zementindustrie verwertet oder deponiert.

2.3.7 Aluminiumabfälle in Restmüllfraktionen

Die Daten zu Einsatzmengen, Lebensdauern, Verwertungsquoten, Restmüllmengen und exportierten Abfällen stehen in der erstellten Bilanz in einem rechnerischen Zusammenhang. Realistische Angaben zu einzelnen Positionen sind in der vorliegenden Bilanz nur sehr schwer in Einklang zu bringen. Die gewählten Daten stellen einen Kompromiss dar, der in keinem Bereich extreme Abweichungen von plausibel erscheinenden Daten erzwingt.

Der gewählte Kompromiss besteht unter anderem darin, dass in Restmüllfraktionen, insbesondere im Gewerbemüll und Baustellenabfall, höhere Aluminiumanteile angenommen werden müssen, als dies aus vorliegenden Müllanalysen hervorgehen würde. Gleichzeitig muss die exportierte Abfallmenge etwas niedriger angesetzt werden, als offiziell angegeben wird. Unter diesen Umständen können schließlich realistische Lebensdauern und Verwertungsquoten angenommen werden.

Die Summe der nicht getrennt gesammelten Aluminiumabfälle im Ausmaß von 23.300 t/a ergibt sich einerseits als Bilanzergebnis aus den gesamten Aluminiumanfällen nach Abzug der gebrauchten Waren, die für eine weitere Verwendung exportiert werden, und der getrennt gesammelten Mengen (s. Abschnitt 2.3.3).

Im folgenden wird diskutiert, inwiefern sich diese Gesamtmenge, die durch verschiedene Annahmen in der Bilanz bereits auf einen möglichst niedrigen Wert „eingestellt“ wurde, mit abfallseitigen Daten (bestehend aus Gesamt mengen bestimmter Restmüllfraktionen und Aluminiumanteilen dieser Restmüllfraktionen) in Übereinstimmung bringen lässt.

Systemmüll

Der Aluminiumanteil im Systemmüll (Gesamtmenge 1.330.100 t im Jahr 2001 [HIMMEL 2003]) liegt wahrscheinlich im Bereich von 0,5 - 1 %. Untersuchungen von SKUTAN ET AL. [2003] zur Stoffbilanz einer Restmüllsplitting-Anlage, bei denen der Aluminiumgehalt aller Output-Fractionen bestimmt wurde, ergeben einen Gehalt an metallischem Aluminium von 0,5 % im Systemmüll. Gleichzeitig lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass metallisches Aluminium etwa 1/3 der gesamten Aluminiummenge im Restmüll (inklusive mineralisch gebundenem Aluminium) ausmacht.

Auch in DAXBECK [2000] wird der gesamte Aluminiumgehalt im Systemmüll auf Basis von Analysen der Outputgüter von Müllverbrennungsanlagen mit 1,5 % angegeben, was wiederum zu einem Anteil des metallischen Aluminium von ca. 0,5 % führt.

Die Annahme von 0,5 % Aluminium im Systemmüll führt insgesamt auf eine Aluminiummenge von 6.600 t im Systemmüll. In [GUA et al. 2001] wird aber alleine die im Systemmüll befindliche Menge an Aluminiumverpackungen bereits mit 6.030 t angegeben.

Da aus Bilanzgründen die Aluminiummengen in allen Restmüllfraktionen höher angesetzt werden müssen, als dies aus abfallseitigen Daten hervorgeht, wird in der vorliegenden Stoffbilanz eine Aluminiumkonzentration von 0,75 % bzw. eine Aluminiummenge von 9.900 t im Systemmüll angenommen.

Gewerbemüll und Baustellenabfall

Über den Aluminiumanteil im Gewerbemüll und in Baustellenabfällen liegen kaum Daten vor. BLUME & SIMM [1994] geben den Aluminiumanteil in Baustellenabfällen auf Basis von Analysen mit 0,2 % an, gleichzeitig ergibt sich ein Verhältnis von Aluminium zu sonstigen Metallen von 1:24. [GLENCK et al. 1997] zitiert eine weitere Analyse von Baustellenabfall, nach der der Aluminiumanteil 1 - 2 % beträgt. Darin ist aber auch ein (wahrscheinlich kleiner) Anteil an mineralisch gebundenem Aluminium eingeschlossen. Der gesamte Metallanteil in Baustellenabfällen liegt nach Angaben der Wiener Muldenzentrale im Bereich von 3,5 - 6 % [VOGEL-LAHNER 2003]. Der gesamte Metallanteil im Gewerbemüll liegt laut entsprechenden Analysen in einem ähnlichen Bereich. Ein Verhältnis von Al:Fe = 1:20 würde zu 0,25 % Aluminiumanteil führen. Mit einer Gesamtmenge von 953.000 t deponiertem Gewerbemüll und Baustellenabfall [FHA 2002] und einem Aluminiumanteil von 0,5 % ergäbe sich eine Aluminiummenge von nur 4.800 t.

Aus Bilanzgründen müssen die Aluminiummengen allerdings in allen Restmüllfraktionen höher angesetzt werden, als dies aus den abfallseitigen Daten hervorgeht. Da im Bereich Gewerbemüll und Baustellenabfall die Unsicherheit der Daten am größten ist, wird hier in der vorliegenden Bilanz die größte Anpassung vorgenommen und die im Gewerbemüll und Baustellenabfall enthaltene Aluminiummenge mit 12.600 t angesetzt (Bilanzgröße). Dies entspricht einer Aluminiumkonzentration von 1,33 %. Zumindest eine der oben genannten Quellen liegt in einer ähnlichen Größenordnung.

Sperrmüll

Untersuchungen zur Aluminiummenge, die nach eventuellen Sortierprozessen im Sperrmüll verbleibt, führen zu einer Größenordnung von 0,1 % [UVE & GRP 1997], die Unsicherheiten sind jedoch ähnlich groß wie im Bereich Gewerbemüll und Baustellenabfall. Aus Bilanzgründen wird in der vorliegenden Bilanz die Aluminiummenge im Sperrmüll um den selben Faktor

korrigiert wie die Aluminiummenge im Gewerbemüll und Baustellenabfall. Die resultierende Menge von 600 t in einer Gesamtmenge von 226.000 t [HIMMEL 2003] entspricht einem Aluminiumanteil von 0,27 %.

Aluminiumgehalte im Bauschutt und in gefährlichen Abfällen: Derzeit liegen dazu keine Daten vor. Um anzudeuten, dass wahrscheinlich geringe Mengen an Aluminium in diesen Abfallfraktionen enthalten sind, wird für die vorliegende Bilanz jeweils eine Menge von 100 t Aluminium angenommen.

Verteilung von Restmüllfraktionen auf Deponien und Müllverbrennungsanlagen: Laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2001 werden derzeit etwa 35 % des Systemmülls in Müllverbrennungsanlagen behandelt. Zusätzlich wird angenommen, dass auch 10 % der Gesamtmenge von Gewerbemüll und Sperrmüll und 100 % der gefährlichen Abfälle zu Müllverbrennungsanlagen gelangen. Die übrige Restmüllmenge wird deponiert.

2.3.8 Müllverbrennung

In STUBENVOLL [2002] sind die Aluminiumgehalte in den Produkten Schlacke, Flugasche und Filterkuchen der Müllverbrennungsanlagen in Wien angegeben:

Spittelau:	30.000-75.000 mg/kg trocken Schlacke 40.000 – 80.000 mg/kg trocken Flugasche 1.500 – 20.000 mg/kg trocken Filterkuchen
Flötzersteig:	40.000 – 110.000 mg/kg trocken Schlacke 40.000 – 70.000 mg/kg trocken Flugasche 27.500 mg/kg trocken Filterkuchen
EbS:	22.217 mg/kg trocken Schlacke 13.576 mg/kg trocken Flugasche 3.308 mg/kg trocken Filterkuchen

Unter Verwendung von Angaben über die Masse dieser Produkte der Müllverbrennungsanlagen pro Tonne Input [GUA 2000] können daraus die Transferkoeffizienten für Aluminium in der Müllverbrennung berechnet werden:

	mg Al / kg MVA- Produkt (TS)	Output / Input (FS)	mg Al / kg Input	TK Al (%)
Schlacke	49.906	23,1%	11.528	92%
Asche	42.859	2,4%	1.029	8,2%
Filterkuchen	13.853	0,14%	19	0,15%

Tabelle 2-6: Berechnung von Transferkoeffizienten für Aluminium in Müllverbrennungsanlagen

2.3.9 Deponie

Die Aluminiummengen in den oben diskutierten Restmüllfraktionen, in Schredderrückständen und in Verarbeitungsabfällen gelangen auf Reaktor- bzw. Massenabfalldeponien. Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen werden auf Reststoffdeponien abgelagert. Aluminium in Filteraschen aus Müllverbrennungsanlagen bzw. aus der Flugasche der thermischen Verwertung der Mischkunststoffraktion im Wirbelschichtofen gelangt vorwiegend in Untertage-Deponien. Nach einer entsprechenden Vorbehandlung ist auch die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie möglich (s. auch Abschnitt 4.1.4).

Die in Tabelle 2-4 angegebenen Mengen ergeben sich aus den bereits dargestellten Berechnungsgrundlagen. Die Inputflüsse in den Prozess Deponie entsprechen gleichzeitig dem Lagerzuwachs des Prozesses.

Für eine *grobe* Abschätzung der gesamten Lagermengen auf den verschiedenen Deponiearten wird die bereits beschriebene zeitliche Entwicklung der Aluminiumabfallmengen seit 1960 verwendet (s. Abschnitt 2.3.3) und *vereinfachend* angenommen, dass der Verwertungsanteil zu Beginn 20 % betrug und bis zum derzeit bestehenden Niveau linear angestiegen ist und dass weiters der Anteil des in Müllverbrennungsanlagen behandelten Abfalls in den letzten 20 Jahren linear bis zum heutigen Anteil angewachsen ist. Es ergeben sich etwa 700.000 t an Aluminium, die sich derzeit auf Reaktor- bzw. Massenabfalldeponien befinden, sowie 43.000 t an Aluminium in Reststoffdeponien bzw. Untertagedeponien.

2.3.10 Aluminiumflüsse in Restmüllsplittingsanlagen

Derzeit noch laufende Untersuchungen von SKUTAN et al. [2003] beschäftigen sich mit Stoffbilanzen von Restmüllsplitting-Anlagen, bei denen der Aluminiumgehalt verschiedener Output-Fractionen bestimmt wurde.

Die folgenden Angaben beziehen sich auf Untersuchungen an der Anlage in Oberpullendorf. Zunächst wurden Stoffbilanzen für die mechanische Standard-Aufbereitung durchgeführt. Die Outputgüter sind zwei Eisenschrott-Fractionen, die Siebfractionen < 25mm (Rotteinput) und die „heizwertreiche Fraktion“ >25 mm. Weiters wurden Stoffbilanzen für eine Alternativ-Variante ermittelt, bei der die Mittelfraktion (25-65 mm) mithilfe eines ballistischen Separators und eines Wirbelstromabscheiders in Nichteisenmetalle und in eine Leicht- und eine Schwerfraktion aufgetrennt wird.

	Transferkoeff. Al ges.	Anteil metall. Al	Transferkoeff. metall. Al
Ohne ballistischen Separator und Wirbelstromabscheider			
Heizwertreiche Fraktion (>25 mm)	71,0%	48%	96%
Rotteinput	28,2%	2%	2%
Eisenschrott 1	0,4%	90%	1%
Eisenschrott 2	0,4%	90%	1%
Gesamt	100,0%	36%	100%
Mit ballistischem Separator und Wirbelstromabscheider			
Heizwertreiche Fraktion (>65)	36,6%	32%	37%
Rotteinput	31,2%	2%	2%
Eisenschrott 1	0,7%	90%	2%
Eisenschrott 2	0,6%	90%	2%
Nichteisenmetallfrakt. (Wirbelstromabsch.)	14,6%	100%	47%
25 - 65 mm, Leicht	5,2%	7%	1%
26 - 65 mm, Schwer	11,2%	24%	9%
Gesamt	100,1%	31%	100%

Tabelle 2-7: Berechnung von Transferkoeffizienten für Aluminium in Restmüllsplitting-Anlagen.

Die Bilanzierung der Anlage zeigt, dass durch den Einsatz des Wirbelstromabscheiders etwa 45 % des im Restmüll enthaltenen Aluminiums von der heizwertreichen Fraktion abgezogen und für eine Verwertung gewonnen werden können. Weitere 10 % gelangen über die Schwerfraktion des ballistischen Separators auf die Massenabfalldeponie. Insgesamt werden also etwa 55 % des Aluminium von der eher problematischen Senke „Filterasche“ (im Falle einer thermischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion in einem Wirbelschichtofen) zur Verwertung bzw. günstigeren Senke „Massenabfalldeponie“ verlagert.

2.4 Aluminiumflüsse, die ausschließlich durch den Konsum von metallischem Aluminium in Österreich bestimmt sind

Die Stoffflüsse und Lager, die in den Abschnitten 2.2 und 2.3 dargestellt wurden, beinhalten teilweise auch beträchtliche Mengen an Aluminium, die nicht mit dem Einsatz von Aluminium in Österreich zusammenhängen, sondern die durch die Produktion von exportierten Aluminiumwaren bedingt sind. Weiters werden Aluminiumabfälle exportiert und im Ausland verwertet oder deponiert. Diese Verteilung von Abfallmengen im Ausland ist in den vorangehenden Abschnitten nicht dargestellt. Schließlich ist die Sekundäraluminiumwirtschaft stark von Abfallimporten sowie Importen und Exporten von Sekundäraluminium beeinflusst, sodass die resultierende Wiedereinsatzquote von Sekundäraluminium in Abbildung 2-4 höher liegt als

jene Wiedereinsatzquote, die sich alleine aus der Verwertung der in Österreich anfallenden Abfälle ergeben würde.

In diesem Abschnitt werden daher sämtliche Daten so umgerechnet, dass

- 1) im Bereich der Produktion und Verarbeitung genau jene Stoffflüsse und Lager dargestellt werden (natürlich auch jene im „Hinterland“, also in den vorgelagerten Prozessen der Produktion von Primäraluminium im Ausland), die für die Produktion von 171.000 t Aluminiumwaren notwendig sind, die in Österreich konsumiert werden
- 2) im Bereich der Abfallwirtschaft nur jene Stoffflüsse und Lager dargestellt werden, die sich durch Abfälle aus der Produktion der 171.000 t Aluminiumwaren ergeben oder die in Österreich als Post-Consumer-Abfälle anfallen
- 3) im Bereich der Verwertung genau jene Menge an Sekundäraluminium produziert und wiedereingesetzt wird, die sich aus den auf Österreich bezogenen Abfällen ergibt.

Diese auf den österreichischen Konsum und Abfall bezogenen Daten werden im Abschnitt 2.1 (Aluminiumflüsse in Österreich einschließlich nicht-metallischer Aluminiumflüsse) und im Abschnitt 4 (Bewirtschaftung von Aluminium und Aluminiumabfällen auf Basis der Ziele des) verwendet.

Inputmenge in die Aluminiumverarbeitung, Verarbeitungsabfälle

Zur Berechnung der entsprechenden Inputmenge in den Prozess der Aluminiumverarbeitung muss die in Österreich konsumierte Aluminiummenge um die anteiligen Verarbeitungsabfälle ergänzt werden:

$$171.000 \text{ t} / (1 - 8,5\%) \times 8,5 \% = 15.900 \text{ t Verarbeitungsabfall.}$$

Gesamte Inputmenge in den Prozess der Aluminiumverarbeitung: 187.000 t.

Verwertung von Abfällen, die mit dem Aluminiumkonsum in Österreich zusammenhängen; Produktion von Sekundäraluminium

Verwertete Verarbeitungsabfälle: 95 % von 15.900 t = 15.100 t.

Post-Consumer-Abfälle aus Österreich, die zur Verwertung gelangen: 52.400 t.

Verwertete Menge abzüglich endgültiger Verluste im Rahmen der Verwertung (der aus den Verwertungsreststoffen rückgewonnene Aluminiumanteil wird hier ebenfalls zur verwerteten Menge gezählt): $67.500 \text{ t} \times (1 - 3\%) = 66.000 \text{ t}$ (gerundet). Diese Menge entspricht gleichzeitig der produzierten Menge an Sekundäraluminium.

Nicht verwertete Aluminiumabfälle, Deponien

Deponierte Verarbeitungsabfälle: 5 % von 15.900 t = 800 t (statt 1.400 t/a). Daher 21.300 t Input in Reaktor- und Massenabfalldeponien.

Der Input in Reststoffdeponien wird ergänzt um 2.000 t Aluminium in Rückständen aus der Aufbereitung der Reststoffe aus der Sekundärproduktion von Aluminium.

Produktion von Primäraluminium und damit verbundene Flüsse und Lager

Notwendiger Input an Primäraluminium: $187.000 \text{ t} - 66.000 \text{ t} = 121.000 \text{ t}$.

Anteiliger Verlust von Aluminium in Richtung Rotschlamm im Zuge der Primärproduktion:
 $121.000 \text{ t} / (1 - 24,5\%) \times 24,5 \% = 39.000 \text{ t}$.

Resultierender Aluminiumabbau in Form von Bauxit: 160.000 t.

Lagermenge Litosphäre (Reichweite ca. 200 Jahre): $200 \times 160.000 \text{ t} = 32 \text{ Mio t}$.

Lagermenge Rotschlammdeponie = 1,06 Mio t (s. Abschnitt 2.3.1).

Alle anderen Flüsse und Lager der erstellten Stoffbilanz beziehen sich bereits ausschließlich auf die in Österreich konsumierte Aluminiummenge.

3 UMWELTEFFEKTE

In Abschnitt 4 werden die wichtigsten Flüsse im Aluminiumhaushalt Österreichs einschließlich der vorgelagerten Prozesse nach den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes bewertet. In dieser Bewertung spielen der Verbrauch von Ressourcen und andere Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt eine zentrale Rolle. Daher werden hier kurz die wichtigsten Auswirkungen von Aluminiumflüssen bzw. von den mit ihnen verbundenen Prozessen auf die Umwelt dargestellt.

3.1 Primärproduktion

Tabelle 3-1 zeigt die energetischen Ressourcen, die zur Herstellung von 1 kg Aluminium benötigt werden. Hinzu kommt noch als wesentliche rohstoffliche Ressource Bauxit, wovon etwa 3,7 kg pro kg Aluminium eingesetzt werden [HABERSATTER et al., 1998]. Diese Einsatzmenge kann aufgrund der unterschiedlichen Aluminiumgehalte an verschiedenen Standorten mehr oder weniger stark schwanken. Auch die anfallende Menge Rotschlamm ist stark von der Aluminiumkonzentration im Roherz abhängig und beträgt pro kg Aluminium ca. 1,8 kg.

Die Reichweite der weltweit bekannten Bauxitvorkommen beträgt unter heutigen Bedingungen noch ca. 200 Jahre [GDA, 2003].

Ressourcen		
Name	Einheit	Aluminium, primär pro kg
Steinkohle, im Boden	kg	2,01
Braunkohle, im Boden	kg	1,3
Rohöl, im Boden	kg	1,21
Erdgas, im Boden	Nm3	0,452
Energie aus Biomasse	MJ	0,458
Solarenergie	MJ	0,00208

Tabelle 3-1: Ressourcen für die Herstellung von 1 kg Aluminium, Quelle: Ecoinvent

In Tabelle 3-2 sind die mengenmäßig wichtigsten Emissionen aus der Herstellung von 1 kg Aluminium angeführt. Fluorwasserstoff entsteht bei der Schmelzflusselektrolyse aus dem als Flussmittel zugesetzten Kryolith und wird oft als eines der Hauptumweltprobleme im Zusammenhang mit der Aluminiumproduktion genannt.

Emissionen		
Name	Einheit	Aluminium, primär pro kg
Kohlendioxid, fossil	kg	9,5
Schwefeldioxid	kg	0,01445
Stickoxide	kg	0,00868
Partikel < 10 um	kg	0,0031029
Kohlenmonoxid, fossil	kg	0,027704
NMVOC (non-methane volatile organic compounds)	kg	0,0016405
Methan, fossil	kg	0,00015
Ammoniak	kg	0,000186
Distickstoffmonoxid	kg	0,0000942
Flourwasserstoff	kg	0,00068784

Tabelle 3-2: Emissionen aus der Herstellung von 1 kg Aluminium, Quelle: Ecoinvent

Im Vergleich zur Produktion benötigt die Verarbeitung von Aluminium nur noch relativ wenig Energie: Nach HABERSATTER et al. [1998] beträgt der gesamte Energieaufwand für die Herstellung von 1.000 kg Aluminium in Barren 182.790 MJ, für die Herstellung von 1.000 kg Aluminium-Folie hingegen 193.190 MJ. Die Differenz von 10.400 MJ wird für die Verarbeitung (hier: Walzen) benötigt.

3.1.1 Rotschlamm

Bei der Gewinnung von Tonerde (Aluminiumoxid) aus Bauxit fallen je nach Aluminiumgehalt im Erz mehr oder weniger große Mengen Rotschlamm an. Dieser besteht hauptsächlich aus Natriumaluminiumsilikaten, Eisen- und Titanoxiden in fein verteilter Form.

Im Zusammenhang mit Rotschlamm werden immer wieder zwei Arten von Umweltproblemen genannt:

- 1.) Bei der früher üblichen Ablagerung von Rotschlamm in Flüssen können dessen feine Partikel einerseits Poren und Kiemen der im und am Wasser lebenden Pflanzen und Tiere verstopfen, andererseits sogar ganze Feuchtgebiete und Wasserläufe verschlammen.
- 2.) Rotschlamm enthält zunächst noch große Mengen Natronlauge, die durch ihre basische Reaktion den pH-Wert der Umwelt aus dem Gleichgewicht bringen kann.

Beide Probleme treten bei zeitgemäßer Behandlung des Rotschlammes, wie sie heute üblich ist, nicht mehr auf. Der Rotschlamm wird in abgedichteten Deponien gesammelt, wobei die Natronlauge durch mehrmaliges Auswaschen fast vollständig entfernt und rückgewonnen wird. Reste der Natronlauge wandeln sich mit dem in der Luft vorhandenen Kohlendioxid in Natriumcarbonat um. Volle Rotschlammdeponien können, mit speziellen Gräsern sogar ohne das Aufbringen von Mutterboden, rekultiviert werden.

3.2 Recycling / Sekundärproduktion

Aluminium kann ohne Qualitätsverlust beliebig oft rezykliert werden. Sowohl Produktionsabfälle aus der Aluminiumindustrie als auch Post-Consumer-Abfälle werden mit verschiedenen Methoden verwertet.

Verarbeitungsschritt	eingesetzte Schrotte	typische Metall-Ausbeute		angenommene Ausbeute %	Energiebedarf fossile ET				mittlerer Erdgasbedarf (36MJ/Nm ³)	
		%			MJ/t Einsatz		MJ/t Metall		MJ/t Metall	
		von	bis		von	bis	von	bis	von	bis
Späne-Trocknung	feuchte Späne	80	90	85	1.836	3.213	2.160	3.780	60	105
Induktionsofen	Masseln, Blöcke, Späne	95	99	98	2.470	3.276	2.520	3.340		
Closed-well-Herdofen	sauberer Stückschrott, org. verunreinigter Schrott	88	95	92	2.320	3.960	2.520	4.300	70	120
Drehtrommelofen (starr)	Späne, Krätzen, Gröben, aufbereiteter Sammelschrott	75	92	74	3.260	3.480	4.410	4.700	123	130
Drehtrommelofen (kipubar)	Krätzen, Gröben	50	80	78	2.080	2.080	2.670	2.670	75	75
Raffinieren, Legieren, Warmhalten	Legierungselemente wie Si, Cu, Zn, Ti, Mn, Mg, Ni	95	98	97	1.400	2.520	1.440	2.600	40	72
Gesamt Schmelzwerk		75	85	80	3.460	7.200	4.320	9.000	120	250

Tabelle 3-3: Übersicht Recycling-Verfahren, deren typische Ausbeuten und Energiebedarfe, Quelle: UV&P [2000]

Die Ausbeute der Verwertung ist sowohl von der Reinheit und dem Legierungsgrad (also dem Aluminiumanteil) des Ausgangsmaterials als auch vom angewendeten Verfahren abhängig. In Tabelle 3-3 sind typische Ausbeuten unterschiedlicher Verfahren angegeben. Aus den verschiedenen Prozentsätzen der Ausbeuten ergeben sich daher auch unterschiedliche Schrott-Einsatzmengen pro Tonne gewonnenem Metall.

In HABERSATTER et al. [1998] ist für die Gewinnung von 1.000 kg Sekundäraluminium eine Einsatzmenge von 1.080 kg Aluminiumabfällen angegeben.

Tabelle 3-4 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Emissionen aus der Sekundäraluminium-Erzeugung:

Verarbeitungsschritt	Gesamt-Emissionen (g/t Metall)											
	HCl		HF		Staub		NO ₂		C(org)		CO	
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
Closed-well-Herdofen	20	600	0	2	2	25	8	900	5	35	20	100
Drehtrommelofen (starr)	50	400	3	15	4	55			150	250		
Drehtrommelofen (kipperbar)	2	20	0	2	1	45	200	900	5	40	30	180

Tabelle 3-4: *typische Emissionen aus drei verschiedenen Aluminium-Verwertungsverfahren, Quelle: UV&P [2000]*

Typische Rückstände bzw. Abfälle bei der Sekundäraluminiumproduktion sind Salzschlacken (300 - 500 kg/t Al), Filterstaub (0,1 - 10 kg/t Al bei Einsatz des Closed-Well-Ofens, 10 - 35 kg/t Al sonst), Ofenausbruch (ca. 2 kg/t Al) und Krätzen (25 - 80 kg/t Al) [UV&P, 2000]. Die Rückstände werden nach dem Stand der Technik aufbereitet und danach verwertet bzw. deponiert.

Die in relativ großen Mengen anfallende Salzschlacke besitzt aufgrund des hohen Anteils an löslichen Salzen und der bei Kontakt mit Wasser entstehenden teils giftigen Gase ein hohes umweltgefährdendes Potential. Sie muss daher einer besonderen Behandlung zugeführt werden, kann aber auch wieder aufbereitet und teilweise wieder in der Sekundäraluminiumproduktion eingesetzt werden [UV&P, 2000].

Verunreinigungen erschweren die Verwertung von Aluminiumabfällen. Ab einem Gehalt von mehr als 2 % TOC (beispielsweise aufgrund von Beschichtungen, Verbundmaterialien oder Lackierungen) ist das Einschmelzen von Aluminium nicht mehr zielführend [NEUBACHER 2003].

3.3 Andere Prozesse

Aluminiumemissionen in den Prozessen Konsum und Deponie: Produkte und Abfälle aus Aluminium sind von einer Schicht aus Aluminiumoxid umgeben, die chemisch relativ stabil ist. Nur bei pH-Werten unter 4 und über 9 kann die schützende Oxidschicht angegriffen bzw. aufgelöst werden, wodurch metallisches Aluminium für Lösungsvorgänge und chemische Reaktionen verfügbar wird.

Bei Aluminiumprodukten im Einsatz sowie bei Rotschlammdeponien, Reaktor- und Massenabfalldeponien sowie Reststoffdeponien sind daher weder Aluminiumemissionen noch Reaktionen des Aluminium(oxids) mit anderen Stoffen zu erwarten.

Verhalten von Aluminium in Verbrennungsprozessen: In Müllverbrennungsanlagen gelangen etwa 92 % des Aluminium im Input in die Schlacke, der Rest verbrennt und gelangt

als Al_2O_3 oder in Form von kleinen Tröpfchen in die Filterasche. In Wirbelschichtverbrennungsanlagen gelangt das eingebrachte Aluminium praktisch zur Gänze in die Filterasche.

Reines Aluminium verbrennt praktisch nicht, da die Al_2O_3 -Schicht einen erheblichen Schutz bildet. In Versuchen wurde festgestellt, dass Tropfen bis zu 1,6 g durch die hohe Oberflächenspannung der Oxydhaut gehalten werden. Saubere Folien und Bleche schmelzen daher schlechter, da eine perfekte Oxyd-Haut schützend wirksam ist.

Beachtenswert ist, dass Al-Guss mit nur etwa 80 % Al-Gehalt in Abfallverbrennungsanlagen praktisch vollständig verbrennt, da keine homogene Schutzschicht aus Al-Oxyd in beständiger Form aufgebaut wird.

In Verbrennungsprozessen ist stets zu erwarten, dass angesichts von Stickstoff die Bildung von Al-Nitrit erfolgt. Das in der Filterasche vorhandene Al-Nitrit setzt dann bei geringem Wasserzutritt (dafür genügt die Luftfeuchte) Ammoniak frei. Die Freisetzung von Ammoniak bedingt einen Anstieg des pH-Wertes, sodass dann bei $\text{pH} > 9$ die schützende Al-Oxydschicht aufgelöst wird und autogene Reaktionen einsetzen. Dabei wird unter heftigen exothermen Reaktionen auch Wasserstoff freigesetzt. Die Aschen sind somit als reaktiv einzustufen, wobei der Gehalt von 1 % Aluminium in 1 kg Asche 13,4 Liter Wasserstoff (293 K, 1,013 bar) bilden kann. Die Behandlung derartiger als gefährlicher Abfall und als Gefahrgut einzustufenden Aschen ist daher, gegebenenfalls unter Nutzung der dabei frei werden Energie, notwendig.

3.4 Toxikologie

Mensch

Wie giftig Aluminium für den Menschen ist, ist noch nicht genau bekannt. Bei hoch dosierten Aluminiumvergiftungen treten Anämien, Osteopathie, Dialyseenzephalopathie, Dimenz, Sprachstörungen und Krämpfe auf. Aluminium verzögert außerdem die Knochenbildung. Bei einer chronischen Anreicherung von Aluminium besteht der Verdacht auf einen Zusammenhang mit Alzheimer und Parkinson.

Expositionsquellen für Aluminium sind Antacida (Mittel gegen Übersäuerung des Magens), Deos (Aluminiumchlorhydrat unterbindet die Schweißbildung), Aluminium Kochgeschirr, Tee, Gurken, Backpulver, viele Käsesorten, gepökelte Nahrungsmittel.

Wasser

Aluminium gelangt durch Auflösungsprozesse bedingt durch den sauren Regen in natürliche Gewässer und kann das Wurzelsystem von Pflanzen schädigen. Eine weitere Emissionsquelle ist die unsachgemäße Vorgehensweise bei Flockungsprozessen mit Aluminiumsulfat.

Aluminiumkonzentrationen von weniger als 0,1 mg/l sind für Fische stark toxisch.

Aluminium stellt (neben Schwermetallen) auch für andere sensitive Lebewesen wie z.B. die Flußperlmuschel einen möglicherweise gefährlichen Faktor dar: Ihre Toxizität steigt mit ihrer Mobilität, die bei niedrigen pH-Werten stark zunimmt.

Boden

Unter der Annahme, dass Aluminium-Toxizität das eigentliche mit Bodenversauerung verbundene Risiko für Bäume darstellt, wird als kritische Grösse das Konzentrationsverhältnis basischer Nährstoff-Kationen zu Aluminium (Bc/Al) in der Bodenlösung verwendet.

Das heißt, dass Aluminium zwar toxisch ist, das Problem aber nicht das Aluminium selbst, sondern die zunehmende Bodenversauerung (saurer Regen) ist. Ohnehin vorhandenes Aluminium (in Form von Verbindungen im Gestein) wird dabei aus seiner Verbindung gelöst.

3.5 Ökologische Bewertung von Aluminiumprodukten

Aluminium wird häufig wegen des hohen Energieeinsatzes bei der Produktion kritisiert. Tatsächlich ist der Energieeinsatz *pro kg Material* im Vergleich mit anderen Materialien relativ hoch: 193 MJ/kg für Aluminiumfolien, 92 MJ/kg für LDPE-Folien, 66 MJ/kg für PVC-Bahnen, 36 MJ/kg für Weißblech, 27 MJ/kg für Gusseisen, etc. [HABERSATTER et al. 1998].

Andererseits *können* im konkreten Produktvergleich Aluminiumprodukte wesentlich leichter sein als die Alternativprodukte, wodurch ein Teil der höheren Produktionsenergie wieder wettgemacht werden kann. Darüber hinaus *können* Effekte wie längere Lebensdauer, höherer Rezyklatanteil und Effekte im Gebrauch (z. B. Treibstoffersparnis durch geringeres Gewicht in PKWs) dazu führen, dass Aluminium in einer vergleichenden Produktbewertung besser abschneidet als das Alternativmaterial.

Ob daher die Substitution von Aluminium durch andere Materialien mit Umweltvorteilen oder Umweltnachteilen verbunden ist, kann nur für jeden Einzelfall durch eine Lebenszyklusanalyse geklärt werden, in der alle oben angesprochenen Punkte berücksichtigt werden.

4 BEWIRTSCHAFTUNG VON ALUMINIUM UND ALUMINIUMABFÄLLEN AUF BASIS DER ZIELE DES AWG

4.1 Bewertung der Prozesse, Stoffflüsse und Lager nach den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes

In diesem Kapitel wird die Stoffbilanz für metallisches Aluminium diskutiert und bewertet. Dabei werden folgende Fragen beantwortet:





- Erfüllt die derzeitige Bewirtschaftung von Aluminium und Aluminiumabfällen die Ziele des AWG?
- Identifikation von Ressourcenpotentialen: Welche Abfalllager und -flüsse stellen möglicherweise Ressourcen für die Gewinnung von Sekundäraluminium dar?
- Sind die derzeit verwendeten Senken von Aluminiumflüssen *geeignete* letzte Senken?

Für die Diskussion und Bewertung der Aluminiumbilanz werden die Flüsse und Lager, insbesondere in den Bereichen Produktion und Abfallwirtschaft so umgerechnet, dass sie sich ausschließlich auf den Konsum von Aluminiumwaren *in Österreich* beziehen. Es wird also jene Menge an Primäraluminium, Sekundäraluminium, Verarbeitungsabfällen usw. angegeben, die mit den 171.000 t an Aluminiumeinsatz in Österreich verbunden sind.

Die Umrechnung der Daten des Gesamtsystems auf die beschriebenen Rahmenbedingungen erfolgt in Abschnitt 2.4. Eine übersichtliche Darstellung der resultierenden Flüsse und Lager findet sich in Abbildung 2-2: System „Aluminiumhaushalt Österreich“ (einschließlich Hinterland).

In den nachfolgenden Tabellen wird durch den Zusatz "Österreich-Anteil" auf diese Einschränkung der Datenbasis hingewiesen. Zusätzlich zu den Daten, die sich ausschließlich auf den österreichischen Konsum beziehen, werden im Text in Klammern auch die Zahlen des ursprünglichen Gesamtsystems angegeben (vgl. Tabelle 2-4 und Abbildung 2-4).

Legende zu den nachfolgenden Tabellen:

-  Stofffluss bzw. Lager hat große mengenmäßige Bedeutung
-  Stofffluss bzw. Lager hat eher geringe mengenmäßige Bedeutung
-  Ziel des AWG erfüllt
-  Erfüllung des AWG-Zieles fraglich
- ! Auswirkung groß
- ? Auswirkung unklar

Durch die Verwendung der Symbole soll die verbale Bewertung unterstützt und in der Tabelle grob schematisiert werden.

4.1.1 Lager und Lagerveränderungen

Das untersuchte System enthält drei Lager: Das Aluminium-Lager in der Lithosphäre (Bauxit im Ausland), das Lager im Prozess Konsum (im Einsatz befindliche Aluminiumwaren) und das Lager an Aluminiumabfällen in Deponien.

Auswertung der Stoffbilanz metallisches Aluminium				Identifikation Ressourcen- potential
	Tonnen bzw. Tonnen / Jahr	kg/EW bzw. kg/EW.a		
Lager und Lagerveränderungen				
Lager 2001				
Lithosphäre Ausland ("Österreich-Anteil")	32.200.000	3.980		!!
Konsum	2.803.000	346	100%	!!
<i>Bauwesen</i>	1.122.000	139	40%	!!
<i>Transportwesen</i>	344.000	42	12%	
<i>Elektrotechnik</i>	223.000	28	8%	
<i>Sonstiges</i>	1.114.000	138	40%	!!
Deponien	1.804.000	223	100%	
<i>Reaktordeponien, Massenabfalldeponien</i>	701.000	87,0	39%	??
<i>Reststoffdeponie, Untertage-Deponie (Ö-Anteil)</i>	43.000	5,3	2%	?
<i>Rotschlammdeponie (theoret. Wert, Ö-Anteil)</i>	1.060.000	131,0	59%	??

Tabelle 4-1: Übersicht über die Lagermengen im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“.

Das mengenmäßig mit Abstand bedeutendste Lager ist das der Lithosphäre. Es umfasst die aus heutiger Sicht wirtschaftlich abbauwürdigen Bauxitvorkommen, die unter den derzeitigen Bedingungen für etwa 200 Jahre ausreichen. Durch die zukünftig ansteigende Wiedereinsatzquote von Aluminiumabfällen (aufgrund der heute noch großen Differenz zwischen Einsatzmenge und Abfallmenge liegt diese in Österreich erst bei 35%, trotz einer Verwertungsquote von 70 % der Abfälle³) wird sich diese Reichweite erhöhen. Andererseits wird der Aluminiumbedarf der Schwellenländer wahrscheinlich deutlich ansteigen.

Die Lagermenge, die dem 200-fachen Primäraluminiumverbrauch für den österreichischen Aluminiumkonsum entspricht, beträgt 32,2 Mio t bzw. 4.000 kg/EW (53,3 Mio t im Gesamtsystem).

Im Vergleich dazu sind die Lager im Prozess Konsum und in den Deponien noch gering: Auf Deponien (inkl. Rotschlammdeponien) befinden sich ca. 6/100 der Menge des Lagers der Lithosphäre. Das Lager im Konsum beträgt bereits immerhin 9/100 der Menge des Lagers der Lithosphäre.

Neben dem noch vorhandenen Bauxit wird in Zukunft das **Aluminiumlager im Prozess Konsum** genutzt werden müssen. Durch die bereits heute hohe Erfassungs- und Verwertungsquote, die vor allem durch den ökonomischen Wert der Aluminiumabfälle bedingt ist, ist diese Nutzung auch gewährleistet. Besondere Bedeutung hat dabei das Aluminiumlager im Bauwesen, das derzeit etwa 40 % des gesamten Lagers im Prozess Konsum ausmacht.

³ Wiedereinsatzquote = Menge Sekundäraluminium / (Menge Primäraluminium + Menge Sekundäraluminium) für die gesamte Halbzeug- und Güterproduktion.
 Verwertungsquote = Gewonnene Menge Sekundäraluminium / gesamte Abfallmenge (Verarbeitungs- und Post-Consumer-Abfall).

Durch den weiter ansteigenden Einsatz von Aluminium im Bauwesen wird die Bedeutung dieses Lagers in Zukunft noch zunehmen. Gleichzeitig ist gerade die getrennte Erfassung im Baubereich mit etwa 90 % (s. Abschnitt 2.3.4.1) sehr hoch. Kann dieses Niveau der getrennten Erfassung gehalten werden, ist eine Nutzung dieses Ressourcenpotentials sichergestellt. Da ein Großteil des im Bauwesen verwendeten Aluminium nicht für Einfamilienhäuser, sondern im Objektbereich verwendet wird und mit der getrennten Erfassung der Aluminiumabfälle relevante Erlöse erzielt werden können, ist auch zukünftig mit einer hohen Verwertungsrate zu rechnen.

Im Bereich „Transportwesen“ (Aluminium in Fahrzeugen) werden die Abfälle, soweit sie in Österreich anfallen, naturgemäß getrennt erfasst. Die Aluminium-Rückgewinnung im Shredder liegt bei etwa 85%. Die getrennte Erfassung von „sonstigen Aluminiumabfällen“ liegt wahrscheinlich ebenfalls in der Größenordnung von 80 %. Damit wird auch in diesen beiden Bereichen das Ressourcenpotential des Lagers größtenteils genutzt werden.

Nur Aluminiumabfälle im Bereich Elektrotechnik (vorwiegend Elektro- und Elektronikaltgeräte) werden heute erst in geringem Umfang abgetrennt und verwertet. Durch die Umsetzung der EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte wird der Verwertungsanteil voraussichtlich ansteigen. Das Lager im Bereich Elektrotechnik ist jedenfalls mengenmäßig nur von untergeordneter Bedeutung (etwa 8 % des gesamten derzeitigen Lagers im Konsum).

Im Bereich der **Abfallwirtschaft** ist das bedeutendste Aluminiumlager die Rotschlammdeponie mit 1,06 Mio Tonnen (131 kg/EW) Aluminium in Form von Aluminiumoxid, gefolgt von Reaktordeponien bzw. Massenabfalldeponien mit ca. 0,7 Mio Tonnen (87 kg/EW) Aluminium. Ob tatsächlich Möglichkeiten bestehen, diese Lager in Deponien für die Gewinnung von Aluminium zu nutzen, wurde in dieser Studie nicht untersucht (kurze Diskussion in Abschnitt 4.2). Inwieweit die Ablagerung der Aluminiumabfälle auf den genannten Deponietypen dem AWG-Ziel „nachsorgefreie Deponie“ entspricht, wird in Abschnitt 4.1.4 (letzte Senken) besprochen.

Die folgende Tabelle zeigt die **Veränderung der Lager** im Jahr 2001 in absoluten Zahlen und in Prozent. Die Veränderungen liegen generell im Bereich von 0,5 - 5 %. Das Lager im Transportwesen wuchs 2001 um etwa 5,4 %. Bei gleichbleibendem Trend wäre es in etwa 18 Jahren doppelt so groß wie heute. Nur die Mengen auf Reststoffdeponien bzw. in Untertage-Deponien nehmen schneller zu (Steigerung um 17 %), sie sind aber mengenmäßig relativ unbedeutend.

Auswertung der Stoffbilanz metallisches Aluminium			
	Tonnen bzw. Tonnen / Jahr	kg/EW bzw. kg/EW.a	
Lagerveränderungen 2001 absolut			
Lithosphäre Ausland ("Österreich-Anteil")	-161.000	-19,9	
Konsum	81.900	10,1	100%
<i>Bauwesen</i>	39.100	4,8	48%
<i>Transportwesen</i>	18.700	2,3	23%
<i>Elektrotechnik</i>	9.800	1,2	12%
<i>Sonstiges</i>	14.300	1,8	17%
Deponien	67.800	8,4	100%
<i>Reaktordeponien, Massenabfalldeponien</i>	21.300	2,6	31%
<i>Reststoffdeponie, Untertage-Deponie (Ö-Anteil)</i>	7.100	0,9	10%
<i>Rotschlammdeponie (theoret. Wert, Ö-Anteil)</i>	39.400	4,9	58%
Lagerveränderungen 2001 in % des Lagers			
Lithosphäre Ausland ("Österreich-Anteil")	-0,5%		100
Konsum	2,9%		34
<i>Bauwesen</i>	3,5%		29
<i>Transportwesen</i>	5,4%		18
<i>Elektrotechnik</i>	4,4%		23
<i>Sonstiges</i>	1,3%		78
Deponien	3,8%		27
<i>Reaktordeponien, Massenabfalldeponien</i>	3,0%		33
<i>Reststoffdeponie, Untertage-Deponie (Ö-Anteil)</i>	16,5%		6
<i>Rotschlammdeponie (Ö-Anteil)</i>	3,7%		27

Tabelle 4-2: Übersicht über die Veränderung der Lagermengen im Jahr 2001 im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“.

4.1.2 Stoffflüsse: Konsum und Verwertung

Der **bedeutendsten Stoffflüsse** im untersuchten System sind

- 1) der Konsum von Aluminiumprodukten in Österreich im Ausmaß von 171.000 t/a bzw. 21 kg/EW.a
- 2) die damit verbundene Produktion von Primäraluminium im Ausmaß von 121.000 t/a bzw. 15 kg/EW.a (201.000 t/a im Gesamtsystem; der Exportüberhang von Halbzeug und Waren aus Aluminium ist in Österreich beträchtlich)
- 3) die durch Abfallverwertung gewonnene Menge an Sekundäraluminium im Ausmaß von 66.000 t/a bzw. 7,4 kg/EW.a (80.000 t/a im Gesamtsystem)

Auswertung der Stoffbilanz metallisches Aluminium				Erfüllung AWG-Ziele			
				Identifikation Ressourcen- potential	Umwelt- verträglichkeit	Optimale Ressourcen- nutzung	Nachsoorge- freie Deponie
				Tonnen bzw. Tonnen / Jahr	kg/EW bzw. kg/EW.a		
Stoffflüsse							
1) Konsum							
Aluminiumwaren	171.000	21,1	100%				
<i>Bauwesen</i>	55.000	6,8	32%	?	?		
<i>Transportwesen</i>	33.000	4,1	19%	?	?		
<i>Elektrotechnik</i>	20.000	2,5	12%	?	?		
<i>Verpackungen</i>	15.000	1,9	9%	?	?		
<i>Sonstiges</i>	48.000	5,9	28%	?	?		
2) Verwertung				<i>Erfassungsquoten</i>			
Verarbeitungsabfall zur Verwertung (Ö-Anteil)	15.100	1,9	95%	👍!!	👍!!		
Verwertete Post-Consumer Abfälle	52.400	6,5	70%	👍!!	👍!!		
<i>Bauwesen</i>	14.300	1,8	90%	👍!!	👍!!		
<i>Transportwesen</i>	4.700	0,6	100%	👍	👍		
<i>Elektrotechnik</i>	2.600	0,3	37%	👍	👍		
<i>Verpackungen</i>	4.300	0,5	30%	👍	👍		
<i>Sonstiges</i>	26.500	3,3	80%	👍!!	👍!!		
Nutzung gebrauchter Waren im Ausland	11.100	1,4		👍	👍		

Tabelle 4-3: *Übersicht über die wichtigsten Stoffflüsse im Bereich der Prozesse „Konsum“ und „Verwertung“ im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“.*

Der Ressourcenverbrauch (neben Bauxit insbesondere auch der Verbrauch energetischer Ressourcen) und die Emissionen der Produktion von Primäraluminium sind von großer Bedeutung im untersuchten Gesamtsystem. Deshalb *kann* eine Reduktion der Produktion von Primäraluminium einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der AWG-Ziele „Umweltverträglichkeit“ und „Ressourcenschonung“ darstellen. Die Produktion von Primäraluminium kann verringert werden, indem

- 1) der Konsum von Aluminiumwaren gesenkt wird (Aluminiumwaren werden durch andere Materialien ersetzt, oder die Prozesse, die heute Aluminium erfordern, werden durch andere Prozesse mit geringerem Aluminiumbedarf ersetzt)
- 2) durch Abfallverwertung mehr Sekundäraluminium gewonnen und eingesetzt wird.

Ob eine Absenkung des Aluminiumkonsums aber tatsächlich zu einer Senkung beim Ressourcenverbrauch und bei Emissionen führt, kann nur in jedem Einzelfall durch einen **Vergleich der Alternativen** festgestellt werden.

Einerseits ist die Produktion von Primäraluminium im Vergleich zu vielen anderen Materialien mit einem hohen Energieaufwand pro kg Material verbunden (s. Abschnitt 3.5). Andererseits *können* im konkreten Produktvergleich Aluminiumprodukte wesentlich leichter sein als die Alternativprodukte, wodurch ein Teil der höheren Produktionsenergie wieder wettgemacht werden kann. Darüber hinaus *können* Effekte wie längere Lebensdauer, höherer Rezyklatanteil und Effekte im Gebrauch (z. B. Treibstoffersparnis durch geringeres Gewicht in PKWs) dazu führen, dass Aluminium in einer vergleichenden Produktbewertung besser abschneidet als das Alternativmaterial. Ähnlich verhält es sich, wenn Aluminium nicht durch ein anderes Material ersetzt wird, sondern überhaupt der Prozess zur Erfüllung eines bestimm-

ten Bedürfnisses grundsätzlich geändert wird (andere Transportmittel, andere Elektrogeräte, etc.). Auch hier müssen beide Alternativen bewertet werden, und zwar nicht nur nach ökologischen Kriterien, sondern auch nach ökonomischen und sozialen Kriterien (Nachhaltigkeits-Bewertung). Deshalb kann an dieser Stelle keine pauschale Aussage getroffen werden, ob eine Reduktion des Aluminiumkonsums die Erreichung von Zielen des AWG fördert oder nicht.

Die stoffliche Verwertung von Aluminiumabfällen leistet dagegen jedenfalls **einen bedeutenden Beitrag zur Erfüllung der AWG-Ziele „Umweltverträglichkeit“ und „Ressourcenschonung“**. Durch die Verwertung von Abfällen konnten im Jahr 2001 etwa 35 % des benötigten Primäraluminiums durch Sekundäraluminium ersetzt werden, wodurch ein entsprechender Anteil der Primärressourcen und Emissionen eingespart wurde. Die auf diese Weise vermiedenen Energieverbräuche und Emissionen betragen ein Vielfaches des Energiebedarfs und der Emissionen der Aluminiumverwertung.

Getrennt erfasst, d.h. nicht vermischt mit anderen Abfallfraktionen, werden in Österreich etwa **75 %** aller Aluminiumabfälle (70 % von 78.000 t Post-Consumer-Abfällen und 95 % von 16.000 t Verarbeitungsabfällen). Die **Verwertungsquote** von Aluminiumabfällen (hier berechnet als Verhältnis von produziertem Sekundäraluminium und gesamter Abfallmenge; Reststoffe aus Sortier- oder Verwertungsprozessen sind in der hier angegebenen Quote also nicht als „verwertet“ mit eingeschlossen) liegt bei etwa **70 %**. (Die angegebenen Erfassungs- und Verwertungsraten beziehen sich auf metallische Aluminiumabfälle. Der Anteil von Aluminium im Rotschlamm wurde daher bei den Berechnungen nicht berücksichtigt).

Wegen der Langlebigkeit vieler Aluminiumgüter ist das Abfallaufkommen derzeit noch wesentlich geringer als der Aluminiumkonsum: Von 171.000 t Input in den Konsum (21,1 kg/EW.a) verbleiben 82.000 t oder 10,1 kg/EW.a (48 % des Inputs) im Lager, 11.000 t oder 1,4 kg/EW.a gebrauchte Waren werden zur Weiterverwendung exportiert und 78.000 t oder 9,6 kg/EW.a Abfälle gelangen zur Verwertung bzw. Entsorgung. Die 66.000 t an Sekundäraluminium, die durch die Verwertung gewonnen wurden, bedeuten daher eine **Wiedereinsatzquote** von **35 %** auf der Ebene der Produktion von Halbzeugen aus Primär- und Sekundäraluminium (Wiedereinsatzquote berechnet als Anteil des Sekundäraluminium am Gesamtbedarf an Primär- und Sekundäraluminium für die Halbzeugproduktion).

Für die weitere Optimierung der Ressourcennutzung ist daher die Kenntnis der „Aluminiumverluste“ im betrachteten System entscheidend. Im folgenden werden alle derartigen Verluste aufgelistet. Die gleichzeitig erfolgende Mengenangabe ist *ein* Beitrag zur Erstellung einer Prioritätenliste möglicher Maßnahmen.

4.1.3 Stoffflüsse: Aluminiumverluste im industriellen Bereich und in der Abfallwirtschaft

Verluste von Aluminium aus dem Stoffkreislauf in Richtung Deponie stehen im Konflikt mit dem AWG-Ziel der möglichst weitgehenden Schonung von Ressourcen, da diese Aluminiummengen höchstwahrscheinlich für eine weitere Nutzung nicht mehr zur Verfügung stehen. Daher muss (im Vergleich zum Fall der Verwertung) mehr Primäraluminium produziert werden, was sich in erhöhten Energieverbräuchen und Emissionen niederschlägt. Aluminiumverluste führen daher indirekt auch zu einem Konflikt mit dem AWG-Ziel „Schutz des Menschen und der Umwelt“. Ob allerdings der Aufwand für die Verringerung der Verluste gerechtfertigt wäre, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht geklärt.

Der mit Abstand bedeutendste Aluminiumverlust im untersuchten System befindet sich im **Rotschlamm** - allerdings in Form von Aluminiumoxid - und beträgt 39.400 t/a bzw. 4,9 kg/EW.a (65.000 t/a im Gesamtsystem). Dieser Verlust entspricht fast 60 % der gesamten Verluste und beträgt das dreifache des zweitgrößten Verlustes im untersuchten System (12.600 t/a oder 1,56 kg/EW.a im Gewerbemüll und Baustellenabfall).

Andere Aluminiumverluste im industriellen Bereich sind demgegenüber nur gering: Etwa 2.000 t/a oder 0,2 kg/EW.a an Aluminium befinden sich in deponierten Rückständen aus der Behandlung von Reststoffen aus der Aluminiumverwertung (Gesamtsystem: 14.600 t/a an Abfällen aus der Sekundärproduktion, wovon bereits etwa 2/3 im Zuge der Behandlung dieser Reststoffe wiedergewonnen werden, der Rest wird deponiert oder in der Zementindustrie verwertet). Schließlich wurden die deponierten Verarbeitungsabfälle mit 800 t/a abgeschätzt (Gesamtsystem: 1.400 t/a).

Auswertung der Stoffbilanz metallisches Aluminium				Erfüllung AWG-Ziele			
				Identifikation Ressourcen- potential	Umwelt- verträglichkeit	Optimale Ressourcen- nutzung	Nachsorge- freie Deponie
	Tonnen bzw. Tonnen / Jahr	kg/EW bzw. kg/EW.a					
3) Aluminium-Verluste im industriellen Bereich							
Aluminium im Rotschlamm (Ö-Anteil)	39.400	4,9		??	!	!	
Deponierte Verarbeitungsabfälle (Ö-Anteil)	800	0,1					
Al in Rückst. d. Aufber. d. Sek.prod.restst. (Ö-Ant.)	2.000	0,2		?	?	?	
4) Aluminium-Verluste im Bereich der Abfallwirtschaft							
Aluminiumabfälle in Restmüllfraktionen	23.300	2,88	100%				
<i>Bauwesen</i>	1.600	0,20	7%				
<i>Transportwesen</i>	0	0,00	0%				
<i>Elektrotechnik</i>	4.500	0,56	19%	!	!	!	
<i>Verpackungen</i>	10.500	1,30	45%	!	!	!	
<i>Sonstiges</i>	6.700	0,83	29%	!	!	!	
oder							
<i>Systemmüll</i>	9.900	1,22	42%	!	!	!	
<i>Sperrmüll</i>	600	0,07	3%				
<i>Gewerbemüll und Baustellenabfall</i>	12.600	1,56	54%	!	!	!	
<i>Bauschutt</i>	100	0,01	0%				
<i>gefährliche Abfälle</i>	100	0,01	0%				
Sortierreste und Shredderrückstände	2.300	0,28					
<i>Sortierrest ARGEV zur thermischen Verwertung</i>	200	0,02					
<i>Shredderrückstände zur Deponie</i>	2.100	0,26		?	?	?	

Tabelle 4-4: Übersicht über die wichtigsten Aluminium-Verluste (deponierte Aluminiumabfälle) im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“.

Die wichtigsten Verluste im Bereich der Abfallwirtschaft sind 12.600 t/a oder 1,56 kg/EW.a an **Aluminium im Gewerbemüll und in Baustellenabfällen** sowie 9.900 t/a oder 1,22 kg/EW.a an **Aluminium im Systemmüll**. 40 - 50 % dieser Menge sind Verpackungen, der Rest ist in Elektro- und Elektronikaltgeräten enthalten bzw. kommt aus den Bereichen „Sonstiges“ und „Bau“.

Der letzte größere Aluminiumverlust sind Aluminiumteile im Ausmaß von 2.100 t/a oder 0,26 kg/EW.a, die trotz der Abscheidung von NE-Metallen in der Shredderschwerfraktion bzw. teilweise auch in der Shredderleichtfraktion verbleiben. Alle anderen Verluste liegen unterhalb von 600 t und sind damit kleiner als 1 % der gesamten Abfallmenge.

4.1.4 Verteilung auf letzte Senken

Die oben angegebenen Verluste von Aluminium betragen insgesamt 67.800 t/a oder 8,4 kg/EW.a (92.300 t/a im Gesamtsystem). 58 % davon gehen als Aluminiumoxid im Rotschlamm auf Rotschlammdeponien, 31 % gelangen auf Reaktor- bzw. Massenabfalldeponien, 10 % sind Bestandteil von Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen und gelangen auf Reststoffdeponien und 1 % gelangt - als Bestandteil von Filteraschen aus Rauchgasreinigungsanlagen - auf Untertage-Deponien (bzw. nach entsprechender Behandlung der Filteraschen auch auf Reststoffdeponien).

Inwieweit sind dies geeignete letzte Senken für Aluminium? Die Eignung einer letzten Senke ergibt sich hier vor allem aus der *langfristigen* Umweltverträglichkeit (nachsorgefreie Deponie). Ein zusätzlicher Aspekt könnte aber auch die Verfügbarkeit für eine spätere Rückgewinnung von Aluminium sein (siehe Diskussion des Ressourcenpotentials von Deponien im folgenden Abschnitt).

Auswertung der Stoffbilanz metallisches Aluminium				Erfüllung AWG-Ziele			
				Identifikation Ressourcenpotential	Umweltverträglichkeit	Optimale Ressourcennutzung	Nachsorgefreie Deponie
	Tonnen bzw. Tonnen / Jahr	kg/EW bzw. kg/EW.a					
Verteilung der Verluste auf letzte Senken							
Rotschlammdeponie (Ö-Anteil)	39.400	4,9	58%	??	!	!	
Reaktordeponie / Massenabfalldeponie	21.300	2,6	31%	??	!	!	
Reststoffdeponie (Ö-Anteil)	6.500	0,8	10%	?		!	
Untertage-Deponie	600	0,1	1%		?		!
Gesamt	67.800	8,4	100%				

Tabelle 4-5: Übersicht über die derzeit verwendeten letzten Senken im System „Metallischer Aluminiumhaushalt Österreichs“.

Nachsorgefreie Deponie:

Aluminiumabfälle sind von einer Schicht aus Aluminiumoxid umgeben, die chemisch relativ stabil ist. Nur bei pH-Werten unter 4 und über 9 kann die schützende Oxidschicht angegriffen bzw. aufgelöst werden, wodurch metallisches Aluminium für Lösungsvorgänge und chemische Reaktionen verfügbar wird.

Bei Rotschlammdeponien, Reaktor- und Massenabfalldeponien sowie Reststoffdeponien sind daher weder Aluminiumemissionen noch Reaktionen des Aluminium(oxids) mit anderen Stoffen zu erwarten. Weitere Ausführungen zur Rotschlammdeponie siehe Abschnitt 3.1.1.

Probleme ergeben sich derzeit nur für jene Aluminiumverluste, die im Zuge einer thermischen Behandlung bzw. Verwertung in Form feiner Partikel mit dem Rauchgas über die Kessel- und Filterasche ausgetragen werden. Diese Aluminiumpartikel können zu einer erheblichen Reaktivität der Aschen führen, indem bei Wasserzutritt im alkalischen Bereich das teilweise noch vorhandene metallische Aluminium (im Inneren der mit einer schützenden Oxidschicht umschlossenen Partikel) unter heftigen exothermen Reaktionen auch Wasserstoff freisetzt. Die Aschen sind somit als reaktiv einzustufen, wobei der Gehalt von 1 % Aluminium in 1 kg Asche 13,4 Liter Wasserstoff (293 K, 1,013 bar) bilden kann. Die Behandlung derar-

tiger als gefährlicher Abfall und als Gefahrgut einzustufenden Aschen ist daher, gegebenenfalls unter Nutzung der dabei frei werdenden Energie, notwendig.

Derzeit gelangt nur 1 % der Aluminiumverluste in Filteraschen. Im Zuge der Umsetzung der Deponieverordnung könnte diese Menge jedoch ansteigen: Wird aus Restmüll auf mechanischem Weg eine „heizwertreiche Leichtfraktion“ für die thermische Verwertung gewonnen, ohne dass zuvor Aluminium durch einen Wirbelstromabscheider zurückgewonnen wird, so gelangt das Aluminium fast ausschließlich in die heizwertreiche Fraktion. Nach der thermischen Verwertung in einem Wirbelschichtofen findet sich das Aluminium überwiegend in der Filterasche. In Müllverbrennungsanlagen gelangen dagegen nur etwa 8 % des metallischen Aluminium im Input in die Filterasche.

4.1.5 Stellenwert der Abfallwirtschaft im gesamten Aluminiumhaushalt Österreichs

Die oben dargestellte Auswertung der Stoffbilanz für Aluminium zeigt, dass die Abfallwirtschaft eine bedeutende Rolle im gesamten Aluminiumhaushalt Österreichs spielt.

Durch die getrennte Erfassung von etwa 75 % aller Aluminiumabfälle bzw. durch die Verwertung von 70 % aller Aluminiumabfälle im Jahr 2001 wurden etwa 35 % des benötigten Primäraluminiums durch Sekundäraluminium ersetzt, wodurch ein entsprechender Anteil der Primärressourcen und Emissionen eingespart wurde.

In den nächsten Jahrzehnten ist damit zu rechnen, dass das Abfallaufkommen wesentlich stärker ansteigen wird als der Aluminiumkonsum. Bei gleichbleibender Erfassungs- bzw. Verwertungsquote wird sich dadurch der Anteil des substituierten Primäraluminiums weiter erhöhen.

4.2 Maßnahmen für die Optimierung der Bewirtschaftung aluminiumhaltiger Abfälle im Hinblick auf die Ziele des AWG

Die im folgenden formulierten Maßnahmen und ihre Reihung nach Priorität ergeben sich ausschließlich aus der *mengenmäßigen* Bedeutung der Flüsse und Lager in der erstellten Stoffbilanz für Aluminium. Die vorliegende Studie enthält keine Analyse und Bewertung technischer, gesamt-ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien, die für eine umfassende Bewertung und Auswahl von Maßnahmen ebenso notwendig sind.

1) Vorkehrungen zur Absicherung des bereits bestehenden hohen Nutzungsgrades des Lagers im Konsum: Maßnahmen in der Abfallwirtschaft

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Stoffflusses derzeit: 50.200 t/a⁴
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: n. b.

Um zu gewährleisten, dass zukünftig die separate Erfassung bzw. Verwertung von Aluminiumabfällen (bei teilweise stark ansteigenden Mengen) auf dem bereits bestehenden, hohen Niveau gehalten werden kann, sollten einige Fragen geklärt werden:

⁴ Im Jahr 2001 getrennt erfasste Aluminiumabfälle ohne Verpackungen = 50.200 t.

- Genaue Zusammensetzung der Lagermengen, insbesondere im Baubereich? Detaillierte Marktdaten inkl. Zeitreihen zur Entwicklung der Einsatzmenge wären dazu notwendig.
- Zu erwartende Probleme bei der zukünftigen getrennten Erfassung und Verwertung? (z. B. aufgrund von Verbundkonstruktionen im Baubereich?)
- Welche Rahmenbedingungen, die zum derzeit hohen Erfassungsgrad führen, können sich in Zukunft ändern (z. B. Verringerung der Erlöse und damit des stärksten Anreizes für die getrennte Erfassung bei stark ansteigenden Mengen)?

Exkurs: Rückgewinnung von Aluminium aus Fahrzeugen:

Die Alt-Pkw Verwertung - und damit die Rückgewinnung von Aluminium - ist in Österreich angesichts der erheblichen administrativen Erschwernisse im Vergleich zu den wichtigen Nachbarstaaten BRD und Italien und der freien grenzüberschreitenden Verbringung „alter Fahrzeuge“ im Jahr 2003 bereits stark rückläufig (die vorläufige Hochrechnung für 2003 ergibt ein Minus von 30 % bezogen auf das Vorjahr) und wird in den kommenden Jahren angesichts der ALSAG - Regelung und weiter ansteigender Wettbewerbsverzerrungen zu allen Nachbarstaaten weiter sinken (persönliche Mitteilungen gemäß Expertengespräch in der WKÖ am 5.11.2003).

2) Rückgewinnung von Aluminium aus Systemmüll, Gewerbemüll und Baustellenabfällen

*Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Stoffflusses derzeit: 22.500 t/a
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: ca. 5.000 - 15.000 t/a.*

Wie bereits beschrieben befinden sich die wesentlichen Aluminiumverluste im Bereich der Abfallwirtschaft in den Abfallfraktionen Systemmüll, Gewerbemüll und Baustellenabfälle. Aufgrund der Deponieverordnung werden diese Abfallfraktionen in Zukunft entweder einer Müllverbrennungsanlage zugeführt oder in einem Splittingverfahren in verschiedene Fraktionen für die weitere Verwertung bzw. Behandlung aufgeteilt. Daraus ergeben sich grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten zur Rückgewinnung von Aluminium aus gemischten Abfällen:

a) Rückgewinnung von Aluminium aus der Schlacke (MVA): Aluminium im Input von Müllverbrennungsanlagen gelangt zu etwa 90 % in die Schlacke. Die Rückgewinnung von Aluminium ist im Zuge einer entsprechenden Schlackeaufbereitung technisch möglich und wurde bei einzelnen Anlagen als Möglichkeit eingeplant.

b) Rückgewinnung von Aluminium in Splittinganlagen: An einer österreichischen Splittinganlage wird derzeit Restmüll durch Siebung, Magnetabscheidung und mit Hilfe eines ballistischen Separators aufbereitet und fraktioniert. Eine Bilanzierung der Anlage hat gezeigt, in welchem Ausmaß NE-Metalle aus der „Mittelfraktion“ (25 - 65 mm) mit einem Wirbelstromabscheider abgetrennt werden können [SKUTAN et al. 2003]. Dadurch werden etwa **45 %** des im Restmüll enthaltenen Aluminiums von der heizwertreichen Fraktion abgezogen und für eine Verwertung gewonnen. Weitere 10 % gelangen über die Schwerfraktion des ballistischen Separators auf die Massenabfalldeponie. Insgesamt werden also etwa 55 % des Aluminium von der eher problematischen Senke „Filterasche“ (im Falle einer thermischen Verwertung der heizwertreichen Fraktion in einem Wirbelschichtofen) zur Verwertung bzw. günstigeren Senke „Massenabfalldeponie“ verlagert.

3) Erhöhung der getrennten Erfassung von Aluminiumabfällen

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Stoffflusses derzeit: 22.500 t/a
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: ca. 2.000 - 5.000 t/a.

Eine Alternative zur Reduktion der Aluminiumverluste über Systemmüll, Gewerbemüll und Baustellenabfall ist die Steigerung der getrennten Erfassung bei der Abfallsammlung. Der Nachteil gegenüber der Abtrennung von Aluminium aus dem Restmüll liegt darin, dass bei der getrennten Erfassung meist verschiedene Sammelsysteme für verschiedene Einsatzbereiche notwendig sind, während bei der Rückgewinnung von Aluminium aus dem Restmüll *alle* enthaltenen Aluminiumabfälle mit dem gleichen Trennverfahren gewonnen werden.

Das Verbesserungspotential dieser Maßnahme ist daher bereits relativ gering. Die vorliegende Stoffbilanz zeigt, dass das größte Potential für eine Steigerung der getrennten Sammlung im Bereich der Verpackungen liegt (10.500 t/a bzw. 1,3 kg/EW.a), gefolgt von Abfällen im Bereich Elektrotechnik (4.500 t/a bzw. 0,6 kg/EW.a). Die separate Erfassung von Elektroaltgeräten wird jedenfalls durch die Umsetzung der EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte ansteigen.

4) Verbesserung der Rückgewinnung von Aluminium in den Outputfraktionen von Shredderanlagen

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Stoffflusses derzeit: 2.100 t/a
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: ca. 500 – 1.500 t/a.

Etwa 85 % des Aluminiums im Input von Shredderanlagen werden durch weitere Aufbereitung der Schredder-Schwerfraktion derzeit bereits zurückgewonnen. Weitere Aufbereitungsschritte im Bereich der Schwerfraktion und auch im Bereich der Leichtfraktion könnten die Ausbeute auf 90 - 95 % steigern.

5) Nutzung von Lagern in der Abfallwirtschaft

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Lagers derzeit: Lagermenge Rotschlammdeponien: ca. 1,06 Mio t; Lagermenge Reaktordeponien: ca. 0,7 Mio t
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: n. b.

Gewinnung von Aluminium aus bereits deponiertem Rotschlamm: Ob und in welchem Ausmaß eine Gewinnung von Aluminium aus dem Rotschlamm möglich ist, wurde in der vorliegenden Studie nicht erhoben.

Gewinnung von Aluminium aus Reaktordeponien bzw. Massenabfalldeponien: Aluminium in Reaktordeponien bzw. Massenabfalldeponien macht höchstens 0,5 - 1,5 % der Gesamtmasse aus. Deponiegut wird daher sicher nicht mit dem alleinigen Ziel der Aluminiumgewinnung aufbereitet werden. Wird Deponiegut aus anderen Gründen aus Deponien entfernt und aufbereitet, ist eine Abtrennung von Aluminium durch einen Wirbelstromabscheider grundsätzlich möglich. Die gewonnenen Aluminiumabfälle müssten danach jedenfalls gereinigt werden, da Anteile von mehr als 2 % organischem Kohlenstoff im Verwertungsprozess ein Problem darstellen (s. Abschnitt 3.2).

In diesem Zusammenhang sollen noch einmal die Aluminiumkonzentrationen in den verschiedenen Aluminiumlagern aufgelistet werden:

- Aus heutiger Sicht abbauwürdige Bauxit-Lagerstätten: ca. 24 % Al
- Derzeit nicht abbauwürdige Bauxit-Lagerstätte in Oberösterreich: ca. 15 % Al
- Material in Rotschlammdeponien: ca. 9 % Al
- Deponierter Restmüll: ca. 1 % Al

4.3 Maßnahmen *außerhalb* der Abfallwirtschaft, die ebenfalls für die Erreichung der Ziele des AWG wesentlich sind

Die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes können nicht nur durch Maßnahmen innerhalb der Abfallwirtschaft erreicht werden. Stoffflussanalysen, die den gesamten Lebenszyklus eines Stoffes in einer bestimmten Region oder einem bestimmten Teil der Volkswirtschaft abdecken, bieten die Möglichkeit, auch außerhalb der Abfallwirtschaft Maßnahmen zu identifizieren, die ebenfalls den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes dienen und deren potentielle Auswirkungen mit den Wirkungen der Maßnahmen innerhalb der Abfallwirtschaft verglichen werden können. Aus der vorliegenden Stoffbilanz für Aluminium ergeben sich folgende Ansätze für Maßnahmen außerhalb der Abfallwirtschaft (die Auswahl und Prioritätensetzung erfolgt auch hier nur aufgrund der mengenmäßigen Relevanz von Flüssen oder Lagern, aber ohne Berücksichtigung technischer, gesamt-ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien):

1) Vorkehrungen zur Absicherung des bereits bestehenden hohen Nutzungsgrades des Lagers im Konsum: Maßnahmen außerhalb der Abfallwirtschaft

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Lagers derzeit: 2,8 Mio t
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: n. b.

Auch aus dem Blickwinkel der Produktion und des Einsatzes von Aluminiumwaren können Vorkehrungen getroffen werden, damit zukünftig die separate Erfassung bzw. Verwertung von Aluminiumabfällen auf dem bereits bestehenden, hohen Niveau gehalten werden kann. Darunter fallen z. B.:

- Produktdesign, das eine separate Erfassung von Aluminium erleichtert (z. B. Vermeidung von Verbundkonstruktionen?)
- Beobachtung des Konsums und evt. Dokumentation der Lagerentwicklung und Lagerzusammensetzung, um das Abfallaufkommen, die Beschaffenheit der Abfälle und die daraus folgenden Maßnahmen für eine möglichst hohe Erfassung rechtzeitig planen zu können.

2) Senkung der Aluminiumverluste in Form von Rotschlamm:

Gesamtmenge des von der Maßnahme betroffenen Stoffflusses derzeit: 39.400 t
Verbesserungspotenzial der Maßnahme: n. b.

Mögliche Maßnahmen zu einer Erhöhung der Ausbeute bei der Gewinnung von Aluminiumhydroxid aus Bauxit wurden in dieser Arbeit nicht untersucht. Wenn die Aluminiumverluste in Richtung Rotschlamm nur um 25 % gesenkt werden könnten, wäre die Auswirkung dieser Maßnahme auf den Aluminiumhaushalt Österreichs ebenso groß wie die Auswirkung der mengenmäßig relevantesten abfallwirtschaftlichen Maßnahme.

5 AUSBLICK

Verwendung der Resultate für den Bundesabfallwirtschaftsplan

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass bei der Optimierung der Bewirtschaftung von Aluminiumabfällen kein dringender Handlungsbedarf besteht. Eine zusammenfassende Darstellung der Studienergebnisse im Bundesabfallwirtschaftsplan könnte folgende Punkte umfassen:

- Darstellung der bereits sehr hohen Verwertungsquoten bei Aluminiumabfällen
- Beschreibung der Bedeutung des bestehenden Lagers im Prozess Konsum für die zukünftige Nutzung von Aluminiumabfällen als Ressource für Sekundäraluminium
- Darstellung möglicher Maßnahmen zur Absicherung einer hohen Verwertungsquote von Abfällen, die aus dem Lager anfallen
- Beschreibung der mengenmäßig wichtigsten Maßnahmen, um die Verluste von Aluminium in Richtung Deponie zu reduzieren.

Forschungsbedarf

Unter den oben formulierten Maßnahmenvorschlägen hat die zukünftige Nutzung des Lagers im Konsum zur Gewinnung von Sekundäraluminium eine zentrale Bedeutung. Um einen möglichst hohen Nutzungsgrad der aus diesem Lager anfallenden Abfälle abzusichern, um Menge und Beschaffenheit der Abfälle möglichst gut prognostizieren zu können und um die daraus resultierenden Maßnahmen rechtzeitig planen zu können, sollten besonders folgende Fragen geklärt werden („Lagermanagement“):

- Genaue Zusammensetzung der Lagermengen, insbesondere im Baubereich?
- Welche Rahmenbedingungen, die zum derzeit hohen Erfassungsgrad führen, können sich ändern?
- In welchen Bereichen sollte die separate Erfassung von Aluminium durch Änderungen im Produktdesign erleichtert werden?
- Durch welche Daten bzw. Aktivitäten auf der Seite des Marktinputs kann die Entwicklung von Mengen und Qualitäten im Lager quantifiziert und dokumentiert werden?

Weiters wäre zu klären, in welchem Ausmaß die Reduktion von Aluminiumverlusten in Richtung Rotschlamm zur Verbesserung der Ressourcennutzung tatsächlich möglich und sinnvoll ist (technische, ökonomische und ökologische Analyse). Diese möglicherweise wichtigste Maßnahme außerhalb der Abfallwirtschaft könnte im gesamten Aluminiumhaushalt mehr bewirken als alle anderen Maßnahmen zur Verringerung von Aluminiumverlusten im Bereich der Abfallwirtschaft.

Schließlich sollte durch Kosten-Nutzen-Analysen geklärt werden, unter welchen Rahmenbedingungen und bis zu welchem Ausmaß eine Rückgewinnung von Aluminium im Rahmen von Restmüll-Splitting bzw. aus der Schlacke von Müllverbrennungsanlagen sinnvoll ist.

6 LITERATUR

6.1 Publikationen

- ARGEV (2002): Leistungsbericht 2001, Wien.
- BLUME, J., SIMM, A. (1994): Sichtanalyse des im Landkreis Böblingen deponierten Gewerbe- und Baustellenabfalls, in: AbfallwirtschaftsJournal 6 (1994), p89ff, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin.
- BOGUSLAWSKI, E. (1981): Ackerbau – Grundlagen der Pflanzenproduktion, DLG Verlags GmbH, Frankfurt/Main.
- DAXBECK et al. (2003): Güterhaushalt Österreich - Abfallwirtschaft als Teil des Ressourcenmanagements – welches sind die wichtigsten Güter- und Abfallflüsse?, Wien.
- DAXBECK, H., MERL, A., RITTER, E., BRUNNER, P.H. (2000): Analyse der Flüsse des lizenzierten Aluminiums in Österreich, Endbericht
- EAA (2003): Daten der European Aluminium Association, die unter www.eaa.net/statistics veröffentlicht wurden.
- EUROSTAT (2002): Statistisches Jahrbuch
- FHA (2002): Restmengenziele 2001: Endbericht zur Kontrolle der Restmengenziele von Abfällen an sonstigen Verpackungen. FHA - Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH, Wien.
- Forschungsinstitut für Chemie und Umwelt TU Wien (1997): Ökologische Betrachtung von Fenstern aus verschiedenen Werkstoffen
- GLENCK et al. (1997): Baurestmassen in Oberösterreich Stoffbilanzen der Bauwirtschaft – BRIO-S Vorstudie. Oberösterreichische Landesregierung (Hrsg.), Wien
- GLENCK et. al. (1996): Anhang - Güterbilanz der Bauwirtschaft Baurestmassen in Oberösterreich – BRIO. Oberösterreichische Landesregierung (Hrsg.), Wien
- GLENCK et. al. (1996): Güterbilanz der Bauwirtschaft Baurestmassen in Oberösterreich – BRIO. Oberösterreichische Landesregierung (Hrsg.), Wien
- GUA & T. VOGEL-LAHNER (2003): Ausrichtung der Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten - Bauwerk Österreich; Wien.
- GUA, AC NIELSEN, DELOITTE & TOUCHE, ÖIV, TB HAUER (2001): Stoffbilanz für Metallverpackungen nach Branchen, Fraktionen und Entsorgungsschienen in Österreich, im Auftrag der Altstoff Recycling Austria AG, Wien.
- GUA, TU WIEN (2000): Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND), Monographien Band 149, Umweltbundesamt Wien
- HABERSATTER et al. (1998): Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 250, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- HIMMEL, W. (2003): Stand der Restmüllbehandlung - Auswirkungen der Deponieverordnung, Vortrag bei ÖWAV-Seminar in der Wirtschaftskammer Österreich, Wien.

- INTERCONNECTION (2003): Fenster in Österreich 2002
- NOVAK, E. (2001): Verwertungsmöglichkeiten für ausgewählte Fraktionen aus der Demontage von Elektroaltgeräten - Teil 1 - Kunststoffe aus Elektroaltgeräten, Schriftenreihe des BMLFUW Band 22/2001, Wien
- ÖKK (2002): Analyse der Mischkunststofffraktion, Bezugsjahr 2000. Österreichischer Kunststoffkreislauf AG, Wien
- Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik (1991): Ökologische Betrachtung der Fenster-Profil-Werkstoffe Kunststoff, Aluminium, Holz
- REYNOLDS, A. (2002): Raw materials usage in the European cable industry, paper given at Cables 2002 conference, 19.-21. March 2002
- RÖMPP (1995) Chemie Lexikon, Thieme Verlag, Stuttgart.
- Skutan, S., Cencic, O., Brunner, P. H. (2003): Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (SEMBA). Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien.
- STROH, R.; NEUBACHER, F.; BRADAC, S. (1994): Reststoffe aus der Aluminium – Verhüttung, Report UBA – 94 – 096, Umweltbundesamt, Wien.
- STUBENVOLL, J., BÖHMER, S., SZEDNYJ, I. (2002): Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- TRITREMMELE, H. (1996): Technische, ökologische und ökonomische Leistungen und Innovationspotentiale von Aluminiumprodukten im Bauwesen – Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung, Diplomarbeit am Institut für Technologie und Warenwirtschaftslehre der Wirtschaftsuniversität Wien
- TUSCH (1995): Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten - Stand der Verwertung und Mindestanforderungen für die Zukunft, Interdisziplinäres Projekt- Technischer Umweltschutz, Universität für Bodenkultur und Technische Universität Wien.
- UV&P (1995): Abfallwirtschaftskonzept zum Alu-Recycling Kombi-Projekt in Kematen / Ybbs, UV&P Umweltmanagement – Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH, Wien.
- UV&P (2000): Stand der Technik in der Sekundäraluminiumherzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie, UV&P Umweltmanagement – Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH, Umweltbundesamt Monographien Band 120, Wien.
- UV&P (2001): Technische Grundlagen zur Umsetzung der Altfahrzeugrichtlinie in Österreich, UV&P Umweltmanagement – Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH, Wien.
- UVE, GRP (1997): Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren. UVE Umweltmanagement und -planung GmbH, GRP Goepfert, Reimer & Partner Ingenieurgesellschaft.
- WKÖ (2002): Umweltverträgliches Alt-Pkw Recycling: Freiwillige Vereinbarung in Österreich – Berichtsjahr 2001, Wirtschaftskammer Österreich, Abteilung für Umwelt-, Energie- und Infrastrukturpolitik, Wien.

WKÖ (2003): Umweltverträgliches Alt-Pkw Recycling: Freiwillige Vereinbarung in Österreich – Berichtsjahr 2002, Wirtschaftskammer Österreich, Abteilung für Umwelt-, Energie- und Infrastrukturpolitik, Wien.

6.2 Auskünfte

Alle 2003

Fachverband der Metallindustrie Österreichs

Heidrich, GDA Gesamtverband der deutschen Aluminiumindustrie

Denk, Salzburger Aluminium AG

Sams, Amag-Metall GmbH

Flankl, Hütte Klein Reichenbach Gmb

Neubacher, UV&P GmbH, Wien: Auskünfte auf Basis eines vertraulichen Experteninterviews

Heinrich, Letouze, Geologische Bundesanstalt

Fachverband der Holzindustrie Österreich

Initiative Pro Holz

Mestanza, SpecialChem

Systemanbieter für Aluminiumprodukte im Hochbau, telefonische Auskunft

DI Theresia Vogel-Lahner, Wien

6.3 Links

Alle 2003

Forst-Platte-Papier: www.fpp.at

GDA: www.aluinfo.de

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg:

<http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/lba24/heft2459.htm>