

Klimarelevanz ausgewählter
Recycling-Prozesse in Österreich

Endbericht

KLIMARELEVANZ AUSGEWÄHLTER RECYCLING-PROZESSE IN ÖSTERREICH

Endbericht

Helmut Frischenschlager
Brigitte Karigl
Christoph Lampert
Werner Pölz
Ilse Schindler
Maria Tesar
Herbert Wiesenberger
Brigitte Winter



Projektleitung

Christoph Lampert, Umweltbundesamt

wissenschaftliche Begleitung

Univ. Prof. i. R. Dipl. Ing. Dr. techn. habil. Dr.-Ing. E. h. Albert Hackl

AutorInnen

Helmut Frischenschlager, Umweltbundesamt

Brigitte Karigl, Umweltbundesamt

Christoph Lampert, Umweltbundesamt

Werner Pölz, Umweltbundesamt

Ilse Schindler, Umweltbundesamt

Maria Tesar, Umweltbundesamt

Herbert Wiesenberger, Umweltbundesamt

Brigitte Winter, Umweltbundesamt

Lektorat

Maria Deweis, Umweltbundesamt

Satz/Layout

Ute Kutschera, Umweltbundesamt

Umschlagbild

© Maria Tesar, Umweltbundesamt

Diese Publikation wurde im Auftrag des BMLFUW, Abteilung VI/3 erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-105-5

INHALT

	ZUSAMMENFASSUNG	7
	SUMMARY	9
1	EINLEITUNG	11
2	METHODIK	12
3	ABFALLWIRTSCHAFTLICHER RUCKSACK	15
3.1	Aufbereitung von Altmetallen	15
3.1.1	Betrachtete wesentliche Verfahrensschritte	15
3.1.2	Datenbasis	15
3.1.3	Ermittlung Input-Daten für GEMIS	16
3.2	Aufbereitung von Glas	24
3.3	Aufbereitung von PET	25
3.4	Transportabschätzungen	25
3.4.1	Transport metallhaltiger Abfälle zur ersten Behandlungsanlage	25
3.4.2	Transporte metallangereicherter Fraktionen zu weiteren Aufbereitungsanlagen	26
3.4.3	Transporte der Metallfraktionen von Aufbereitungsanlagen zur Sekundärproduktionsanlage	26
3.4.4	Transporte von Altglas	27
3.4.5	Transporte von PET	27
4	ALUMINIUM	29
4.1	Marktfähige Zwischenprodukte	29
4.2	Primärproduktion von Aluminium	30
4.2.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	30
4.2.2	Berechnung mit GEMIS	31
4.3	Sekundärproduktion von Aluminium	32
4.3.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	33
4.3.2	Berechnung mit GEMIS	34
4.4	Rucksack aus der Abfallwirtschaft	35
4.5	KEA und THG-Emissionen bei der Aluminiumproduktion	36
4.5.1	KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	36
4.5.2	KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	37
4.6	Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Aluminium	39
5	KUPFER	40
5.1	Marktfähiges Zwischenprodukt	40

5.2	Primärproduktion von Kupfer	40
5.2.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	40
5.2.2	Berechnung mit GEMIS	41
5.3	Sekundärproduktion von Kupfer	42
5.3.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	43
5.3.2	Berechnung mit GEMIS	44
5.4	Rucksack aus der Abfallwirtschaft	45
5.5	KEA und THG-Emissionen bei der Kupferproduktion	46
5.5.1	KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	46
5.5.2	KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	46
5.6	Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Kupfer	47
6	EISEN/STAHL	49
6.1	Marktfähiges Zwischenprodukt	49
6.2	Primärproduktion von Eisen/Stahl	49
6.2.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	49
6.2.2	Berechnung mit GEMIS	51
6.3	Sekundärproduktion von Eisen/Stahl	52
6.3.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	53
6.3.2	Berechnung mit GEMIS	54
6.4	Rucksack aus der Abfallwirtschaft	54
6.5	KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von Eisen/Stahl	55
6.5.1	KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	55
6.5.2	KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	56
6.6	Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Eisen/Stahl	59
7	GLAS – BEHÄLTERGLAS	60
7.1	Marktfähiges Zwischenprodukt	60
7.2	Primärproduktion von Behälterglas	60
7.2.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	60
7.2.2	Berechnung mit GEMIS	61
7.3	Sekundärproduktion von Behälterglas	62
7.3.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	62
7.3.2	Berechnung mit GEMIS	62
7.4	Rucksack aus der Abfallwirtschaft	63
7.5	KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von Behälterglas	63
7.5.1	KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	63
7.5.2	KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	64
7.6	Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Behälterglas	66

8	PET-GETRÄNKEFLASCHEN	68
8.1	Marktfähiges Zwischenprodukt	68
8.2	Primärproduktion von PET-Getränkeflaschen	68
8.2.1	Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte	70
8.2.2	Berechnung mit GEMIS	70
8.3	Sekundärproduktion von PET-Getränkeflaschen	72
8.3.1	Betrachtete wesentliche Verfahren und Prozessschritte	72
8.3.2	Berechnung mit GEMIS	74
8.4	Rucksack aus der Abfallwirtschaft	74
8.5	KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von PET-Getränkeflaschen	74
8.5.1	KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	74
8.5.2	KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	76
8.6	Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von PET-Getränkeflaschen	78
9	KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND UND THG-EMISSIONEN DER UNTERSUCHTEN ZWISCHENPRODUKTE	79
9.1	Spezifischer Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Primärproduktion	79
9.2	Spezifischer Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion	80
9.3	Spezifische Einsparungen an KEA und THG-Emissionen durch Substitution von Primärrohstoffen	82
10	EINSPARUNGEN DURCH EINSATZ VON SEKUNDÄRROHSTOFFEN	85
10.1	Aufkommen und erzeugbare Mengen an Zwischenprodukten	85
10.2	Einsparung an KEA und THG-Emissionen durch die betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse	87
11	ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	92
12	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	98
13	LITERATURVERZEICHNIS	99
14	ANHANG	101

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Projektes war ein Vergleich der klimarelevanten Emissionen bei der Herstellung von ausgewählten marktfähigen Zwischenprodukten aus Primärrohstoffen einerseits (Primärproduktion) und unter Verwendung von Abfällen/Altstoffen aus ausgewählten Recyclingprozessen andererseits (Sekundärproduktion). Dabei wurden die Vorkette bei der Primärproduktion (Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, Transport etc.) sowie der Abfallwirtschaftliche Rucksack (Materialaufbereitung, Transport etc.) mit berücksichtigt.

Es wurden Aluminium, Kupfer, Eisen/Stahl, grünes Behälterglas und PET-Flaschen betrachtet.

In Hinblick auf angewendete Produktionsverfahren, eingesetzte Energieträger, Aufbereitungsverfahren, Transportdistanzen etc. wurde so weit wie möglich die österreichische Situation herangezogen.

Als Berechnungsgrundlage diente das GEMIS-Modell (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme).

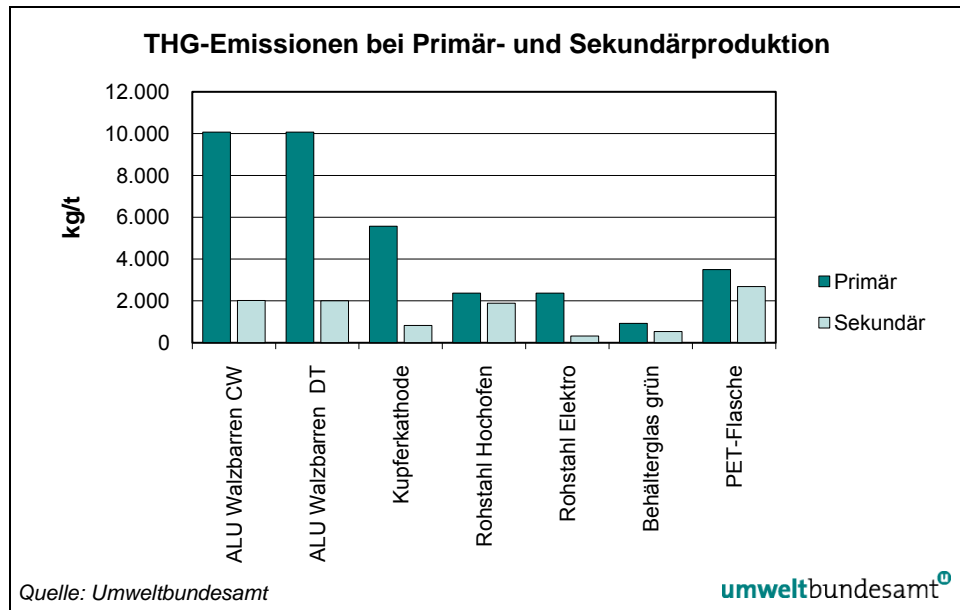
Bei der Primärproduktion ist der **kumulierte Energieaufwand** (KEA) zur Erzeugung einer Tonne marktfähigen Zwischenproduktes bei Aluminium mit rund 120 GJ/t am höchsten. Etwas niedriger ist jener für die Produktion von PET-Flaschen (105 GJ/t). Der KEA bei der Herstellung von Kupfer beträgt rund 50 %, jener von Eisen/Stahl rund 20 % und jener von grünem Behälterglas rund 10 % des KEA von Aluminium.

Beträchtliche Energieaufwendungen finden in der **Vorkette** statt, am höchsten sind diese durch die Erdölraffination bei PET (88,5 %). Bei grünem Behälterglas, Kupfer und Eisen/Stahl fallen 34–45 % des KEA in der Vorkette an. Bei Aluminium ist aufgrund der energieintensiven Elektrolyse die Vorkette (Abbau Bauxit, Tonerdeherstellung) mit 17 % des KEA weniger bedeutend.

Die höchsten **spezifischen THG-Emissionen** treten bei der Produktion von Aluminium auf (rund 10 t THG/t Aluminium), gefolgt von Kupfer mit rund 5,6 t. Die niedrigsten spezifischen THG-Emissionen entstehen bei der Produktion von grünem Behälterglas (rund 1 t THG/t Glas).

Bei den THG-Emissionen werden im Vergleich zwischen **Primär- und Sekundärproduktion** die mit Abstand größten Einsparungen bei Aluminium erzielt. Bei der Produktion von einer Tonne Aluminium mit einem Anteil von 15 % Primäraluminium werden um rd. 8.000 kg weniger Treibhausgase emittiert als bei einer reinen Erzeugung aus Primärrohstoffen. Etwa halb so hoch (4.750 kg) ist die Einsparung je Tonne Kupfer, 2.050 kg/t beträgt sie bei der Elektrostaahlerzeugung (100 % Schrott, Vergleich mit Primärproduktion im Hochofen). Der Einsatz von 30 % PET-Rezyklat verringert die THG-Emissionen um 710 kg/t. Bei Rohstahl aus dem Hochofen (30 % Schrott) und dem Glasrecycling (75 % Scherben) verringern sich die THG-Emissionen um 480 kg/t (Rohstahl) bzw. um 385 kg/t (Glas).

Die höchsten **relativen Einsparungen** an THG Emissionen liegen bei Elektrostaahl (86,5 %), gefolgt von Kupfer (85 %) und Aluminium (80 %, bei Annahme von 15 % Primäraluminiumeinsatz). Die Einsparung bei Aluminium ist bei einem 100%igen Schrotteinsatz deutlich höher (97 %). Die Einsparung bei Glas beträgt 42 %, bei PET 23 % und bei Rohstahl aus der Hochofenroute 20 %.



CW ... Closed well Ofen DT ... Drehtrommelofen

Aluminium: Annahme 15 % Primäranteil; Kupfer: 100% Sekundärproduktion;

Rohstahl Hochofen: 30% Schrott; Rohstahl Elektroofen: 100% Sekundärproduktion;

Glas: 75 % Scherben; PET: 30 % Rezyklat

Abbildung: Spezifische THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion marktfähiger Zwischenprodukte (in kg/t)

Eine Steigerung der getrennt gesammelten oder aus verschiedenen Abfallströmen rückgewonnen Altmetalle ist daher aus Sicht des Klimaschutzes zielführend. Die Rückgewinnung von Metallfraktionen aus der Müllverbrennungsschlacke für den Einsatz in der Sekundärmetallproduktion ist aus Sicht des Klimaschutzes ebenfalls positiv. Die daraus resultierenden zusätzlichen Alt-Metallmengen sind allerdings gering (im Bereich einiger 1.000 – 10.000 Tonnen).

Da es bei Aluminium, Kupfer und PET keine Primärproduktion in Österreich gibt, werden die erzielbaren Einsparungen beim KEA und den THG-Emissionen global wirksam. Zusätzlich nationale THG-Reduktionspotenziale gibt es in geringem Umfang bei Rohstahl aus dem Hochofen und bei grünem Behälterglas.

Der abfallwirtschaftliche Rucksack der betrachteten Altstoffe durch Transporte und Aufbereitungsprozesse ist in Relation zum kumulierten Energieaufwand und den THG-Emissionen der Primärproduktion vernachlässigbar. Die Aufwendungen in der Abfallwirtschaft (Energie, THG-Emissionen) zur Gewinnung der betrachteten Sekundärrohstoffe könnten daher noch deutlich erhöht werden, ohne dass die klimarelevanten Einsparungen der Sekundärproduktion im Vergleich zur Primärproduktion aufgezehrt würden.

SUMMARY

The aim of the project was to compare climate-relevant emissions during the production of selected marketable semi-finished products from primary raw materials (primary production) with emissions arising when using wastes/waste materials from selected recycling processes (secondary production). Upstream primary production chains (raw material extraction, processing and transport etc.) and emissions from waste management (material processing, transport etc.) were considered as well.

The materials examined in this study are aluminium, copper, iron/steel, green container glass and PET bottles.

The production processes, energy sources, treatment methods, transport distances etc. refer as closely as possible to the situation in Austria.

The calculation basis used in this project was the GEMIS model (Global Emission Model of Integrated Systems).

In primary production, the cumulated energy requirement (CER) for one tonne of a marketable semi-finished product is highest for aluminium (about 120 GJ/t). It is slightly lower for the production of PET bottles (105 GJ/t). The CER in copper production is about 50% of the CER for aluminium, while it is about 20% for iron/steel and about 10% for green container glass.

The energy used in the **upstream chain** was found to be substantial, with highest requirements for PET (88.5%) due to oil refining. For green container glass, copper and iron/steel 34-45% of the CER is used in the upstream chain. For aluminium the upstream chain (accounting for 17% of the CER) is less important because of the energy-intensive electrolysis process (bauxite extraction, aluminium oxide production).

The highest levels of **specific GHG emissions** arise from the production of aluminium (about 10 t of GHGs/t of aluminium), followed by copper with about 5.6 t. Specific GHG emission levels are lowest for the production of green container glass (about 1 t of GHGs/ t of glass).

When comparing **primary and secondary production**, by far the most important reductions of GHG emissions are achieved for aluminium. GHG emissions arising from the production of one tonne of aluminium containing a 15% share of primary aluminium are about 8,000 kg less than GHG emissions from production processes using purely primary raw materials. The reduction is about half as much (4,750 kg) for each tonne of copper, 2,050 kg/t for electric steel production (100% scrap, compared to primary production in the blast furnace). Using 30% of recycled PET reduces GHG emissions by 710 kg/t. When using crude steel from the blast furnace (30% scrap) and recycled glass (75% broken glass), GHG emission are reduced by 480 kg/t (crude steel) and 385 kg/t (glass).

The highest **relative reductions** of GHG emissions are achieved with electric steel (86.5%), followed by copper (85%) and aluminium (80%, assuming a 15% share of primary aluminium). The reductions achieved for aluminium are considerably higher when using 100% scrap (97%). The reduction achieved for glass is 42%, while it is 23% for PET and 20% for crude steel from the blast furnace route.

The way forward from the perspective of climate change mitigation is thus to increase the scrap metal quantities, either from separate collections or by scrap metal recovery from different waste streams. Using metal fractions recovered from waste incineration slag in secondary metal production has a positive effect in terms of climate change mitigation as well. The amount of additional scrap metal obtained in this way, however, is low (within a range of some 1,000 – 10,000 tonnes).

Since there are no primary production processes for aluminium, copper and PET in Austria, achievable reductions in terms of CER and GHG emissions are effective on the global level. There are additional national GHG reduction potentials on a smaller scale for crude steel from the blast furnace and for green container glass.

The emissions associated with the transport and processing of the waste materials considered in this project are negligible compared to the CER and GHG emissions attributed to primary production. Efforts of waste management (energy, GHG emissions) to extract the secondary raw materials considered in this study could thus be substantially increased without diminishing climate-relevant reductions in secondary production in comparison to primary production.

1 EINLEITUNG

Die Herstellung von Produkten ist vielfach mit der Emission klimarelevanter Gase verbunden. Je nach Produktart sind diese Emissionen durch den Einsatz von Energie verursacht und/oder entstehen im Prozess selbst. Emissionen entstehen jedoch nicht nur an der Produktionsstätte sondern auch in der Vorkette bei der Gewinnung und Herstellung von Ausgangsmaterialien, deren Transport etc. Werden die Emissionen der Vorkette in diejenigen am Produktionsstandort mit einbezogen, so können die Umweltauswirkungen von Produkten in der gesamten Wertschöpfungskette dargestellt werden. Dadurch werden die Produkte in Bezug auf ihre Umweltmissionen vergleichbar.

Ziel des Projektes war ein Vergleich der klimarelevanten Emissionen bei der Herstellung von ausgewählten marktfähigen Zwischenprodukten aus Primärrohstoffen einerseits (Primärproduktion) und unter Verwendung von Abfällen/Altstoffen aus ausgewählten Recyclingprozessen andererseits (Sekundärproduktion).

Dabei wurde in Hinblick auf angewendete Produktionsverfahren, eingesetzte Energieträger, Aufbereitungsverfahren, Transportdistanzen etc., so weit wie möglich die österreichische Situation betrachtet.

Es wurden folgende abfallwirtschaftlich relevante Materialien ausgewählt: Aluminium, Kupfer, Eisen/Stahl, grünes Behälterglas, PET-Flaschen.

Um die klimarelevanten Emissionen bei der Primär- und der Sekundärproduktion vergleichen zu können, wurden jeweils die spezifischen Emissionen in Kohlendioxid-Äquivalenten pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt berechnet. Zusätzlich wurde der jeweilige spezifische Kumulierte Energieaufwand (KEA) bei den Produktionsverfahren ausgewiesen. Dadurch können die Einsparungen an klimarelevanten Gasen und kumuliertem Energieaufwand je Tonne erzeugten Zwischenprodukts errechnet werden.

Des Weiteren wurde ein Überblick über das Aufkommen ausgewählter Abfallströme, die nach der Aufarbeitung in der Sekundärproduktion eingesetzt werden sowie die in Österreich insgesamt eingesetzten Mengen an aufbereiteten Abfällen/Altstoffen gegeben.

Die in dieser Studie betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse waren die Metallrückgewinnung aus Schlacken der Restmüllverbrennung (MVA-Schlacke) sowie die Wertstoffrückgewinnung aus der getrennten Sammlung von Altstoffen. Bei letztgenanntem Recyclingprozess wurden neben der Metallrückgewinnung zusätzlich das Recycling von Glas und PET¹ berücksichtigt.

Projektziel

Errechnung von Einsparungs- potenzialen

untersuchte abfallwirtschaftliche Recyclingprozesse

¹ PET...Polyethylenterephthalat

2 METHODIK

GEMIS-Modell Für die Ermittlung der Kumulierten Energieaufwände (KEA) und der klimarelevanten Emissionen bei der Produktion der marktfähigen Zwischenprodukte bei der Primär- und Sekundärproduktion wurde das Emissionsmodell GEMIS (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) bzw. die teilweise an österreichische Bedingungen angepasste Version GEMIS Österreich Vers.4.5 verwendet.

GEMIS berücksichtigt alle wesentlichen Prozesse von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- und Stoffbereitstellung und bietet somit die Möglichkeit, neben den produktspezifischen lokalen Emissionen auch die vorgelagerten Emissionen zu berücksichtigen. In diesem Projekt wurden jedoch der Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen und die entsprechenden Energieaufwendungen und klimarelevanten Emissionen nicht berücksichtigt.

Ermittlung des KEA Der KEA ist die Gesamtheit aller primärenergetisch bewerteten, direkten und indirekten Energieaufwendungen bis zum marktfähigen Zwischenprodukt. Dies bedeutet, dass auch die Wirkungsgrade von Kraftwerken (Kohle, Gas etc.) über den KEA abgebildet werden. Dabei ist beispielweise für Wasserkraft ein Wirkungsgrad von 100 % hinterlegt. Dies führt dazu, dass der KEA im Strommix verschiedener Nationen je nach Kraftwerkspark unterschiedlich ist. Somit berechnen sich je nach verwendetem Strommix für exakt gleiche technische Verfahren unterschiedlich hohe kumulierte Energieaufwendungen.

Ermittlung der THG Die klimarelevanten Emissionen werden in GEMIS zu CO₂-Äquivalenten aggregiert. Dabei werden die Treibhausgase (THG) Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) erfasst. Je nach betrachtetem Material und Produktionsverfahren sind jedoch nicht alle Treibhausgase relevant und folglich nicht in GEMIS abgebildet.

Als Zeithorizont wurde für die Klimarelevanz der einzelnen Treibhausgase in den GEMIS-Berechnungen 100 Jahre angesetzt. Die verwendeten Treibhausgasfaktoren (Äquivalenzfaktoren) sind in Tabelle 1 abgebildet.

Im Bericht angegebene Emissionen an THG sind immer als CO₂-Äquivalente zu verstehen.

Tabelle 1: In den GEMIS-Berechnungen verwendete Treibhausgasfaktoren (IPCC 2007).

Treibhausgas	Treibhausgasfaktor	Treibhausgas	Treibhausgasfaktor
CO ₂	1	HFC-143a	4.470
CH ₄	25	SF ₆	22.800
N ₂ O	298	Perfluormethan	7.390
HFC-23	14.800	Perfluoraethan	12.200
HFC-32	675	Perfluorcyclobutan	10.300
HFC-43-10mee	1.640	Perfluorhexan	9.300
HFC-125	3.500	Perfluorpropan	8.830
HFC-134a	1.430	Perfluorbutan	8.860
HFC-152a	124	Perfluorpentan	9.160

Je nach betrachtetem Material und Produktionsverfahren werden unterschiedliche Energieträger eingesetzt. Mit Ausnahme von Strom schwanken die Emissionsfaktoren „innerhalb“ eines Energieträgers nur sehr gering. Bei Strom ist jedoch je nach Land von unterschiedlichen Emissionsfaktoren auszugehen, da die Bereitstellung durch einen ganz unterschiedlichen Mix an Energieträgern erfolgt (Anteil Wasserkraft, kalorische Kraftwerke, Atomkraftwerke etc.).

Bei der Primärproduktion wurden bei stromintensiven Prozessen unterschiedliche Strommixe eingesetzt um die Relevanz für die Treibhausgasemissionen aufzeigen zu können:

- Strommix Österreich
- Strommix Deutschland
- Strommix UCTE (europäischer Strommix)
- Strommix Norwegen (nur bei Aluminium)

Als Bezugsjahr für den Strommix wurde aus Gründen der Datenverfügbarkeit das Jahr 2005 gewählt.

Tabelle 2: Spezifische Emissionsfaktoren und KEA (Bezugsjahr 2005).

	gesamte CO ₂ -Emissionen (in g/kWh)	gesamte CO ₂ -Äquivalent-Emissionen (in g/kWh)	KEA (in kWh/kWh)*
Strombereitstellung Österreich	249	281	1,56
Strombereitstellung Deutschland	625	650	2,89
Strombereitstellung UCTE-Mix	454	480	2,8

* je nach Land unterschiedlicher Mix an Energieträgern (Anteil Wasserkraft, kalorische Kraftwerke, Atomkraftwerke etc.) und entsprechende Wirkungsgrade

Da in GEMIS nicht alle betrachteten Produktionsverfahren abgebildet bzw. die enthaltenen Verfahren nicht mit österreichischen Datensätzen angelegt sind, wurden in diesen Fällen einerseits neue Prozesse in GEMIS angelegt und andererseits nach Möglichkeit österreichische Datensätze integriert. Dazu wurden über Literaturrecherche, telefonische und/oder schriftliche Kontaktaufnahme mit Betreibern von Anlagen und Interessenverbänden die benötigten Daten erhoben.

Für die Berechnung der Emissionen beim Transport der in der Abfallwirtschaft rückgewonnen Materialien wurden im GEMIS-Modell durchschnittliche Transportdistanzen angenommen (Annahme einer hypothetischen Zentralanlage). In Fällen, in denen genauere Daten vorlagen, wurden die Eingangsdaten entsprechend verfeinert.

Energieaufwendungen für die Beseitigung der bei der Aufbereitung von Abfällen/Altstoffen für die Recyclingprozesse sowie in manchen Sekundärprozessen anfallenden Reststoffe wurden nicht betrachtet.

nationaler Strommix

Transport-Emissionen

abfallwirtschaftlicher Rucksack

Bei der Berechnung des abfallwirtschaftlichen Rucksacks wurden die eingesetzte Energie sowie die erzeugten Emissionen an Treibhausgasen wie folgt den betrachteten Materialien zugeordnet:

- Die bei der Rückgewinnung von Metallen aus der Schlacke von Müllverbrennungsanlagen aufgewendete Energie und resultierende Emissionen werden vollständig dem Gehalt an Metallen zugeordnet (Variante 1).
- Bei der Aufbereitung von Altschrott ab Shredderanlagen werden die aufgewendete Energie und die resultierenden Emissionen sowohl auf den Gehalt an Metallen (Variante 1) als auch auf den Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat (Variante 2) zugeordnet.
- Die bei der getrennten Sammlung von Metallen (Verpackungsmaterial inklusive stoffgleiche Nichtverpackungen) aufgewendete Energie und die resultierenden Emissionen werden sowohl vollständig dem Gehalt an Metallen (Variante 1) als auch dem Gehalt an Metallen und rezykliertem² Kunststoffgranulat (Variante 2) zugeordnet. Die bei der getrennten Sammlung von Glas und Kunststoffen (PET) aufgewendete Energie und die resultierenden Emissionen werden vollständig den erzeugten Fraktionen von Altglas und PET zugeordnet.
- Wird in der Sekundärproduktion zur Erzeugung des marktfähigen Zwischenprodukts Primärmaterial zugesetzt, so werden dessen Emissionen in der Vorkette mit berücksichtigt.

² Gemäß der Definition der Abfallrahmenrichtlinie ist „Recycling“ jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

3 ABFALLWIRTSCHAFTLICHER RUCKSACK

Der abfallwirtschaftliche Rucksack für die betrachteten Abfallströme setzt sich aus dem Aufwand für die Behandlung/Aufbereitung der gesammelten Materialien und dem Aufwand für den Transport der erfassten Materialien zu den Aufbereitungsanlagen und von diesen zu den Verwertern (Sekundärproduktion) zusammen.

3.1 Aufbereitung von Altmetallen

3.1.1 Betrachtete wesentliche Verfahrensschritte

Bei der Metallrückgewinnung aus „Altschrott gesamt“ (getrennt gesammeltes Verpackungsmaterial, Elektroaltgeräte, Altfahrzeuge, Schrott aus Müllverbrennungsanlagen und aus mechanisch biologischen Anlagen und übrigem Misch- und Sammelschrott) wurde die Aufbereitung in Großshredder-Anlagen sowie die nachgeschaltete Aufbereitung der Outputfraktionen in Metallaufbereitungsanlagen und Post-Shredder-Anlagen betrachtet. Dabei wurde die allenfalls durchgeführte Vorbehandlung von bestimmten Abfallarten (z. B. Altfahrzeuge³, Elektro- und Elektronikaltgeräte, diverser Misch- und Sammelschrott) vor dem Einbringen in Großshredder-Anlagen nicht berücksichtigt.

Bei MVA-Schlacken wurde die Behandlung von (nass ausgetragener) Schlacke aus Rostfeuerungen in einer Schlackeaufbereitungsanlage, die Aufbereitung der erhaltenen Fe-Fraktion in Großshredder-Anlagen und die Aufbereitung der NE⁴-angereicherten Fraktionen in Metallaufbereitungsanlagen betrachtet. Nicht berücksichtigt wurde die Abtrennung von Fe-Grob, wenn sie direkt bei der MVA erfolgte.

3.1.2 Datenbasis

Für die Aufbereitung von Altschrott in Großshredder-Anlagen lagen Durchschnittsangaben der sechs österreichischen Großshredder-Betriebe zum Energieeinsatz, zum Gesamtdurchsatz, zur Verteilung des Durchsatzes nach Abfallarten sowie zur Verteilung der anfallenden Fraktionen je Abfallart vor. Die Daten wurden mit Unterstützung der ARGE Shredder erhoben (Bezugsjahre: 2008, 2009).

Für Schlackeaufbereitungsanlagen wurden Daten von der Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien zum Gesamtenergieeinsatz, zur Verteilung der anfallenden Fraktionen und zu deren durchschnittlichen Metallgehalten für die in Wien betriebene „Entmetallisierungsanlage“ zur Verfügung gestellt.

³ Für Trockenlegung und Teildemontage liegen Literaturangaben von 5 kWh/t AFZ vor (FRAUNHOFER INSTITUT 2004).

⁴ NE: Nicht-Eisen

Für die nachgeschaltete Aufbereitung von Fraktionen aus Großshredder-Anlagen bzw. aus Schlackeaufbereitungsanlagen wurden im Rahmen dieser Studie für Metallaufbereitungsanlagen Angaben und Daten der Fa. Metran Rohstoff-Aufbereitungs GmbH und für Post-Shredder-Anlagen Angaben und Daten der TBS (Technische Behandlungssysteme GmbH) herangezogen. Für die Anlage der Firma Metran lagen Angaben zum durchschnittlichen Energieeinsatz – bezogen auf den Gesamtdurchsatz – sowie zur Verteilung der anfallenden Fraktionen und deren durchschnittlichen Metall-/Wertstoffgehalten vor. Für die Anlage der TBS standen zusätzlich Angaben zu Anschlussleistungen und Massenströmen einzelner Hauptaufbereitungsschritte zur Verfügung.

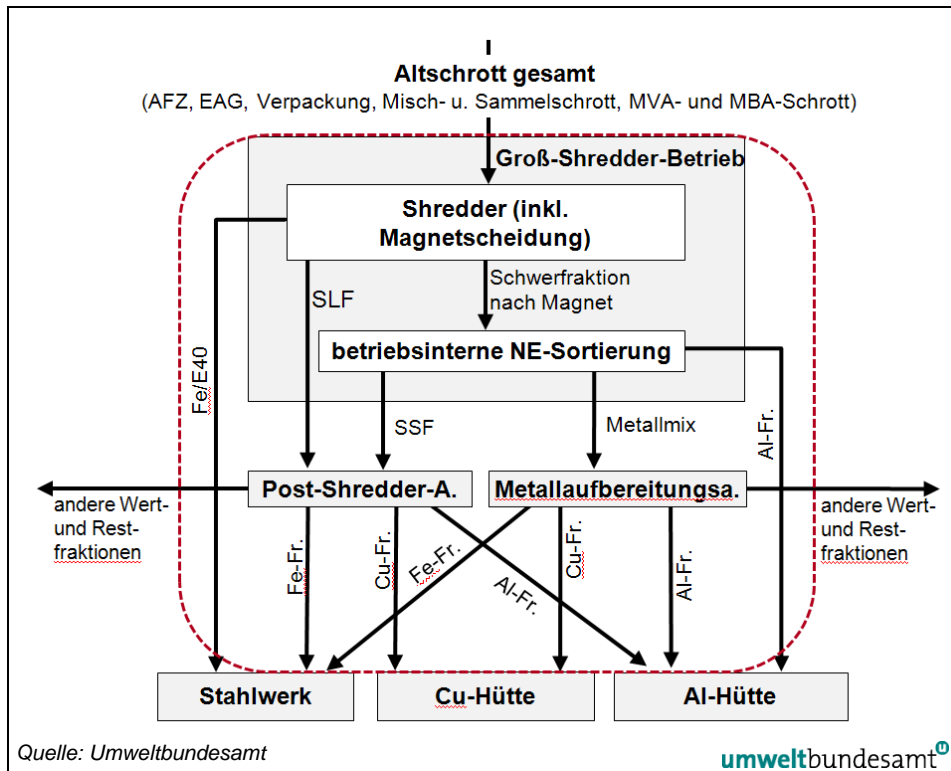
3.1.3 Ermittlung Input-Daten für GEMIS

Für alle betrachteten Anlagentypen wurde eine massebezogene Allokation des Gesamtenergiebedarfs der Anlagen vorgenommen. Der Gesamtenergieeinsatz wurde jeweils auf den Gehalt an erhaltenen Metallen (Variante 1) sowie auf jenen an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat (Variante 2) umgelegt.

Für getrennt gesammeltes Verpackungsmaterial, für MVA-Schlacke sowie für „Altschrott gesamt“ wurde der spezifische Energiebedarf zur Erzeugung von Al-, Cu- oder Fe/Stahl-Fraktionen ermittelt. Dazu wurden die Energieeinsätze der einzelnen Anlagen wie im Folgenden beschrieben verkettet:

Für Fraktionen aus Großshredder-Betrieben, die noch weiter aufbereitet werden, wurde angenommen, dass die Shredderleichtfraktion (SLF) und die Shredderschwerfraktion (SSF – Restfraktion aus der betriebsinternen NE-Aufbereitung) durch Anlagen mit vergleichbarer Technologie wie jene der Post-Shredder-Anlage TBS behandelt werden. Für Metallgemische (aus der betriebsinternen NE-Sortierung der Großshredder-Betriebe) wurde eine Weiterbehandlung durch Anlagen mit vergleichbarer Technologie wie jene der Metallaufbereitungsanlage Metran vorausgesetzt.

In Abbildung 1 sind die betrachteten wesentlichen Verfahrensschritte und die für die Ermittlung der spezifischen Energieeinsätze für „Altschrott gesamt“ angenommenen Stoffströme dargestellt.



SLF...Shredderleichtfraktion

AFZ...Altfahrzeuge

SSF...Shredderschwerfraktion

EAG...Elektroaltgeräte

Fe/E40...Shredderschrott

MVA-Schrott...Fe-Fraktion aus Müllverbrennungsschlacke

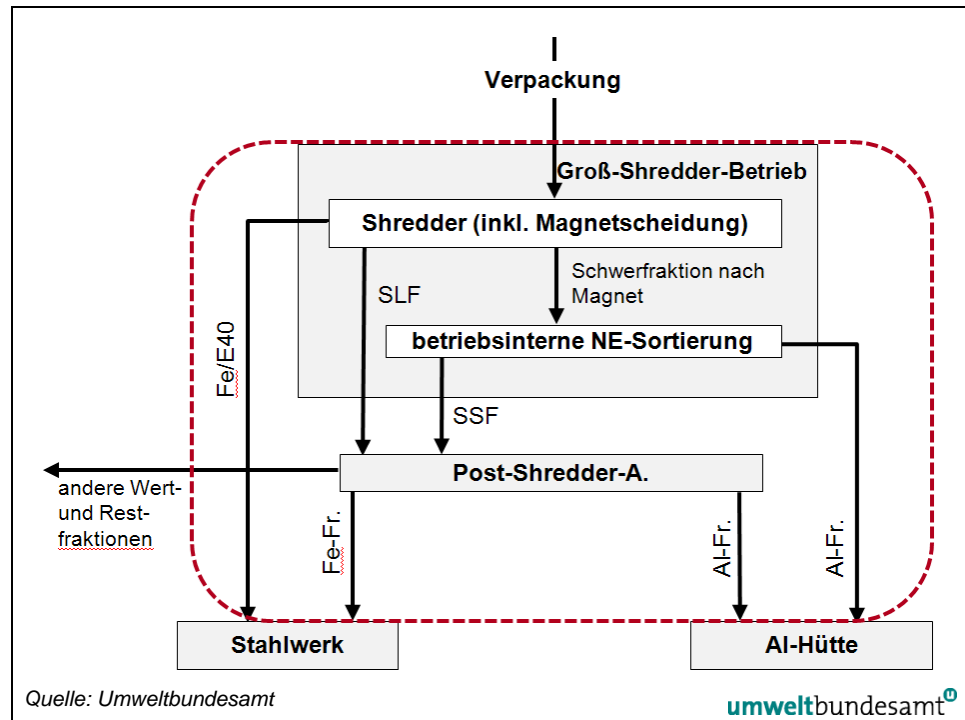
Fr...Fraktion

MBA-Schrott...Fe-Fraktion aus der mechanisch biologischen
Behandlung von Restmüll

Abbildung 1: Betrachtete Verfahrensschritte und Stoffströme der Metallrückgewinnung aus „Altschrott gesamt“.

In Abbildung 2 sind die betrachteten wesentlichen Verfahrensschritte und die für die Ermittlung der spezifischen Energieeinsätze für Verpackungsmaterial angenommenen Stoffströme dargestellt.

KRAWI – Abfallwirtschaftlicher Rucksack



SLF...Shredderleichtfraktion

SSF...Shredderschwerfraktion

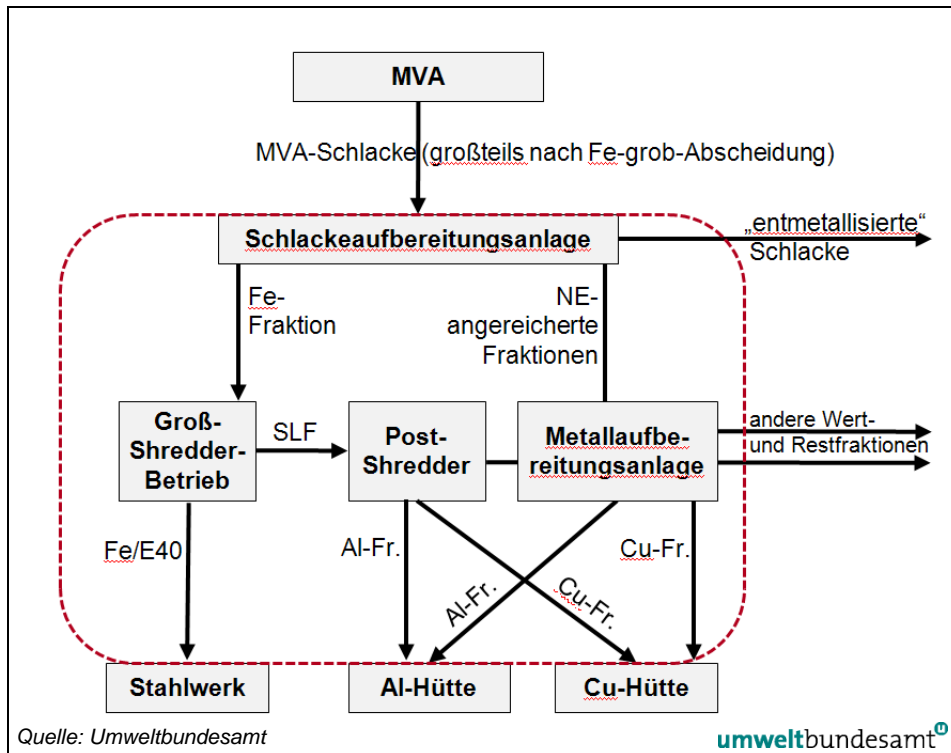
Fe/E40...Shredderschrott

Fr...Fraktion

Abbildung 2: Betrachtete Verfahrensschritte und Stoffströme der Metallrückgewinnung aus Verpackungsmaterial.

Für die in Schlackeaufbereitungsanlagen anfallenden wertstoffhaltigen Fraktionen wurde angenommen, dass die Fe-Fraktion zur Aufbereitung in Großshredder-Anlagen gelangt und die NE-angereicherten Fraktionen in Metallaufbereitungsanlagen aufbereitet werden.

In Abbildung 3 sind die betrachteten wesentlichen Verfahrensschritte und für die Ermittlung des spezifischen Energieeinsatzes angenommenen Wege der einzelnen Outputfraktionen dargestellt.



SLF...Shredderleichtfraktion

Fr...Fraktion

MVA-Schlacke...Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen

NE...Nichteisen

Abbildung 3: Betrachtete Verfahrensschritte und Stoffströme der Metallrückgewinnung aus MVA-Schlacken.

3.1.3.1 Aufbereitung in Großshredder-Betrieben

Der Gesamtenergiebedarf für die Aufbereitung im Großshredder (Hauptantrieb, Entstaubungsanlage, Fördereinrichtungen, Fe-Abtrennung, evtl. Siebe), die internen Manipulationen und Transporte sowie die betriebsinterne NE-Sortierung (Wirbelstromscheider, Sensortrennanlagen etc.) beträgt laut Angaben der ARGE Shredder 50 kWh (45 Strom, 5 Diesel) bis 150 kWh (135 Strom, 15 Diesel) je Tonne Durchsatz (ARGE SHREDDER, 2010).

Aufbereitung von „Altschrott gesamt“

Der Gesamtdurchsatz an Altschrott der sechs Großshredder-Anlagen von 370.000 t/a (Durchschnitt 2008, 2009) setzt sich wie in Tabelle 3 dargestellt zusammen.

Tabelle 3: Anteilsmäßige Zusammensetzung des gesamten Altschrott-Durchsatzes der sechs Großshredder-Betriebe nach Abfallarten.

Abfallart	Anteil am „Altschrott gesamt“
Verpackungsmetall (inklusive stoffgleiche Nichtverpackungen)	28.000 t (8 %)
Elektroaltgeräte groß	30.000 t (8 %)
Elektroaltgeräte klein	10.000 t (3 %)
Altfahrzeuge	60.000 t (16 %)
Misch- und Sammelschrott	202.000 t (55 %)
MVA-Schrott	20.000 t (5 %)
MBA-Schrott	20.000 t (5 %)

Die Outputfraktionen sowie ihr mengenmäßiger Anteil am Gesamtaltschrott-Input (Datenbasis: ARGE SHREDDER, 2010) sind in Tabelle 4 dargestellt. Des Weiteren ist der Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat dieser Fraktionen angeführt. Für SLF und SSF wurde eine Zusammensetzung entsprechend dem durchschnittlichen Wertstoffgehalt des Gesamtdurchsatzes der betrachteten Post-Shredder-Anlage angenommen.

Der durchschnittliche Wertstoffgehalt des Metallmix aus der betriebsinternen NE-Sortierung wurde entsprechend der durchschnittlichen Wertstoffausbeute, bezogen auf den Gesamtinput der Metallaufbereitungsanlage angenommen.

Tabelle 4: Abgeschätzte Verteilung der Outputfraktionen, bezogen auf den Gesamtaltschrottinput der sechs Großshredder-Betriebe (Quelle: ARGE SHREDDER 2010) und angenommene Wertstoffgehalte der bei den Shredder-Anlagen anfallenden Outputfraktionen.

Output-fraktion	Anfall		Zusammensetzung	
	(in t/a)	% von Gesamt-schrott-Input	Variante 1 Gehalt an Metallen (in %)	Variante 2 Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff (in %)
Fe/E40	252.120	68	99	99
Alu rein	2.800	1	95	95
Metallmix	16.500	5	45	50
SSF	22.100	6	8	29
SLF	76.480	21		

SSF...Shredderschwerfraktion

SLF...Shredderleichtfraktion

In Tabelle 5 ist der sich unter den beschriebenen Annahmen ergebende Energiebedarf für die Aufbereitung von „Altschrott gesamt“ in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat dargestellt.

Tabelle 5: Energiebedarf für die Aufbereitung von „Altschrott gesamt“ in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat (in kWh/t).

	Energiebedarf	
	Variante 1 Gehalt Metalle gesamt: 72,3 % (Fe: 69 %, Cu: 0,6 %, Al: 2,7 %)	Variante 2 Gehalt Metalle gesamt und rezyklierter Kunststoff: 78,2 % (Fe: 69 %, Cu: 0,6 %, Al: 2,7 %, Kunststoffe: 5,9 %)
Strom	62–187	58–173
Diesel	7–21	6–19
Gesamt	69–208	64–192

Aufbereitung von Verpackungsmaterial

Angaben zum spezifischen Energiebedarf für die Aufbereitung von Verpackungsmaterial in Großshredder-Anlagen und zur Wertstoffausbeute aus den Restfraktionen (SLF und SSF) des aufbereiteten Verpackungsmaterials lagen nicht vor. Für die Berechnung wurde daher der durchschnittliche Energiebedarf für „Altschrott gesamt“ herangezogen.

Für die Allokation des Energiebedarfs bei Verpackungsmaterial wurde eine Verteilung der Outputfraktionen aus Verpackungsmaterial von 70 % Fe/E40 und je 10 % Alu rein, SLF und SSF gemäß Angaben der Betreiber von Großshreddern herangezogen. Als Metallgehalte von SLF und SSF wurden die Durchschnittswerte – wie unter „Altschrott gesamt“ beschrieben – verwendet.

In Tabelle 6 ist der sich unter den beschriebenen Annahmen ergebende Energiebedarf für die Aufbereitung von Verpackungsmaterial in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat dargestellt.

Tabelle 6: Energiebedarf für die Aufbereitung von Verpackungsmaterial in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat (in kWh/t).

	Energiebedarf	
	Variante 1 Gehalt Metalle gesamt: 80 % (Fe: 70 %; Al: 10 %)	Variante 2 Gehalt Metalle gesamt und rezyklierter Kunststoff: 85 % (Fe: 70 %, Al: 10 %, Kunststoffe: 5 %)
Strom	56–168	53–159
Diesel	6–19	6–18
Gesamt	62–187	59–177

Aufbereitung von MVA-Schrott

Spezifische Angaben zum Energiebedarf für die Aufbereitung von MVA-Schrott in Großshredder-Anlagen und zur Wertstoffausbeute aus der Restfraktion (SLF) des aufbereiteten MVA-Schrotts lagen nicht vor.

Für die Berechnung wurde daher der durchschnittliche Energiebedarf für „Altschrott gesamt“ herangezogen.

Für die Allokation des Energiebedarfs bei MVA-Schrott wurden die Verteilung der Outputfraktionen aus MVA-Schrott bei der Behandlung in Großshredder-Anlagen (80 % Fe/E40 und 20 % SLF) und deren durchschnittliche Wertstoffgehalte herangezogen. Für den Metallgehalt von SLF wurde ein Durchschnittswert – wie unter „Altschrott gesamt“ beschrieben – verwendet.

In Tabelle 7 ist der sich unter den beschriebenen Annahmen ergebende Energiebedarf für die Aufbereitung von MVA-Schrott in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen dargestellt. Für MVA-Schlacke wurde nur Variante 1 betrachtet, da keine wiederverwertbaren Kunststoffmengen in der MVA-Schlacke enthalten sind.

Tabelle 7: Energiebedarf für die Aufbereitung von MVA-Schrott in Großshredder-Anlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen (in kWh/t).

Energiebedarf	
Variante 1	
Gehalt Metalle gesamt: 81 %	
Strom	56–167
Diesel	6–19
Gesamt	62–186

3.1.3.2 Aufbereitung in Metallaufbereitungsanlagen

In der betrachteten Metallaufbereitungsanlage werden unter anderem Metallgemische, welche bei Großshredder-Betrieben bei der betriebsinternen NE-Sortierung anfallen (Metallmix), und NE-angereicherte Fraktionen aus der Schlackeaufbereitung behandelt. Daneben werden weitere metallhaltige Abfälle, wie SLF, SSF oder Fraktionen aus der Kühlgerätebehandlung etc. aufbereitet.

Der Gesamtenergieeinsatz für die Aufbereitung in diversen Zerkleinerungs- und Trenn-Aggregaten sowie interne Manipulationen und Transporte beträgt 59 kWh/t Durchsatz (33 kWh Strom, 26 kWh Diesel).

Für die Abschätzung des Energiebedarfs für die Aufbereitung von „Metallmix“ aus Großshredder-Anlagen wurde der Gesamtenergieeinsatz auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat umgelegt (siehe Tabelle 8). Etwa 50 % des Gesamtoutputs der Anlage sind nicht-metallische Fraktionen. Darunter fallen sowohl Kunststofffraktionen, die nachfolgend zu rezyklierbaren Granulaten aufbereitet werden als auch Fraktionen, die in Zementwerken und MVAs eingesetzt werden, sowie anorganische Fraktionen.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs für die Aufbereitung einer NE-angereicherten Fraktion aus Schlackebehandlungsanlagen wurde der Gesamtenergieeinsatz auf den Metallgehalt dieser Fraktion umgelegt (siehe Tabelle 9). Dabei wurde ein durchschnittlicher NE-Gehalt von 70 % und das Verhältnis Al/Cu mit 9/1 angenommen (gemäß der Verteilung des Outputs der Metallaufbereitungsanlage).

Tabelle 8: Energiebedarf für die Aufbereitung von „Metallmix“ in Metallaufbereitungsanlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat (ohne Energiebedarf Vorbehandlung Großshredder) (in kWh/t).

	Energiebedarf	
	Variante 1 Gehalt Metalle gesamt: 45 %	Variante 2 Gehalt Metalle gesamt und rezyklierter Kunststoff: 50 %
Strom	73	66
Diesel + Heizöl	58	52
Gesamt	131	118

Tabelle 9: Energiebedarf für die Aufbereitung von NE-angereicherten Fraktionen aus der Schlackeaufbereitung in Metallaufbereitungsanlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen (ohne Energiebedarf Vorbehandlung Großshredder) (in kWh/t).

	Energiebedarf
	Variante 1 Gehalt NE-Metalle gesamt: 70 %
Strom	47
Diesel + Heizöl	37
Gesamt	84

3.1.3.3 Aufbereitung in Post-Shredder-Anlagen

Etwa 90 % des Inputs der betrachteten Post-Shredder-Anlage sind Shredder-Rückstände (SLF und SSF). Daneben werden andere Metall-Kunststoffgemische aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, wie z. B. aus mechanischen Anlagen (MA), eingesetzt.

Der Aufbereitungsprozess der Anlage gliederte sich zum Zeitpunkt der Erhebung in folgende Hauptaufbereitungsschritte

- Materialaufgabe (inkl. Fe-Grob-Abscheidung), Hauptzerkleinerung und Windsichtung,
- Sandveredelung (Metallrückgewinnung aus der Feinfraktion),
- Granulatveredelung (Metallrückgewinnung aus der schweren Grobfraktion),
- Flusenveredelung (Metallrückgewinnung aus der leichten Grobfraktion),
- Agglomeration der Flusen (wird mittlerweile nicht mehr durchgeführt).

Neben Metallfraktionen (Ausbeute ca. 9 %, bezogen auf den Gesamtdurchsatz) werden eine Kunststofffraktion, die im Hochofen der Voest eingesetzt werden kann, und so genannte Flusen, die als Entwässerungsmittel bei Klärschlämmen genutzt werden können, erzeugt. Bei der Verbrennung des Klärschlammes werden diese mitverbrannt. Des Weiteren fällt so genannter Shreddersand an, der deponiert wird.

Gemäß Betreiberangaben beträgt der Gesamtenergiebedarf inklusive der Agglomeration der Flusen 167 kWh Strom pro Tonne Durchsatz. Der Dieserverbrauch von internen Transportfahrzeugen (z. B. Radlader zur Beschickung) im Vergleich zum Stromverbrauch ist vernachlässigbar. Daten lagen diesbezüglich

keine vor. Mittlerweile wird keine Agglomeration der Flusen mehr vorgenommen. Daher wurde der genannte Gesamtenergieeinsatz um den Anteil, der auf die Agglomeration entfällt (etwa 40 %), reduziert.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs für die Aufbereitung von SLF und SSF aus Großshredder-Anlagen wurde der Gesamtenergieeinsatz auf den Gehalt an Metallen (Variante 1) bzw. an Metallen und rezykliertem Kunststoffgranulat im Gesamtdurchsatz (Variante 2) umgelegt.

3.1.3.4 Spezifischer Energiebedarf Metallrückgewinnung in Schlackeaufbereitungsanlagen

In der Wiener Entmetallisierungsanlage werden jährlich etwa 165.000 t Schlacke behandelt, wobei etwa 90 % aus den Wiener Rostfeuerungsanlagen stammen, der Rest aus den Drehrohröfen der Fernwärme Wien. Etwa ein Drittel des gesamten Inputmaterials ist Schlacke, die zuvor noch keine Fe-Grob-Abscheidung bei der MVA durchlief. Entsprechend den Angaben zur Entmetallisierungsanlage beträgt der Gesamtenergiebedarf für Brecher, diverse Siebe, Magnet- und Wirbelstromscheider etwa 1,5 kWh_{el} pro Tonne Durchsatz. Zum Dieselverbrauch von Fahrzeugen für die interne Manipulation liegen keine Daten vor. (MA 48, 2010)

In Tabelle 10 ist der sich unter den beschriebenen Annahmen ergebende Energiebedarf für die Aufbereitung von MVA-Schlacke in der Schlackeaufbereitungsanlage, bezogen auf den Gehalt an Metallen dargestellt (Variante 1)⁵.

Tabelle 10: Energiebedarf für die Aufbereitung von MVA-Schlacke in Schlackeaufbereitungsanlagen, bezogen auf den Gehalt an Metallen (in kWh/t).

Energiebedarf	
Variante 1	
Gehalt Metalle gesamt: 4,5 % (3,6 % Fe, 0,8 % Al, 0,08 % Cu)	
Gesamt (= Strom)	33

3.2 Aufbereitung von Glas

Die Scherbenaufbereitung (Waschen, Sortieren, Brechen) findet am Standort der Glaswerke statt. Entsprechende Energieaufwände bzw. Emissionen werden in Kapitel 7.3 angeführt.

⁵ Für MVA-Schlacke wurde nur Variante 1 betrachtet, da keine wiederverwertbaren Kunststoffmengen in der MVA-Schlacke enthalten sind.

3.3 Aufbereitung von PET

Die über die reine Plastikflaschen-Sammlung (Kermit-Behälter) und haushaltsnahe Leichtverpackungssammlung (Gelbe Tonne, Gelber Sack) erfassten PET-Kunststoffflaschen werden unabhängig vom Sammelsystem positiv⁶ aussortiert, in Ballen gepresst und an Verwerter weitergegeben.

Für den Energieaufwand für die Sortierung liegen keine Daten vor. Es wurde angenommen, dass dieser dem Energieverbrauch zur Sortierung bei der Metallaufbereitungsanlage entspricht und 50 kWh/t Durchsatz beträgt. Der Energieverbrauch für das Pressen von Ballen wurde von Produktbeschreibungen abgeleitet. Er liegt bei rd. 5 kWh/t (2–7 kWh/t). Da das Pressen der Ballen nur rd. 10 % des angenommenen Energieaufwandes beträgt, wurde es nicht berücksichtigt.

Die Zerkleinerung und Reinigung erfolgt bei den Verwertungsbetrieben selbst.

3.4 Transportabschätzungen

Bei der Berechnung des abfallwirtschaftlichen Rucksacks wurden nur jene im Vergleich mit der Abfuhr über den Restmüll zusätzlichen Transporte betrachtet, welche durch die weitere Aufbereitung induziert sind.⁷

Berücksichtigt wurden die Transporte der gesammelten Abfälle zur ersten Aufbereitungsanlage (Großshredder-Anlage, Schlackenaufbereitungsanlage, Sortieranlage etc.), zu den Anlagen zur nachgeschalteten Aufbereitung sowie der Transport der konzentrierten Metallfraktionen von den Aufbereitungsanlagen zu den Hütten/Stahlwerken.

3.4.1 Transport metallhaltiger Abfälle zur ersten Behandlungsanlage

Für den Transport von Altschrott, Verpackungen, Misch- und Sammelschrott, MBA-Schrott, Altfahrzeugen und Elektroaltgeräten wurde nach Informationen von Betreibern von Behandlungsanlagen sowie eigenen Abschätzungen eine Transportdistanz von der Sammelstelle bis zum Großshredder von 75 km angenommen. Des Weiteren wurde vorausgesetzt, dass 50 % der Rückfahrten als Leerfahrten erfolgen.

Die betrachtete Schlackeaufbereitungsanlage befindet sich in unmittelbarer Nähe der MVA, wodurch der Transportaufwand für MVA-Schlacke zur Schlackeaufbereitungsanlage vernachlässigbar ist.

⁶ Positivsortierung: gezielte Entnahme des Produktes aus dem Materialstrom

⁷ Bei Glas wurden von der AGR konkrete Daten sowohl über mit Lkw und Bahn transportierte Mengen als auch Transportkilometer für das Jahr 2009 zur Verfügung gestellt. Da ein Teil (20–25 %) der von der AGR gesammelten Glasmenge direkt nach der Sammeltour ins Glaswerk verbracht werden, ist bei Glastransporten in Abweichung von den anderen Transportabschätzungen teilweise auch Sammeltransport inkludiert.

3.4.2 Transporte metallangereicherter Fraktionen zu weiteren Aufbereitungsanlagen

Für die Fraktionen aus Großshredder-Anlagen, die noch weiter aufbereitet werden, wurde angenommen, dass SLF und SSF zur Gänze von der beschriebenen österreichischen Post-Shredder-Anlage aufbereitet werden (Abschätzung mittlere Transportdistanz: 210 km). Für den im Zuge der betriebsinternen NE-Sortierung anfallenden Metallmix wurde zur Gänze eine Behandlung durch die betrachtete österreichische Metallaufbereitungsanlage angenommen (Abschätzung mittlere Transportdistanz: 230 km).

Bei den Großshredder-Anlagen wurden die jeweiligen Gesamtdurchsätze berücksichtigt. Es wurde unterstellt, dass sich die Zusammensetzung des Inputs in die einzelnen Anlagen sowie die jeweiligen Fraktions-Ausbeuten nicht unterscheiden.

Für die Abschätzung der Transporte aus Schlackeaufbereitungs-Anlagen wurde angenommen, dass die Fe-Fraktionen im nächstgelegenen Großshredder (Abschätzung mittlere Transportdistanz: 65 km) und die NE-angereicherte Fraktion in der betrachteten Metallaufbereitungsanlage aufbereitet wird (Abschätzung mittlere Transportdistanz: 150 km).

3.4.3 Transporte der Metallfraktionen von Aufbereitungsanlagen zur Sekundärproduktionsanlage

Es wird angenommen, dass alle Al-Fraktionen in der Hütte in Ranshofen, alle Cu-Fraktionen in der Hütte Brixlegg und alle Fe/Stahl-Fraktionen im Hochofen in Linz (geringe Mengen an Edelstahlfraktionen wurden nicht extra betrachtet) eingesetzt werden.

Für Cu- und Al-Fraktionen wurde angenommen, dass der Transport per Lkw erfolgt, die Beladung 25 t je Lkw beträgt und dass Rückfahrten nicht als Leerfahrten durchgeführt werden. Für Fe-Fraktionen wurde zur Gänze Bahntransport zugrunde gelegt.

Tabelle 11: Angenommene durchschnittliche Transportdistanzen für Metall-Fraktionen zur Sekundärmetallurgie.

Fraktion und Herkunft	Distanz
Al-Fraktionen aus Großshredder-Anlagen	230 km (Lkw)
Al-Fraktionen aus der Post-Shredder-Anlage	130 km (Lkw)
Al-Fraktionen aus der Metallaufbereitungsanlage	160 km (Lkw)
Cu-Fraktionen aus der Post-Shredder-Anlage	280 km (Lkw)
Cu-Fraktionen aus der Metallaufbereitungsanlage	310 km (Lkw)
Fe/Stahl aus Großshredder-Anlagen	220 km (Bahn)
Fe/Stahl aus der Post-Shredder-Anlage	30 km (Bahn)
Fe/Stahl aus der Metallaufbereitungsanlage	60 km (Bahn)

3.4.4 Transporte von Altglas

Sammlung und Transport der Scherben werden durch die Austria Glas Recycling GmbH (AGR) durchgeführt. Etwa 31 % der gesammelten Menge (2008: 68.226 t) wurden mit der Bahn transportiert, 156.078 t per Lkw (davon 53.047 t direkt ins Werk); 27.900 t wurden exportiert (D, I, SK). Die durchschnittliche Transportdistanz beträgt 256 km für Transportfahrten und ca. 150 km für Sammelfahrten und wurde mit Lkw der Klassen Euro III bis Euro V durchgeführt. Insbesondere für Transportfahrten werden Lkw der Klasse Euro IV und Euro V verwendet. Die Rückfahrten bei Transportfahrten erfolgen als Leerfahrten, bei Sammelfahrten ist die Rückfahrstrecke gering.

Die AGR transportierte im Jahr 2009 rd. 71.150 t Altglas per Bahn und erbrachte 14.900.000 Tonnenkilometer (ca. 209 km/t).

3.4.5 Transporte von PET

Für die Sekundärproduktion von PET ist für den Vergleich zur Primärherstellung der zusätzliche Transport von den Sammelstellen bis zur Übergabe der farblich sortierten, gepressten Ballen an die Erzeuger der PET-Flakes zu berücksichtigen.

Für die Bottle-to-Bottle-Verwertung von PET-Flaschen gibt es in Österreich zwei Anlagen, eine in Völkermarkt (Kärnten) und eine in Müllendorf (Burgenland). Diese erzeugen aus den gesammelten PET-Flaschen PET-Flakes, die in der Folge in anderen Anlagen zu Preforms verarbeitet und letztlich zur Erzeugung von PET-Flaschen eingesetzt werden.

Entsprechend Betreiberangaben wurde für Müllendorf eine verarbeitete Menge von 15.000 t und für Völkermarkt von 10.000 t getrennt gesammelter PET-Flaschen angesetzt.

Folgende Literaturquellen geben Hinweise auf Transportdistanzen, ohne jedoch konkret auf PET-Flaschen abzielen. In ARA (2009a) wird für Zwischentransporte (Fahrt von der Sortieranlage zum Verwerter) von Kunststoffen eine durchschnittliche Transportentfernung von 150 km angeführt. In SALHOFER et al. (2002) werden für Kunststofffolien mittlere Transportdistanzen von der Sortieranlage bis zum Verwerter von 126 km angegeben. Aus Angaben in ÖKK (2007) kann eine durchschnittliche Transportdistanz von 250 km errechnet werden.

Die Literaturhinweise geben für die Transporte von der Sammelstelle bzw. den Sortieranlagen von gebrauchten PET-Flaschen bzw. Kunststofffolien oder -verpackungen eine mittlere Transportdistanz von 126–250 km an.

Für die Berechnungen wurde in weiterer Folge eine Transportdistanz von 200 km zugrunde gelegt. Nach Rücksprache mit den Erzeugern von PET-Flakes wurde angenommen, dass die Beladung bei der Anlieferung 15 t beträgt und dass die Rückfahrt nicht als Leerfahrt erfolgt.

Als vergleichbares Zwischenprodukt wurde die PET-Flasche gewählt (siehe Kapitel 8.1). Demzufolge müssten auch die Transporte von den PET-Flakes-Erzeugern zu den Preform-Erzeugern und in weiterer Folge der Transport von den Preform-Herstellern zu den Getränkeabfüllern berücksichtigt werden. Diese Transporte fallen jedoch ebenso in der Primärproduktion an und wären somit sowohl der Primär- als auch der Sekundärproduktion hinzuzurechnen. Folgende

Abschätzungen zeigen jedoch, dass die durch diese Transporte bedingten Emissionen im Vergleich mit den später dargestellten Ergebnissen der Primär- und Sekundärproduktion sehr gering sind und vernachlässigt werden können.

Transporte der PET-Flakes zu den Preform-Herstellern

Nach Angaben von Preform-Herstellern beträgt die Transportmenge je Lkw 24 t. Die PET-Flakes werden in big bags an die Preform-Erzeuger geliefert. Es kann deshalb angenommen werden, dass die Frächter bei der Rückfahrt andere Frachten transportieren.

Als mittlere Transportdistanz je Lkw wurde, basierend auf den Standorten der PET-Flakes-Erzeuger und der Preform-Hersteller, 270 km abgeschätzt.

Die Emissionen durch den Transport der PET-Flakes zu den Preform-Herstellern betragen 9,3 kg CO₂ bzw. 9,5 kg CO₂-Äquivalente pro Tonne, der KEA 0,13 GJ/t.

Transport der Preforms zu den Getränkeabfüllern

Nach Angaben von Preform-Herstellern werden Preforms in Gitterkörben an die Abfüller geliefert. Je nach zukünftiger Flaschengröße ändert sich die Masse an je Lkw transportierten Preforms geringfügig. Die Körbe werden anschließend wieder an die Preform-Erzeuger zurückgeführt. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass je Lkw-Fahrt 16 t Preforms transportiert werden und die Rückfahrt als Leerfahrt erfolgt.

Als mittlere Transportdistanz je Lkw wurden, basierend auf den Standorten der Preform-Hersteller und der größten Getränkeabfüller, 120 km abgeschätzt. Da die Rückfahrt als Leerfahrt erfolgt ergibt sich eine Transportdistanz von 240 km.

Die Emissionen durch den Transport der PET-Flakes zu den Preform-Herstellern betragen 12,4 kg CO₂ bzw. 12,6 kg CO₂-Äquivalente pro Tonne, der KEA beträgt 0,17 GJ/t.

4 ALUMINIUM

Primäraluminium wird aus Tonerde mittels Schmelzflusselektrolyse gewonnen. Die Herstellung von Primäraluminium wurde in Österreich im Jahr 1992 eingestellt.

Sekundäraluminium wird zum großen Teil (80–90 %) aus Schrotten hergestellt, in Österreich in Ranshofen (AMAG), Lend (SAG Lend) und Kleinreichenbach (Hütte Kleinreichenbach). Es wird zwischen Neuschrotten (saubere Produktionsabfälle aus Primärhütten, Gießereien oder Formgebungsanlagen wie Walzen, Pressen) und Altschrotten (getrennt gesammelter Schrott sowie mechanisch aufbereiteter Schrott aus Mischmaterialien) unterschieden. Die Recyclingrate der industriellen Prozessschrotte (Neuschrotte) liegt bei nahezu 100 % (UMWELTBUNDESAMT 2000). In Europa stammt der Hauptteil des Altschrottes aus dem Bauwesen, dem Maschinenbau, der Elektronik und dem Verkehrssektor.

Weitere Einsatzmaterialien in der Sekundärerzeugung sind Krätzen und Späne.

Metallurgisch werden die Schrotte in Knet- und Gusslegierungen eingeteilt (UMWELTBUNDESAMT 2000). Gusslegierungen werden durch Gießen (Sand-, Kokillen- oder Druckguss) zu Formgussstücken verarbeitet, die Lieferung erfolgt meist in Form von Masseln oder als Flüssigaluminium, gekennzeichnet werden sie nach DIN EN 1706 mit dem Kennbuchstaben C (Castings, Gussstücke). Knetwerkstoffe werden durch Kneten (Walzen, Strangpressen, Ziehen, Schmieden) zu Halbzeugen verarbeitet und werden nach der E-Normung (DIN EN 573) mit dem Kennbuchstaben W (Wrought Alloys/Knetlegierungen) gekennzeichnet (ALUMINIUM TASCHENBUCH 2009).

Die metallurgischen Raffinationsmöglichkeiten für Aluminiumlegierungen sind beschränkt. Deshalb sind meist eine Aufbereitung der eingesetzten Schrotte sowie die Verdünnung von nicht durch Raffination entfernbaren Beimengungen notwendig (UMWELTBUNDESAMT 2000).

4.1 Marktfähige Zwischenprodukte

Marktfähige Zwischenprodukte sind Walzbarren und Pressbarren in bestimmter Legierungszusammensetzung bei den Knetlegierungen. Massel- und Flüssigaluminium sind marktfähige Zwischenprodukte bei den Gusslegierungen.

Walz- und Pressbarren

Grundsätzlich können auf der Sekundärroute die gleichen Produkte (E-Normen) hergestellt werden wie auf der Primärroute (mündliche Mitteilung DI Suppan, AMAG, 13.10.2009). Wichtig ist, dass der Schrott vorher sortiert und anschließend legiert wird. Vergleichbare Zwischenprodukte sind Pressbarren und Walzbarren, diese können sowohl aus der Primär- als auch aus der Sekundärerzeugung die gleiche Zusammensetzung aufweisen. Die E-Normen machen keinen Unterschied zwischen Walzbarren bzw. Pressbarren aus Primär- oder Sekundärerzeugung, es sind jedoch über 120 verschiedene Legierungen in den Normen enthalten.

4.2 Primärproduktion von Aluminium

Rohstoff für die Primäraluminiumerzeugung ist Bauxit, aus diesem wird im Bayer-Verfahren Tonerde (Al_2O_3) gewonnen. Die Tonerde wird in einem elektrolytischen Schmelzprozess (Schmelzflusselektrolyse) in flüssiges Aluminium und Sauerstoff ($\rightarrow \text{CO}_2$) zerlegt. Als Anoden werden Søderberg- oder Prebake-Anoden eingesetzt. Flüssiges Hüttenaluminium wird aus den Elektrolysezellen abgesaugt, in die Gießerei übergeführt und nach einer Schmelzebehandlung sowie Zusatz von Legierungselementen vergossen.

4.2.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Bauxit besitzt einen Aluminiumoxidanteil von ca. 50 %. Der Abbau (hauptsächlich Australien, Karibik, Brasilien, Guinea, GUS) erfolgt nach Entfernung der über dem Erz liegenden Deckschicht im Tagebau.

Tonerdeherstellung: Zur Herstellung einer Tonne Aluminiumoxid mittels Bayer-Verfahren werden im europäischen Durchschnitt die in Tabelle 12 angegebenen Mengen an Rohstoffen benötigt (EAA 2000):

Tabelle 12: Input bei der Tonerdeherstellung pro Tonne Al_2O_3 (EAA 2000).

Input	
Bauxit	2.140 kg/t
Natronlauge	120 kg/t
Kalk	82 kg/t
thermischer Energieverbrauch	10 GJ/t
Strombedarf	230–300 kWh/t

Bauxit-Aufbereitung

Die Aufarbeitung des aluminiumhaltigen Bauxiterzes erfolgt nach dem Bayer-Verfahren durch Zermahlen und Aufschluss in 50 % Natronlauge. Die unlöslichen Bestandteile des Bauxits fallen als so genannter Rotschlamm an. Die entstehende Natriumaluminatlauge wird verdünnt, abgekühlt und das sich abscheidende Aluminiumhydroxid wird abgetrennt. Anschließend erfolgt die Kalzination in Drehrohr- oder Wirbelschichtöfen bei 1.000–1.300 °C zu reiner Tonerde.

Aluminium-Herstellung durch Schmelzflusselektrolyse

Elektrolyse der Tonerde

Allgemeines Verfahren ist die Elektrolyse der Tonerde in Kryolithschmelzen (Na_3AlF_6) nach dem Prinzip von Hall-Héroult. Pro Tonne Aluminium werden dabei knapp zwei Tonnen Tonerde für die Elektrolyse benötigt.

Kryolith wird im Prozess zur Schmelzpunkterniedrigung benötigt. Das gebildete Aluminium setzt sich am kathodischen Boden der Elektrolysezelle ab. Der Sauerstoffanteil der eingesetzten Tonerde verbindet sich mit dem Kohlenstoff der Anoden zu Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Durch den Schwefelgehalt des eingesetzten Anodenmaterials wird Schwefeldioxid emittiert. Weitere relevante Emissionen sind Staub und Fluorwasserstoff, Tetrafluormethan und Hexafluormethan.

Die einzelnen Anlagen unterscheiden sich vor allem durch die eingesetzte Technologie der Elektrolysezellen. Es wird unterschieden in vorgebrannte (pre-bake-) und Söderbergzellen, von welchen wiederum diverse Untervarianten existieren.

Abbildung 4 zeigt eine schematische Übersicht über die einzelnen Verfahrensschritte der Primäraluminiumerzeugung.

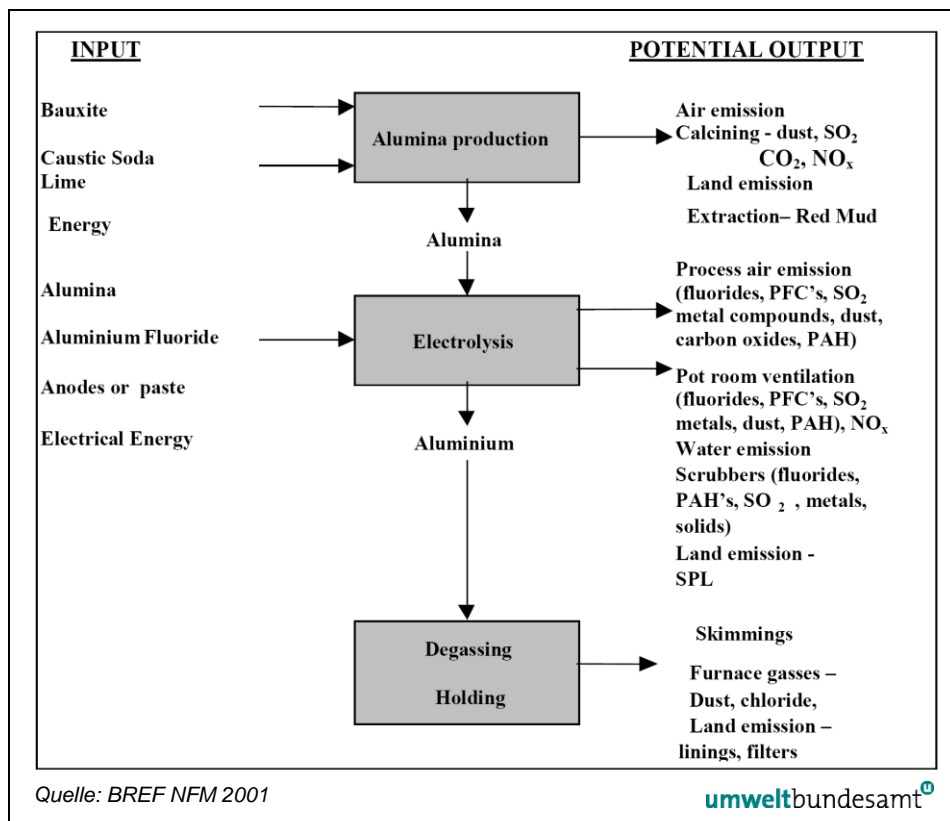


Abbildung 4: Verfahrensschritte in der Primäraluminiumproduktion.

4.2.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung (Rucksack) der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Es werden der Abbau von Bauxit, die Tonerdeherstellung und die Herstellung von Primäraluminium mittels Schmelzflusselektrolyse betrachtet. Die Daten wurden aus GEMIS entnommen.

Tabelle 13: Datensatz für den Bauxitabbau (GEMIS).

Input	
Strombedarf	2 kWh/t
Heizöl schwer	528 MJ/t
Prozesswasser	125 kg/t
Output	
Bauxit	1.000 kg
Staub	5 kg/t

Für die Herstellung von Primäraluminium mittels Schmelzflusselektrolyse wurde der in Tabelle 14 dargestellte GEMIS-Datensatz verwendet. Bei den Berechnungen wurden beim Stromverbrauch vier unterschiedliche Annahmen getroffen:

- 1) Österreichischer Strommix
- 2) Deutscher Strommix
- 3) Europäischer Strommix (UCTE)
- 4) Norwegischer Strommix

Tabelle 14: Input bei der Primäraluminium-Herstellung durch Schmelzflusselektrolyse pro Tonne Aluminium (GEMIS).

Input	
Tonerde	1.900 kg/t
Anoden	430 kg/t
Aluminiumfluorid	18 kg/t
Prozesswärme (Heizöl EL)	3,825 GJ/t
Stromverbrauch	48,24 GJ/t

4.3 Sekundärproduktion von Aluminium

Die wesentlichen Rohstoffkriterien zur Auswahl der optimal geeigneten Schmelzöfen sind die Verunreinigung der Rohstoffe/Schrotte durch Oxide, anhaftendes Eisen und organisches Fremdmaterial sowie die Schrottgeometrie und die Legierungswechselhäufigkeit. Folgende Schmelzaggregate werden in der Sekundärproduktion in Abhängigkeit von den Einsatzmaterialien und der Produktqualität eingesetzt:

- Drehtrommelofen (für Schrotte mit hohem Oxidanteil, erfordert den Einsatz von Schmelzsalz),
- Drehkipföfen (für Schrotte mit hohem Oxidanteil, geringerer Salzeinsatz als im Vergleich zum Drehtrommelofen),

- Herdöfen (werden ohne Salzeinsatz betrieben)
 - Konventionelle Herdöfen
 - Closed-Well Ofen (für organisch verunreinigte, oxidarme Schrotte).
 Der Side-Well Ofen ist eine Anbaukomponente an einem Herdofen und für großstückigen Schrott und Späne geeignet.
- Induktionsöfen (erfordern reines Einsatzmaterial, Haupteinsatzgebiet sind die Gießereien).

Das flüssige Aluminium kann einer Schmelzebehandlung (z. B. Spülgasbehandlung mit Chlorgas mit oder ohne Trägergas wie Stickstoff oder Argon) unterzogen werden. Falls die von den Schmelzöfen kommende Legierung noch nicht die gewünschte Konzentration der Legierungselemente aufweist, werden in den Warmhalte- oder Legierungsöfen die entsprechenden Elemente zugesetzt.

Die Beimischung von Primäraluminium zu Sekundäraluminium hängt von der geforderten Reinheit des Endprodukts ab. Bei der Produktion von Knetlegierungen werden 0–20 % Primäraluminium zugegeben, bei der von Sekundär-Gusslegierungen erfolgt in der Regel keine Primäraluminiumzugabe (AMAG, 8.7.2010 pers. Mitteilung).

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen bei der Herstellung der Aluminiumbarren wurde der Einsatz von 15 % Primäraluminium und 85 % Metall aus der Sekundärproduktion angenommen.

Zu Vergleichszwecken wurde mit 100 % Metall aus der Sekundärproduktion gerechnet.

4.3.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Die Verfahren in der Primär- und Sekundäraluminiumerzeugung sind nicht vergleichbar.

Während in der Primäraluminiumerzeugung aus Tonerde in der Schmelzflusselektrolyse Aluminium gewonnen wird, werden in der Sekundärerzeugung nach einer Schrottvorbehandlung die Einsatzmaterialien in den jeweiligen Schmelzaggregaten (z. B. Closed-Well Ofen, Drehkipföfen, Drehtrommelöfen, konventionelle Herdöfen) eingeschmolzen, danach erfährt das Sekundäraluminium eine Schmelzebehandlung und kann dann in der Gießerei vergossen bzw. weiterverarbeitet werden.

Abbildung 5 gibt eine Übersicht über die Verfahrensschritte der Sekundäraluminiumerzeugung.

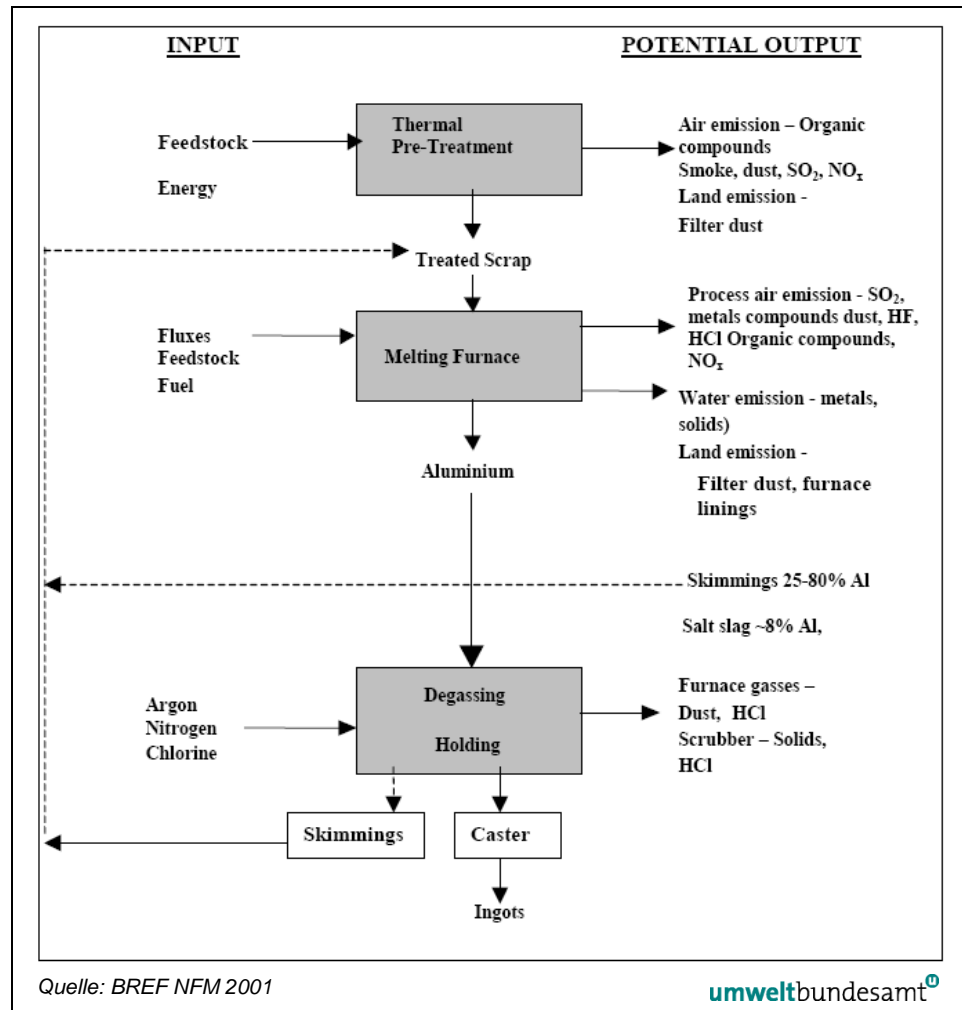


Abbildung 5: Verfahrensschritte in der Sekundäraluminiumproduktion.

4.3.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Die allgemeinen Daten wurden GEMIS, UMWELTBUNDESAMT (2000), FRAUNHOFER INSTITUT (2004) und dem BREF NFM (2001) entnommen.

Für die österreichischen Anlagen (Drehtrommelöfen, Closed-Well Ofen) wurden die Daten aus UMWELTBUNDESAMT (2000, 2004) und UMWELTERKLÄRUNG (2002) herangezogen (siehe Tabelle 15). Die Berechnung erfolgte aus GEMIS mit dem österreichischen Strommix.

Tabelle 15: In- und Outputbilanz bei der Sekundäraluminiumherstellung pro Tonne Aluminium (UMWELTBUNDESAMT 2000, 2004, UMWELTERKLÄRUNG 2002, BREF NFM 2001).

	DTO starr	Closed-Well	Datenquelle
Input			
Einsatzmaterial gesamt	1.320 kg/t	1.090 kg/t	UMWELTBUNDESAMT (2004)
Primäraluminium	150 kg/t	150 kg/t	Annahme Umweltbundesamt
Strom	0,37 GJ/t	0,89 GJ/t	UMWELTBUNDESAMT (2004), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Brennstoff	(4,4–4,7 GJ/t)	(2,5–4,3 GJ/t)	UMWELTBUNDESAMT (2000), BREF NFM (2001)
Erdgas	3,53 GJ/t	3,81 GJ/t	UMWELTBUNDESAMT (2004), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Kalisalz/ Schmelzsatz (NaCl, KCl, CaF)	250–300 kg/t, 360 kg/t	–	UMWELTBUNDESAMT (2000), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Chlor	0,13 kg/t	0,03 kg/t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Stickstoff	1,23 Nm ³ /t 1,43 kg/t	1,39 Nm ³ /t 1,63 kg/t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Argon	–	1,19 Nm ³ /t 1,98 kg/t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Natriumbicarbonat	5,98 kg/t	–	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Kalkhydrat	–	0,17 kg/t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Sorbalit	2,17 kg/t	0,78 kg/t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Wasser	6,82 m ³ /t	11,71 m ³ /t	UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Output			
Sekundäraluminium	1.000 kg	1.000 kg	
Salzschlacke	300–500 kg/t, 660 kg/t	–	UMWELTBUNDESAMT (2000), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Staub	(10–35 kg/t) 4,6 kg/t	1,3 kg/t	UMWELTBUNDESAMT (2000), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Krätze	25 kg/t	40–80 kg/t 60 kg/t	UMWELTBUNDESAMT (2000), UMWELTERKLÄRUNG (2002)
Oftenausbruch	2,6 kg/t	2 kg/t	UMWELTBUNDESAMT (2000), UMWELTERKLÄRUNG (2002)

DTO...Drehtrommelofen

Closed-Well...Closed-Well Ofen

4.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft

Im Folgenden sind für die drei betrachteten Recyclingprozesse (Metallaufbereitung aus MVA-Schlacke, aus „Altschrott gesamt“ und aus getrennt gesammeltem Verpackungsmaterial) der spezifische Energiebedarf für die Aufbereitung einer Tonne Al-Fraktion (als Einsatzmaterial in der Sekundärmetallurgie) und die zugrundegelegten Transportdistanzen dargestellt. Für MVA-Schlacke wurde nur Variante 1 (nur Metalle sind Wertstoffe) betrachtet, da keine verwertbaren Kunststoffmengen in der MVA-Schlacke enthalten sind.

Tabelle 16: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Al-Fraktion aus „Altschrott gesamt“.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen	Variante 2 Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff
Energiebedarf Aufbereitung	272–394 kWh/t	154–266 kWh/t
Transporte*	35 km/t	24,3 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

Tabelle 17: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Al-Fraktion aus Verpackungsmaterial.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen	Variante 2 Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff
Energiebedarf Aufbereitung	90,2–217 kWh/t	66,1–183 kWh/t
Transporte*	16,3 km/t	14,3 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

Tabelle 18: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Al-Fraktion aus MVA-Schlacke.

	Variante1 Bezug auf Gehalt an Metallen
Energiebedarf Aufbereitung	117 kWh/t
Transporte*	15 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

4.5 KEA und THG-Emissionen bei der Aluminiumproduktion

4.5.1 KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Hauptemittent Schmelzfluss- elektrolyse

80–90 % des Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen entstehen bei der Schmelzflusselektrolyse (siehe Tabelle 19). Die Emissionen und der Energieaufwand des Abbaus von Bauxit (2–3 %) sowie der Tonerdeherstellung (10–15 %) sind hingegen eher untergeordnet.

Die THG-Emissionen sind deutlich höher als die CO₂-Emissionen. Grund dafür ist, dass bei der Schmelzflusselektrolyse u. a. auch Tetrafluormethan und Hexafluormethan emittiert werden, die als langlebige und extrem potente Treibhausgase bekannt sind.

Tabelle 19: KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion pro Tonne Primäraluminium.

	Aluminiumherstellung primär			
	Strommix Österreich	Strommix Deutschland	Strommix UCTE	Strommix Norwegen
KEA gesamt (in GJ/t)	121,5	188,6	183,6	111,1
KEA Abbau	3,5	3,5	3,5	3,5
KEA Tonerde	17,4	17,4	17,4	17,4
KEA Elektrolyse	100,6	167,8	162,8	90,3
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	7.807	13.078	10.704	6.071
CO ₂ -Emissionen Abbau	260	260	260	260
CO ₂ -Emissionen Tonerde	1.143	1.143	1.143	1.143
CO ₂ -Emissionen Elektrolyse	6.404	11.675	9.301	4.668
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	10.070	15.246	12.871	9.794
THG-Emissionen Abbau	262	262	262	262
THG-Emissionen Tonerde	1.186	1.186	1.186	1.186
THG-Emissionen Elektrolyse	8.621	13.798	11.423	8.346

Die unterschiedlichen Ergebnisse des KEA bei Anwendung der verschiedenen Strommixe ergeben sich aus den unterschiedlichen Kraftwerkparcs in den Ländern.

4.5.2 KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Im Gegensatz zur Primärproduktion sind bei der Sekundäraluminiumherstellung die THG-Emissionen nur geringfügig höher als die CO₂-Emissionen.

In Tabelle 20 ist das Ergebnis der Sekundärproduktion ohne Abfallrucksack für den Closed-Well Ofen und den Drehtrommelofen dargestellt. Dabei wurden der KEA, die CO₂- und die THG-Emissionen mit dem österreichischen Strommix berechnet. Der Einsatz von Primäraluminium in der Sekundärproduktion wurde mit 15 % angenommen, zu Vergleichszwecken wurde auch mit 0 % Primäraluminiumzugabe gerechnet.

Tabelle 20: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion pro Tonne Sekundäraluminium ohne Abfallrucksack.

	Aluminiumherstellung sekundär	
	Closed-Well Ofen Strommix AT	Drehtrommelofen Strommix AT
KEA gesamt (in GJ/t)		
0 % Al aus Primärproduktion	6,0	5,2
15 % Al aus Primärproduktion	24,2	23,5
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)		
0 % Al aus Primärproduktion	304	273
15 % Al aus Primärproduktion	1.476	1.446
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)		
0 % Al aus Primärproduktion	349	314
15 % Al aus Primärproduktion	1.930	1.894

Der Einsatz von Primäraluminium bei der Sekundärproduktion erhöht stark den KEA sowie die CO₂- und THG-Emissionen.

In Tabelle 21 ist das Ergebnis der Sekundärproduktion mit 15 % Aluminium aus der Primäraluminiumherstellung inklusive Abfallrucksack für die Aufbereitung von MVA-Schlacke, „Altschrott gesamt“ und Verpackungsmaterial dargestellt. Zusätzlich ist jeweils der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben.

Tabelle 21: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion pro Tonne Sekundäraluminium inklusive Abfallrucksack.

	Aluminiumherstellung sekundär			
	Closed-Well Ofen Strommix AT		Drehtrommelofen Strommix AT	
	Variante 1*	Variante 2**	Variante 1*	Variante 2**
Aluminium aus MVA-Schlacke (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)				
KEA gesamt (in GJ/t)	24,9 (2,7 %)	–	24,3 (3,4 %)	–
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.512 (2,4 %)	–	1.489 (2,9 %)	–
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	1.969 (2 %)	–	1.942 (2,4 %)	–
Aluminium aus Altschrott gesamt (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)				
KEA gesamt (in GJ/t)	25,9 (6,5 %) 26,6 (9,1 %)	25,1 (3,7 %) 25,8 (7,2 %)	25,5 (8 %) 26,4 (11,1 %)	24,6 (4,6 %) 25,4 (7,7 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.557 (5,2 %) 1.590 (7,2 %)	1.523 (3,1 %) 1.554 (5 %)	1.543 (6,3 %) 1.584 (8,7 %)	1.502 (3,8 %) 1.540 (6,1 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	2.020 (4,5 %) 2.058 (6,2 %)	1.982 (2,6 %) 2.017 (4,3 %)	2.003 (5,4 %) 2.049 (7,5 %)	1.957(3,2 %) 1.999 (5,2 %)
Aluminium aus Verpackungsmaterial (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)				
KEA gesamt (in GJ/t)	24,8 (2,3 %) 25,5 (5,2 %)	24,6 (1,7 %) 25,3 (4,4 %)	24,2 (2,9 %) 25,1 (6,5 %)	24 (2,2 %) 24,8 (5,8 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.503 (1,8 %) 1.538 (4,1 %)	1.496 (1,4 %) 1.529 (3,5 %)	1.479 (2,2 %) 1.521 (5 %)	1.470 (1,7 %) 1.510 (4,2 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	1.960 (1,6 %) 2.000 (3,5 %)	1.953 (1,2 %) 1.989 (3 %)	1.931(3,1 %) 1.979 (4,3 %)	1.922 (1,4 %) 1.966 (3,6 %)

* Variante 1: Bezug auf Gehalt an Metallen

** Variante 2: Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff

Die Werte für den KEA sowie die CO₂- und THG-Emissionen von Aluminium aus MVA Schlacken und Verpackungsmaterial sind im Vergleich zum durchschnittlichen „Altschrott gesamt“ etwas geringer.

Zwischen den beiden Verfahren Drehtrommelofen und Closed-Well Ofen gibt es in Bezug auf KEA und THG-Emissionen nur geringfügige Unterschiede.

4.6 Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Aluminium

Beim Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion ist zu beachten, dass für das marktfähige Zwischenprodukt beim Sekundäraluminium ein Anteil von 15 % Primäraluminium angenommen wurde. Dies hat zur Folge, dass die spezifische Einsparung bei der Sekundärproduktion verglichen mit der Primärproduktion geringer ausfällt.

Tabelle 22: Vergleich des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Aluminium (Strommix Österreich).

	KEA (in GJ/t)	CO ₂ (in kg/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	121,5	7.807	10.070
Sekundärproduktion (15 % Primäraluminium)**	25,6*	1.546*	2.008*
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion (15 % Primäraluminium)</i>	<i>– 95,9 (– 79 %)</i>	<i>– 6.261 (– 80 %)</i>	<i>– 8.062 (– 80 %)</i>
Sekundärproduktion (0 % Primäraluminium)**	5,6*	289*	332*
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion (0 % Primäraluminium)</i>	<i>– 115,9 (– 95 %)</i>	<i>– 7.518 (– 96 %)</i>	<i>– 9.738 (– 97 %)</i>

* Mittelwert über Closed-Well Ofen und Drehtrommelofen bei Altschrotteinsatz

**Berechnungen mit Mittelwert aus Abfallrucksack (MW aus Min und Max Variante 1 und 2)

Der Vergleich zeigt, dass bei der Sekundärproduktion von Aluminium rd. 96 GJ/t des KEA (79 %), ca. 6.260 kg/t der CO₂-Emissionen (80 %) und rd. 8.100 kg/t der THG-Emissionen (80 %), bezogen auf Primärherstellung mit österreichischem Strommix, vermieden werden.

Bei der Produktion von Sekundäraluminium ohne Primäraluminium-Zusatz kommt es zu einer Einsparung von 95 % beim KEA sowie von 97 % bei den Treibhausgasemissionen.

Diese CO₂-Ersparnis ist für die österreichische THG-Bilanz nicht relevant, da nur Sekundäraluminium in Österreich produziert wird und das eingesetzte Primäraluminium aus dem Ausland stammt.

**Einsparung durch
Sekundärproduktion**

5 KUPFER

Kupfer wird einerseits aus kupferhaltigen Erzen (Primärerzeugung) und andererseits aus Schrotten sowie kupferhaltigen Abfällen/Reststoffen (Sekundärerzeugung) hergestellt. Das marktfähige Zwischenprodukt beider Prozesse ist die Kupferkathode, die einen Kupfergehalt von ca. 99,99 % aufweist. Kupferkathoden können wieder eingeschmolzen, legiert und zu Barren, Profilen, Drähten, Folien, Rohren usw. weiterverarbeitet werden. Österreich verfügt über keine Primärkupferproduktion, Sekundärkupfer wird in Brixlegg (Montanwerke Brixlegg AG) hergestellt.

5.1 Marktfähiges Zwischenprodukt

Kupferkathode Als marktfähiges Zwischenprodukt wird die Kupferkathode nach der Elektrolyse herangezogen. In der Kupferraffinationselektrolyse wird aus Anodenkupfer, in dem ca. 1 % Begleitmetalle enthalten sind, hochreines Kathodenkupfer (99,99 %) gewonnen.

5.2 Primärproduktion von Kupfer

Primärkupfer wird mittels pyrometallurgischen (über 85 %, BREF NFM 2001) oder hydrometallurgischen (10 %, BREF NFM 2001) Prozess hergestellt. In dieser Studie wurde die pyrometallurgische Route betrachtet.

5.2.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Dem Abbau des Roherzes folgt eine Abtrennung der Gangart. Das gängige Aufbereitungsverfahren nach dem Aufmahlen der Roherze ist die Flotation. Im Anschluss an die Flotation wird das Konzentrat getrocknet und kann zur Weiterverarbeitung abtransportiert werden. Das Konzentrat hat in der Regel eine Kupferkonzentration zwischen 25 und 35 %.

pyrometallurgischer Prozess

Der pyrometallurgische Prozess umfasst die Verarbeitung vom sulfidischen Erzkonzentrat bis zum elektrolytisch gewonnenen Reinmetall. Im ersten Schritt werden die Konzentrate im Schwebeschmelzverfahren (Outokumpu-Verfahren) pyrometallurgisch behandelt. Der Schmelze sind eine Schwefelsäureanlage und ein Schlackearmschmelzen angeschlossen. Anschließend erfolgen die Konverterarbeit und das Raffinieren des Rohmetalls (Blisterkupfer). Nach nochmaligem Aufschmelzen in Anoden- bzw. Anodenschachtöfen erfolgt die Raffinationselektrolyse zum Reinmetall (Primärkupfer).

Zur Raffination werden nicht nur verhüttetes Rohmaterial eingesetzt sondern auch Schrotte, die jedoch in GEMIS nicht weiter spezifiziert worden sind.

Als Kuppelprodukte entstehen Schwefelsäure, Anodenschlämme (enthalten Edelmetalle) und Nickelsulfat. Anodenschlämme und Schlacke wurden im GEMIS als Reststoff bilanziert, für die Schwefelsäureherstellung wurde eine Gutschrift über die Primärherstellung im GEMIS gewährt.

Abbildung 6 gibt einen schematischen Überblick über die einzelnen Schritte der Primärkupferherstellung.

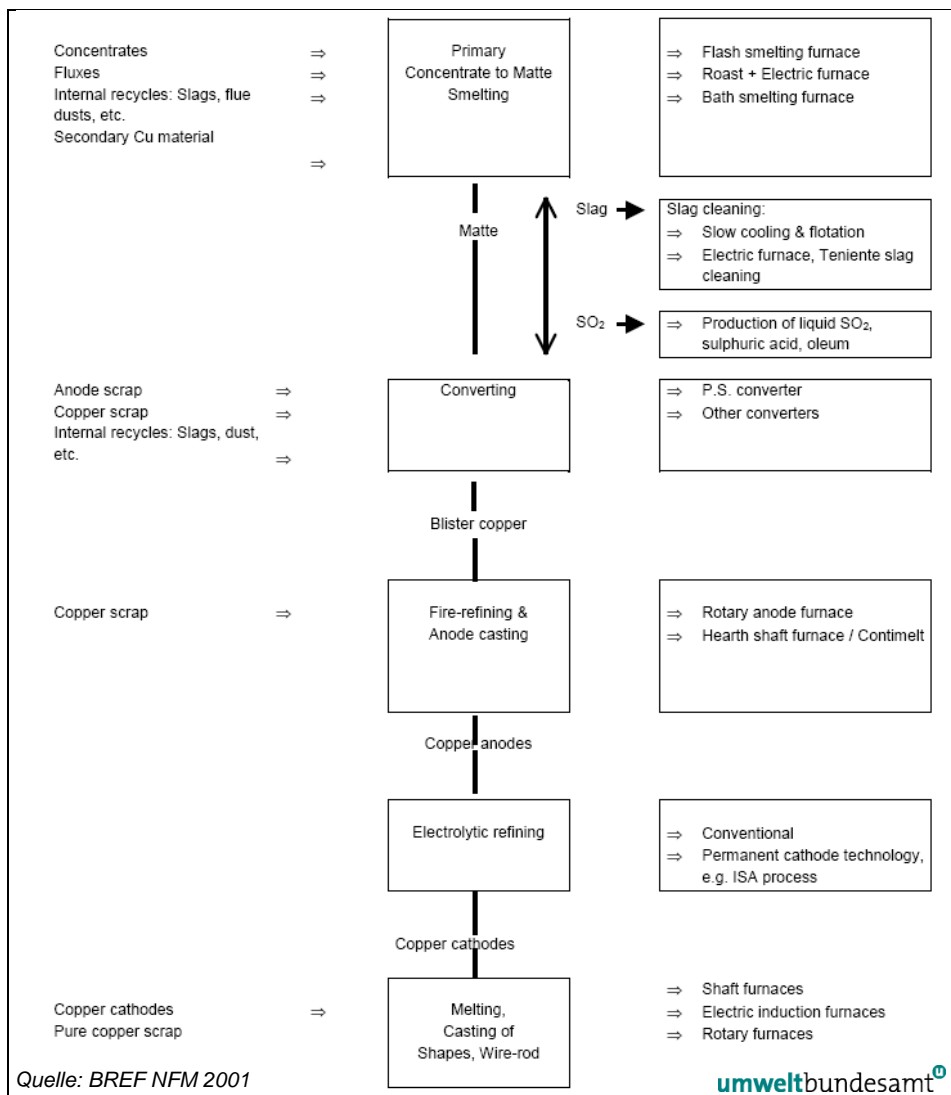


Abbildung 6: Verfahrensschritte in der Primärkupferherstellung.

5.2.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Es werden erstens der Abbau von Roherz und die Aufbereitung zum sulfidischen Konzentrat (siehe Tabelle 23) und zweitens der pyrometallurgische Prozess zur Herstellung von Primärkupfer (siehe Tabelle 24) betrachtet. Die Daten wurden aus GEMIS entnommen.

Für den pyrometallurgischen Prozess erfolgte die Berechnung aus GEMIS unter drei unterschiedlichen Annahmen:

- 1) Österreichischer Strommix
- 2) Deutscher Strommix
- 3) Europäischer Strommix (UCTE)

Tabelle 23: Input beim Abbau von Roherz und bei der Aufbereitung von sulfidischem Konzentrat pro Tonne Roherz (pro t trockenes Konzentrat) (GEMIS).

Input	
Strombedarf	3,54 GJ/t
Dieselbedarf	2,7 GJ/t
Branntkalk	80 kg/t
Sprengstoff	20 kg/t
Mahlverschleiß	14 kg/t
Wasser	22 l/t

Tabelle 24: Energieinput und Output beim pyrometallurgischen Prozess zur Herstellung von Primärkupfer pro Tonne Kupfer (GEMIS).

Input	
Brennstoff (Erdgas)	6,3 GJ/t
Strombedarf	4,4 GJ/t
Output	
Primärkupfer	1.000 kg
Schwefelsäure	1,8 t/t
Anodenschlamm	10 kg/t
Nickelsulfat	10 kg/t
Schlacke	1.120 kg/t

Der Energiebedarf beim pyrometallurgischen Prozess ist über die gesamte Prozesseinheit aggregiert. Er setzt sich zusammen aus dem Brennstoffbedarf (Erdgas) und dem elektrischen Energiebedarf.

5.3 Sekundärproduktion von Kupfer

Einsatzmaterialien in der Sekundärkupfererzeugung sind kupferhaltige Schrotte, Schlacken, oxidische Aschen, Krätzen und Raffinationsmaterialien, Blisterkupfer, Kupferlegierungen sowie innerbetrieblich anfallende Abfälle/Reststoffe (Filterstäube, Filterkuchen, Schlämme). Diese werden in Abhängigkeit von ihrem Kupfergehalt und ihrer weiteren Zusammensetzung in den unterschiedlichen Schmelzaggregaten eingesetzt. Eine mittlere Zusammensetzung der Materialien kann aufgrund der großen Heterogenität nicht angegeben werden.

5.3.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Die Sekundärkupferproduktion umfasst die Schmelzaggregate bzw. Schritte Schachtofen-Konverter (bzw. Badschmelzofen; siehe auch KRS⁸), Anodenofen und Raffinationselektrolyse.

Metallisches Einsatzmaterial wird dabei im Konverter oder Anodenofen eingesetzt, die sonstigen sekundären Rohstoffe werden zusammen mit den Schlacken im Schachtofen oder Elektroofen unter reduzierenden Bedingungen eingeschmolzen. Die Weiterverarbeitung verläuft dann analog der Primärkupferproduktion.

Erstes Aggregat der Sekundärkupfererzeugung ist der Schachtofen oder der Badschmelzofen (Schachtofen-Konverter).

Folgende Schmelzaggregate bzw. Verfahrensschritte werden sowohl in der Primär- als auch in der Sekundärkupferproduktion eingesetzt:

- Schachtofen
- Konverter (entfällt bei Badschmelztechnologie)
- Flamm- oder Anodenofen
- Raffinationselektrolyse

Als Kuppelprodukte entstehen bei der österreichischen Anlage Magnesiumsulfat, Anodenschlämme und Nickelsulfat. Anodenschlämme, Nickelsulfat, Magnesiumsulfat und Schlacke werden als Reststoffe angeführt.

Abbildung 7 gibt eine schematische Übersicht über die einzelnen Schritte der Sekundärkupfererzeugung.

⁸ KRS...Kaysen Recycling Systems = Schmelztechnologie

KRAWI – Kupfer

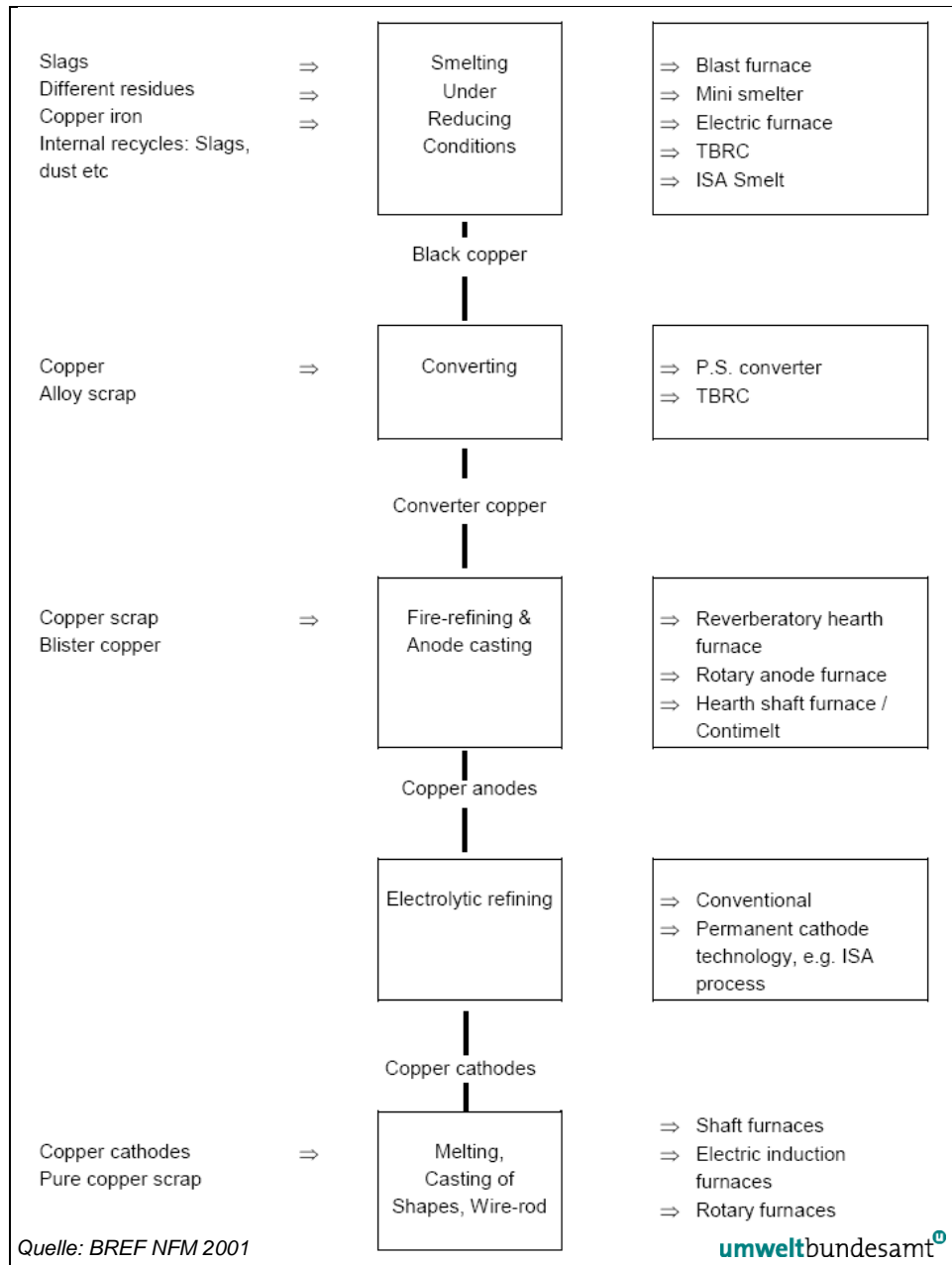


Abbildung 7: Verfahrensschritte in der Sekundärkupferproduktion.

5.3.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Die Sekundärkupferherstellung wird auf pyrometallurgischem Weg bilanziert. Es wird dazu das Schachtofen-Konverter-Verfahren angewendet.

Die Berechnung der österreichischen Anlage erfolgte mit dem österreichischen Strommix (siehe Tabelle 25). Input-Materialien wie Sauerstoff, SiO₂ und Schwefelsäure sind bei der österreichischen Anlage aufgrund von fehlenden Daten nicht angeführt und auch nicht berechnet worden.

Tabelle 25: In- und Output bei der Sekundärkupferherstellung pro Tonne Kupfer (Daten Österreich 2007–2009).

Input	
Einsatz Schrott	1.350–1.500 kg/t
Steinkohlenkoks	80 kg/t 2,25 GJ/t
Holz (Buche)	28,96 kg/t 0,4 GJ/t
Erdgas	4,6 GJ/t
Strombedarf	2,16 GJ/t
SiO ₂	k.A.
Sauerstoff	k.A.
MgO	2,2 kg/t
Output	
Sekundärkupfer	1.000 kg
Anodenschlamm	k.A.
Nickelsulfat	14 kg/t
Schlacke	200 kg/t
Flugstaub	30 kg/t

5.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft

Im Folgenden sind für die betrachteten Recyclingprozesse (Metallaufbereitung aus MVA-Schlacke und aus Altschrott gesamt) der spezifische Energiebedarf für die Aufbereitung einer Tonne Cu-Fraktion (als Einsatzmaterial in der Sekundärhütte) sowie die zugrundegelegten Transportdistanzen dargestellt. Für MVA-Schlacke wurde nur Variante 1 (nur Metalle sind Wertstoffe) betrachtet, da keine verwertbaren Kunststoffmengen in der MVA-Schlacke enthalten sind.

Tabelle 26: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Cu-Fraktion aus „Altschrott gesamt“.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen	Variante 2 Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff
Energiebedarf Aufbereitung	736–847 kWh/t	262–364 kWh/t
Transporte*	77,8 km/t	36,5 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

Tabelle 27: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Cu-Fraktion aus MVA-Schlacke.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen
Energiebedarf Aufbereitung	117 kWh/t
Transporte*	21 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

5.5 KEA und THG-Emissionen bei der Kupferproduktion

5.5.1 KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Etwa ein Drittel des Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen entstehen beim Abbau des Roherzes und der Aufbereitung zum sulfidischen Konzentrat. Zwei Drittel des Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen entstehen beim pyrometallurgischen Prozess zur Herstellung von Reinmetall (siehe Tabelle 28). Der Großteil der emittierten Mengen an THG ist CO₂.

Tabelle 28: KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion pro Tonne Primärkupfer.

	Kupferherstellung primär		
	Strommix Österreich	Strommix Deutschland	Strommix UCTE
KEA gesamt (in GJ/t)	64,8	70,6	70,3
KEA Abbau	21,8	21,8	21,8
KEA pyrometallurg. Prozess	43,0	48,8	48,5
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	5.152	5.611	5.403
CO ₂ -Emissionen Abbau	1.882	1.882	1.882
CO ₂ -Emissionen pyr. Prozess	3.270	3.729	3.521
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	5.569	6.019	5.811
THG-Emissionen Abbau	2.033	2.033	2.033
THG-Emissionen pyr. Prozess	3.536	3.985	3.778

5.5.2 KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Es wurde mit Daten der österreichischen Anlage und mit dem österreichischen Strommix gerechnet.

Der Anteil von CO₂ an den gesamten THG-Emissionen bei der Sekundärkupferherstellung beträgt 82 %.

Tabelle 29 zeigt das Ergebnis der Sekundärproduktion ohne Abfallrucksack.

Tabelle 29: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion pro Tonne Sekundärkupfer ohne Abfallrucksack.

Kupferherstellung sekundär	
Strommix Österreich	
KEA gesamt	14,1 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	489 kg/t
THG-Emissionen gesamt	594 kg/t

In Tabelle 30 ist das Ergebnis der Sekundärproduktion inklusive Abfallrucksack für Aufbereitung von MVA-Schlacke und „Altschrott gesamt“ dargestellt. In Klammer ist jeweils der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben.

Tabelle 30: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion pro Tonne Sekundärkupfer inklusive Abfallrucksack.

Kupferherstellung sekundär		
Strommix Österreich		
	Variante 1*	Variante 2**
Kupfer aus MVA-Schlacke (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)		
KEA gesamt (in GJ/t)	14,9 (5,8 %)	–
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	535 (8,4 %)	–
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	643 (7,7 %)	–
Kupfer aus „Altschrott gesamt“ (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)		
KEA gesamt (in GJ/t)	20 (30 %) bis 20,9 (33 %)	16,2 (13 %) bis 17 (17 %)
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	757 (35 %) bis 797 (39 %)	586 (16 %) bis 623 (21 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	896 (34 %) bis 941 (37 %)	702 (15 %) bis 744 (20 %)

* Variante 1: Bezug auf Gehalt an Metallen

** Variante 2: Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff

5.6 Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Kupfer

Ein Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion ergibt die in Tabelle 31 angegebenen Einsparungen.

Tabelle 31: Vergleich des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Kupfer (Strommix Österreich).

	KEA (in GJ/t)	CO₂ (in kg/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	64,8	5.152	5.569
Sekundärproduktion (Altschrott)*	18,6	692	822
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion</i>	– 46,2 (– 71 %)	– 4.460 (– 87 %)	– 4.747 (– 85 %)

* Berechnungen mit Mittelwert aus Abfallrucksack (MW aus Min und Max der Varianten 1 und 2)

***Einsparung durch
Sekundärproduktion***

Der Vergleich zeigt, dass bei der Sekundärproduktion rd. 46 GJ/t Energieverbrauch (71 %), 4.460 kg/t der CO₂-Emissionen (87 %) und 4.747 kg/t der THG-Emissionen (85 %) im Vergleich zur Primärherstellung vermieden werden.

Die Energie- und CO₂-Ersparnis ist für die österreichische CO₂- und Energiebilanz nicht relevant, da es in Österreich keine Primärproduktion mehr gibt, die durch Sekundärproduktion substituiert werden könnte.

6 EISEN/STAHL

Eisen/Stahl wird grundsätzlich über zwei Verfahrensrouten erzeugt: in Elektrostaahlwerken und integrierten Stahlwerken (Hochofenroute). Elektrostaahlwerke befinden sich in Kapfenberg (Böhler Edelstahl), Mitterdorf (Breitenfeld Edelstahl) und in Graz (Marienhütte). Die in Österreich relevanten integrierten Stahlwerke sind die Anlagen der Fa. Voestalpine Stahl in Linz und in Donawitz.

6.1 Marktfähiges Zwischenprodukt

Als marktfähiges Zwischenprodukt wird Rohstahl herangezogen. Rohstahl wird in der Regel am Standort zu Fertig- oder Halbfertigprodukten weiterverarbeitet, jedoch auch zu einem geringen Anteil am Markt gehandelt.

Rohstahl

Die aus Rohstahl gefertigten Endprodukte sind in Österreich durchwegs unterschiedlich und hängen einerseits von der Technologie (Hochofenroute versus Elektrostaahlwerke) und andererseits von den einzelnen Standorten ab. Während in den zwei integrierten Stahlwerken Flachprodukte (Bleche für Kfz, Haushaltsgeräte etc.) und Langprodukte (Schienen, Draht, Profile etc.) erzeugt werden, werden in den Elektrostaahlwerken hochlegierte Edelstähle (Werkzeugstahl, Sonderwerkstoffe u. a. für den Flugzeug- und Turbinenbau) und Bewehrungsstähle (Betonstahl) hergestellt. Dementsprechend unterschiedlich sind auch die Anforderungen an den Rohstahl (Reinheit, Legierungsbestandteile etc.), der Ausgangsprodukt für die Weiterverarbeitung zu den oben genannten Produkten ist. In dieser Studie wird nur die Erzeugung von Rund- und Baustählen betrachtet. Bei höherwertigen Stählen ist zu beachten, dass sich die Elektrolichtbogenroute für diese Herstellung aufgrund der Verunreinigungen im Schrott nur bedingt eignet, womit diese höherwertigen Stähle in der Regel in integrierten Stahlwerken hergestellt werden. Eine Ausnahme bildet hier die Erzeugung von Edelstahl, die zwar in Elektrostaahlwerken durchgeführt wird, jedoch von hochreinen Schrotten ausgeht. Die Zugabe von Schrott ist daher eng an das jeweilige Endprodukt gekoppelt.

Für die Sekundärproduktion werden zwei Szenarien betrachtet – einerseits die Hochofenroute mit hohem Schrotteinsatz und andererseits die Elektrostaahlerzeugung. Beim Vergleich der beiden ist die Kopplung von Schrotteinsatz und Art des Endproduktes zu berücksichtigen.

6.2 Primärproduktion von Eisen/Stahl

6.2.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

In integrierten Stahlwerken (Hochofenroute) wird aus Eisenerz unter Zugabe von Reduktionsmitteln (Koks, Kohle, Schweröl etc.) und Zuschlag- bzw. Hilfsstoffen zunächst Roheisen (RE) hergestellt. Aus dem flüssigen Roheisen wird in einem weiteren Schritt Rohstahl erzeugt. Dabei werden die Roheisenbegleiter Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor und Mangan unter Wärmeentwicklung oxidiert (Oxygenstahl). Die festen Oxide werden in die Schlacke eingebunden. Zur Küh-

Rohstahlherstellung im Hochofen

lung werden hierbei in der Regel gewisse Mengen an Schrott zugegeben. Bei der Hochofenroute kann somit nur ein definierter Maximalanteil von Schrott im Konverter verarbeitet werden, da die Schrotzugabe u. a. auch zur Kühlung der auftretenden Prozesswärme im Konverter dient.

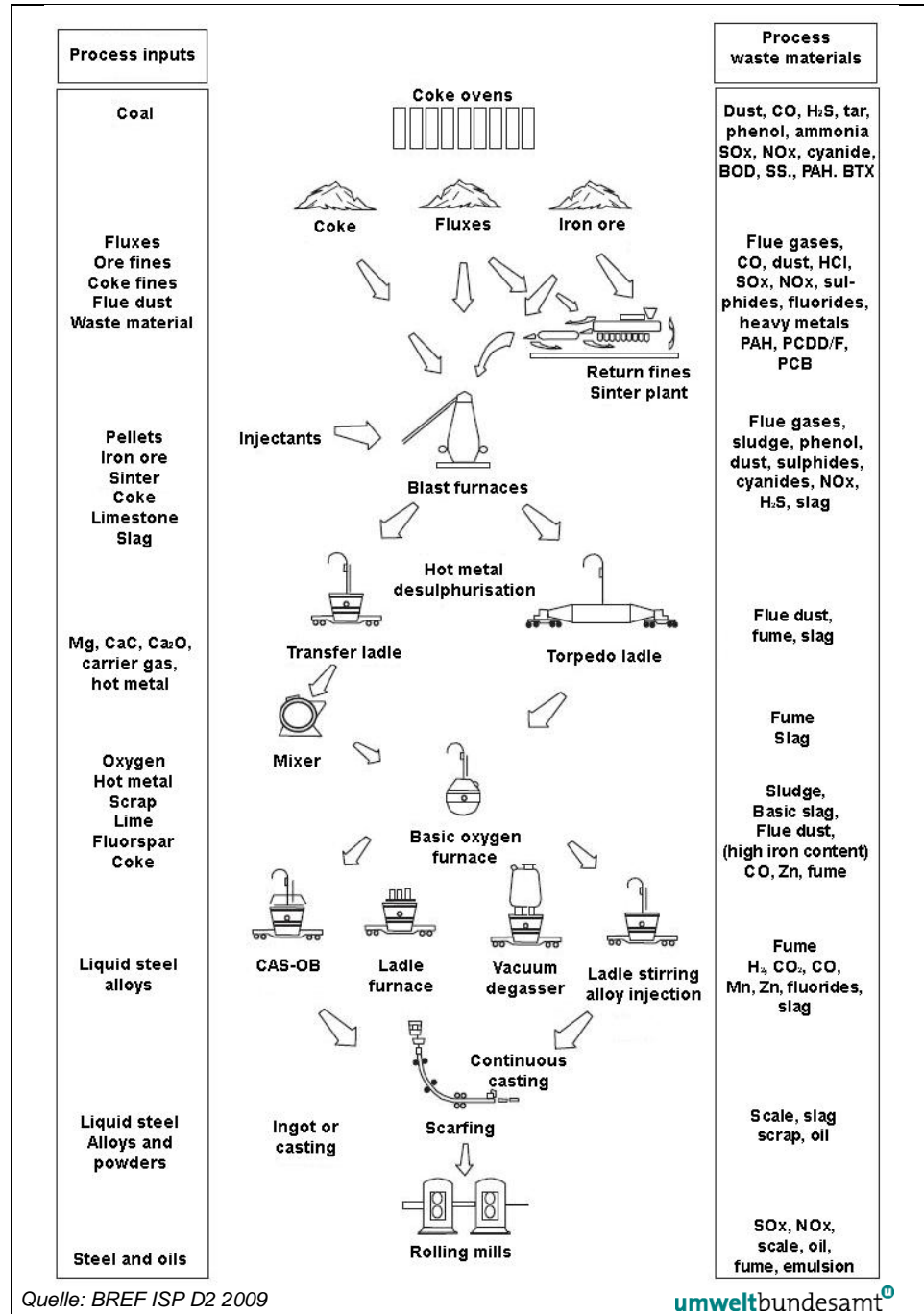


Abbildung 8: Schema für die Erzeugung von Rohstahl in integrierten Stahlwerken.

Ein Maß für den Einsatz von Schrott ist das Verhältnis von Roheisen zu Rohstahl. In Abbildung 9 ist dieses Verhältnis für die Stahlerzeugung (Hochofenroute) für Mitgliedstaaten der EU angegeben.

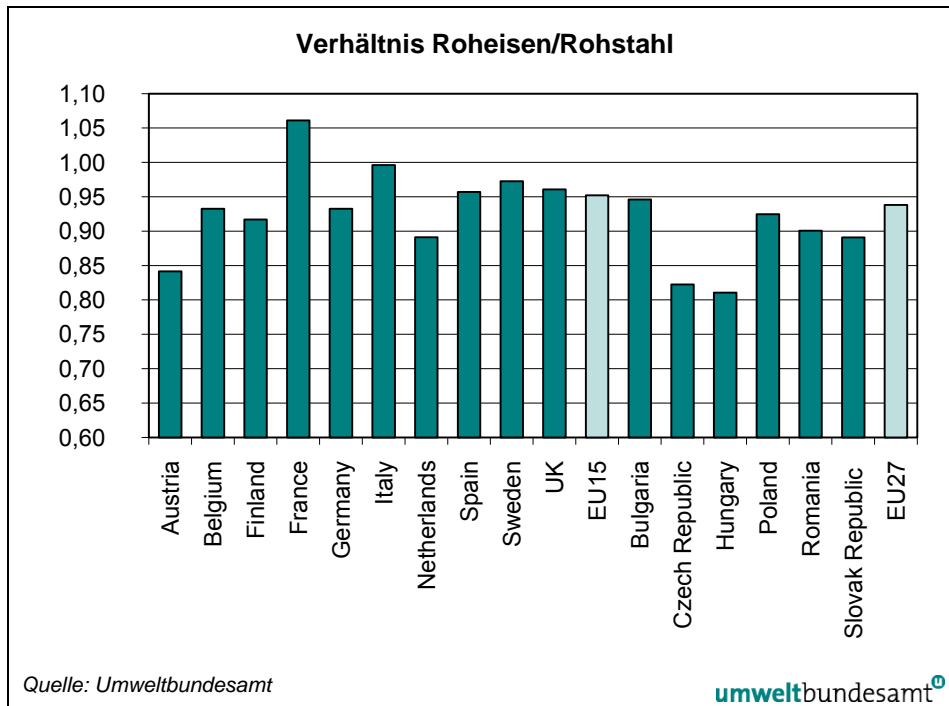


Abbildung 9: Verhältnis Roheisen/Rohstahl bei der Stahlerzeugung nach EU-Ländern; Berechnung nach Angaben aus IISI (2009), durchschnittliche Werte 2002–2007.

Aus dem Verhältnis von Roheisen zu Rohstahl lässt sich der Schrotteinsatz zwar nicht unmittelbar für die einzelne Anlage ableiten, da hier auch noch anlagenspezifische Parameter (wie z. B. Verluste) relevant sind. Es lässt sich jedoch anhand der Angaben in GEMIS abschätzen, dass der Anteil an Schrott bei der Herstellung von Oxygenstahl in der EU etwa zwischen 5 % und 30 % liegt, wobei davon auszugehen ist, dass es sich bei den geringeren Werten um Eigenschrott handelt.

eingesetzte Mengen an Altschrott

Bei der Primärproduktion (Hochofenroute) wird das Referenzszenario somit mit 5 % Eigenschrott angesetzt (kein Abfallrucksack). Wie Abbildung 9 zeigt, ist dieser Fall zwar möglich, in der Praxis kommt er jedoch eher selten vor. Lediglich in Frankreich liegt das Verhältnis Roheisen/Rohstahl deutlich über dem Wert von 1. In der Praxis liegt das Verhältnis Roheisen zu Rohstahl in vielen Fällen bei 0,95–0,97. Daraus lässt sich eine minimale Schrotzugabe von 15 % abschätzen.

6.2.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Inputdaten wurden im Wesentlichen GEMIS entnommen. Daten zu Reduktionsmitteln wurden auf Basis der österreichischen Energiebilanz und auf Basis von veröffentlichten Daten von IISI (2009) abgeschätzt. Auch zum Einsatz von

heimischen Erzen in der Sinteranlage wurden von GEMIS abweichende Daten herangezogen (siehe Tabelle 32). Nach Angaben aus IISI (2009) berechnet sich ein Einsatz von 376 kg heimisches Erz/t Roheisen.

Für die Primärproduktion in der Hochofenroute wird wie oben bereits ausgeführt von einem Schrotteinsatz von 5 % ausgegangen.

Tabelle 32: Auszug von Daten für die In- und Output bei der Berechnung von CO₂- und THG-Emissionen der Stahlproduktion (Hochofenroute, Primärproduktion mit 5 % Eigenschrottanteil) pro Tonne Rohstahl; nach GEMIS; von GEMIS abweichende Daten sind in der Tabelle ausgewiesen.

Input		Datenherkunft	
Einsatz Schrott	kg/t Rohstahl	50	Annahme
Roheisen	kg/t Rohstahl	1.064	Berechnung aus GEMIS mit Annahmen zu Schrotteinsatz
Koks (Reduktionsmittel)	GJ/t Roheisen	12,6	Berechnung aus STATISTIK AUSTRIA (2009) IISI (2009)
Heizöl (Reduktionsmittel)	GJ/t Roheisen	1,74	Berechnung aus STATISTIK AUSTRIA (2009) IISI (2009)
Steinkohle (Reduktionsmittel)	GJ/t Roheisen	0	Berechnung aus STATISTIK AUSTRIA (2009) IISI (2009)
Kalk	kg/t Rohstahl	50	GEMIS
Sauerstoff	kg/t Rohstahl	60	GEMIS
Output			
Stahl, fl.	kg/t Rohstahl	1.000	
Schlacke	kg/t Rohstahl	110	GEMIS
Konvertergas	kg/t Rohstahl	100	GEMIS
Stäube	kg/t Rohstahl	15	GEMIS

Bei der Herstellung von Roheisen wird in GEMIS angenommen, dass 33 % des intern entstandenen Gichtgases (insgesamt 6 GJ/t Roheisen) zur Erhitzung des Windes verbrannt wird, die restlichen 66 % werden zur Stromerzeugung genutzt. Da auf einen Austausch der Energieträger Kokereigas und Gichtgas verzichtet wird, folgt die Bilanzierung damit weitgehend dem Energieverteilungsplan nach ULLMANN (1994). Aus dieser Publikation wurde ebenfalls der elektrische Wirkungsgrad von 0,374 übernommen. Es werden somit 1,5 GJ/t Roheisen Strom erzeugt.

Zur externen Stromerzeugung werden der österreichische, der deutsche und der EU Strommix jeweils aus dem Jahr 2005 herangezogen.

6.3 Sekundärproduktion von Eisen/Stahl

Wie bereits zuvor ausgeführt, werden für die Sekundärproduktion zwei Szenarien betrachtet: einerseits die Hochofenroute mit hohem Schrotteinsatz und andererseits die Elektrostahlerzeugung.

6.3.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Hochföfenroute: Es wird von einem Maximalanteil der Schrottzugabe von 30 % ausgegangen. Für eine Kurzbeschreibung des Produktionsverfahrens siehe Primärerzeugung (siehe Kapitel 6.2.1).

Elektrostahlherstellung: Beim Elektrostahlverfahren wird die zum Erschmelzen des Einsatzmaterials erforderliche Energie durch elektrischen Strom zugeführt, wobei im Elektrolichtbogenofen die notwendige Wärme mit Hilfe eines Lichtbogens erzeugt wird. Als Eisenträger wird in den meisten Fällen ausschließlich Schrott eingesetzt. Nur in Ausnahmefällen wird auch direkt reduziertes Eisen oder Roheisen aus dem Hochofen eingesetzt.

Die Prozesse im Lichtbogenofen umfassen die Verfahrensschritte Chargieren und Einschmelzen, Abstechen von Stahl bzw. Schlacke, Sekundärmetallurgie und Gießen. Das Chargieren beinhaltet neben der Zugabe von Schrott auch das Einbringen von Zuschlägen (Kalk zur Schlackenbildung), Reduktionsmitteln (Kohlenstoff) und Legierungselementen. Beim Einschmelzen wird teilweise mit zusätzlichen Brennstoff/Sauerstoff-Brennern zugeheizt. Nach dem Schmelzen der Stoffe werden durch Sauerstoffzugabe die unerwünschten Eisenbegleiter Kohlenstoff, Silizium, Phosphor und Mangan oxidiert. Kohlenstoff entweicht dabei gasförmig als Kohlenmonoxid, während die anderen Stoffe als Oxide in die Schlackephase überführt werden. Das flüssige Eisen wird abgegossen und verarbeitet. In dieser Studie wird nur Elektrostahl zur Herstellung von Rundstählen/Baustählen betrachtet.

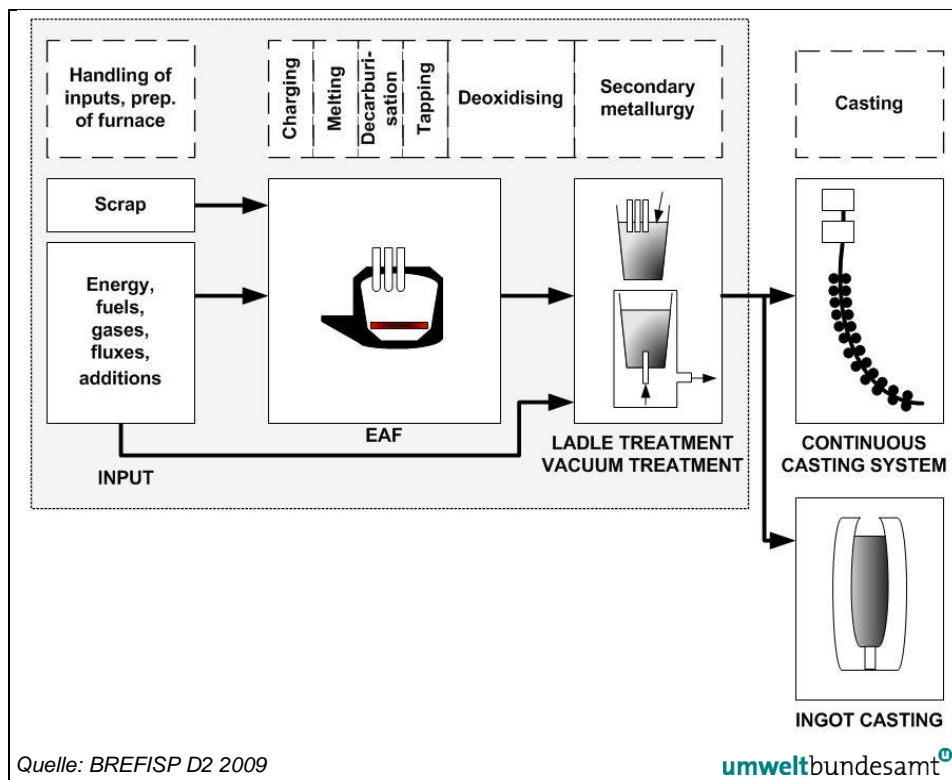


Abbildung 10: Schema für die Erzeugung von Rohstahl im Elektroofen.

6.3.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Datengrundlage

Hochofenroute: Es wird auf das Kapitel 6.2.2 verwiesen. Abweichend von Tabelle 32 wird hier von einem Schrotteinsatz von 300 kg/t Rohstahl und von einem Roheiseneinsatz von 814 kg/t Rohstahl ausgegangen.

Elektrostahlverfahren: Inputdaten wurden im Wesentlichen GEMIS entnommen. Es wird nur Elektrostahl zur Herstellung von Rundstählen/Baustählen betrachtet.

Tabelle 33: In- und Output bei der Stahlproduktion (Sekundärproduktion – Elektrostahlverfahren) pro Tonne Rohstahl nach GEMIS.

Input		
Schrott	1.074*	kg
Zuschlagstoffe	60	kg
Elektroden	3	kg
Gas	225	MJ
Kohle	290	MJ
Sauerstoff	43	kg
Strombedarf	1.800	MJ _{el}
Output		
Rohstahl, flüssig	1.000	kg
Schlacke	129	kg

* Abweichend von GEMIS wurden nur der Schrotinput und keine anderen Eisenträger (wie z. B. Roheisen) angenommen.

6.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft

Im Folgenden sind für die drei betrachteten Recyclingprozesse (Metallaufbereitung aus MVA-Schlacke, aus „Altschrott gesamt“ und aus getrennt gesammeltem Verpackungsmaterial) der spezifische Energiebedarf für die Aufbereitung einer Tonne Fe/Stahl-Fraktion (als Einsatzmaterial im Stahlwerk) sowie die zugrundegelegten kumulierten Transportdistanzen dargestellt. Für MVA-Schlacke wurde nur Variante 1 (nur Metalle werden als Wertstoffe betrachtet) betrachtet, da keine verwertbaren Kunststoffe enthalten sind.

Tabelle 34: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Erzeugung einer Tonne Fe/Stahl-Fraktion aus „Altschrott gesamt“.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen	Variante 2 Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff
Energiebedarf Aufbereitung	94–232 kWh/t	71–198 kWh/t
Transporte LKW*	8,4 km/t	6,4 km/t
Transporte Bahn	218 km/t	218 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

Tabelle 35: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Aufbereitung einer Tonne Fe-Fraktion aus Verpackungsmaterial pro Tonne Fe-Fraktion

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen	Variante 2 Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff
Energiebedarf Aufbereitung	87–224 kWh/t	69–195 kWh/t
Transporte LKW*	7,2 km/t	6 km/t
Transporte Bahn	220 km/t	220 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

Tabelle 36: Spezifischer Energiebedarf und Transportdistanzen für die Erzeugung einer Tonne Fe/Stahl-Fraktion aus MVA-Schlacke.

	Variante 1 Bezug auf Gehalt an Metallen
Energiebedarf Aufbereitung	113–238 kWh/t
Transporte Lkw*	3,2 km/t
Transporte Bahn	227 km/t

* Lkw (Beladung 25 t, Euro IV)

6.5 KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von Eisen/Stahl

6.5.1 KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Rund 90 % der THG-Emissionen sind CO₂-Emissionen. Mehr als zwei Drittel der CO₂-Emissionen stammen aus der Herstellung von Roheisen. Die Emissionen der Vorkette (Erzabbau, Aufbereitung, Transport) sind eher untergeordnet (< 20 %).

Tabelle 37: KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion pro Tonne Rohstahl.

	Rohstahlherstellung primär (5 % Eigenschrott)		
	Strommix Österreich	Strommix Deutschland	Strommix UTCE
KEA (in GJ/t)	27,4	27,5	27,5
Einsatz von Koks, Heizöl und Kohle im Hochofen (in GJ/t)	15,3	15,3	15,3
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	2.183	2.193	2.189
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	2.370	2.381	2.376

* Aufgrund der Vielzahl der Energieflüsse innerhalb eines integrierten Stahlwerks und der unterschiedlichen Anlagenkonstellationen wird hier als Vergleichsgröße der Einsatz von Koks, Kohle und Heizöl im Hochofen (Reduktionsmittel) ausgewiesen. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser den überwiegenden Einsatz von Energieträgern (> 2/3) am Standort bestimmt.

Tabelle 38: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für die Rohstahlherstellung primär (5 % Eigenschrotteinsatz) pro Tonne Rohstahl, Strommix Österreich 2005.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
Summe CO ₂ -Emissionen	2.183	100
Roheisenherstellung	1.479	67,8
davon Kokerei	149	6,8
Sinterherstellung	304	13,9
Branntkalkherstellung	110	5,0
Transport (Überseeschiff)	104	4,8
Rest*	186	8,5

* Externe Erzeugung von Strom, Abbau und sonstiger Transport von Rohmaterialien

Eisenerz stammt zum Großteil aus Übersee. Der Anteil an heimischem Eisenerz beträgt rd. 10 %. (PETROVIC 2008).

6.5.2 KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Hochofenroute

Tabelle 39: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion (Hochofenroute mit 30 % Schrottanteil) pro Tonne Rohstahl.

	Stahlherstellung sekundär
	Strommix Österreich
KEA	21,7 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	1.728 kg/t
THG-Emissionen gesamt	1.876 kg/t

Tabelle 40: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für Rohstahlherstellung sekundär (30 % Schrottanteil) pro Tonne Rohstahl.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
	Strommix Österreich	
Summe CO ₂ -Emissionen	1.728	100
Roheisenherstellung	1.163	67,3
davon Kokerei	114	6,6
Sinterherstellung	235	13,6
Brantkalkherstellung	95	5,5
Transport (Überseeschiff)	82	4,8
Rest*	152	8,8

* externe Erzeugung von Strom, Abbau und sonstiger Transport von Rohmaterialien

Elektrostahlverfahren

Die GEMIS-Berechnungen beziehen sich ausschließlich auf die Produktion von Rund- bzw. Baustählen.

Tabelle 41: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion (Elektrostahlverfahren, 100 % Schrott) pro Tonne Rohstahl.

Stahlherstellung sekundär	
Strommix Österreich	
KEA	4,24 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	247 kg/t
THG-Emissionen gesamt	270 kg/t

Tabelle 42: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für Rohstahlherstellung (Szenario Sekundärproduktion – Elektrostahlverfahren) pro Tonne Rohstahl.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
	Strommix Österreich	
Gesamt*	247	100
Strom*	114	46,2
Kalkherstellung	60,1	24,4
Prozessemissionen Stahl	39,7	16,1
Dampferzeugung	12,5	5,1
Zementherstellung für Anlage	7,4	3,0
Sonstiges	12,8	5,2

* Der Anteil der Stromerzeugung und damit auch die spezifischen Emissionen sind deutlich geringer als in Deutschland, was auf den niedrigeren Emissionsfaktor für die Stromerzeugung in Österreich (GEMIS: 281 g CO₂/kWh) zurückzuführen ist. Vergleichsweise werden in GEMIS für den Emissionsfaktor der Erzeugung in Deutschland 650 g CO₂/kWh herangezogen, womit sich die spezifischen Gesamtemissionen der Elektrostahlherstellung mit 452 kg CO₂/t Rohstahl berechnen.

In Tabelle 43 ist das Ergebnis der Sekundärproduktion – Hochofenroute inklusive Abfallrucksack für die Aufbereitung von MVA-Schlacke, „Altschrott gesamt“ und Verpackungsmaterial dargestellt. In Klammer ist jeweils der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben.

Tabelle 43: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion (Hochofenroute, inklusive Abfallrucksack) pro Tonne Sekundärstahl.

Rohstahlherstellung sekundär Hochofenroute 30 % Altschrott		
Strommix Österreich		
	Variante 1*	Variante 2**
Rohstahl aus MVA-Schlacke (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)		
KEA gesamt (in GJ/t)	21,9 (1 %) bis 22 (2 %)	
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.737 (0,5 %) bis 1.746 (1 %)	
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	1.886 (0,5 %) bis 1.896 (1 %)	–
Rohstahl aus Altschrott gesamt (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)		
KEA gesamt (in GJ/t)	21,8 (0,5 %) bis 22 (2 %)	21,8 (0,5 %) bis 22 (1,5 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.735 (0,5 %) bis 1.746 (1 %)	1.733 (0,5 %) bis 1.743 (1 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	1.884 (0,5 %) bis 1.896 (1 %)	1.882 (0,5 %) bis 1.893 (1 %)
Rohstahl aus Verpackungsmaterial (in Klammer der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion)		
KEA gesamt (in GJ/t)	21,8 (0,5 %) bis 22 (1,5 %)	21,8 (0,5 %) bis 22 (1,5 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	1.735 (0,5 %) bis 1.745 (1 %)	1.733 (0,5 %) bis 1.743 (1 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	1.883 (0,5 %) bis 1.895 (1 %)	1.882 (0,5 %) bis 1.893 (1 %)

* Variante 1: Bezug auf Gehalt an Metallen

** Variante 2: Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff

In Tabelle 44 ist das Ergebnis der Sekundärproduktion (Elektrostahlverfahren) inklusive Abfallrucksack für die Aufbereitung von MVA-Schlacke, „Altschrott gesamt“ und Verpackungsmaterial dargestellt sowie jeweils der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben.

Tabelle 44: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion (Elektrostahlverfahren, inklusive Abfallrucksack) pro Tonne Sekundärstahl.

Rohstahlherstellung sekundär Elektrostahl		
Strommix Österreich		
	Variante 1*	Variante 2**
Rohstahl aus MVA-Schlacke (in Klammer ist der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben)		
KEA gesamt (in GJ/t)	5,0 (15,8 %) bis 5,9 (28 %)	–
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	278 (11,2 %) bis 312 (21 %)	–
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	305 (11,5 %) bis 343 (21,5 %)	–
Rohstahl aus „Altschrott gesamt“ (in Klammer ist der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben)		
KEA gesamt (in GJ/t)	4,9 (13,5 %) bis 5,8 (27,5 %)	4,7 (10,5 %) bis 5,6 (24,4 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (kg/t)	273 (9,6 %) bis 311 (20,6 %)	266 (7,2 %) bis 301 (18 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	299 (9,9 %) bis 342 (21,1 %)	292 (7,6 %) bis 331 (18,5 %)

Rohstahlherstellung sekundär Elektrostahl		
Strommix Österreich		
	Variante 1*	Variante 2**
Rohstahl aus Verpackungsmaterial (in Klammer ist der Anteil des Abfallrucksacks an der Sekundärproduktion angegeben)		
KEA gesamt (in GJ/t)	4,8 (12,6 %) bis 5,8 (26,9 %)	4,7 (10,2 %) bis 5,6 (24,2 %)
CO ₂ -Emissionen gesamt (in kg/t)	271 (9 %) bis 309 (20,2 %)	266 (7,2 %) bis 301 (18 %)
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	297 (9,2 %) bis 340 (20,6 %)	291 (7,4 %) bis 330 (18,4 %)

* Variante 1: Bezug auf Gehalt an Metallen

** Variante 2: Bezug auf Gehalt an Metallen und rezykliertem Kunststoff

6.6 Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Eisen/Stahl

Im Folgenden werden die THG-Emissionen bei der Hochofenroute (Primärproduktion; 5 % Schrott) der Erzeugung von Rohstahl (Einsatz von 30 % Schrott im Hochofen) sowie dem Einsatz des Schrotts im Elektroofen (100 % Schrott) gegenübergestellt.⁹ Da bei der Eisen- und Stahlindustrie und vor allem bei der Hochofenroute die Bilanzierung von CO₂- und THG-Emissionen generell über Massenbilanzen erfolgt (u. a. im Rahmen der Monitoring- und Reporting-Guidelines des Emissionshandels), sind Angaben zum KEA nur bedingt aussagekräftig. Aus diesem Grund werden hier nur die CO₂- bzw. THG-Emissionen von Primär- und Sekundärproduktion verglichen.

Bei einem Einsatz von 30 % Schrott im Hochofen sinken die CO₂- und THG-Emissionen um ca. 20 % je Tonne erzeugtem Rohstahl (CO₂ – 443,5 kg/t, THG – 481 kg/t).

Bei einem Einsatz von 100 % Schrott im Elektroofen sinken die CO₂- und THG-Emissionen um ca. 84 % je Tonne erzeugtem Rohstahl (CO₂ – 1.895 kg/t, THG – 2.055 kg/t).

Es lässt sich ableiten, dass die Produktion über den Elektroofen aufgrund des höheren Schrotteinsatzes weniger CO₂-intensiv ist als die Hochofenroute. Es wird jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aufgrund der verschiedenen Produkte und Qualitäten die beiden Verfahren nicht beliebig austauschbar sind, womit aus dem Vergleich keine Reduktionspotenziale abgeleitet werden können.

**erzielbare
Reduktion an
CO₂- und THG
Emissionen**

⁹ Ein Vergleich der Sekundärproduktion von Rohstahl im Hochofen (30 % Schrott) mit jener im Elektroofen (100 % Schrott) ist aufgrund des unterschiedlichen Schrotteinsatzes nicht zweckmäßig.

7 GLAS – BEHÄLTERGLAS

Getrennt gesammeltes Altglas wird je nach Glasart in unterschiedlichem Ausmaß von 0 % bis zu 95 % im Herstellungsprozess eingesetzt. Der höchste erreichbare Anteil des (Fremd)Scherbenrecycling liegt bei **grünem Behälterglas**. Die in Österreich dafür relevanten Betriebe sind die Anlagen der Fa. Vetropack in Pöchlarn und Kremsmünster. Eigenscherben werden in jeder Glasanlage wieder eingesetzt, daher gibt es keine Glasproduktion ausschließlich aus mineralischen Rohstoffen (Kalk, Sand, Soda).

7.1 Marktfähiges Zwischenprodukt

grünes Behälterglas

Als marktfähiges Zwischenprodukt wird Behälterglas grün gewählt. Daraus werden z. B. Flaschen für Wein und andere Getränke hergestellt. Der Scherbenanteil bei Behälterglas zwischen 5 % und 95 %; der EU-Durchschnitt liegt bei 50 % (BREF Glass-draft 2009). In Österreich liegt der Scherbenanteil bei Grünglas bei ca. 75 % (VETROPACK 2006).

7.2 Primärproduktion von Behälterglas

Die Primärproduktion für Grünglas kann mit 5 % Eigenscherben (kein Abfallrucksack) und 95 % Rohstoffen als Maximalszenario angesetzt werden. Letzteres liegt in der Praxis nicht vor; 25–50 % Scherben sind realistische Werte im unteren Bereich.

7.2.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Bei der Glasproduktion sind die wesentlichen Betriebsaggregate und Verfahrensschritte für Primär- und Sekundärproduktion die gleichen:

- Scherbenreinigung am Standort (Waschen und Sortieren),
- Glaswanne und Formgebung (ohne Beschichtung).

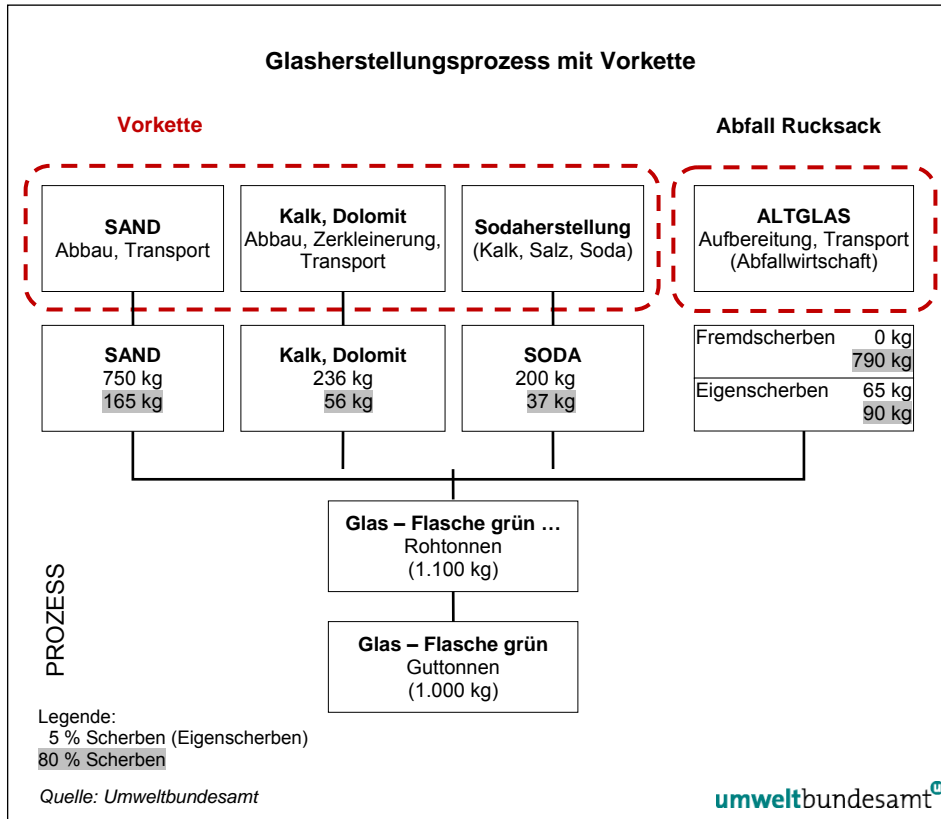


Abbildung 11: Schema für die Erzeugung von Behälterglas.

7.2.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Tabelle 45: Input bei der Primärproduktion von grünem Behälterglas pro Tonne Glas (GEMIS).

Input	
Scherben	5 %
Energie (Erdgas)*	5,875 GJ/t
Energie Reinigung, Brechen (Strom)	0
Energie Transport	0
Eigenscherben	65 kg/t
Sand	750 kg/t
Kalk	210 kg/t
Dolomit	26 kg/t
Soda	220 kg/t
Chromerzmehl	6 kg/t
Natriumsulfat	6 kg/t

Anm: Chromerzmehl und Natriumsulfat sind in GEMIS nicht abgebildet, jedoch auch nicht CO₂-relevant.

* Pro Tonne Endprodukt (Behälterglas)

7.3 Sekundärproduktion von Behälterglas

Die Sekundärproduktion wird mit 75 % und 80 % Scherben berechnet, wobei laut Auskunft der Fa. Vetropack 80 % als oberer möglicher Wert bei gleichzeitigem Filterstaubreycling angesehen werden. Bereits dafür fehlen jedoch die Altglasmengen (72 % Grünglasrecycling im Jahr 2008).

7.3.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

Bei der Glasproduktion sind die wesentlichen Betriebsaggregate und Verfahrensschritte für Primär- und Sekundärproduktion die gleichen:

- Scherbenreinigung am Standort (Waschen und Sortieren)
- Glaswanne und Formgebung (ohne Beschichtung)

Der Energieaufwand sinkt mit Scherbeneinsatz um ca. 2,5 % je 10 % Scherben.

Energieverbrauch bei der Scherbenaufbereitung entsteht durch Waschen, Brechen und Sortieren. Die Aufbereitung erfolgt in Österreich am Standort der Glaswerke. Vom gesammelten Altglas werden Eisenteile mit Magnetscheider sowie größere Fremdstoffe per Hand entfernt, danach wird das Glas mittels Brecher zerkleinert (15 mm). Aus diesem Material werden lichtundurchlässige Materialien (z. B. Keramik) mittels optischer Verfahren entfernt. Fremdstoffe, die leichter als Glas sind, werden abgesaugt, restliche eisenhaltige Stoffe mittels Magnetscheider entfernt.

Der Energieverbrauch beträgt 4,2 kWh pro Tonne unaufbereiteter Fremdscherben. Bei der Aufbereitung werden ca. 7 % Fremdstoffe (Keramik, Steine, Metalle, Plastik etc.) aussortiert (VETROPACK 2010).

7.3.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Tabelle 46: Input bei der Sekundärproduktion von grünem Behälterglas pro Tonne Glas (GEMIS).

Input	75 % Scherben	80 % Scherben
Energie* (Erdgas, in GJ/t)	5,000	4,938
Energie Reinigung, Brechen (Strom, in kWh/t)	3,3	3,5
Energie Transport (Differenz aus GEMIS) (in kWh/t)	0,18	0,18
Scherben (in kg/t)	825	880
Sand (in kg/t)	208	165
Kalk (in kg/t)	56	45
Dolomit (in kg/t)	12	11
Soda (in kg/t)	48	47
Chromerzmehl (in kg/t)	3	3
Natriumsulfat (in kg/t)	2	2

Anm.: Chromerzmehl und Natriumsulfat sind in GEMIS nicht abbildbar, jedoch auch nicht CO₂-relevant.

* Pro Tonne Endprodukt (Behälterglas)

7.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft

Die Aufbereitung der Scherben ist in Kapitel 7.3 dargestellt.

Der Scherbentransport erfolgt sowohl mit Lkw als auch mit Bahn. Die durchschnittliche Transportdistanz je Lkw-Fahrt beträgt 256 km für Transportfahrten und 150 km für Sammelfahrten¹⁰ (siehe Kapitel 3.4.4). Für die Bahn wird ein Wert von 209 km/t angesetzt.

7.5 KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von Behälterglas

7.5.1 KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Knapp die Hälfte des kumulierten Energieaufwandes ist der Vorkette zuzurechnen. Die emittierten Mengen an CO₂/t und THG/t unterscheiden sich bei Glas nur gering.

Tabelle 47: KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion pro Tonne Glas (5 % Eigenscherben).

Glasherstellung primär	
KEA	10,67 GJ/t
Energieverbrauch Prozess	5,88 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	829 kg/t
THG-Emissionen gesamt	921 kg/t

Auf den Glasherstellungsprozess entfallen ca. 513 kg CO₂ pro Tonne Glas, davon sind 325 kg/t durch den Energieverbrauch bedingt und 188 kg/t sind Prozessemissionen, die aus den eingesetzten Karbonaten entweichen. Etwas mehr als ein Drittel der CO₂-Emissionen (316 kg/t) entsteht in der Vorkette. Die größten Verursacher sind dabei die Sodaherstellung und der Abbau der Rohmaterialien, der Erdgastransport durch Verdichterstationen sowie das eingesetzte Refraktärmaterial.

Tabelle 48: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für Glasherstellung primär (5 % Eigenscherben) pro Tonne Glas.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
Summe CO ₂ -Emissionen	829	100
Energieverbrauch Glaswanne (Erdgas)	325	39,3
Prozessemissionen aus Glaswanne	188	22,7
Vorkette Soda	195	23,6
Verdichter (Vorkette Gas)	38	4,6

¹⁰ Für direkt ins Werk als Abschluss der Sammeltour verbrachte Scherbenmengen.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
Refraktärmaterial	32	3,8
Dieselmotor/Abbau	13	1,6
Strom Vorkette/Abbau	18	2,2
Rest (Rohmaterialtransport, Vorkette Material und Energie)	20	2,4

7.5.2 KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Zwei Drittel des Kumulierten Energieaufwandes entfallen auf den Prozess, knapp ein Drittel auf die Vorkette. Die emittierten Mengen an CO₂/t und THG/t unterscheiden sich bei Glas nur gering.

Tabelle 49: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion (75 % Scherben) inklusive Abfallrucksack pro Tonne Glas.

Glasherstellung Sekundärproduktion	
KEA	7,51 GJ/t
Energieverbrauch Prozess	5,00 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	475 kg/t
THG-Emissionen gesamt	535 kg/t

Auf den Glasherstellungsprozess entfallen ca. 327 kg CO₂ pro Tonne Glas, davon sind 277 kg/t durch den Energieverbrauch bedingt und 50 kg/t sind Prozessemissionen, die aus den eingesetzten Karbonaten entweichen. Etwa 30 % der CO₂-Emissionen (142 kg/t) entstehen in der Vorkette. Die größten Verursacher sind dabei die Sodaherstellung, der Erdgastransport durch Verdichterstationen sowie das eingesetzte Refraktärmaterial. Auf Transport und Aufbereitung der Scherben entfallen nur ca. 8 kg CO₂/t.

Tabelle 50: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für Glasherstellung sekundär (75 % Scherben) pro Tonne Glas.

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
Summe CO ₂ -Emissionen	475	100
Energieverbrauch Glaswanne (Erdgas)	277	58,3
Prozessemissionen aus Glaswanne	50	10,5
Vorkette Soda	47	10,0
Verdichter (Vorkette Gas)	33	6,9
Refraktärmaterial	32	6,7
Dieselmotor/Abbau	8	1,7
Fremdscherben Transport*	7	1,5
Fremdscherben Aufbereitung**	1 (exogen)	0,2 (exogen)
Rest (Abbau, Rohmaterialtransport, Vorkette Material und Energie)	20	4,2

* Straße und Schiene (AGR und eigene Abschätzungen)

** Wert für Fremdscherbenaufbereitung exogen berechnet; GEMIS hat diesen Wert in der Stromaufbringung integriert, er scheint nicht getrennt auf.

Auch bei 80 % Scherben entfallen gut zwei Drittel des kumulierten Energieaufwandes auf den Prozess, knapp ein Drittel auf die Vorkette. Die emittierten Mengen an CO₂/t und THG/t unterscheiden sich bei Glas nur gering.

Tabelle 51: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion pro Tonne Glas (80 % Scherben).

Glasherstellung Sekundärproduktion	
KEA	7,27 GJ/t
Energieverbrauch Prozess	4,94 GJ/t
CO ₂ -Emissionen gesamt	449 kg/t
THG-Emissionen gesamt	506 kg/t

Auf den Glasherstellungsprozess entfallen 313 kg CO₂ pro Tonne Glas, davon sind 273 kg/t durch den Energieverbrauch bedingt und 40 kg/t sind Prozess-emissionen, die aus den eingesetzten Karbonaten entweichen. Etwas mehr als ein Drittel der CO₂-Emissionen (130 kg/t) entsteht in der Vorkette. Die größten Verursacher sind dabei die Sodaherstellung, der Erdgastransport durch Verdichterstationen sowie das eingesetzte Refraktärmaterial. Auf Transport und Aufbereitung der Scherben entfallen nur ca. 8 kg CO₂/t.

Tabelle 52: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette für Glasherstellung sekundär (80 % Scherben) pro Tonne Glas.

	CO₂-Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO₂- Emissionen (in %)
Summe CO ₂ -Emissionen	449	100
Energieverbrauch Glaswanne (Erdgas)	273	60,9
Prozessemissionen aus Glaswanne	40	8,9
Vorkette Soda	36	8,0
Verdichter (Vorkette Gas)	32	7,1
Refraktärmaterial	32	7,0
Dieselmotor/Abbau	6	1,4
Fremdscherben Transport*	7	1,6
Fremdscherben Aufbereitung**	1 (exogen)	0,2 (exogen)
Rest (Abbau, Rohmaterialtransport, Vorkette Material und Energie)	22	4,9

* Straße und Schiene (AGR und eigene Abschätzungen)

** Wert für Fremdscherbenaufbereitung exogen berechnet; GEMIS hat diesen Wert in der Stromaufbringung integriert, er scheint nicht getrennt auf.

7.6 Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von Behälterglas

Für den Vergleich von Primär- und Sekundärproduktion werden die Energie und THG-Werte für 80 % Scherben (maximales SekundärrohstoffszENARIO) bzw. für 75 % Scherben mit den Primärherstellungswerten (5 % Eigenscherben) herangezogen. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich zwischen 75 % und 80 % Scherben-einsatz, was etwa dem derzeitigen theoretischen Steigerungspotenzial beim Fremdscherbeneinsatz entspricht.

Tabelle 53 zeigt, dass die Differenz beim Kumulierten Energieaufwand jeweils deutlich größer ist als beim Energieverbrauch des Glasherstellungsprozesses, was am Einfluss der Vorketten liegt. Die Vorkette ist umso bedeutender, je mehr Rohmaterial (Sand, Kalk, Dolomit und insbesondere Soda) eingesetzt wird.

Tabelle 53: Vergleich des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Glas.

	KEA (in GJ/t)	CO ₂ (in kg/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion (5 % Scherben)	10,67	829	921
Sekundärproduktion (75 % Scherben)	7,51	475	535
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundär- produktion (75 % Scherben)</i>	<i>– 3,16 (– 30 %)</i>	<i>– 354 (– 43 %)</i>	<i>– 386 (– 42 %)</i>
Sekundärproduktion (80 % Scherben)	7,27	449	506
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundär- produktion (80 % Scherben)</i>	<i>– 3,4 (– 32 %)</i>	<i>– 380 (– 46 %)</i>	<i>– 415 (– 45 %)</i>

Tabelle 54 zeigt einen differenzierten Vergleich der CO₂-Emissionen nach Teilprozessen.

Tabelle 54: Vergleich der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne Glas, Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorkette (in kg/t).

CO ₂ -Emissionen	Differenz 5–80 %	Differenz 5–75 %	Differenz 75–80 %
Summe CO ₂ -Emissionen	380	354	26
Energieverbrauch Glaswanne (Erdgas)	52	48	4
Prozessemissionen aus Glaswanne	148	138	10
Vorkette Soda	159	148	11
Verdichter (Vorkette Gas)	6	5	1
Refraktärmaterial	0	0	0
Dieselmotor/Abbau	7	6	1
Fremdscherben Transport	– 7	– 7	0
Fremdscherben Aufbereitung	– 1 (exogen)	– 1 (exogen)	0
Rest (Abbau, Rohmaterialtransport, Vorkette Material und Energie)	16	18	– 2

Die CO₂-Einsparungen bei den Prozessemissionen und der Vorkette, insbesondere der Sodaherstellung, sind wesentlich bedeutender als die Einsparungen durch den geringeren Energieverbrauch der Glasschmelzwanne. Die CO₂-Einsparungen in Summe überwiegen die zusätzlichen Emissionen aus Fremdscherbentransport (ca. 7 kg/t) und Fremdscherbenaufbereitung (1 kg/t) bei Weitem.

Im Vergleich 75 % und 80 % Fremdscherbeneinsatz wird eine CO₂-Einsparung von 26 kg/t Glas ausgewiesen, wobei der Unterschied für die Aufbereitung marginal und im einstelligen Bereich nicht mehr abbildbar ist. Die relativ geringe Belastung durch den Transport ist nur dann erreichbar, wenn das Ladegewicht der Lkw beim Antransport voll genutzt wird und emissionsarme Fahrzeuge (Euro IV und V) eingesetzt werden. Weiter zu reduzieren wäre der Wert bei Vermeidung der Leerfahrten auf der Rückfahrt.

CO₂-Einsparungen

8 PET-GETRÄNKEFLASCHEN

In Österreich gibt es keine Produktion für PET-Primärgranulat¹¹. Dieses wird zur Herstellung von PET-Preformen importiert, aus denen wiederum PET-Getränkeflaschen, zum Teil bei den Getränkeabfüllern selbst, hergestellt werden. Hersteller von PET-Getränkeflaschen in Österreich sind beispielsweise die Firma ALPLA in Steinabrückl, die Varioform PET Verpackung Gesellschaft m.b.H. in Reichersdorf und die Plastikwerk EXPAN GmbH in Wernberg.

Die Kruschitz G.m.b.H. in Völkermarkt (Kärnten) betreibt eine Bottle-to-Bottle Recyclinganlage für lebensmitteltaugliches PET-Regranulat. Eine weitere derartige Anlage befindet sich im Müllendorf (Burgenland).

8.1 Marktfähiges Zwischenprodukt

Einweggetränkeflasche

Das betrachtete marktfähige Zwischenprodukt ist die PET-Einweggetränkeflasche ohne Verschlusssteile, Etikett und Umverpackung. PET-Flaschen werden mittels eines thermischen Verfahrens aus PET-Preformen hergestellt und sind als Verpackungsmittel in der Getränkeindustrie in den Größen von 0,3 bis 5,0 Liter in Umlauf. In Europa hergestellte PET-Preformen haben einen PET-Rezyklatanteil von 0–100 %. In Österreich liegt der Beimischungsgrad von rezykliertem PET in Getränkeflaschen aus der Sekundärproduktion in der Regel zwischen 20 % und 30 %.

8.2 Primärproduktion von PET-Getränkeflaschen

PET ist ein durch Polykondensation hergestellter thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester und bei Temperaturen von 250° C formbar. Die Molekülketten werden dann so beweglich, dass der Kunststoff schmilzt und eine zähflüssige Masse entsteht, die in nahezu jede beliebige Form gebracht werden kann. Beim Erkalten frieren die Molekülketten wieder ein und der Kunststoff erstarrt in der gewünschten Form.

Die Monomere, aus denen PET hergestellt wird, sind Terephthalsäure (1,4-Benzoldicarbonsäure, TPA) und Ethylenglykol (1,2-Dihydroxyethan, 1,2-Ethandiol). Die großtechnische Herstellung erfolgt teilweise noch durch Umesterung von Dimethylterephthalat mit Ethandiol. Der Grund für die Existenz der beiden Herstellungsrouten liegt darin, dass es zunächst schwierig war, Terephthalsäure in der erforderlichen Reinheit zu gewinnen. Erst als es in den 60er-Jahren möglich war, eine reine, direkt mit Ethylenglykol polykondensierbare Terephthalsäure zu produzieren, hat die Methode der PET-Produktion über TPA großtechnische Bedeutung gewonnen.

¹¹ PET...Polyethylenterephthalat

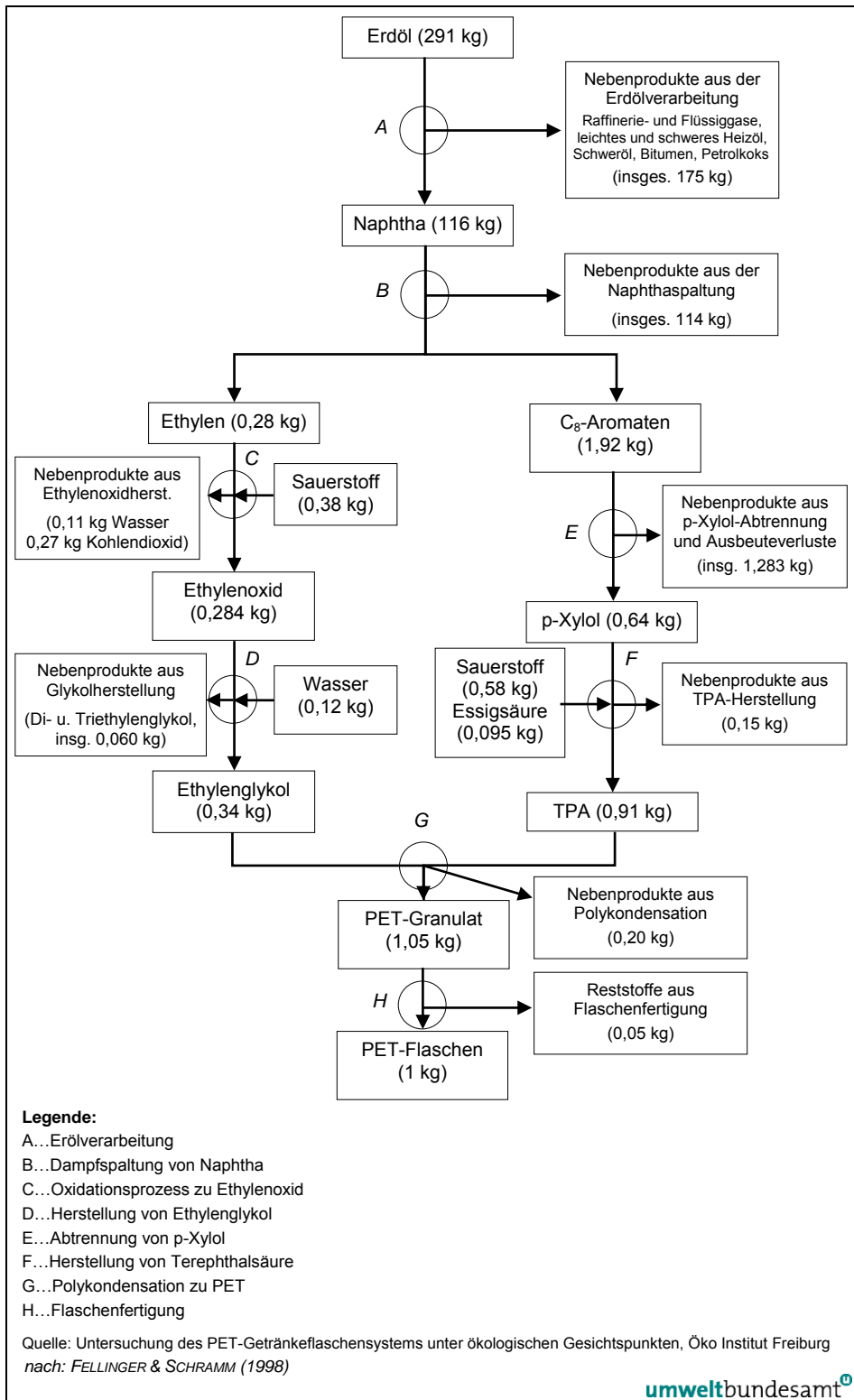


Abbildung 12: Verfahrensschema des Primärprozesses zur Herstellung von PET-Getränkeflaschen (Materialbilanz).

Im Rahmen des Projektes wird der Produktionspfad von den Ausgangsstoffen, über PET-Flocken bzw. -Granulat, die PET-Preform bis hin zur PET-Flasche betrachtet. Der Primärprozess zur Herstellung von PET-Getränkeflaschen ist in Abbildung 12 dargestellt.

Als Rohstoffbasis für die Produktion von PET dient Erdöl. In einem ersten Behandlungsschritt muss das Erdöl von Wasser und Gasen gereinigt werden, was mit einem relativ hohen Energieaufwand verbunden ist. In den Raffinerien wird das Erdöl anschließend in mehrere Fraktionen aufgeteilt, wobei für die Kunststoffproduktion vor allem die **Naphtha-Fraktion** herangezogen wird. Während dieses Leichtbenzin bis Ende der 60er-Jahre ein zwangsläufiges Koppelprodukt der Heizölproduktion darstellte, ist die Nachfrage in Europa inzwischen so hoch, dass neben einem Import von Naphtha auch andere Ausgangsprodukte wie schweres Heizöl, Raffinerie- und Erdgase für die PET-Produktion herangezogen werden.

8.2.1 Betrachtete wesentliche Verfahren bzw. Verfahrensschritte

PET wird aus den Grundbausteinen Ethylenglykol und Terephthalsäure (TPA) oder Terephthalsäuredimethylester (DMT) gewonnen. In der Raffinerie wird aus der Naphtha-Fraktion durch das so genannte Steamcracken **Ethylen** gewonnen. Bei diesem Prozess fallen erhebliche Mengen an Koppelprodukten an. Ethylen wird in der Folge zu Ethylenoxid weiterverarbeitet, aus welchem dann Ethylenglykol, ein Grundbaustein des PET, gewonnen wird. Die Basis für TPA und DMT ist Para-Xylol, das in Westeuropa vor allem aus Pyrolysebenzin, einem Koppelprodukt der Ethylengewinnung, gewonnen wird. PET-Granulat entsteht zum einen durch die Umsetzung von Ethylenglykol mit TPA, zum anderen durch die Umsetzung von Ethylenglykol mit DMT.

Das Kunststoffgranulat wird in der Folge unter anderem zu Flaschen verarbeitet. Dazu werden nach dem Spritzgussverfahren so genannte PET-Preformen (oder Vorformlinge) angefertigt, die anschließend durch Streckblasen zu Flaschen weiterverarbeitet werden (FELLINGER & SCHRAMM 1998). Als Vorläufer der PET-Flasche verfügen die Preformen bereits über fertige Schraubgewinde. Die Preform wird gleichmäßig erhitzt und in eine wassergekühlte Form gebracht. Die Form schließt sich, ein Streckzylinder fährt in die Öffnung der Preform und streckt diese. Gleichzeitig strömt Druckluft mit 40 bar Druck ein und presst das Material an die Wandung. Die Form öffnet sich und die fertige PET-Flasche wird abtransportiert. Die für diesen Streckblasprozess benötigten Maschinen arbeiten in unterschiedlichen Ausführungen mit 4 bis 24 Stationen und erreichen Kapazitäten von 9.000 bis 33.000 Flaschen pro Stunde (REITERER 2005).

8.2.2 Berechnung mit GEMIS

Vorketten der Gewinnung der Primärrohstoffe und deren Transport werden durch GEMIS berechnet.

Strommix: Die Berechnung des kumulierten Energieaufwandes und der THG-Emissionen in Luft erfolgte auf Basis des österreichischen, des deutschen und des Strommix der UCTE, jeweils für das Jahr 2005.

Datengrundlage

In GEMIS ist lediglich die Produktionskette bis zum PET-Granulat abgebildet. Die Herstellung von Polyethylenterephthalat erfolgt dabei über

- die Verfahrensrouten mit Dimethylterephthalat (DMT),
- die Verfahrensrouten mit Terephthalsäure (TPA) und
- die Herstellung von Ethylenglykol.

Für die Herstellung von einer Tonne PET werden 665 kg p-Xylol und 390 kg Methanol eingesetzt (Verfahrensrouten über DMT und TPA). Für die Herstellung von Ethylenglykol werden 223 kg Ethylen eingesetzt. Neben PET werden 198 kg Methanol erzeugt. H₂O wird als chemisches Edukt stöchiometrisch berechnet. Bei der Verfahrensrouten über DMT werden keine Angaben zu prozessbedingten Luftemissionen, Abwasser und anderen Reststoffen gemacht. Der Materialinput (Ethylen und Hilfsmaterialien) zur Herstellung von einem Kilogramm PET ist in Tabelle 55 ersichtlich.

Tabelle 55: Materialinput zur Herstellung von einer Tonne PET-Granulat (in kg/t) (Quelle GEMIS).

Input	
Ethylen	223
Methanol (stofflich)	390
Xylol	665
Sauerstoff (O ₂ gasförmig)	127
Wasser (stofflich)	107

Die Prozessenergie zur Herstellung einer Tonne PET-Granulat aus Ethylen und Hilfsmaterialien setzt sich zusammen aus Gasöl, Erdgas, Strom und Dampf. Als Datenbasis zur Berechnung des Energieaufwandes der Vorketten wurden die in GEMIS verfügbaren Module Raffinerie\Öl-schwer-DE-2005, Öl-roh-mix-DE-2000, Wärme-Prozess-mix-DE-Chemie-Industrie und Öl-Naphtha-Kessel DE herangezogen. In Tabelle 56 ist die zur Herstellung von einer Tonne PET benötigte Prozessenergie dargestellt.

eingesetzte Prozessenergie

Tabelle 56: Prozessenergie zur Herstellung von einer Tonne PET-Granulat (in GJ/t) (Quelle GEMIS).

Input	
Gasöl	1,264
Erdgas	5,397
Strom	2,002
Dampf	4,556
Prozessenergie gesamt	13,219

Der Steamcracker (Öl-Naphtha-Kessel-DE) zur Herstellung von Ethylen und der Aromaten ist für nahezu 2/3 der CO₂- und N₂O-Emissionen des gesamten primären PET-Herstellungsprozesses verantwortlich. Über ein Drittel der CH₄-Emissionen des Gesamtprozesses inklusive Vorketten sind auf diffuse Emissionen aus Gaspipelines zurückzuführen.

8.3 Sekundärproduktion von PET-Getränkeflaschen

Im Rahmen des Projektes wird der sekundäre Produktionspfad, beginnend mit dem Einsatz der getrennten und sortierten PET-Fraktion beim PET-Recyclingverfahren, über das PET-Rezyklat, die PET-Preform bis hin zur PET-Getränkeflasche mit 30 % Anteil an rezykliertem PET, betrachtet. PET-Flaschen werden, sofern sie von den KonsumentInnen nicht zusammen mit dem Restmüll entsorgt wurden, gegebenenfalls getrennt, ansonsten über die getrennte Sammlung von Leichtverpackungen gesammelt und recycelt (siehe Kapitel 8.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft).

8.3.1 Betrachtete wesentliche Verfahren und Prozessschritte

Zwei Betriebe stellen in Österreich aus den sortierten PET-Fractionen lebensmitteltaugliches PET-Rezyklat (PET-Flakes) her (Kruschitz Gesellschaft m.b.H. und PET-to-PET Recycling Österreich GmbH). Die von den beiden Unternehmen angewandten Recyclingverfahren unterscheiden sich in einzelnen Prozessschritten voneinander, wodurch sich für die beiden Verfahren auch unterschiedliche Werte für den Energieaufwand und die damit verbundenen CO₂-Emissionen errechnen (siehe Abbildung 13).

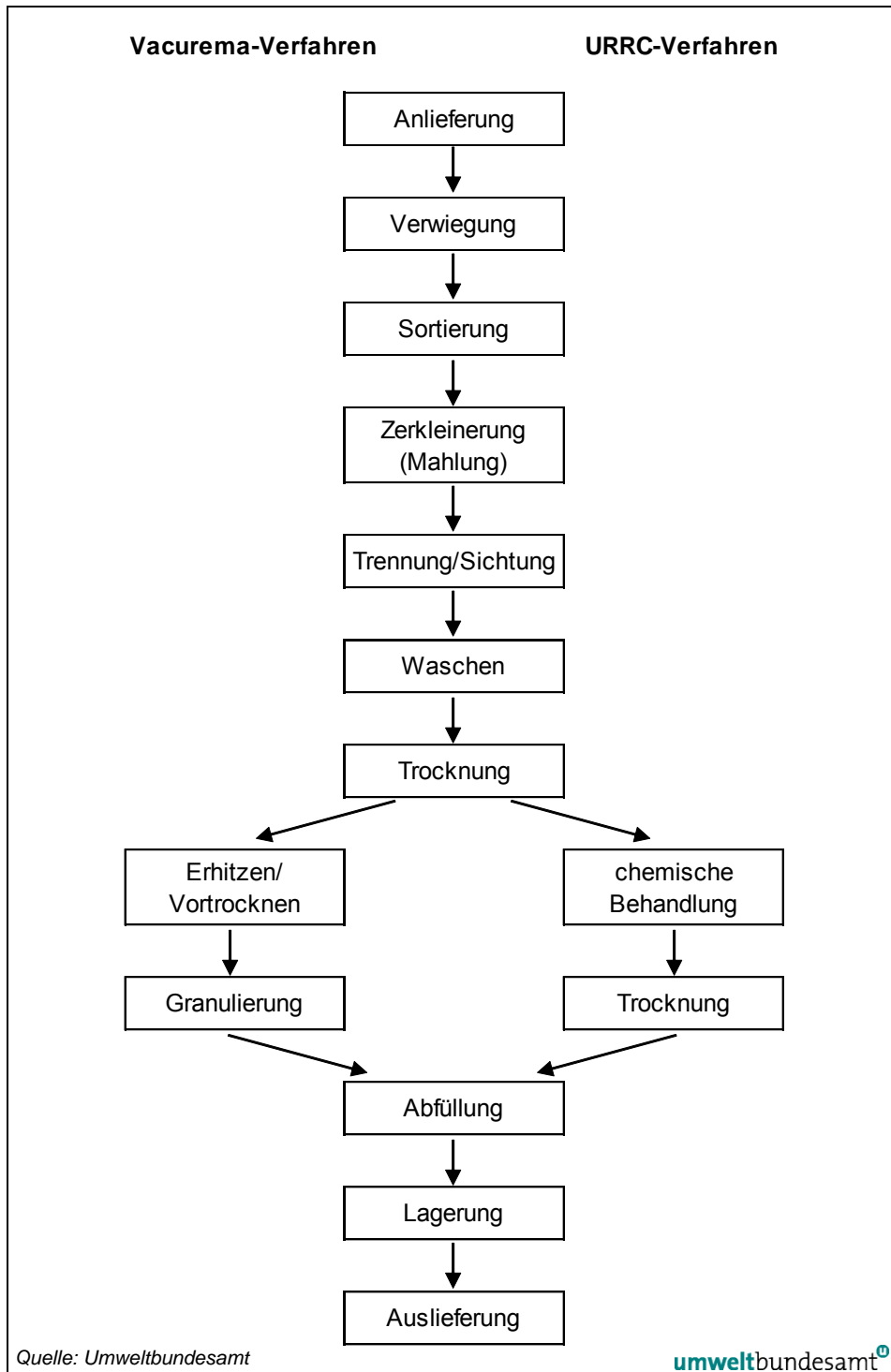


Abbildung 13: In Österreich angewandte Verfahren und Prozessschritte zur Herstellung von lebensmitteltauglichem PET-Rezyklat (PET-Flakes).

Das PET-Rezyklat wird bei den Preformherstellern frischem PET-Granulat zugemengt. Die Preformen werden anschließend bei den Getränkeabfüllern durch Streckblasen zu Flaschen weiterverarbeitet.

8.3.2 Berechnung mit GEMIS

Die beiden in Österreich angewandten PET-Recyclingverfahren wurden in GEMIS zunächst neu angelegt, da sie im Modell noch nicht abgebildet waren. Hierzu wurden die relevanten Eckdaten der Verfahren bei den betreffenden Unternehmen mittels Fragebogen erhoben und in GEMIS eingearbeitet. Die benötigte Prozessenergie (Erdgas, Strom) wurde auf die jeweilige Produktionsmenge an lebensmitteltauglichem PET-Rezyklat bezogen. Des Weiteren wurde bei beiden Recyclingverfahren Natronlauge als Hilfsmaterial berücksichtigt. Die Berechnung des kumulierten Energieaufwands und der THG-Emissionen mittels GEMIS basiert auf dem österreichischen Strommix des Jahres 2005. Das Ergebnis wird als Mittelwert aus beiden Recyclingverfahren angegeben.

8.4 Rucksack aus der Abfallwirtschaft

Für die Sortierung der PET-Flaschen und das Ballenpressen wird ein Energieverbrauch von 50 kWh/t abgeschätzt. Die Emissionen betragen 12,5 kg CO₂ bzw. 14 kg CO₂-Äquivalente je Tonne, der KEA 0,275 GJ/t.

Die durchschnittlichen Transportdistanzen von den Sammelstellen bis zu den PET-Flakes-Erzeugern wurden mit 200 km angesetzt. Unter der Annahme, dass die Rückfahrt nicht als Leerfahrt erfolgt, lassen sich die Emissionen durch den Transport der gesammelten PET-Flaschen zu den PET-Flakes-Erzeugern mit 11 kg CO₂ bzw. 11,2 kg CO₂-Äquivalente pro Tonne, der KEA mit 0,15 GJ/t errechnen.

8.5 KEA und THG-Emissionen bei der Produktion von PET-Getränkeflaschen

8.5.1 KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Der überwiegende Anteil des Energieaufwandes und der THG-Emissionen entsteht in der Vorkette zur Herstellung von PET-Granulat (siehe Tabelle 58). Bei der Herstellung von Ethylen wird auch Energie frei, die in anderen Prozessen einer Raffinerie oder der petrochemischen Industrie genutzt wird (29,8 GJ/t Ethylen als Prozesswärme). Dies wurde jedoch hier in den Berechnungen der THG-Emissionen nicht berücksichtigt. Bei Einbeziehung über den gesamten Herstellungsprozess von PET-Granulat würden sich die CO₂-Emissionen um knapp 10 % verringern.

Tabelle 57: KEA und THG-Emissionen bei der Primärproduktion von PET-Getränkeflaschen pro Tonne PET (GEMIS).

	Herstellung von PET-Getränkeflaschen (Primärproduktion)		
	Strommix Österreich	Strommix Deutschland	Strommix UTCE
KEA gesamt (in GJ/t)	105,7	116,2	115,7
KEA PET-Granulat	96,3	98,9	98,8
KEA Herstellung PET-Preform*	5,4	9,8	9,6
KEA Herstellung PET-Flasche*	4,1	7,5	7,3
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	3.312	4.147	3.767
CO ₂ -Emissionen PET-Granulat	2.896	3.104	3.010
CO ₂ -Emissionen Herstellung PET-Preform*	237	593	431
CO ₂ -Emissionen Herstellung PET-Flasche*	179	449	326
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	3.495	4.314	3.936
THG-Emissionen PET-Granulat	3.022	3.227	3.132
THG-Emissionen Herstellung PET-Preform*	269	618	457
THG-Emissionen Herstellung PET-Flasche*	204	468	346

* Berechnung auf Basis von LANG-KOETZ (2005) und nach Angaben eines Preform-Herstellers

Rd. 90 % des KEA sind durch die Erzeugung des PET-Granulats verursacht. Davon sind nur rd. 14 % der Prozessenergie zuzurechnen, der Hauptaufwand findet somit in der Vorkette statt.

Über 85 % der CO₂- und der THG-Emissionen entstehen bei der Erzeugung des PET-Granulats. Etwas mehr als die Hälfte der restlichen Emissionen wird durch die Erzeugung der Preformen verursacht.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus den einzelnen eingesetzten Strommischen werden besonders durch die Erzeugung der Preformen sowie der letztlichen Herstellung der Flasche aus den Preformen verursacht, da in diesen beiden Schritten Strom ein wichtiger Energieträger ist.

Tabelle 58: Aufgliederung der CO₂-Emissionen aus Prozess und Vorketten für die Herstellung von einer Tonne PET-Granulat (Primärproduktion), berechnet mit GEMIS (Basis Strommix UTCE 2005).

	CO ₂ -Emissionen (in kg/t)	Anteil an CO ₂ - Emissionen (in %)
Summe CO ₂ -Emissionen	3.010	100,0
Steamcracker zur Herstellung von Ethylen	1.885	62,6
Gaskessel Petrochemie	689	22,9
Rest*	436	14,5

* externe Erzeugung von Strom, petrochemische Industrie und Vorketten (Gewinnung von Rohöl, Raffinerie und Transport)

Im Vergleich zu den mittels GEMIS berechneten Werten finden sich in der Literatur Angaben zum Energieaufwand zur Herstellung von PET-Getränkeflaschen im Primärprozess. Der Energieaufwand zur Rohstoffgewinnung und Herstellung des Vorproduktes (PET-Granulat) beträgt demnach 85.800 MJ/t PET (FELLINGER & SCHRAMM 1998). Der Energieaufwand teilt sich folgendermaßen auf:

- 17 % Bereitstellungsenergie,
- 80 % Prozessenergie,
- 3–4 % Transportenergie Rohstoffe.

Die Prozessenergie zur Herstellung des Zwischenproduktes (Preform im Spritzgussverfahren) und des Endproduktes (Getränkeflasche durch Streckblasen) wird in der Literatur mit durchschnittlich 6.012 MJ/t PET-Flaschen angegeben (LANG-KOETZ 2005). Dieser Wert wurde von der Firma Constar (NL)¹², dem Lieferanten der Gerolsteiner Brunnen, im Rahmen einer Studie durch Messungen erhoben (PLINKE et. al. 1999). In einer anderen Untersuchung wird für das Spritzgießen und Blasformen zur Herstellung der Getränkeflaschen ein Energieäquivalenzbereich von 5.000–15.000 MJ/t Endprodukt angegeben (REITERER 2005).

Zur Bildung des Mittelwertes des kumulierten Energieaufwands über den gesamten Herstellungsprozess bis zur Getränkeflasche muss der Energieaufwand zur Herstellung von PET-Granulat mit 1,05 multipliziert werden, da zur Herstellung von 1 kg PET-Getränkeflaschen 1,05 kg PET-Granulat benötigt wird. Somit kann der kumulierte Energieaufwand zur Herstellung von einer Tonne PET-Getränkeflaschen im Primärprozess auf Basis der in der Literatur gefundenen Werte mit durchschnittlich 96,1 GJ/t angegeben werden.¹³

8.5.2 KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Für das Recycling von PET wird neben Erdgas vor allem Strom als Energielieferant benötigt. Der überwiegende Anteil des kumulierten Energieaufwandes, und damit auch der THG-Emissionen, liegt daher in der Stromerzeugung und –bereitstellung für die PET-Recyclingverfahren. Der Energieaufwand und die THG-Emissionen zur Herstellung der PET-Getränkeflaschen über die PET-Preform sind ident zu denen der Primärproduktion.

¹² Angaben Fa. Constar International Holland (Plastics) BV. NL 6940 AA Didam

¹³ Nach Abschluss der Berechnungen wurden neue Inputdaten der Primärproduktion von Plastics Europe veröffentlicht. Diese konnten aus Zeitgründen in dieser Studie nicht mehr berücksichtigt werden.

Tabelle 59: KEA und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion von PET-Getränkeflaschen (Anteil von 30 % PET-Rezyklat) pro Tonne PET-Getränkeflaschen.

	Herstellung PET-Getränkeflaschen
	Strommix Österreich
KEA gesamt (in GJ/t)	78,7
KEA PET-Granulatmischung	69,2
KEA Herstellung PET-Preform	5,4
KEA Herstellung PET-Flasche	4,1
KEA Sortierung (inkl. Ballenpressen) u. Transport	0,1
CO₂-Emissionen gesamt (in kg/t)	2.529
CO ₂ -Emissionen PET-Granulatmischung	2.106
CO ₂ -Emissionen Herstellung PET-Preform	237
CO ₂ -Emissionen Herstellung PET-Flasche	179
CO ₂ -Emissionen Sortierung (inkl. Ballenpressen) und Transport	7
THG-Emissionen gesamt (in kg/t)	2.685
THG-Emissionen PET-Granulatmischung	2.204
THG-Emissionen Herstellung PET-Preform	269
THG-Emissionen Herstellung PET-Flasche	204
THG-Emissionen Sortierung (inkl. Ballenpressen) und Transport	8

Knapp 90 % des KEA sind durch die Erzeugung der PET-Granulatmischung (70 % Granulat aus Primärproduktion, 30 % Rezyklatanteil) verursacht.

Etwa 85 % der CO₂- und der THG-Emissionen entstehen bei der Erzeugung der PET-Granulatmischung. Etwas mehr als die Hälfte der restlichen Emissionen wird durch die Erzeugung der Preformen verursacht.

Transport und Sortierung sind sowohl beim KEA als auch bei den CO₂-Emissionen vernachlässigbar (kleiner 0,3 %).

Wird zu 100 % Rezyklat eingesetzt, so betragen die CO₂-Emissionen 703 kg/t. Davon sind 38 % (264 kg/t) durch die Herstellung des Rezyklats, die anderen Emissionen durch die Preform- und Flaschenherstellung bedingt.

Transport und Sortierung tragen in diesem Fall zusammen rd. 3 % der Emissionen bei.

8.6 Vergleich Primär- und Sekundärproduktion von PET-Getränkeflaschen

Beim Vergleich von Primär- und Sekundärprodukt ist zu beachten, dass beim Sekundärprodukt 70 % Granulat aus Primärproduktion enthalten sind. Dies hat zur Folge, dass die spezifische Einsparung, bezogen auf die Primärproduktion, wesentlich geringer ausfällt als erwartet werden dürfte.

Tabelle 60: Vergleich des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion pro Tonne PET (Strommix Österreich).

	KEA (in GJ/t)	CO ₂ (in kg/t)	THG (in kg/t)
Primärproduktion	105,7	3.312	3.495
Sekundärproduktion (30 % Rezyklat)*	78,7	2.529	2.685
<i>Differenz Primärproduktion – Sekundärproduktion (30 % Rezyklat)</i>	<i>– 27</i> <i>(– 25,5 %)</i>	<i>– 783</i> <i>(– 23,6 %)</i>	<i>– 810</i> <i>(– 23,2 %)</i>

* Berechnungen mit Mittelwert aus Abfallrucksack (MW aus Min und Max Variante 1 und 2)

Einsparung durch Sekundärproduktion

Bei einem hypothetischen Einsatz von 100 % Rezyklat in der Sekundärproduktion betragen die CO₂-Emissionen je Tonne PET-Flaschen 703 kg. Dies bedeutet eine Ersparnis von ca. 80 %.

9 KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND UND THG-EMISSIONEN DER UNTERSUCHTEN ZWISCHENPRODUKTE

9.1 Spezifischer Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Primärproduktion

Tabelle 61: Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Primärproduktion (Strommix Österreich) pro Tonne Zwischenprodukt.

	Aluminium	Kupfer	Fe/Stahl	Glas	PET
KEA (in GJ/t gesamt)	121,5	64,8	27,4*	10,67	105,7
Energie Prozess (ohne Vorkette)	83 %**	66 %	56 %	55 %	12,5 %
CO ₂ (in kg/t gesamt)	7.807	5.152	2.183	829	3.312
THG (in kg/t gesamt)	10.070	5.569	2.370	921	3.495

* Aufgrund der Vielzahl der Energieflüsse innerhalb eines integrierten Stahlwerks und der unterschiedlichen Anlagenkonstellationen wird hier als Vergleichsgröße der Einsatz von Koks, Kohle und Heizöl im Hochofen (Reduktionsmittel) ausgewiesen. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser den überwiegenden Einsatz von Energieträgern (> 2/3) am Standort bestimmt.

** KEA Elektrolyse

Der spezifische kumulierte Energieaufwand (KEA) zur Erzeugung einer Tonne marktfähigen Zwischenproduktes bei der Primärproduktion ist bei Aluminium mit rd. 120 GJ/t am höchsten. Etwas niedriger ist jener für die Produktion von PET. Der KEA von Kupfer beträgt rd. 50 %, jener von Eisen/Stahl rd. 20 % und jener von Glas rd. 10 % des KEA von Aluminium.

Beträchtliche Energieaufwendungen finden in der Vorkette statt, am höchsten sind diese bei PET (88,5 %). Bei Glas, Kupfer und Fe/Stahl werden 34 % bis 45 % des KEA in der Vorkette kumuliert. Bei Aluminium ist die Vorkette (Abbau, Tonerdeherstellung) mit 17 % des KEAs weniger bedeutend.

Die mit Abstand höchsten spezifischen THG-Emissionen treten bei der Produktion von Aluminium auf (rd. 10 t THG/t Aluminium), gefolgt von Kupfer mit rd. 5,6 t THG/t. Die niedrigsten spezifischen THG-Emissionen treten bei der Produktion von Glas auf (rd. 1 t THG/t Glas).

Bei Aluminium ist der Anteil der CO₂-Emissionen mit rd. 75 % der gesamten THG-Emission am geringsten. Die Differenz ist zu einem beträchtlichen Teil durch die Emission von Tetrafluormethan und Hexafluormethan, die sehr langlebige und potente Treibhausgase sind, verursacht. Bei den anderen betrachteten Materialien ist der Anteil der CO₂-Emissionen größer als 90 % der gesamten THG-Emissionen. Der Rest entfällt auf Emissionen von CH₄ aus der Energiebereitstellung und von N₂O aus Verbrennungsprozessen.

energieintensive Vorkette

spezifische THG-Emissionen

CO₂-Anteil an den THG

Der zur Berechnung verwendete Strommix hat prozess- und energieträgerbedingt bei der Aluminiumproduktion großen Einfluss auf die THG-Emissionen: diese steigen bei der Verwendung des deutschen Strommix anstelle des österreichischen um 50 % auf rd. 15 t THG/t Aluminium. Bei Kupfer und PET verändern sich die THG-Emissionen um rd. 10 %, jene von Stahl bleiben praktisch unverändert.

9.2 Spezifischer Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion

Zur Erzeugung der betrachteten marktfähigen Zwischenprodukte werden in unterschiedlichem Ausmaß Sekundärrohstoffe eingesetzt. Lediglich bei Kupfer und bei Rohstahl aus dem Elektroofen wurde von einer Sekundärproduktion mit 100 % Sekundärrohstoff ausgegangen. Dementsprechend werden die Ergebnisse des spezifischen Energieaufwandes und der THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion für die einzelnen Materialien durch die Zumischung von Primärmaterialien beeinflusst. Dies hat auch Auswirkungen auf die (relative) Bedeutung des abfallwirtschaftlichen Rucksacks bei der Sekundärproduktion.

Tabelle 62: Energieaufwand und THG-Emissionen für die Herstellung der vergleichbaren Zwischenprodukte durch Sekundärproduktion (Metalle), Strommix Österreich pro Tonne Zwischenprodukt.

	Aluminium*		Kupfer	Fe/Stahl	
	Closed-Well Ofen (15 % Primäraluminium)	Drehtrommel-ofen (15 % Primäraluminium)		Hochofen (30 % Schrott)	Elektrostahl
KEA (in GJ/t gesamt)	25,1–26,6	24,6–26,4	16,2–20,9	21,8–22	4,–5,8
Anteil Abfallrucksack (in %)	3,7–9,1	4,6–11,1	13–33	0,5–2	10,5–27,5
CO ₂ (in kg/t gesamt)	1.523–1.590	1.502–1.584	586–797	1.733–1.746	266–311
Anteil Abfallrucksack (in %)	3,1–7,2	3,8–8,7	16–39	0,5–1	7,2–20,6
THG (in kg/t gesamt)	1.982–2.058	1.957–2.049	702–941	1.882–1.896	291–340
Anteil Abfallrucksack (in %)	2,6–6,2	3,2–7,5	15–37	0,5–1	7,4–20,6

* Die Beimischung von Primäraluminium zu Sekundäraluminium hängt von der geforderten Reinheit des Endprodukts ab. Bei der Produktion von Knetlegierungen werden 0–20 % Primäraluminium zugegeben, bei der Produktion von Sekundär-Gusslegierungen erfolgt in der Regel keine Primäraluminiumzugabe (AMAG, 8.7.2010 pers. Mitteilung)

Tabelle 63: Energieaufwand und Treibhausgasemissionen für die Herstellung der vergleichbaren Zwischenprodukte durch Sekundärproduktion (Glas und PET) Strommix Österreich pro Tonne Zwischenprodukt.

	Grünes Behälterglas (75 % Scherben)	PET (30 % Rezyklat)
KEA (in GJ/t gesamt)	7,51	78,7
Anteil Abfallrucksack (in %)	–	0,5
CO ₂ (in kg/t gesamt)	475	2.529
Anteil Abfallrucksack (in %)	1,7	0,3
THG (in kg/t gesamt)	535	2.785
Anteil Abfallrucksack (in %)	–	0,3

Bei Aluminium unterscheiden sich der KEA, die CO₂-Emissionen sowie die THG-Emissionen zwischen den beiden Aggregaten Drehtrommelofen oder Closed-Well Ofen sehr geringfügig.

Wird nur Aluminiumschrott eingesetzt, so beträgt der KEA ohne Abfallrucksack 5,2 MJ/t bei Einsatz im Drehtrommelofen bzw. 6 MJ/t bei Einsatz im Closed-Well Ofen. Der KEA bei einem Al-Schrotteinsatz von 100 % mit Abfallrucksack ist etwa ein Drittel des KEA bei einem Einsatz von 15 % Primäraluminium mit Abfallrucksack.

Ein direkter Vergleich der beiden Rohstahl-Verfahren ist nicht möglich, da bei der Hochofenroute nur bis zu 30 % Schrott eingesetzt werden können.

Der Anteil der CO₂-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen liegt je nach Material zwischen 77 % und 92 %. Am geringsten ist der Anteil bei Aluminium, am höchsten bei Rohstahl über die Hochofenroute. Bei Aluminium kommen dabei durch den (angenommenen) 15 %-Anteil an Primäraluminium die bei der Schmelzflusselektrolyse u. a. emittierten Mengen an Tetrafluormethan und Hexafluormethan zum Tragen.

CO₂-Anteil an den THG-Emissionen

Der abfallwirtschaftliche Rucksack besteht aus Energieaufwendungen und Treibhausgasemissionen für Recyclingprozesse und Transporte in der abfallwirtschaftlichen Vorkette. Je nach Abfall/Altstoff, aus dem die Metallfraktionen gewonnen werden, und abhängig vom Aufbereitungsverfahren beträgt der abfallwirtschaftliche Rucksack bis zu 2 GJ/t (bzw. bis zu 120 kg THG/t) Aluminium-Metallfraktion, bis zu 7 GJ/t (bzw. 50–350 kg THG/t) Kupfer-Metallfraktion und bis zu 1 GJ/T (bzw. bis zu 60 kg THG/t) Eisen-Metallfraktion.

abfallwirtschaftlicher Rucksack

Bei der Produktion von Rohstahl über die Hochofenroute (Einsatzmaterial: 30 % Schrott), von PET-Flaschen (30 % PET-Rezyklat) und Behälterglas grün (80 % Scherben) ist der Anteil des kumulierten Energieaufwands und der THG-Emissionen, die auf die abfallwirtschaftliche Vorkette entfallen, sehr niedrig (PET-Flaschen < 0,5 %, Glas und Rohstahl < 2 %). Bei der Sekundärproduktion von Aluminium (Annahme 15 % Primäranteil) entfallen bis zu 11 % des KEA und 8 % der THG-Emissionen auf die abfallwirtschaftliche Vorkette. Ohne Zusatz von Primäraluminium würde der abfallwirtschaftliche Rucksack der Sekundärproduktion rd. 25 % des kumulierten Energieaufwands und rd. 30 % der THG-Emissionen betragen. Bei Kupfer entfallen bis zu 33 % des KEA und bis zu 37 % der THG-Emissionen auf die abfallwirtschaftliche Vorkette, bei Roh-

stahl im Elektroofen bis zu 28 % des KEA und bis zu 20 % der THG-Emissionen. Bei Kupfer ist zu berücksichtigen, dass die Bedeutung des abfallwirtschaftlichen Rucksacks stark dadurch beeinflusst wird, ob Kunststoffe als Wertstoffe betrachtet und recycelt werden. Bei genannten 37 % werden nur Metalle als Wertstoffe betrachtet. Unter Berücksichtigung der recycelten Kunststoffe sinkt der Abfallrucksack für Kupfer auf 15–20 %.

Im Detail betrachtet, unterscheidet sich bei den Metallen der abfallwirtschaftliche Rucksack der einzelnen Sekundärrohstoffe je nach Aufbereitungsverfahren (Anlagenkonfiguration) und Anzahl der Aufbereitungsschritte im Recyclingprozess. Die Aufbereitungsverfahren sind jedoch wegen der unterschiedlichen Ausgangsmaterialien (Verpackungsmaterial, Altschrott, MVA-Schlacke) nicht beliebig austauschbar, sondern ergänzen einander.

So sind bei einer Aluminiumfraktion, die aus Altschrott mittels Aufbereitung in einem Großshredder und nachfolgend in einer Metallaufbereitungs- bzw. Post-Shredderanlage gewonnen wurde, der kumulierte Energieaufwand und die THG-Emissionen etwa doppelt so hoch wie bei einer Aluminiumfraktion aus der Aufbereitung von getrennt gesammelten Verpackungsmaterialien in einem Großshredder. Bei einer Aluminiumfraktion aus der separaten Aufbereitung von MVA-Schlacke in einer Schlackeaufbereitungsanlage sind KEA und THG-Emissionen etwa 15–20 % höher als bei einer Aluminiumfraktion aus getrennt gesammelten Verpackungsmaterialien.

Bei einer Kupferfraktion, die aus Altschrott der betrachteten Abfälle mittels Aufbereitung in einem Großshredder und nachfolgend in einer Metallaufbereitungs- bzw. Post-Shredder-Anlage gewonnen wurde, sind der KEA und die THG-Emissionen 3- bis 7-mal so hoch wie bei einer Kupferfraktion aus der Aufbereitung von MVA-Schlacke in einer Schlackeaufbereitungsanlage.

Bei der Gewinnung von Eisenfraktionen aus ausgewählten Recyclingprozessen sind hingegen der kumulierte Energieaufwand und die THG-Emissionen bei der Aufbereitung von MVA-Schlacke in einer Schlackeaufbereitungsanlage um 20 % bis 50 % höher als bei der Aufbereitung von Altschrott bzw. Verpackungsmetallen in Großshreddern.

***Transportanteil
am abfallwirtschaftlichen Rucksack***

Innerhalb der abfallwirtschaftlichen Vorkette entfallen bei den Metallfraktionen etwa 20–30 % sowohl des KEA als auch der THG-Emissionen auf den Transport, bei PET-Rezyklat rd. 36 % des KEA und 47 % der THG-Emissionen. Bei Glas wurde im abfallwirtschaftlichen Rucksack nur der Transport berücksichtigt, da die Scherbenaufbereitung bereits als Teil der Sekundärproduktion angesetzt wurde.

9.3 Spezifische Einsparungen an KEA und THG-Emissionen durch Substitution von Primärrohstoffen

Die spezifischen Einsparungen (bezogen auf eine Tonne Zwischenprodukt) durch den Einsatz von Sekundärmaterialien können aus dem Vergleich des KEA sowie der CO₂- und THG-Emissionen der Primärproduktion mit jenen der Sekundärproduktion aufgezeigt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Anteile der zugesetzten Sekundärmaterialien stark die Einsparungen je produzierter Tonne Zwischenprodukt beeinflussen. Werden nur relativ geringe Mengen an

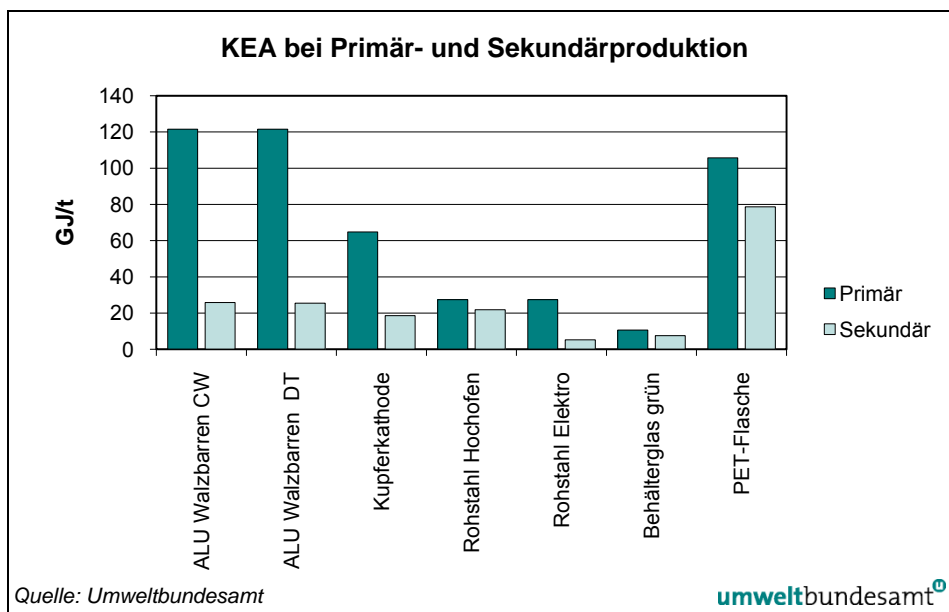
Sekundärmaterial in der Sekundärproduktion eingesetzt (z. B. PET oder Eisenschrott Hochofenroute), so fallen die Einsparungen je Tonne erzeugten Zwischenprodukts wesentlich geringer aus.

Bei Rohstahl kann die Sekundärproduktion im Hochofen oder im Elektrostahlwerk erfolgen. Zu Vergleichszwecken wird bei Elektrostahl die Primärproduktion im Hochofen herangezogen.

Beim KEA werden im Vergleich zwischen Primär- und Sekundärproduktion bei Aluminium die mit Abstand größten Einsparungen erzielt. Eine Tonne Aluminium mit einem Anteil von 15 % Primäraluminium hat einen um 95 GJ geringeren KEA als eine Tonne reines Primäraluminium. Etwa halb so hoch (44 GJ) ist die Einsparung je Tonne Kupfer. Der Einsatz von 30 % PET-Rezyklat verringert den KEA um 27 GJ/t, die Elektrostahlerzeugung (100 % Schrott, Vergleich mit Primärproduktion im Hochofen) hat einen um 22 GJ/t geringeren KEA. Bei Rohstahl aus dem Hochofen (30 % Schrott) und beim Glasrecycling (75 % Scherben) verringert sich der KEA um 5,5 GJ/t (Rohstahl) bzw. um 3 GJ/t (Glas) (siehe Abbildung 14).

Einsparungspotenziale an Energie

Die höchsten relativen Einsparungen beim KEA liegen bei Elektrostahl (81 %) und Aluminium¹⁴ (79 %). Bei Kupfer liegen die Einsparungen bei 70 %, bei Glas bei 30 %, bei PET bei 25 % und bei Rohstahl aus der Hochofenroute bei 20 %.



CW...Closed well Ofen DT...Drehtrommelofen

Abbildung 14: Spezifischer KEA bei der Primär- und Sekundärproduktion marktfähiger Zwischenprodukte (in GJ/t)¹⁵.

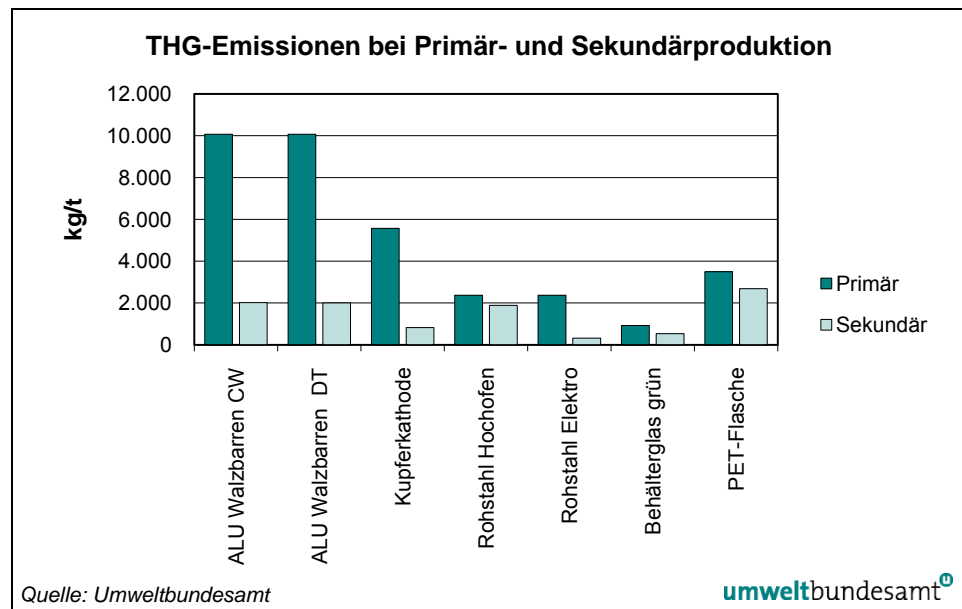
¹⁴ Bei Aluminium wurde angenommen, dass 50 % des Schrotts im Drehtrommelofen und 50 % im Closed-Well Ofen behandelt werden. Ohne Zusatz von Primärmaterial beträgt die Einsparung des KEA bei Aluminium 95 %.

¹⁵ Aluminium: Annahme 15 % Primäranteil; Kupfer: 100% Sekundärproduktion; Rohstahl Hochofen: 30% Schrott; Rohstahl Elektroofen: 100% Sekundärproduktion; Glas: 75 % Scherben; PET: 30 % Rezyklat

Einsparungs- potenziale an THG- Emissionen

Bei den THG-Emissionen werden im Vergleich zwischen Primär- und Sekundärproduktion die mit Abstand größten Einsparungen bei Aluminium erzielt. Eine Tonne Aluminium mit einem Anteil von 15 % Primäraluminium hat um rd. 8.000 kg geringere THG-Emissionen als bei einer reiner Erzeugung aus Primärrohstoffen. Etwa halb so hoch (4.750 kg) ist die Einsparung je Tonne Kupfer, die Elektrostahlerzeugung (100 % Schrott, Vergleich mit Primärproduktion im Hochofen) hat eine um 2.050 kg/t geringere THG-Emission. Der Einsatz von 30 % PET-Rezyklat verringert die THG-Emission um 710 kg/t. Bei Rohstahl aus dem Hochofen (30 % Schrott) und dem Glasrecycling (75 % Scherben) verringern sich die THG-Emissionen um 480 kg/t (Rohstahl) bzw. um 385 kg/t (Glas) (siehe Abbildung 15).

Die höchsten relativen Einsparungen liegen bei Elektrostahl (86,5 %) gefolgt von Kupfer (85 %) und Aluminium (80 %). Die Einsparung bei Aluminium ist bei einem 100 %igen Schrotteinsatz deutlich höher (97 %). Die Einsparung bei Glas beträgt 42 %, bei PET 23 % und bei Rohstahl aus der Hochofenroute 20 %.



CW ...Closed well Ofen DT ...Drehtrommelofen

Abbildung 15: Spezifische THG-Emissionen bei der Primär- und Sekundärproduktion marktfähiger Zwischenprodukte (in kg/t)¹⁶.

¹⁶ Aluminium: Annahme 15 % Primäranteil; Kupfer: 100% Sekundärproduktion; Rohstahl Hochofen: 30% Schrott; Rohstahl Elektroofen: 100% Sekundärproduktion; Glas: 75 % Scherben; PET: 30 % Rezyklat

10 EINSPARUNGEN DURCH EINSATZ VON SEKUNDÄRROHSTOFFEN

In diesem Kapitel werden die gesamten Einsparungen an Energie und THG-Emissionen, die durch den Einsatz der aus den betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen gewonnenen Sekundärrohstoffe anstelle von Primärrohstoffen erzielt werden, dargestellt. Bei den Berechnungen wurde angenommen, dass die Metallfraktionen aus den oben angeführten Abfallströmen vollständig in österreichischen Anlagen eingesetzt werden. Dies entspricht nicht der Realität, da Metallschrotte als ein Wirtschaftsgut grenzüberschreitend gehandelt werden.

Bei den berechneten Einsparungen war zu berücksichtigen, dass je nach Verfahren trotz gleicher absoluter Mengen an eingesetzten Sekundärrohstoffen unterschiedliche Mengen an marktfähigen Zwischenprodukten erzeugt werden können, wenn die Sekundärrohstoffe zu unterschiedlichen Anteilen¹⁷ eingesetzt werden. Um die Gesamtemissionen vergleichbar zu machen bzw. in weiterer Folge die Gesamteinsparungen zu berechnen, wird deshalb die maximal aus den eingesetzten Sekundärrohstoffen erzeugbare Menge an marktfähigem Zwischenprodukt herangezogen.

Bei Aluminium, Kupfer und PET gibt es keine österreichische Primärproduktion. Ein nationales Einsparungspotenzial ist deshalb nicht vorhanden. Die eingesparten THG-Emissionen durch die Produktion von Zwischenprodukten aus Sekundärrohstoffen sind für die nationale THG-Bilanz nicht relevant.

Bei KEA und THG ist zu berücksichtigen, dass der österreichische Strommix durch den hohen Anteil an Wasserkraft vergleichsweise geringe Werte aufweist.

Vergleichsbasis

10.1 Aufkommen und erzeugbare Mengen an Zwischenprodukten

Für die Berechnung der spezifischen Emissionen und Energieverbräuche wurden insgesamt 370.000 t Altschrott (Basis 2008, 2009) betrachtet. Dabei wurde folgende Zusammensetzung nach Abfallarten zugrunde gelegt: Altfahrzeuge (60.000 t), Elektrogroßgeräte (30.000 t), Elektrokleingeräte (10.000 t), Verpackungsmaterial (28.000 t), MVA-Schrott (20.000 t), MBA-Schrott (20.000 t) sowie Misch- und Sammelschrott (202.000 t). Zusätzlich zum Altschrott wurden 8.000 t Metalle aus der Aufbereitung von 165.000 t MVA Schlacke¹⁸ einbezogen.

Aus dieser Menge an Altschrott und Metallen aus MVA-Schlacke werden unter den getroffenen Annahmen ca. 13.200 t Aluminiumfraktion, ca. 3.000 t Kupferfraktion sowie ca. 263.900 t Eisenfraktion erzeugt. Je nach Metallfraktion sind unterschiedliche Mengen an Verunreinigungen enthalten.

betrachtete Abfallarten

¹⁷ Beispiel: Bei Rohstahl werden bei der Hochofenroute maximal 30 % Schrott eingesetzt, beim Elektroofen jedoch 100 %.

¹⁸ Ein Drittel davon durchlief zuvor noch keine Eisen-Grob-Abscheidung.

KRAWI – Einsparungen durch Einsatz von Sekundärrohstoffen

**erzeugte
Mengen an
Zwischen-
produkten**

Aus den aus Altschrott und MVA-Schlacken gewonnenen Metallfraktionen können folgende Mengen an marktfähigen Zwischenprodukten erzeugt werden:

- Aluminiumbarren (inklusive 15 % Primäraluminium): 11.100 t
- Kupferkathoden: 2.075 t
- Rohstahl
 - Hochofenroute (inklusive 70 % Stahl aus Eisenerz): 791.636 t **oder**
 - Rohstahl Elektrostahl: 245.407 t

Folgende Abbildung zeigt die Mengenströme der betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse für die Metalle. Für Eisen ist dabei die Produktion über die Hochofenroute dargestellt. Bei der Elektrostahlerzeugung würde die entsprechende Rohstahlmenge 245.000 t betragen.

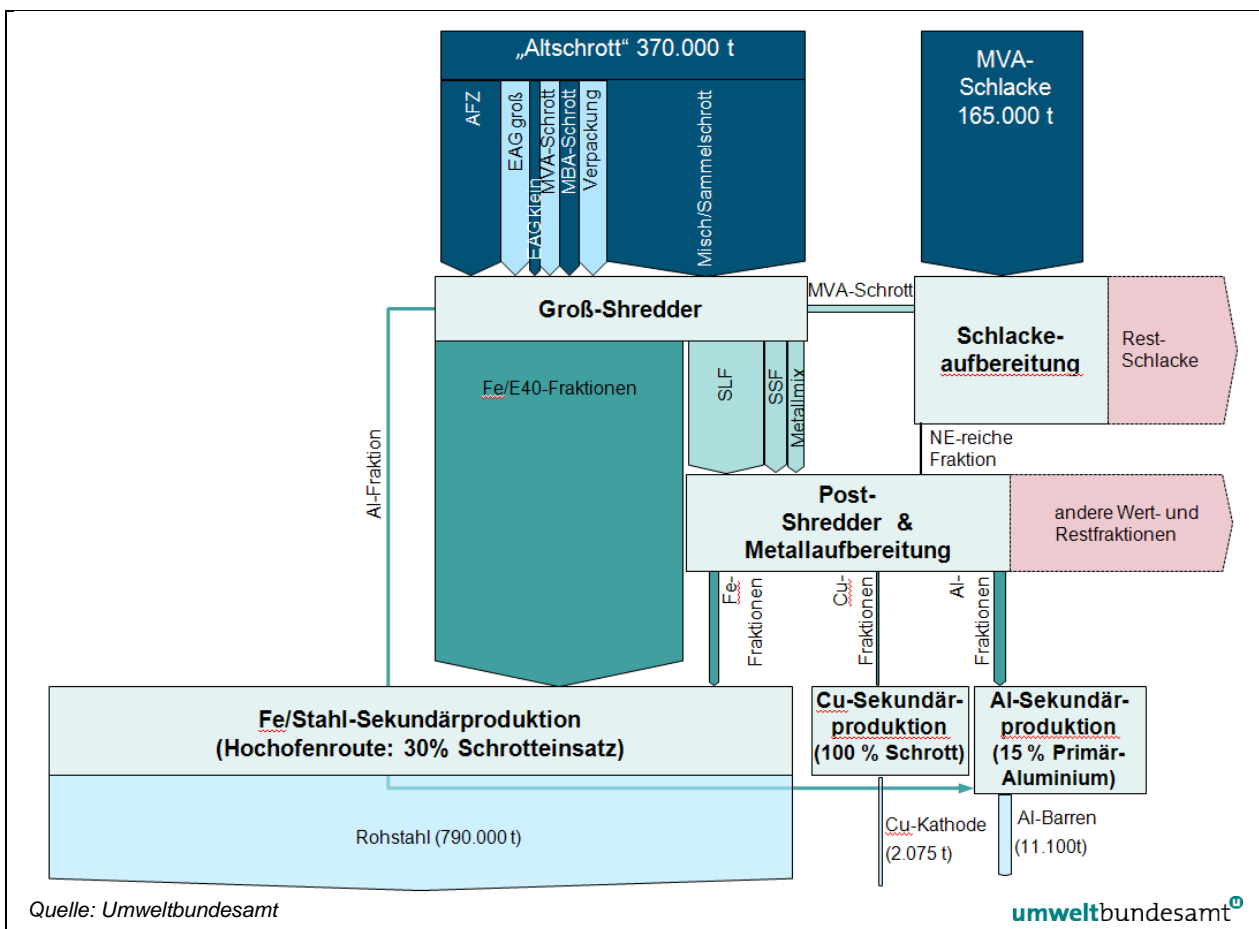


Abbildung 16: Metallmengenströme der betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse.

Die Jahresproduktion an grünem Behälterglas beträgt 135.000 t.

PET-Fraktion

In den letzten Jahren ist der Markt an PET-Einwegflaschen stark gestiegen. Wurden 1996 rd. 7.000 t PET eingesetzt, so lag die eingesetzte Menge im Jahr 2006 bei rd. 39.000 t, wobei in den davorliegenden Jahren eine deutliche Verlangsamung des Marktwachstums zu verzeichnen war. Die stoffliche Verwertungsquote lag 2006 bei knapp 58 % (WKO 2007). Laut ARA (2009) betrug das

Produktionsvolumen 2008 rd. 41.600 t PET-Getränkeflaschen. Nach Betreiberangaben werden ca. 23.000 t lebensmitteltaugliches PET-Rezyklat hergestellt. Davon geht ein Teil in die Preformherstellung für PET-Flaschen, ein Teil wird für Lebensmittelverpackungen eingesetzt und nach Herstellerangaben werden 8.000–9.000 t Rezyklat exportiert.

Bei einem Einsatz von 1,05 t PET-Granulatmischung pro Tonne PET-Flaschen sowie einem 30 % Anteil an Rezyklat können aus rd. 13.000 t Rezyklat und 70 % Primärgranulat 41.600 t PET-Flaschen erzeugt werden.

Vergleich der aus den betrachteten Recyclingprozessen wiedergewonnenen Sekundärrohstoffen mit der Gesamtproduktion in Österreich

Die aus den betrachteten Abfallströmen in Österreich lukrierbaren Mengen an Sekundärrohstoffen decken in sehr unterschiedlichem Ausmaß die insgesamt in Österreich eingesetzten Mengen an Sekundärrohstoffen ab.

Bei Aluminium können wie angeführt aus den betrachteten Sekundärrohstoffen rd. 11.100 t Aluminiumbarren bei einer Zugabe von 15 % Primäraluminium erzeugt werden. Dem gegenüber steht eine Jahresproduktion in Österreich von 260.000 t Sekundäraluminium (UMWELTBUNDESAMT 2004, Umwelterklärung Hütte Kleinreichenbach). Der Schrotteinsatz dafür beträgt ca. 300.000 t/a.

Aluminiumbarren

Die Jahresproduktion von Kupferkathode¹⁹ in Österreich beträgt rd. 108.000 t mit einem Schrotteinsatz von ca. 150.000 t/a. Im Vergleich dazu können aus dem aus den betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen gewonnenen Kupferschrott lediglich 2.075 t Kupferkathode erzeugt werden.

Kupferkathode

Über die Hochofenroute wurden 2008 in Österreich 6,87 Mio. t Rohstahl erzeugt, dies ist 8,5-mal mehr als über die aus den betrachteten Abfallströmen abgetrennten Eisenschrottmengen maximal erzeugt werden kann (Annahme 30 % Schrotzugabe).

Rohstahl

Die Elektrostahlerzeugung betrug 2008 in Österreich ca. 720.000 t Rohstahl. Davon sind ca. 320.000 t Baustahl (WORLDSTEEL 2009). Die aus den betrachteten abfallwirtschaftlichen Prozessen gewinnbare Rohstahlmenge beträgt 245.000 t.

Bei grünem Behälterglas und PET fallen die aus den betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen lukrierten Mengen mit den insgesamt in der Sekundärproduktion eingesetzten Mengen zusammen.

grünes Behälterglas und PET-Getränkeflaschen

10.2 Einsparung an KEA und THG-Emissionen durch die betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse

In Tabelle 64 ist der **KEA**, der bei der Herstellung der Menge an marktfähigen Zwischenprodukten über die Primär- und die Sekundärproduktion bei Einsatz der aus den betrachteten Abfallströmen rückgewonnenen Sekundärrohstoffe verursacht bzw. eingespart wird, dargestellt.

¹⁹ 108.000 t/a: pers. Mitteilung Montanwerke Brixlegg, 2010

Tabelle 64: KEA bei Primär- und Sekundärproduktion sowie Einsparung durch die Verwertung ausgewählter Abfallströme.

Primärproduktion	KEA (in TJ/a)	in % bezogen auf Primärproduktion
Aluminiumbarren 11.100 t	1.349	
Kupferkathode 2.075 t	134	
Rohstahl Hochofen 791.636 t	21.691	
Rohstahl Hochofen 245.407 t*	6.724	
Behälterglas grün 135.000 t**	1.440	
PET-Flaschen 41.600 t***	4.397	
Sekundärproduktion		
Aluminiumbarren (15 % Primäraluminium)	285	
Kupferkathode	38	
Rohstahl Hochofen (30 % Schrott)	17.337	
Rohstahl Elektroofen (100 % Schrotteinsatz)	1.288	
Behälterglas grün (75 % Scherbeneinsatz)	1.014	
PET-Flasche (30 % Rezyklatanteil)	3.274	
Eingesparter KEA		
Aluminiumbarren (15 % Primäraluminium)	1.064	78,9
Kupferkathode	96	71,4
Rohstahl Hochofen (30 % Schrott)	4.354	20,1
Rohstahl Elektroofen (100 % Schrotteinsatz)	5.436	80,8
Behälterglas grün (75 % Scherbeneinsatz)	426	29,6
PET-Flasche (30 % Rezyklatanteil)	1.147	25,5

* für Vergleich mit Sekundärproduktion Elektroofen mit 100 % Schrotteinsatz

** 5 % Eigenscherben

*** Flaschenmenge exklusive der exportierten Rezyklatmengen

absolute Einsparung beim KEA

Die größte absolute Einsparung an KEA ist mit knapp 5.500 TJ/a bei Rohstahl über die Elektroofenroute zu verzeichnen, durch die Erzeugung von Rohstahl über die Hochofenroute ist sie um 20 % geringer. Aufgrund der verschiedenen Produkte und Qualitäten sind die beiden Verfahren Hochofenroute und Elektrostenlofen nicht beliebig austauschbar, womit aus dem Vergleich keine Reduktionspotenziale abgeleitet werden können.

Der bei der Berechnung der Sekundärproduktion angesetzte österreichische Strommix ist mit vergleichsweise geringem KEA verbunden. Die überwiegende Energiezufuhr bei Elektrostahl ist Strom (rd. 75 %). Würde für die Elektrostahlproduktion ein KEA für Strom angesetzt, der um das 2,1-fache höher liegt als der österreichische Wert, so wäre die Einsparung im Vergleich mit der Hochofenroute (30 % Schrott, österreichischer KEA) gleich hoch (Vergleich: der KEA des deutschen Strommix ist um das 1,85-fache höher als der KEA des österreichischen Strommix).

Durch den Einsatz der betrachteten Sekundäraluminiummengen können rd. 1.000 TJ/a, und die betrachteten Sekundärkupfermengen knapp 100 TJ/a an KEA eingespart werden.

Der Einsatz von 75 % Scherben in der Erzeugung von grünem Behälterglas spart 426 TJ/a an KEA ein. Eine Erhöhung des Scherbenanteils auf 80 % würde eine zusätzliche Einsparung von 32 TJ bedeuten.

Bei der PET-Flaschenproduktion werden durch den Einsatz von 30 % Rezyklat ca. 1.100 TJ/a an KEA eingespart (exklusive der exportierten Rezyklatmenge).

Die relativen Einsparungen am KEA liegen bei Aluminium bei 79 %, bei Kupfer bei 71 %, bei Eisen in der Hochofenroute bei 20 %, bei Elektrostahl bei 81 %, bei Glas bei 30 % und bei PET bei 25 %.

relative Einsparungen beim KEA

In Tabelle 65 sind die **THG-Emissionen** dargestellt, die bei der Herstellung der Menge an marktfähigen Zwischenprodukten über die Primär- und über die Sekundärproduktion bei Einsatz der aus den betrachteten Abfallströmen rückgewonnenen Sekundärrohstoffe verursacht bzw. eingespart werden.

Tabelle 65: THG-Emissionen bei Primär- und Sekundärproduktion sowie Einsparung durch die Verwertung ausgewählter Abfallströme.

	THG-Emissionen (in t/a)	in % bezogen auf Primärproduktion
Primärproduktion		
Aluminiumbarren 11.100 t	111.778	
Kupferkathode 2.075 t	11.553	
Rohstahl Hochofen 791.636 t	1.876.178	
Rohstahl Hochofen 245.407 t*	581.615	
Behälterglas grün 135.000 t**	124.335	
PET-Flaschen 41.600 t***	145.392	
Sekundärproduktion		
Aluminiumbarren (15 % Primäraluminium)	22.221	
Kupferkathode	1.679	
Rohstahl Hochofen (30 % Schrott)	1.495.244	
Rohstahl Elektroofen (100 % Schrotteinsatz)	77.593	
Behälterglas grün (75 % Scherbeneinsatz)	72.225	
PET-Flasche (30 % Rezyklatanteil)	111.696	
Eingesparte Emission		
Aluminiumbarren (15 % Primäraluminium)	89.557	80,1
Kupferkathode	9.874	85,5
Rohstahl Hochofen (30 % Schrott)	380.935	20,3
Rohstahl Elektroofen (100 % Schrotteinsatz)	504.022	86,7
Behälterglas grün (75 % Scherbeneinsatz)	52.110	41,9
PET-Flasche (30 % Rezyklatanteil)	33.696	23,2

* für Vergleich mit Sekundärproduktion Elektroofen mit 100 % Schrotteinsatz

** 5 % Eigenscherben

*** Flaschenmenge exklusive der exportierten Rezyklatmengen

absolute Einsparungen bei THG Die höchsten absoluten Einsparungen an THG-Emissionen werden mit rd. 500.000 t/a bei der Erzeugung von Rohstahl über die Elektroofenroute erzielt. Die Einsparungen über die Hochofenroute sind mit ca. 380.000 t Einsparung rd. 25 % geringer als jene über Elektrostahl.

Der bei der Berechnung der Sekundärproduktion angesetzte österreichische Strommix ist mit vergleichsweise geringen THG-Emissionen verbunden. Die überwiegende Energiezufuhr bei Elektrostahl ist Strom (rd. 75 %). Würde für die Elektrostahlproduktion global betrachtet ein Strommix mit einem rd. 3,2-fach höheren THG-Emissionsfaktor als der österreichische Wert angesetzt, so wäre im Vergleich mit der Hochofenroute (30 % Schrott, österreichischer THG-Wert) die Einsparung etwa gleich groß. Die THG-Emissionen des deutschen Strommix betragen das 2,3-fache des österreichischen Wertes.

Durch die Rückgewinnung von Aluminium aus den betrachteten Abfallströmen können jährlich rd. 90.000 t THG-Emissionen, durch das Kupferrecycling rd. 10.000 t THG-Emissionen eingespart werden. Durch das Recycling von grünem Altglas und von PET-Flaschen ((exklusive der exportierten Rezyklatmenge) werden rd. 52.000 t bzw. 33.700 t THG-Emissionen vermieden.

relative Einsparungen bei THG Die relativen Einsparungen an THG liegen für Aluminium bei 80 %²⁰, für Kupfer bei 85,5 %, für Eisen in der Hochofenroute bei 20 %, für Elektrostahl bei 87 %, für grünes Behälterglas bei 42 % und für PET-Flaschen bei 23 %.

Werden bei Umlage des Energiebedarfs bei der Aufbereitung der Abfallströme nur die in den Abfallströmen enthaltenen Metalle und nicht auch die einem Recycling zugeführten Kunststoffe berücksichtigt, so reduzieren sich die Einsparungen bei Aluminium und Eisen praktisch nicht (Verringerung um maximal 0,4 %). Bei Kupfer verringert sich die Einsparung um ca. 2 % von 85,5 % auf 83,8 %.

Potenziale zur Erhöhung des Sekundärrohstoffanteils

Je nach betrachtetem Zwischenprodukt werden unterschiedliche Mengen an Sekundärrohstoffen eingesetzt. Eine Erhöhung der Anteile an Sekundärrohstoffen wäre nur zum Teil möglich. Aufgrund der bereits bestehenden hohen Sekundärrohstoffzugaben und der Tatsache, dass ein hoher Anteil an Sekundärrohstoffen (insbesondere Metalle) weltweit gehandelt wird, ist davon auszugehen, dass zusätzliche Mengen aus der österreichischen Abfallwirtschaft zugekaufte Mengen ersetzen würden.

Eisen- und Stahlerzeugung Die in den Hochöfen eingesetzte Schrottmenge kann auf Basis der GEMIS-Annahmen mit etwa 1,7–1,9 Mio. Tonnen abgeschätzt werden. Das Verhältnis von erzeugtem Rohstahl und eingesetztem Schrott liegt somit etwa bei 25–27 %. Im Vergleich dazu beträgt die Menge an Eisenschrott aus den im Projekt betrachteten abfallwirtschaftlichen Strömen 0,26 Mio. t.

Beim Hochofenprozess lag die Schrottzugabe 2008 bereits nahe der hier als maximal angenommenen Zugabemenge von 30 %, die in einigen EU-Mitgliedstaaten erreicht wird. Damit scheint nur ein geringes weiteres theoretisches Steigerungspotenzial möglich. Unberücksichtigt bleiben hier auch die technischen Voraussetzungen für eine höhere Schrottzugabe, die im Wesentlichen vom Kühlbedarf im Konverter abhängen.

²⁰ Die Aluminiumeinsparung bei einem Einsatz von 100 % Aluminiumschrott liegt bei ca. 95 %.

Die in österreichischen Elektrostahlwerken erzeugte Baustahlmenge ist rd. 30 % höher als aus den betrachteten Abfallströmen abgetrennten Eisenschrottmengen erzeugt werden kann. Nicht näher im Detail betrachtet wurde jedoch, inwieweit die aus diesen Abfallströmen erzeugten Metallfraktionen auch die Anforderungen der Elektrostahlwerke erfüllen können.

Eine Erhöhung des Scherbenanteils zur Erzeugung von grünem Behälterglas von 75 % auf 80 % bringt eine Reduktion von 3.915 t THG (ca. 1.890 t aus dem Glasherstellungsprozess und ca. 2.025 t aus der Vorkette inkl. Sodaherstellung) und eine Gesamteinsparung von 45 % an THG. Lediglich die verhältnismäßig geringe THG-Reduktion von 1.890 t wäre bei Verfügbarkeit der entsprechenden Buntglas-Scherbenmenge in Österreich erreichbar. Voraussetzung für einen Einsatz von 75 % oder 80 % Scherben ist, dass genügend Altglas zur Verfügung steht. In den vergangenen Jahren war dies nicht der Fall (es wurden Recyclingraten zwischen 71,6 % und 75 % erreicht).²¹

Erzeugung von grünem Behälterglas

Eine Minderung der spezifischen THG-Emissionen bei der Erzeugung von PET-Flaschen wäre über die Erhöhung des PET-Rezyklatanteils bei der Herstellung der Preformen erzielbar. Dies ist jedoch aus heutiger Sicht mit Qualitätseinbußen hinsichtlich der Viskosität und mit technischen Problemen bei der Verarbeitung der PET-Granulatomischung zu Preformen verbunden.

Erzeugung von PET-Flaschen

²¹ Bei Weißglas liegt der Scherbeneinsatz bei ca. 50 % und ist qualitätsbedingt nicht steigerbar (Kundenanforderungen). Bei Braunglas liegt der Scherbeneinsatz aktuell ca. bei 45 % und ist wegen geringerer Verfügbarkeit von Altglas nicht steigerbar. Die Qualität würde hier eine Steigerung zulassen.

11 ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Berechnung von THG und KEA

Angepasst an die österreichische Situation wurden die klimarelevanten Emissionen (Treibhausgase) und den kumulierten Energieaufwand (KEA) bei der Herstellung ausgewählter marktfähiger Zwischenprodukte. Es wurden die Daten aus der Sekundärproduktion (Verwendung von Altstoffen aus Recyclingprozessen) mit denen aus der Primärproduktion verglichen. Soweit es möglich war, wurde die österreichische Situation betrachtet.

ausgewählte Materialien

Es wurden folgende abfallwirtschaftlich relevante Materialien ausgewählt: Aluminium, Kupfer, Eisen/Stahl, grünes Behälterglas und PET-Flaschen.

Die betrachteten marktfähigen Zwischenprodukte jeweils vergleichbarer Qualität sind Aluminiumbarren, Kupferkathode, Rohstahl, grünes Behälterglas und PET-Getränkeflaschen. Spezifische Die Einsparungen an Energie und Treibhausgasen je Tonne Zwischenprodukt durch Sekundärproduktion anstelle von Primärproduktion wurden ermittelt. Darauf aufbauend wurden die Gesamteinsparungen für die möglichen Produktionsmengen aus den derzeit verfügbaren Abfällen/Altstoffen aus ausgewählten Recyclingprozessen berechnet.

Als Berechnungsgrundlage diente das GEMIS-Modell (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) wobei die Inputdatensätze nach Möglichkeit an die österreichischen Gegebenheiten angepasst wurden. Sowohl bei der Primär- als auch bei der Sekundärproduktion wurde der Österreichische Strommix 2005 verwendet.

Primärproduktion

Die Produktion von Primäraluminium und Primärkupfer findet in Österreich nicht mehr statt. Es gibt auch keine nationale Primärproduktion von PET-Granulat. Rohstahl und grünes Behälterglas werden im Inland nur unter Beimengung von Sekundärrohstoffen produziert. Für die Berechnung wurde daher eine hypothetische österreichische Primärproduktion angesetzt, unter Berücksichtigung des österreichischen Strommix und der Kenndaten von meist deutschen Anlagen mit einem guten technischen Standard.

berechneter kumulierter Energieaufwand

Der berechnete kumulierte Energieaufwand (KEA) zur Erzeugung einer Tonne marktfähigen Zwischenproduktes aus Primärrohstoffen ist bei Aluminium mit 121,5 GJ/t am höchsten. Etwas niedriger ist jener für die Produktion von PET (105,7 GJ/t). Der KEA bei der Herstellung von Kupfer beträgt mit 64,8 GJ/t rd. 50 %, jener von Rohstahl mit 27,4 GJ/t rd. 20 % und jener von grünem Behälterglas mit 10,7 GJ/t rd. 10 % des KEA von Aluminium.

Beträchtliche Energieaufwendungen finden in der Vorkette statt, am höchsten sind diese durch die Erdölraffination bei PET (88,5 %). Bei grünem Behälterglas, Kupfer und Rohstahl fallen 34–45 % des KEA in der Vorkette an. Bei Aluminium ist aufgrund der energieintensiven Elektrolyse die Vorkette (Abbau Bauxit, Tonerdeherstellung) mit 17 % des KEA weniger bedeutend.

berechnete THG-Emissionen

Die höchsten spezifischen THG-Emissionen treten bei der Primärproduktion von Aluminium auf (rd. 10,1 t THG pro Tonne Aluminium), gefolgt von Kupfer mit rd. 5,6 t. Für Stahl über die Hochofenroute betragen die Emissionen 2,4 t THG pro Tonne Stahl und für PET 3,5 t THG pro Tonne PET. Die niedrigsten spezifischen THG-Emissionen treten bei der Produktion von grünem Behälterglas auf (rd. 1 t THG pro Tonne Glas).

Bei der Aluminiumherstellung beträgt der Anteil der CO₂-Emissionen rd. 75 % der gesamten THG-Emission, im Gegensatz zu den anderen betrachteten Materialien (> 90 %). Der Unterschied ist zu einem beträchtlichen Teil durch die Emission von Tetrafluormethan und Hexafluormethan, die sehr langlebige und potente Treibhausgase sind, verursacht.

CO₂-Anteil an den THG

Sekundärproduktion

Für die Berechnung des kumulierten Energieaufwands und der THG-Emissionen aus der Sekundärproduktion wurde der österreichische Strommix verwendet. Bei der abfallwirtschaftlichen Vorkette wurden durchschnittliche Kenndaten (Energieaufwand und direkte Emissionen) österreichischer Recyclinganlagen und durchschnittliche Transportdistanzen zwischen Aufbereitungs- und Produktionsanlagen im Inland verwendet.

Bei der Sekundäraluminiumproduktion wurde angenommen, dass dem Sekundäraluminium 15 % Primäraluminium zugesetzt werden. Bei der Produktion von PET-Flaschen wurde eine Zugabe von 30 % PET-Rezyklat angesetzt. Ebenso wurde berücksichtigt, dass bei der Herstellung von Rohstahl in der Hochofenroute sowie von Behälterglas der Einsatz von Sekundärmaterialien durch Prozessanforderungen und die gewünschte Produktqualität limitiert ist (Rohstahl Hochofenroute: max. 30 % Schrott, Behälterglas grün: 80 % Altscherben).

Bei der Herstellung von Rohstahl wurde zusätzlich auch die Sekundärproduktion im Elektrostahlwerk (Baustähle, keine hochlegierten Edelstähle) einbezogen.

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) zur Erzeugung einer Tonne marktfähiger PET-Flaschen, die 30 % PET-Rezyklat enthalten, beträgt rd. 79 GJ/t. Bei der Sekundärproduktion von Aluminium (Annahme 15 % Primäraluminiumanteil) liegt der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung einer Tonne marktfähigen Zwischenprodukts bei rd. 26 GJ/t (ohne Zusatz von Primäraluminium nur bei rd. 6 GJ/t). Der kumulierte Energieaufwand für Rohstahl über die Hochofenroute (30 % Schrottanteil) beträgt rd. 22 GJ/t. Die Sekundärproduktion von Rohstahl im Elektroofen (100 % Schrott) verursacht einen kumulierten Energieaufwand von 5,3 GJ/t, wobei aber die Herstellung über die Hochofenroute bzw. im Elektroofen wegen der unterschiedlichen Produkte und Qualitäten nicht beliebig austauschbar ist. Der KEA für die Sekundärproduktion von Kupfer beträgt rd. 19 GJ/t, jener von grünem Behälterglas rd. 7,5 GJ/t.

berechneter kumulierter Energieaufwand

Die spezifischen THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion von Aluminium (Annahme 15 % Primäraluminiumanteil) betragen rd. 2 t THG pro Tonne Aluminium (ohne Zusatz von Primäraluminium nur rd. 0,3 t). Rohstahl über die Hochofenroute (30 % Schrott) weist Emissionen von rd. 2 t THG pro Tonne Stahl und Rohstahl im Elektroofen (100 % Schrott) von rd. 0,3 t auf. Die spezifischen THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion von Kupfer betragen rd. 1 t THG pro Tonne Kupfer. Bei der Herstellung von PET-Flaschen mit 30 % Rezyklatanteil werden rd. 3 t THG pro Tonne PET-Flaschen emittiert. Die spezifischen THG-Emissionen bei der Produktion von grünem Behälterglas betragen rd. 0,5 t THG pro Tonne Glas.

berechnete THG-Emissionen

Der Anteil des abfallwirtschaftlichen Rucksacks (KEA und THG-Emissionen für Recyclingprozesse und Transporten) in der abfallwirtschaftlichen Vorkette) am Gesamtaufwand an KEA und der THG-Emissionen bei der Sekundärproduktion sind bei PET-Flaschen (30 % PET-Rezyklat), Behälterglas grün (80 % Scherben)

abfallwirtschaftlicher Rucksack

und Rohstahl sehr niedrig (PET-Flaschen < 0,5 %, Glas und Rohstahl < 2 %). Bei Aluminium (Annahme 15 % Primäranteil) entfallen bis zu 11 % des KEA und 8 % der THG-Emissionen, bei Kupfer bis zu 33 % des KEA und 37 % der THG-Emissionen und bei Rohstahl im Elektroofen bis zu 28 % des KEA und bis zu 20 % der THG-Emissionen auf die abfallwirtschaftliche Vorkette.

Bei den Metallfraktionen beträgt der Anteil des Transports sowohl für den KEA als auch für die THG-Emissionen etwa 20–30 %, bei PET-Rezyklat rd. 36 % des KEA und 47 % der THG-Emissionen.

Spezifische Einsparungen bei der Sekundärproduktion

Die spezifischen Einsparungen bei der Sekundärproduktion im Vergleich zur Primärproduktion marktfähiger Zwischenprodukte sind bei Aluminiumbarren (Annahme 15 % Primäraluminium) am höchsten (Einsparung von rd. 96 GJ an KEA und von rd. 8 t THG pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt), gefolgt von Kupfer (Einsparung von rd. 46 GJ an KEA und von rd. 5 t THG pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt). Bei Elektrostahl (100 % Schrotteinsatz) betragen die spezifischen Einsparungen rd. 22 GJ an KEA und rd. 2 t THG, bei Rohstahl über die Hochofenroute (30 % Schrotteinsatz) rd. 6 GJ an KEA und rd. 0,5 t THG pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt. Bei PET-Flaschen (30 % PET-Rezyklat) ergeben sich spezifische Einsparungen von rd. 27 GJ an KEA und von rd. 1 t THG pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt. Bei grünem Behälterglas (75 % Scherben) betragen die spezifischen Einsparungen rd. 3 GJ an KEA und rd. 0,4 t THG pro Tonne marktfähigem Zwischenprodukt.

Die prozentuellen Einsparungen beim kumulierten Energieaufwand durch Sekundärproduktion anstelle von Primärproduktion sind bei Elektrostahl (81 % Einsparung)^{22,23} und Aluminium (79 % Einsparung bei Annahme 15 % Primäranteil, 95 % Einsparung ohne Zusatz von Primäraluminium) am höchsten, gefolgt von Kupfer (70 % Einsparung). Die Einsparung bei grünem Behälterglas beträgt 30 %, bei PET-Flaschen (30 % PET-Rezyklat) 25 % und bei Rohstahl aus der Hochofenroute (30 % Schrotteinsatz) 20 %.

Die höchsten prozentuellen Einsparungen an THG-Emissionen finden sich bei Elektrostahl (87 % Einsparung), gefolgt von Kupfer (85 % Einsparung) und Aluminium (80 % Einsparung bei 15 % Primäranteil, 97 % Einsparung ohne Zusatz von Primäraluminium). Die Einsparung bei der Sekundärproduktion von grünem Behälterglas beträgt 42 %, bei PET-Flaschen (30 % PET-Rezyklat) 23 % und bei Rohstahl aus der Hochofenroute (30 % Schrotteinsatz) 20 %.

Beitrag der betrachteten Sekundärrohstoffe zur Gesamt(Sekundär-)produktion

In Österreich wurden im Jahr 2008 aus 370.000 t Altschrott (aus Altfahrzeugen, Elektrogroß- und -kleingeräten, Verpackungsmaterial, MVA- und MBA-Schrott sowie Misch- und Sammelschrott) in Aufbereitungsanlagen ca. 11.300 t Aluminiumfraktion, ca. 2.800 t Kupferfraktion und ca. 257.900 t Eisenfraktion erzeugt.

²² Vergleich mit Primärproduktion im Hochofen

²³ Aufgrund der verschiedenen Produkte und Qualitäten sind die beiden Verfahren Hochofenroute und Elektrostahlofen nicht beliebig austauschbar.

Weitere rd. 8.000 t Metallfraktionen (rd. 1.900 t Aluminiumfraktion, rd. 200 t Kupferfraktion sowie rd. 6.000 t Eisenfraktion) resultieren aus der Aufbereitung von 165.000 t MVA-Schlacke.

Aus den Metallfraktionen, die aus den betrachteten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen stammen, können 245.000 t Rohstahl in der Elektroofenroute (100 % Schrotteinsatz) bzw. mit Zugabe von Roheisen 791.000 t Rohstahl in der Hochofenroute (30 % Schrotteinsatz), 11.100 t Aluminiumbarren (Zusatz von 15 % Primäraluminium) und 2.075 t Kupferkathoden (100 % Schrotteinsatz) erzeugt werden.

Altmetalle

Die gesamte österreichische Sekundärproduktion von Aluminium, Kupfer und Rohstahl ist um ein Vielfaches höher. Bei Aluminium und Kupfer liegt der Beitrag von Sekundärrohstoffen aus den betrachteten Recyclingprozessen zur österreichischen Gesamtproduktion unter 5 %, bei Rohstahl in der Hochofenroute bei rd. 12 % bzw. bei Rohstahl über die Elektroofenroute (nur Baustähle) bei rd. 77 %²⁴. Neben weiteren nationalen Schrottquellen (z. B. Produktionsrückstände, Baustähle aus Abrissobjekten, Kabel etc.) ist insbesondere der internationale Schrotthandel für die in der Sekundärproduktion eingesetzten Mengen relevant.

Aus dem gesammelten Altglas wurden 135.000 t Behälterglas, grün (Scherbeneinsatz 72–75 %) erzeugt, aus den gesammelten PET-Altflaschen in zwei Aufbereitungsanlagen ca. 23.000 t PET-Flakes. Ein Teil davon wurde zur Herstellung von 41.600 t PET-Flaschen (30 % Rezyklat) eingesetzt, ein Teil für Lebensmittelverpackungen verwendet und ein weiterer Teil exportiert.

Altglas und PET-Flaschen

Der Großteil der in der heimischen Produktion von grünem Behälterglas und PET-Flaschen eingesetzten Sekundärrohstoffe (Altglasscherben, Recycling-PET-Flakes) stammt aus den betrachteten Recyclingprozessen der heimischen Abfallwirtschaft.

Globale Einsparungen bei der Sekundärproduktion ausgewählter Zwischenprodukte

Aus den spezifischen Einsparungen bei der Sekundärproduktion je Tonne erzeugten Zwischenprodukts und den jeweiligen Produktionsmengen berechnen sich für das Bezugsjahr 2008 die folgenden Einsparungen an kumuliertem Energieaufwand und THG-Emissionen.

²⁴ Aufgrund der verschiedenen Endprodukte und Qualitäten sind die Verfahren Hochofenroute und Elektrostahlofen nicht beliebig austauschbar.

Tabelle 66: *Einsparungen (KEA und THG-Emissionen) durch Sekundärproduktion marktfähiger Zwischenprodukte aus Sekundärrohstoffen im Vergleich zur Primärproduktion.*

Marktfähiges Zwischenprodukt	Einsparungen (Bezugsjahr 2008)	
	Reduktion KEA (in TJ)	Reduktion THG (in t)
Aluminium (Annahme 15 % Primäraluminium)	– 1.064	– 89.557
Kupfer	– 96	– 9.874
Rohstahl Hochofen (30 % Schrott)* oder Rohstahl Elektroofen* (100 % Schrott)*	– 4.354 – 5.436	– 380.935 – 504.022
grünes Behälterglas (75 % Scherben)	– 426	– 52.110
PET-Flaschen (30 % Rezyklat)***	– 1.123	– 33.696
Gesamteinsparung (2008)	– 7.063 bis – 8.145**	– 566.172 bis – 689.259**

* Vergleich mit der Primärproduktion im Hochofen (0 % Schrott)

** kleiner Wert: gesamter Schrott wird im Hochofen eingesetzt, größerer Wert: gesamter Schrott wird in Elektrostahlwerk eingesetzt

*** Flaschenmenge exklusive der exportierten Rezyklatmengen

Die größten Einsparungen finden sich bei den Metallen, was bei Aluminium zum überwiegenden Teil an der Energieintensität des Primärprozesses, bei Stahl sowohl an der Energieintensität als auch an der Produktionsmenge liegt. Bei PET ergibt sich die Reduktion gegenüber dem Primärprozess vor allem durch Wegfall des Erdölraffinationsprozesses. Bei Glas zeigen sich die Sodaherstellung in der Vorkette und die Prozessemissionen vor allem im THG-Wert und weniger in der Energie.

Zusätzlich nationale THG-Reduktionspotenziale

Bei Aluminium, Kupfer und PET werden die errechneten Einsparungen nicht in der österreichischen Treibhausgasbilanz wirksam, da es keine zu substituierende Primärproduktion in Österreich gibt.

Bei Eisen/Rohstahl aus dem Hochofen (österreichische Produktion) lag die Schrottzugabe 2008 bereits nahe der maximalen Zugabemenge von 30 %, womit nur ein sehr geringes Steigerungspotenzial möglich erscheint.

Bei grünem Behälterglas ist eine Steigerung des Scherbeneinsatzes um 5 % auf 80 % möglich, vorausgesetzt die entsprechenden Mengen werden gesammelt. Etwa die Hälfte der zusätzlichen Einsparung (entspricht ca. 2.000 t THG) wäre national zu verbuchen, die andere Hälfte fällt in der Vorkette und nicht in Österreich an.

Resümee

- Die Klimarelevanz der untersuchten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozesse ist hoch. Die Rückführung der untersuchten Abfälle/Altstoffe in den Wirtschaftskreislauf hat sehr positive Auswirkungen hinsichtlich Einsparung von Energieaufwand und THG-Emissionen bei der Produktion marktfähiger Zwischenprodukte (Aluminiumbarren, Kupferkathoden, Rohstahl, grünes Behälterglas und PET-Getränkeflaschen):

Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen aus den untersuchten abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen in der Sekundärproduktion werden pro Jahr (Bezugsjahr 2008) 7.000–8.000 TJ an kumuliertem Energieaufwand global vermieden. Dies entspricht 3–3,5 % des Energiebedarfs der österreichischen Haushalte für Raumwärme, Klimaanlage und Warmwasser oder etwa dem jährlichen Stromverbrauch von 500.000 Haushalten. Des Weiteren werden zwischen 570.000 und 690.000 t an Treibhausgasemissionen eingespart. Dies entspricht etwa 7–9 % der jährlichen Treibhausgasemissionen österreichischer Haushalte für die Bereitstellung von Raumwärme und sonstigem Kleinverbrauch im Jahr 2008.²⁵

- Beim Einsatz von Altmetallen in der Sekundärproduktion werden global hohe spezifische Energie- und Treibhausgaseinsparungen im Vergleich zur Primärproduktion wirksam. Eine Steigerung der getrennt gesammelten oder aus verschiedenen Abfallströmen rückgewonnen Altmetalle ist daher aus Sicht des globalen Klimaschutzes zielführend. Da die spezifischen Einsparungen bei der Sekundärmetallproduktion sehr hoch sind, würden auch eine verstärkte Sammlung und ein Recycling diverser Kleinmetallteile zur globalen Einsparung von THG-Emissionen beitragen. Die inländischen Kapazitäten für die Sekundärmetallproduktion könnten die zusätzlichen Mengen an Altmetallfraktionen aufnehmen, allenfalls würden Importe substituiert.
- Die Rückgewinnung von Metallfraktionen aus Müllverbrennungsschlacke für den Einsatz in der Sekundärmetallproduktion ist aus Sicht des Klimaschutzes ebenfalls positiv. Die daraus resultierenden zusätzlichen Alt-Metallmengen liegen im Bereich einiger 1.000–10.000 t.
- Das PET-Rezyklat aus der Aufbereitung von PET-Flaschen wird derzeit nicht zur Gänze in Österreich verarbeitet. Eine Steigerung des Rezyklatanteils in der Produktion von PET-Flaschen (bisher in Österreich 30 %) würde erheblich zu einer Senkung des spezifischen kumulierten Energieaufwands und der Treibhausgasemissionen beitragen, die vor allem auf den anteiligen Wegfall des Erdölraffinationsprozesses für den Primärprozess zurückzuführen ist.
- Bei grünem Behälterglas ist eine geringe Steigerung des Scherbeneinsatzes um ca. 5 % möglich, vorausgesetzt, dass die Scherben verfügbar sind. Dann ist das produktionstechnische Limit von 80 % Scherbeneinsatz erreicht und eine weitere Erhöhung des Scherbeneinsatzes wäre nur mehr bei Steigerung der Produktionsmenge möglich. Eine zusätzliche Einsparung von 2.000 t THG wäre dadurch national zu verbuchen, rd. weitere 2.000 t THG-Emissionen würden global eingespart werden.
- Der abfallwirtschaftliche Rucksack der betrachteten Altstoffe und der Aufbereitungsprozesse ist in Relation zum kumulierten Energieaufwand und den THG-Emissionen der Primärproduktion vernachlässigbar. Die Aufwendungen in der Abfallwirtschaft (Energie, THG-Emissionen) zur Gewinnung dieser Sekundärrohstoffe (Al, Cu; Fe/Stahl) könnten daher noch deutlich erhöht werden, ohne dass die klimarelevanten Einsparungen der Sekundärproduktion im Vergleich zur Primärreduktion aufgezehrt würden.

²⁵ Laut Klimaschutzbericht 2010 entfallen (im Jahr 2008) von den Gesamtemissionen des Sektors Raumwärme und sonstiger Kleinverbrauch (12 Mio. t THG) rd. 66 % (7,9 Mio. t THG) auf private Haushalte (UMWELTBUNDESAMT 2010).

12 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AFZ	Altfahrzeuge
CW	Closed-Well Ofen
DMT	Terephthalsäuredimethylester
DTO	Drehtrommelofen
EAG	Elektroaltgeräte
EBS	Ersatzbrennstoff
GEMIS.....	Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme
KEA	Kumulierter Energieaufwand
MA.....	Mechanische Aufbereitungsanlage
MBA	Mechanisch-Biologische Behandlungsanlage
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE	Nichteisen
PET	Polyethylenterephthalat
RE	Roheisen
PS	Postshredder
SLF	Shredderleichtfraktion
SSF	Shredderschwerfraktion
THG	Treibhausgase
TPA	Terephthalsäure

13 LITERATURVERZEICHNIS

- ALUMINIUM-TASCHENBUCH (2009): Düsseldorf, Aluminium-Verlag, 16. Auflage.
- ARA – Altstoff Recycling Austria (2009): Umsetzungsbericht der Österreichischen Getränkewirtschaft 2009.
- ARA – Altstoff Recycling Austria AG (2009a): Modell zur Berechnung des Carbon Footprint der Aktivitäten der ARA (ARA CFP). Interner Bericht, erstellt von denkstatt GmbH im Auftrag der Altstoff Recycling Austria AG.
- ARGE SCHREDDER (2010): mündliche Information.
- EAA – European Aluminium Association (2000): Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry.
- FELLINGER, R. & SCHRAMM, C. (1998): Vergleichende Umweltbilanz von Einweg- und Mehrwegverpackungen am Beispiel der Mineralwasserverwendung in Wien. ÖkoConsult Ges.m.b.H., Wien.
- FRAUNHOFER INSTITUT (2004): Jochem, E. et al.: Werkstoffeffizienz: Einsparungspotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.
- FRAUNHOFER UMSICHT & INTERSEROH (2008): Recycling für den Klimaschutz. Ergebnisse der Studie von Fraunhofer UMSICHT und INTERSEROH zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Interseroh AG, Köln.
- HIEBEL, M. & PFLAUM, H. (2009): Recycling für den Klimaschutz – CO₂-Emissionen bei der Verwertung von Sekundärrohstoffen im Vergleich zur Nutzung von Primärrohstoffen. In: Müll und Abfall, Ausgabe 1.
- ISI – International Iron and Steel Institute (2009): Steel Statistical Yearbook 2009. www.worldsteel.org.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Climate Change – The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- LANG-KOETZ, C. (2005): Umweltwirkungsbewertung im Innovationsprozess. Fallbeispiel Getränkeverpackung. Präsentation im Rahmen der Übung Technologiemanagement WS 2004/2005. Fraunhofer IAO, Stuttgart.
- MA 48 (2010): mündliche Information.
- ÖKK – Österreichischer Kunststoff Kreislauf AG (2007): Kombiniertes Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht der ÖKK Österreichischer Kunststoff Kreislauf AG für das Jahr 2006.
- PETROVIC, B. (2008): Materialflussrechnung, 1960 bis 2006. Statistik Austria, Wien.
- PLINKE, E.; SCHONERT, M.; SCHORB, A.; MEYER, U. & OSTERMAYER, A. (1999): Ökobilanz für die leichte PET-Mehrwegflasche. Prognos und IFEU Institut für Energie und Umweltforschung GmbH, Basel.
- REITERER, V. (2005): Ökologischer und ökonomischer Vergleich von Mehrweg- und Einwegverpackungen am Beispiel Mineralwasser. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, Graz.
- SALHOFER, S.; SCHNEIDER, F. & WASSERMANN, G. (2002): Ökologische Relevanz der Transportlogistik in der Abfallwirtschaft. Wastes Reports, ISSN 1027-4006.

- STATISTIK AUSTRIA (2009): Österreichische Energiebilanzen 1970–2007.
- STATISTIK AUSTRIA (2009a): Bevölkerungsstand 1.1.2009 inkl. Revision seit 1.1.2002.
- ULLMANN (1994): Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fifth Completely Revised Edition, Vol. A 25, Weinheim.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Boin, U.; Linsmeyer, T.; Neubacher, F. & Winter, B.: Stand der Technik in der Sekundäraluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie. Monographie, Bd. M-120, Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Kutschera, U.; Winter, B.; Schindler, I. et al.: Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten. Monographien, Bd. M-0168. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2008): Tesar, M. & Öhlinger, A.: Elektroaltgerätebehandlung in Österreich, Zustandsbericht 2008.
- UMWELTBUNDESAMT (2010): Kuschel, V.; Anderl, M.; Bednar, W.; Böhmer, S; Gössl, M.; Gugele, B.; Ibesich, N.; Jöbstl, R.; Lampert, C; Muik, B; Pazdernik, K.; Poupa, S; Schachermayer, E.; Schneider, J.; Seuss, K.; Sporer, M.; Stranner, G.; Storch, A; Weiss, P.; Wiesenberger, H.; Winter, R.; Zethner, G.; Zechmeister, A. & KPC: Klimaschutzbericht 2010. Reports, Bd. REP-0267. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTERKLÄRUNG (2002): Umwelterklärung der AMAG casting und der AMAG rolling GmbH. Ranshofen (2002).
- VETROPACK (2006): Persönliche Mitteilung der Fa. Vetropack.
- VETROPACK (2010): Persönliche Mitteilung der Fa. Vetropack.
- WORLDSTEEL (2009): Steel Statistical Yearbook 2008, worldsteel Committee on Economic Studies – Brussels, 2009. download <http://www.worldsteel.org>.
- WKO – Wirtschaftskammer Österreich 2007: Neue Wege gehen. Umsetzungsbericht der Österreichischen Getränkewirtschaft; Juni 2007.

Rechtsnormen und Leitlinien

- BREF ISP D2 (2009): Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel. EIPPCB, 2nd Draft, July 2009.
- BREF NFM (2001): Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. European Commission, December 2001.
- BREF Glass-draft (2009) *Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry*. European Commission, Institute for Prospective Technological studies, Seville, July 2009.

14 ANHANG

Allgemeine Beschreibung von GEMIS

Für die Ermittlung der klimarelevanten Emissionen wird das Emissionsmodell GEMIS-Österreich (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) verwendet.

Das GEMIS Modell umfasst Grunddaten zu

- der Bereitstellung von Energieträgern (Prozessketten- und Brennstoffdaten). Neben fossilen Energieträgern (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas), regenerativen Energien, Hausmüll und Uran sind auch so genannte nachwachsende Rohstoffe (schnellwachsende Hölzer, Chinagrass, Raps, Zuckerrübe) sowie Wasserstoff enthalten.
- Technologien zur Bereitstellung von Wärme und Strom (Heizungen, Warmwasser, Kraftwerke aller Größen und Brennstoffe, Heizkraftwerke, BHKW, ...).
- Stoffen (vor allem Grundstoffe und Baumaterialien), inklusive deren vorgelagerten Prozessketten (bei Importen auch im Ausland).
- Transportprozessen, d. h. Daten für Personenkraftwagen (für Benzin, Diesel, Strom, Biokraftstoffe), Öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Bahn) und Flugzeuge sowie über Prozesse zum Gütertransport (Lastkraftwagen, Bahn, Schiffe und Pipelines).

GEMIS berücksichtigt von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle Schritte und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein.

Die Datenbasis enthält für alle diese Prozesse Angaben bezüglich

- Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer;
- direkte Luftschadstoffemissionen (SO₂, NO_x, Halogene, Staub, CO);
- Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O sowie alle FCKW/FKW);
- feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum);
- flüssige Reststoffe (z. B. anorganische Salze);
- Flächenbedarf;
- kumulierte Energieaufwendungen.

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist die Summe aller Primärenergieinputs (inklusive der zur Materialherstellung), die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet wird. Primärenergien sind Ressourcen wie Erdöl, Sonnen- und Windenergie oder auch Uran, aus denen nutzbare Energieträger wie Heizöl, Benzin, Strom oder Fernwärme erzeugt werden. Der KEA wird bestimmt, indem für ein bestimmtes Produkt (z. B. Stahl) oder eine Dienstleistung (z. B. Raumwärme, Transport von Gütern) die gesamte Vorkette untersucht und die jeweilige Energiemenge ermittelt wird. Die Vorketten der Stromerzeugung z. B. sind Stromtrassen, Kraftwerke sowie die Aktivitäten (Prozesse), die zum Betrieb der Kraftwerke notwendig sind (Bergbau, Raffinerien usw.). Auch der Aufwand zur Herstellung der jeweiligen Prozesse wird im KEA erfasst.

Während etwa ein Solarkollektor die Sonne als direkte Primärenergiequelle nutzt, benötigt er zur Bereitstellung von Warmwasser noch Hilfsstrom. Darüber hinaus werden bei der Herstellung (Bau, Montage, Wartung) wiederum Aufwen-

dungen zur Erzeugung und Verarbeitung von Aluminium, Kupfer usw. notwendig. Bei diesen Materialaufwendungen wird Energie (Strom, Prozesswärme, Treibstoffe) benötigt, zu deren Herstellung ebenfalls entsprechende Prozesse in Vorketten erforderlich sind (Kraftwerke usw.). Zur KEA-Berechnung müssen der gesamte Lebensweg berücksichtigt und die hierfür nötigen Primärenergieaufwendungen erfasst werden.

Der KEA wird schon seit den 70er-Jahren weltweit als Kennzahl für Energiesysteme verwendet, hat also schon einige Tradition. Anfang der 90er-Jahre entwarfen ExpertInnen des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit Beteiligung des Umweltbundesamt eine Regel zur Bestimmung des KEA: die VDI-Richtlinie 4600. Darin finden sich Erklärungen, Rechenmethoden und Beispiele für KEA-Anwendungen. Sie ist Grundstein für alle heutigen KEA-Arbeiten und präzisiert den Begriff kumulierter Energieaufwand.

Eine wichtige Rolle spielt der KEA bei der Diskussion um die energetische Amortisationsdauer. Diese entspricht jener Zeit, die ein Energiesystem benötigt, um die für seine Herstellung investierte Energie durch die eigene Erzeugung wieder zu produzieren.

Die KEA-Richtlinie machte erstmals deutlich, dass der Primärenergieaufwand auch unter Umweltgesichtspunkten eine wichtige Größe ist. Auch Ökobilanzen basieren auf KEA-Daten, wobei Stoff- und Energieströme die Basis von Sachbilanzen bilden.

Kraftwerke und Heizungen, Verkehr und Industrie bewirken eine große Zahl von Umweltwirkungen. Ein erheblicher Teil der Umweltprobleme ist ursächlich mit Energie verbunden. Der Energieaufwand, den ein Produkt oder eine Dienstleistung erfordert, lässt sich relativ genau bestimmen. Die Vielzahl von Umweltwirkungen führt bei Ökobilanzen zu hohem Aufwand bei der Datenermittlung und komplexen Methoden bei der Bewertung. Da ein Großteil der Umwelteffekte aus der Energiebereitstellung und -nutzung resultiert, kann der KEA als Anhaltspunkt zur ökologischen Bewertung verwendet werden. Die erforderlichen Energiedaten können gut ermittelt und standardisiert werden.

Die Bereitstellungsemissionen sind im GEMIS 4.5 mit Länderherkunft versehen und somit regional zuordenbar. Dadurch ergibt sich eine genaue Aufteilung in Bereitstellungsemissionen und Emissionen, welche durch den Energieeinsatz vor Ort entstehen.

GEMIS 4.5 unterscheidet zwischen nicht erneuerbaren und erneuerbaren kumulierten Energieaufwendungen und bildet daraus die Summe. Somit können auf einen Blick die Bereitstellungsemissionen für verschiedenste Systeme (z. B. Gasheizung, Holzheizung etc.) analysiert werden.

GEMIS-Österreich 4.5

Das Umweltbundesamt hat – aufbauend auf deutschen Forschungsarbeiten – das Modell GEMIS (Gesamt Emissions Modell Integrierter Systeme für Österreich) zur Erstellung von Umweltbilanzen für Österreich entwickelt, welches es ermöglicht, solche Systembetrachtungen in vereinfachter Weise durchzuführen. GEMIS ist ein computergestütztes Instrument, mit dem die Umweltauswirkungen von unterschiedlichen Systemen einfach, präzise und vor allem umfassend berechnet und miteinander verglichen werden können.

Auf Basis österreichspezifischer Daten berücksichtigt GEMIS alle wesentlichen Prozesse, angefangen von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie und Stoffbereitstellung (so z. B. auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen). Es bietet somit die Möglichkeit, neben den lokalen Emissionen auch die vorgelagerten Prozessemissionen zu berücksichtigen.

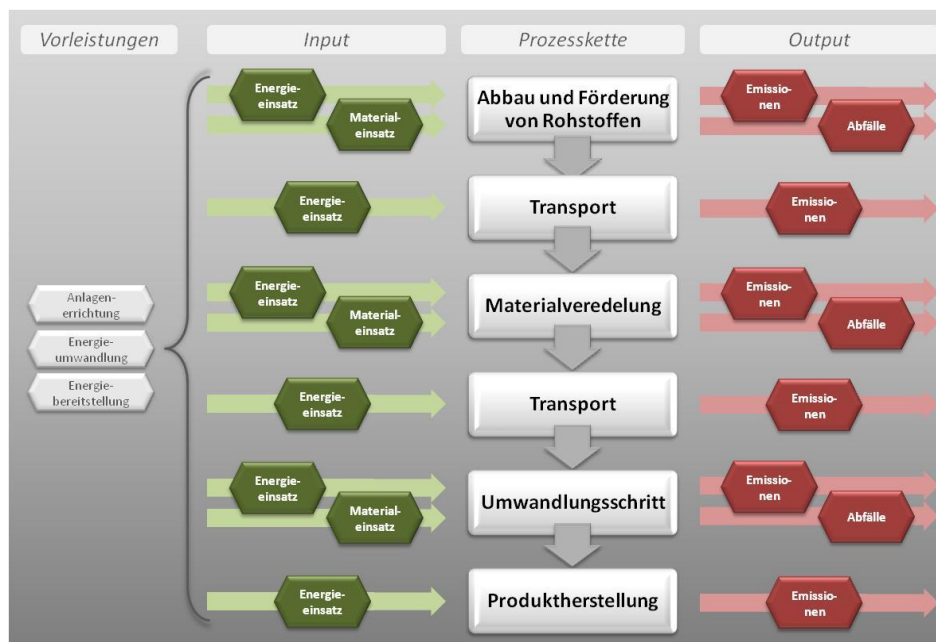


Abbildung 17: Funktionsweise und Systemgrenzen von GEMIS-Österreich 4.5.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Berechnungen des Umweltbundesamt zeigen, wie viel Energie und Treibhausgasemissionen eingespart werden können, wenn Primärrohstoffe durch Altstoffe aus abfallwirtschaftlichen Recyclingprozessen ersetzt werden. Die Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion einer Tonne neuer Aluminium-Produkte entstehen, können durch den Einsatz von rückgewonnen Altstoffen um bis zu 97 % reduziert werden. Bei Rohstahl und Kupfer können im Vergleich zur Primärproduktion rund 85 % der Emissionen eingespart werden, bei Grünglas rund 40 % und bei PET-Flaschen mit 30 % Recyclinganteil mehr als 20 %. Der Energieaufwand für den Transport und die Aufbereitung der betrachteten Altstoffe ist dabei vernachlässigbar. Die Wiederverwertung der getrennt gesammelten oder aus verschiedenen Abfallströmen rückgewonnen Altmetalle leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.