

# Roadmap Industrie

F&E-Fahrplan Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie

## Energieeffizienz in der Nichteisenmetall-Industrie

Diskussionspapier – April 2014



Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik  
Autoren: Peter Pulm, Harald Raupenstrauch

Die vorliegende F&E-Roadmap ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden. Die Erstellung des Berichts erfolgte durch das Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz in Kooperation mit dem AIT Austrian Institute of Technology.

Das Institut für Energietechnik und Thermodynamik der Technischen Universität Wien sowie das Clusterland Oberösterreich wurden über Werkverträge beteiligt. Weitere Beiträge wurden vom Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik der Montanuniversität Leoben beigesteuert.

## Impressum

Herausgeber	Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien E-Mail: <a href="mailto:office@klimafonds.gv.at">office@klimafonds.gv.at</a> , Internet: <a href="http://www.klimafonds.gv.at">www.klimafonds.gv.at</a>
Projektbetreuung	Elvira Lutter, Programm-Management/Klima- und Energiefonds
Autoren	Peter Pulm, Harald Raupenstrauch (Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik)
Grafische Bearbeitung	r+k kowanz
Foto	© Plansee Group
Herstellungsort	Wien, November 2014

Die hier dargestellten Inhalte spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

# Inhalt

<b>1.0</b>	<b>Vorbemerkungen der Autoren</b>	<b>2</b>
<b>2.0</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>2</b>
2.1	Aluminiumproduktion	2
2.2	Kupferproduktion	4
<b>3.0</b>	<b>Produktion von Nichteisenmetallen</b>	<b>6</b>
3.1	Verarbeitende Betriebe in Österreich	6
3.2	Entwicklung der Weltproduktion	7
3.3	Aluminium	8
3.4	Kupfer	10
<b>4.0</b>	<b>Energieeffizienz bei Nichteisenmetallen</b>	<b>11</b>
4.1	Energiebedarf der Aluminiumproduktion	12
4.2	Energiebedarf der Kupferproduktion	13
<b>5.0</b>	<b>Mögliche Maßnahmen</b>	<b>14</b>
5.1	Übergreifende Maßnahmen	14
5.2	Erzeugung von Primäraluminium	17
5.3	Produktion von Aluminium-Walzprodukten	18
5.4	Erzeugung von Primärkupfer	18
<b>6.0</b>	<b>Literatur</b>	<b>19</b>

# 1.0 Vorbemerkungen der Autoren

Als wissenschaftliche Methode für die Erstellung des Dokumentes wurden ExpertInnengespräche mit maßgeblichen AkteurInnen aus Wissenschaft und Industrie geführt. Die daraus erhaltenen Ergebnisse wurden durch eine Literaturrecherche ergänzt.

Den VerfasserIn ist bewusst, dass die Europäische Union nunmehr über 28 Mitgliedsstaaten verfügt. Da das bestehende Datenmaterial diesem Umstand aber

(noch) keine Rechnung trägt, ist im Text für gewöhnlich von den EU-27 die Rede.

Da die detaillierte Behandlung jedes einzelnen Nichteisenmetalls den Rahmen dieses Papiers sprengen würde, wurde bei der Erstellung vor allem Wert darauf gelegt, die Gemeinsamkeiten der Nichteisenmetalle herauszuarbeiten. Beispielhaft wird in der Folge detaillierter auf Kupfer und Aluminium eingegangen.

## 2.0 Stand der Technik

Die Herstellung von Nichteisenmetallen beginnt mit dem Abbau von Erzen aus Lagerstätten. Für eine wirtschaftliche Produktion ist die Abbauwürdigkeit eines Erzes maßgeblich. Dabei sinkt die dafür notwendige Metallkonzentration mit dem steigenden Preis des Metalls. In der Folge müssen die Erze zur Weiterverarbeitung aufbereitet werden. Dieser Prozess gliedert sich in drei Schritte: Zu Beginn wird das Erz für die weitere Behandlung vorbereitet. Danach erfolgt über verschiede-

dene Verfahrenswege eine Aufkonzentration des zu gewinnenden Metalls. Daraufhin wird das Erz weiter zerkleinert, klassiert und sortiert. Bei der Vorbereitung zur Reduktion werden die Ausgangsstoffe zum Ausgleich von Konzentrationsunterschieden miteinander vermischt, agglomeriert und über verschiedenste individuelle Verfahrenswege reduziert.

Im Folgenden werden die Produktionsverfahren für Aluminium und Kupfer beispielhaft besprochen.

### 2.1 Aluminiumproduktion

Aluminium ist mit einem Anteil von 8 % nach Sauerstoff und Silizium das dritthäufigste chemische Element in der Erdkruste. Aluminium als Werkstoff ist unter den Industriemetallen verhältnismäßig neu und wird seit den 1970er-Jahren zunehmend eingesetzt. Es wird heute in unterschiedlichsten Branchen verwendet, z. B. Hoch- und Tiefbau, in der Kraftfahrzeugtechnik, Flugtechnik, bei der Papierproduktion, in der Medizintechnik, in der Verpackungsindustrie etc. (siehe Abbildung 1). Die herausragenden Eigenschaften von Aluminiumwerkstoffen sind die hohe Festigkeit bei geringer Dichte, hohe Korrosionsbeständigkeit, gute Verformbarkeit und der Oberflächenglanz. Die Herstellung von Aluminium ist ein sehr energieintensives Unterfangen. Die Energiekosten machen bei der Primärerzeugung von Aluminium ungefähr 40 % der Herstellkosten aus. Für das Betreiben der Elektrolyse wird zumeist Strom

aus Wasser- bzw. Nuklearkraftwerken verwendet. In Österreich selbst wird kein Primäraluminium hergestellt. Dieses muss ausnahmslos importiert werden. Die AMAG Metall AG ist an einem kanadischen Primärmetallproduzenten beteiligt. Der einzige österreichische Bauxitbergbau in Unterlaussa, Oberösterreich, wurde 1964 eingestellt. [1–5]

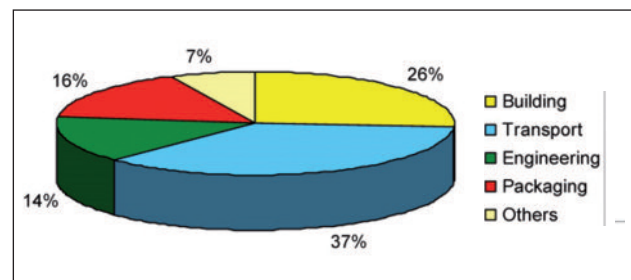


Abbildung 1:  
Aluminiumverbrauch nach Branchen,  
Quelle: alueurope.eu

Als Ausgangsstoff für die großtechnische Herstellung von Primäraluminium wird zu über 98 % Bauxit verwendet. Das Erz besteht aus einem Gemenge von hydroxidischen Aluminiummineralen, Eisen- und Titanoxiden sowie Kieselsäure und wird fast ausschließlich im Tagebau gefördert. Bauxitvorkommen sind in Aust-

ralien, Guinea, Jamaika, der Russischen Föderation, Brasilien, den USA, Frankreich, Griechenland, Italien, Spanien und Ungarn zu finden. Gesicherte Reserven an Bauxit sind für die nächsten 300 Jahre vorhanden. Die primäre Aluminiumgewinnung erfolgt über ein zweistufiges Verfahren (siehe Abbildung 2). [6]

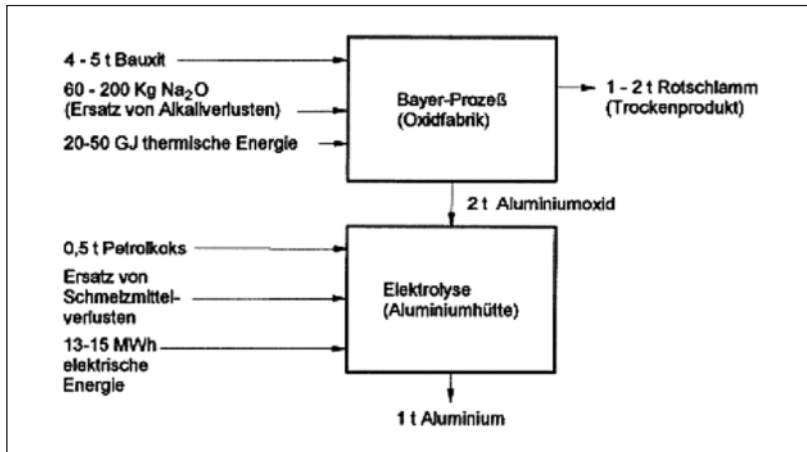


Abbildung 2:  
Schematische Darstellung der  
Aluminium-Primärerzeugung [6]

Das Bayer-Verfahren ist seit seiner Entstehung am Ende des 19. Jahrhunderts im Wesentlichen gleich geblieben. Als Einsatzmaterial wird Bauxit verwendet, welches mit Walzen- oder Kegelbrechern bis auf eine Korngröße von 2–3 cm vorgebrochen wird. Es folgt eine Nassmahlung in einer Stab- oder Kugelmühle, welche das Einsatzgut auf die notwendige Korngröße von <0,1 mm zerkleinert. Daraufhin erfolgt in den meisten Aluminiumhütten eine Vorentkieselung, um die Anlage von Natriumaluminiumsilikaten und Rotschlammteilchen an den Heizflächen im Autoklaven zu verhindern. Dazu wird die Bauxitsuspension auf ungefähr 90 °C erhitzt und unter Rühren sechs bis zehn Stunden auf Temperatur gehalten. In diesem Zeitraum kristallisiert das gelöste Natriumaluminiumsilikat aus. Der eigentliche Aufschluss erfolgt kontinuierlich im Rohrreaktor oder diskontinuierlich in Autoklaven. Dabei geht das  $\text{Al}(\text{OH})_3$  aus dem Bauxit in heißer, konzentrierter NaOH in Lösung und es entsteht Tonerde. Bei der Autoklavenroute beträgt die Aufschlusszeit sechs bis acht Stunden bei einer Temperatur zwischen 140 und 250 °C und einem Druck von 40 bar. Der Rohrreaktor erlaubt höhere Temperaturen von bis zu 300 °C und ermöglicht eine verminderte NaOH-Konzentration im Aggregat. Aufgrund dieser ist eine anschließende Verdünnung mit Wasser im Zuge des Ausrührens nicht notwendig. Damit wird der Prozessschritt des späteren Eindampfens zur Wiederaufkonzentration vermieden. Gleichzeitig ist die Anlagentechnik des Rohrreaktors im Vergleich zu den Autoklaven weniger aufwendig. In der Folge wird der Rotschlamm durch Schwerkraftscheidungen abgetrennt. Dabei gehen NaOH und Tonerde mit dem

Rotschlamm verloren. Um die Verluste, die bis zu 25 % betragen können, zu minimieren, wird der Rotschlamm in nachgelagerten Wascheindickern im Gegenstromverfahren gewaschen. Rotschlamm muss aufgrund wasserlöslicher Alkalien in Sonderdeponien gelagert werden. Mögliche Verwertungspotenziale gäbe es in der Zementindustrie und bei der Ziegelherstellung. In weiterer Folge wird das entstandene  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ausgefällt. Um die Kinetik dieses Prozessschrittes, der in großen zylindrischen Ausrührtanks durchgeführt wird, zu beschleunigen, wird zusätzlich mit 200–300 % der auszufällenden Tonerdemenge geimpft. Diese hat eine kleinere Korngröße als das Ausfällprodukt und kann daher im Anschluss ausklassiert werden. Das entstandene Aluminiumhydroxid wird daraufhin gewaschen und filtriert. Das filterfeuchte  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , welches über eine Restfeuchte von 10–16 % verfügt, wird entweder nach einem weiteren Trocknungsvorgang verkauft oder in Drehrohröfen bzw. Wirbelschichtöfen bei hohen Temperaturen zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kalziniert. [6]

Die Herstellung von metallischem Aluminium erfolgt in der nachfolgenden Schmelzflusselektrolyse. Dabei wird  $\text{Al}_2\text{O}_3$  durch Gleichstrom in geschmolzenem Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) zu Aluminium und Sauerstoff zerlegt. Das Metall wird an der Kathode schmelzflüssig abgeschieden. Der an der Anode gebildete Sauerstoff reagiert mit dem Kohlenstoff der Grafitanode exotherm zu einem Gemisch von CO und  $\text{CO}_2$ . Die Elektrolyse findet bei Temperaturen von 940–980 °C statt. Der Energieverbrauch des Verfahrens liegt zwischen 12,5 und 15 kWh/kg produziertem Aluminium. Eine Elektrolysezelle ist in

Abbildung 3 schematisch dargestellt. Das Hall-Héroult-Verfahren kann Aluminium mit einer Reinheit von bis zu 99,9 % Aluminium erzeugen. Für die Erzeugung hoch-

reinen Aluminiums wird die Dreischichtelektrolyse verwendet. Auf eine genaue Verfahrensbeschreibung wird an dieser Stelle verzichtet. [6]

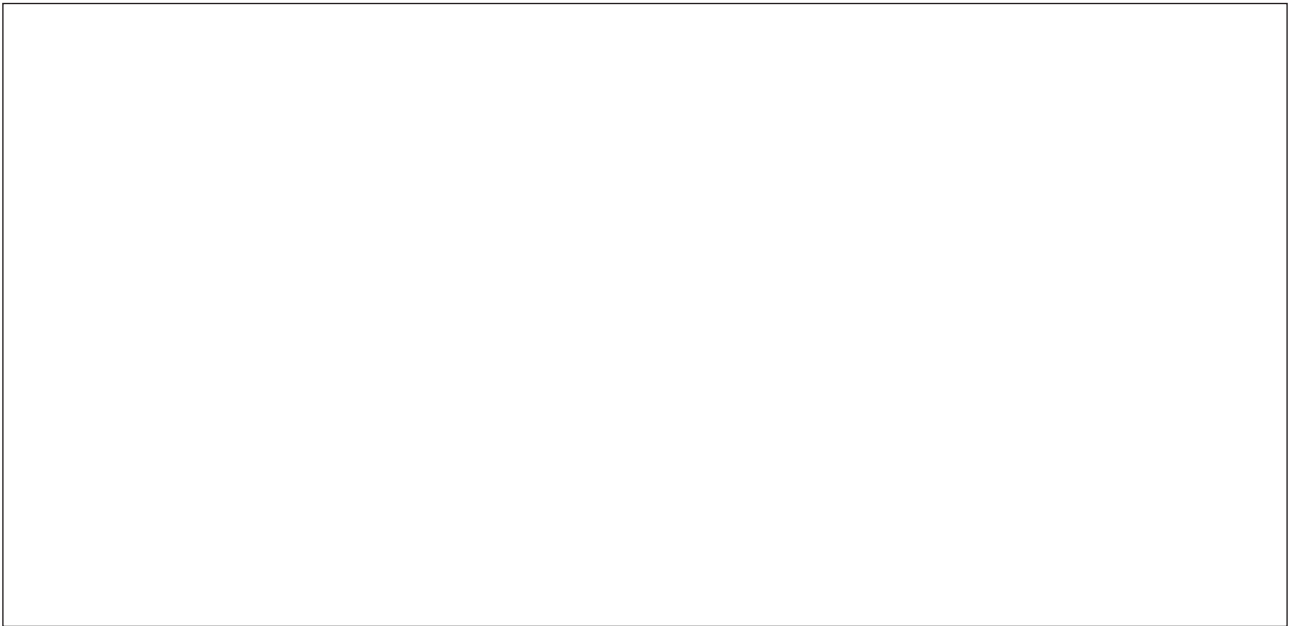


Abbildung 3:  
Schema einer Elektrolysezelle [6]

Basis für die Produktion von Aluminium über die Sekundärroute ist Schrott. Dabei muss zwischen Alt- und Neuschrott unterschieden werden. Neuschrott fällt direkt im Zuge der Produktionsprozesse an und ist von seiner chemischen Zusammensetzung her eindeutig definiert, während die Zusammensetzung von Altschrotten, die gesammelt werden, oftmals unbekannt ist und signifikante Verschmutzungen aufweist. Die Verarbeitung von Aluminiumschrotten beginnt daher mit dem Shreddern. In der Folge werden die einzelnen Materialien mittels Schwimmscheidung voneinander getrennt. Je nach Schrottqualität werden zum Aufschmelzen des Aluminiums verschiedene Ofentechnologien verwendet. Bei stark verunreinigten Altschrotten erfolgt das Aufschmelzen in Drehtrommelöfen, die salzbetrieben sind. Für Knetlegierungen werden salzlos betriebene Herdöfen bevorzugt. Für oxidfreie Schrotte kommen vor allem in Gießereien vereinzelt Induktionsöfen zum Einsatz. Je nach Verunreinigungsgrad der Schrotte fallen während des Aufschmelzens 300–500 kg Salzschlacke je Tonne Aluminium an. Aufgrund umwelttechnischer Probleme wird diese Salzschlacke in der Regel nachbehandelt. In einem trockenen Aufbereitungsschritt wird dabei das metallische Aluminium extrahiert. Es folgt ein nasschemischer Prozessschritt, in welchem das Salz zurückgewonnen wird. [2, 7]

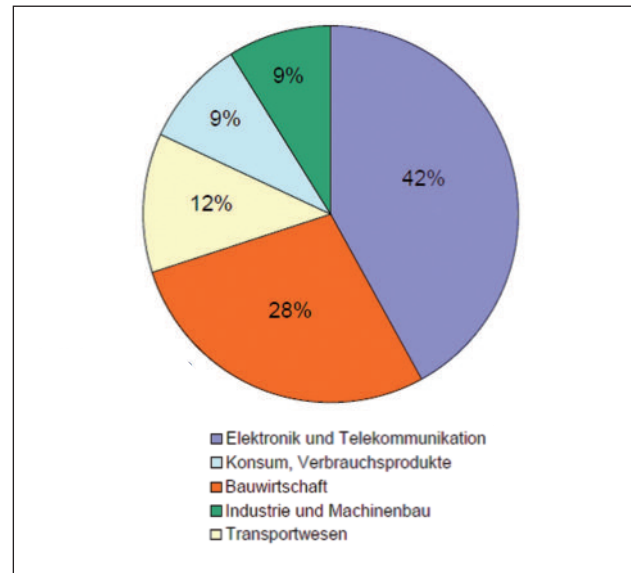
Nach dem Vergießen zu Brammen und Knüppeln erfolgen je nach herzustellender Aluminiumlegierung verschiedene weitere Verarbeitungsschritte. Vor Verformungsschritten erfolgt zumeist eine Erwärmung in fossil oder elektrisch befeuerten Öfen. Je nach herzustellendem Produkt sind oftmals mehrere weitere Wärmebehandlungsschritte nötig.

## 2.2 Kupferproduktion

Kupfer war eines der ersten Materialien, welches die Menschheit in ihrer Entwicklung als Werkstoff nutzte. Es wurde bereits von den ältesten bekannten Kulturen vor mehr als 10.000 Jahren verwendet. Neben dem Kupfer waren auch seine Legierungen Bronze und Messing geschichtlich bedeutend. Die herausragenden Eigenschaften des Kupfers sind seine hohe Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität, hohe Korrosionsbeständigkeit, gute Umformbarkeit und die gute Recyclingfähigkeit. Seine wesentlichen Anwendungsbereiche sind elektrische und elektronische Geräte, Kühlschränke, Klimageräte, Heizungen, Wärmetauscher, Solaranlagen, Braukessel, Kochgeschirr, LötKolben. Seine Legierungen werden in der Kunst und Schmuckproduktion, für Maschinenteile, elektrische Widerstände sowie chirurgische Instrumente und

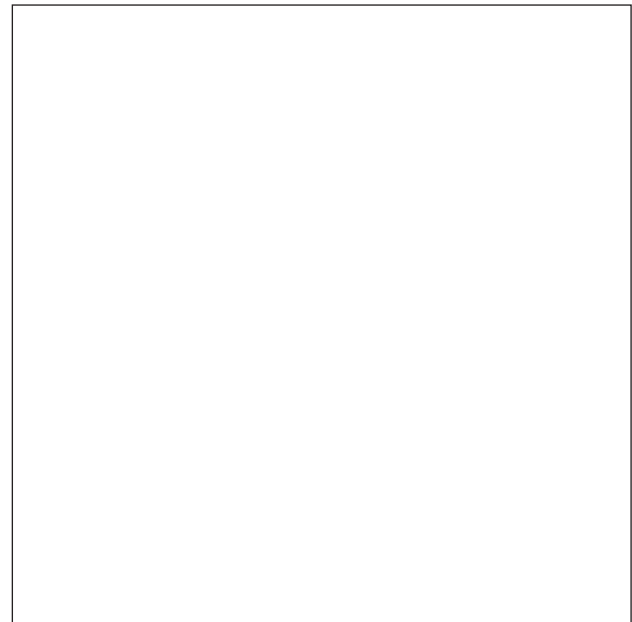
Essbesteck eingesetzt. Abbildung 4 gibt einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsbereiche von Kupfer. Die wichtigsten Förderstätten für kupferhaltige Erze liegen in Chile, Peru und China, gefolgt von den USA, Indonesien und Australien. Kupfer ist dabei sowohl in primären sulfidischen als auch in sekundären oxidischen Lagerstätten enthalten. Das wichtigste kupferhaltige Mineral ist Kupferkies. Die Abbauwürdigkeit kupferhaltiger Erze liegt bei etwa 0,4 % Cu. In Österreich gibt es keinen aktiven Kupferbergbau. [6]

Abbildung 4:  
Anwendungsbereiche von Kupfer [6]



Der Weg der Kupfergewinnung hängt davon ab, welches Erz zur Produktion verwendet wird. Ein Schema der zwei grundsätzlichen Gewinnungswege ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5:  
Wege der Kupfergewinnung [6]



Kupfererz wird in der Nähe des Abbauortes zerkleinert und über Flotation zu einem Konzentrat mit 25–35 % Kupfergehalt angereichert. Es folgen zwei weitere Anreicherungsstufen, bei denen das Konzentrat in einem ersten Schritt bei Temperaturen von 1.200 °C zu Kupferstein und anschließend in einem Konverter zu Blister (98 % Cu-Gehalt) verarbeitet wird. Für die erste Anreicherungsstufe gibt es im Wesentlichen zwei Verfahrenswege: Im weit verbreiteten Badschmelzverfahren wird das Konzentrat auf Röstöfen vorbehandelt, anschließend mit Zuschlagstoffen in die Flammöfen eingesetzt und geschmolzen. Eine Alternative dazu ist der Outokumpu-Prozess, der Röst- und Schmelzprozess ineinander vereint. Dies hat eine Energieeinsparung zur Folge. Zur weiteren Anreicherung von Kupferstein zu Blister wird ein Konverter verwendet. Dort erfolgt in

einem ersten Prozessschritt das Schlackeblasen, um das gebundene Eisen und den enthaltenen Schwefel zu Eisansilikat und  $\text{SO}_2$  zu oxidieren. In der zweiten Prozessstufe wird der vorab entstandene Spurstein ( $\text{CuS}$ ) zu Kupfer reduziert (Kupferblasen). Am weitesten verbreitet ist hierfür der Pierce-Smith-Konverter, über den 80 % der weltweiten Kupferproduktion erfolgen. Es folgen eine schmelzmetallurgische sowie eine elektrolitische Raffination und danach Umschmelzen und Gießen. [1, 6]

Oxidische Erze zählen zu den kupferarmen Erzen, daher können sie nicht über ein Flotationsverfahren angereichert werden. Vielmehr müssen sie einer Laugungsbehandlung unterzogen werden. Diese wird direkt in den Minen durchgeführt. Auf diese Weise

können hochwertige Kupferkathoden zu relativ geringen Preisen erzeugt werden. [1, 6]

Seit dem Beginn der industriellen Erzeugung wird Kupfer auch durch Recyclingprozesse wiederverwendet. Die theoretisch erreichbare Recyclingquote beim Kupfer beträgt 80 %, wobei hierbei der limitierende Faktor die Sammelquote ist, die für gewöhnlich deutlich darunter liegt. Der Recyclingprozess ist abhängig von der Quali-

tät der eingesetzten Schrotte. Dabei werden folgende Gruppen unterschieden: Kupferschrotte mit hoher Reinheit, Altkupfer mit einer Reinheit von über 90 %, Verbundmaterialien, Rückstände aus Galvanikschlämmen, Katalysatoren oder Stäuben. [1, 6, 7]

In der Folge kann Kupfer auf vielfältige Art und Weise weiterverarbeitet werden: Gießen, Ziehen, Pressen, Stanzen etc.

## 3.0 Produktion von Nichteisenmetallen

In diesem Abschnitt wird zu Beginn ein Überblick über die wichtigsten Unternehmen der österreichischen Nichteisenmetall-Branche gegeben. Danach werden Produktionsdaten und Entwicklungen der Metallproduktion diskutiert.

### 3.1 Verarbeitende Betriebe in Österreich

Österreich verfügt über einige produzierende Betriebe im Bereich der Nichteisenmetalle. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt:

#### Montanwerke Brixlegg AG

In Brixlegg wird seit 500 Jahren Kupfer und Silber erzeugt. Seit etwa 1890 werden vorwiegend Sekundärmaterialien hergestellt. Mittlerweile sind die Montanwerke Brixlegg ein 100%iger Recyclingbetrieb. Dabei werden kupferhaltige Stäube, Aschen, Krätzen, Shreddermaterialien, Schlämme, Rücklaufschlacken und Legierungsschrotte verwendet. Die jährliche Produktion beläuft sich auf 120.000 t Reinstkupfer. [8]

#### Austria Buntmetall Ges.m.b.H.

Die Austria Buntmetall Ges.m.b.H. ist ein Erzeuger von Halbfabrikaten und Fertigteilen aus Kupfer und Kupferlegierungen mit Sitz in Amstetten. Es werden Kupferrohre, Stangen, Profile und Fertigteile, wie bspw. Gleitlager, Buchsen und Wälzlagerkäfige, hergestellt. Die Jahresproduktion beläuft sich auf 35.000 t. [9]

#### AMAG Austria Metall AG

Die AMAG ist ein Hersteller von Primäraluminium und Aluminiumhalbzeugen im österreichischen Ranshofen.

Die Primärmetallproduktion der AMAG-Gruppe erfolgt in Kanada. Die Erzeugung von Recycling-Gusslegierungen und Walzprodukten ist in Ranshofen angesiedelt. Im Jahr 2012 belief sich die Produktion der AMAG-Gruppe auf 344.200 t Aluminium. [5]

#### Salzburger Aluminium AG

Die Salzburger Aluminium Gruppe (SAG) ist ein internationaler Zulieferer von Aluminiumkomponenten und -systemen für die Automobil-, Nutzfahrzeug-, Luftfahrt-, Motorrad- und Schienenfahrzeugindustrie. Standorte in Österreich befinden sich in Lend und Ranshofen. [10]

#### Hütte Klein-Reichenbach Ges.m.b.H.

Die Hütte Kleinreichenbach ist seit 1960 ein Aluminiumumschmelzwerk. Es werden hauptsächlich Einteiler und Granalien erzeugt, die bei der Stahlerzeugung als Legierungselemente und zur Desoxidation verwendet werden. Als Einsatzmaterial werden ausschließlich Aluminiumbleche verwendet. [11]

#### Neuman Aluminium Ges.m.b.H.

Die Neuman Aluminium Ges.m.b.H. mit Sitz in Marktl ist ein Erzeuger von Aluminiumbutzen, Strang- und Fließpressprodukten. Die Gruppe beschäftigt 1.600 Mitarbeiter an weltweit neun Standorten. [12]

#### BMG Metall & Recycling Ges.m.b.H.

Die BMG Metall & Recycling Ges.m.b.H. ist ein Fachbetrieb zur Entsorgung und Verhüttung von bleihaltigen Reststoffen und Abfällen. Sie betreibt am Standort Arnoldstein eine Sekundär-Bleihütte zum Recycling von Bleiakkumulatoren und bleihaltigen Reststoffen. [13]



### Plansee AG

Die Plansee AG ist ein heimischer Hersteller von Refraktärmetallen mit Sitz in Reutte. Es werden Produkte aus Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob und Chrom pulvermetallurgisch gefertigt. Ein weiterer Schwerpunkt des Unternehmens ist Beschichtungstechnik. [14]

### Treibacher AG

Die Treibacher AG mit Sitz in Althofen ist ein weltweit führender Hersteller von Hochleistungskeramik, Hartmetallen, seltenen Erden und Legierungselementen

für die Eisen- und Stahlindustrie. Ein weiterer Schwerpunkt des Unternehmens liegt im Recycling von Sekundärrohstoffen, hauptsächlich metallhaltiger Katalysatoren aus Erdölraffinerien. [15]

### Wolfram Bergbau und Hütten AG

Die Wolfram Bergbau und Hütten AG mit Sitz in St. Martin im Sulmtal betreibt einen eigenen Wolframbergbau am Standort Mittersill, einem der mächtigsten Wolframvorkommen Europas. Das Unternehmen beschäftigt sich auch mit dem Recycling wolframhaltiger Reststoffe. [16]

## 3.2 Entwicklung der Weltproduktion

In den Abbildungen 6 und 7 ist die Entwicklung der Weltproduktion der wichtigsten Nichteisenmetalle dargestellt. Vor allem Aluminium und Kupfer haben

seit den 1990er-Jahren aufgrund der Steigerung der chinesischen Produktionskapazitäten riesige Zuwächse erfahren.

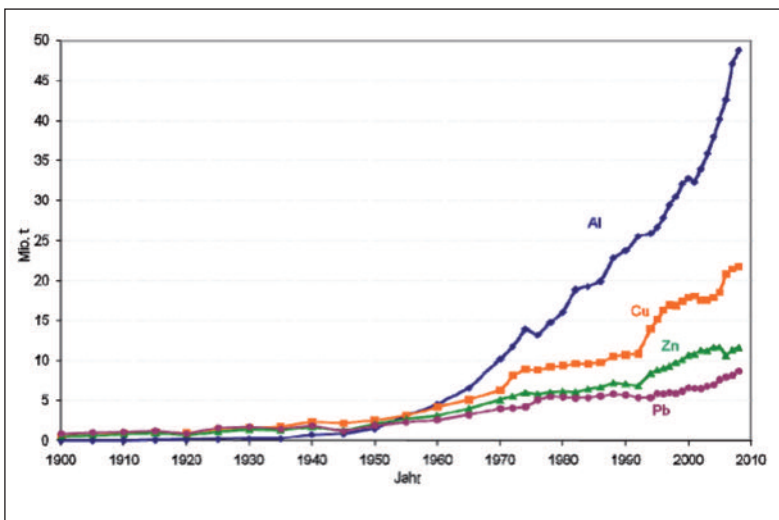


Abbildung 6:  
Entwicklung der Weltproduktion von Al, Cu, Zn und Pb [6]

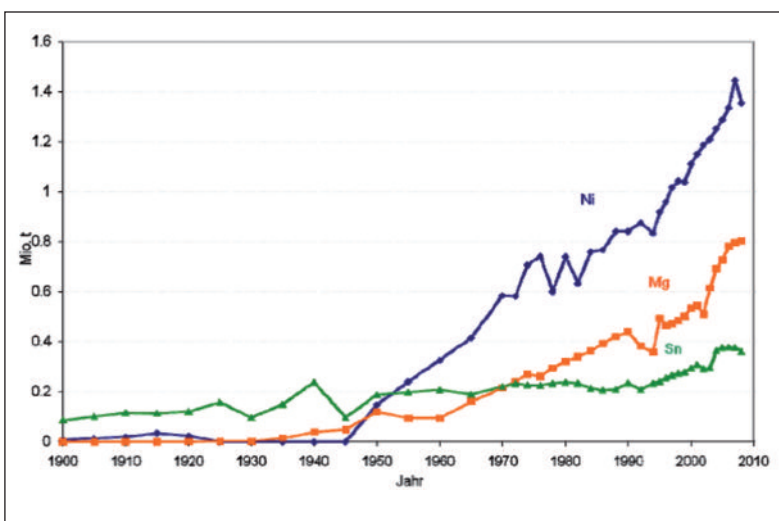


Abbildung 7:  
Entwicklung der Weltproduktion von Ni, Mg und Sn

Den meisten Nichteisenmetallen gemein ist der geringe Anteil der EU-27 an der Weltproduktion (siehe Abbildung 8). Damit geht eine starke Importabhängigkeit

einher. Eine nachhaltige Absicherung der Zugänglichkeit zu Rohstoffen ist daher von besonderer Wichtigkeit.



Abbildung 8:  
Anteile der europäischen Produktion für Stahlveredler und Nichteisenmetalle [17]

Im Folgenden werden die Trends und Entwicklungen für Aluminium und Kupfer besprochen.

### 3.3 Aluminium

Die zeitliche Entwicklung der weltweiten Aluminiumproduktion gesamt und nach Produktionsroute ist in Abbildung 9 dargestellt. Bis auf wenige kleinere Einbrüche im Zuge des Ölpreisschocks 1973 und der

Weltwirtschaftskrise 2009 ist die weltweite Aluminiumproduktion in den letzten Jahrzehnten stetig angestiegen und konnte sich bereits 2010 wieder auf das Vorkrisen-niveau steigern. Wie bei den meisten Industriemetallen ist der große Treiber dieses Trends vor allem der starke Kapazitätsaufbau in China. In den folgenden Jahren ist aufgrund vermehrten Schrottaufkommens mit einer starken Steigerung der Verfügbarkeit von Aluminiumschrotten zu rechnen.

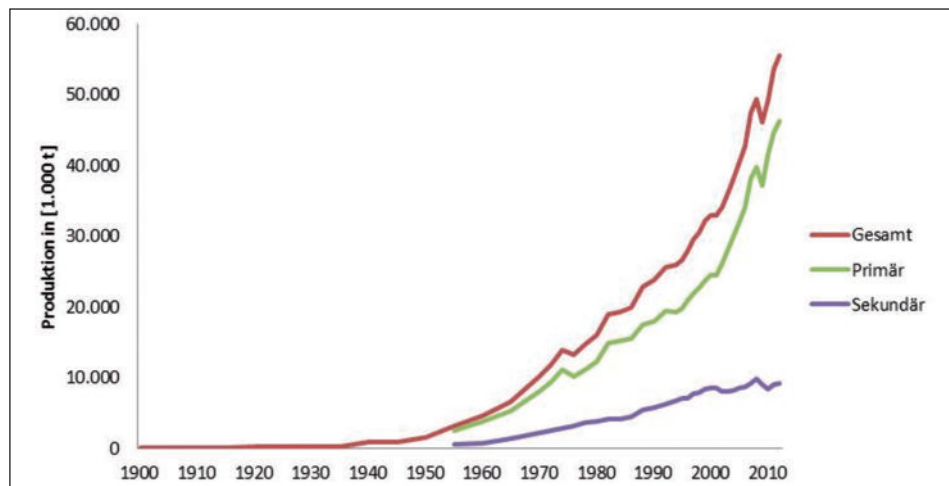


Abbildung 9:  
Entwicklung der Aluminiumproduktion,  
Quelle: U.S. Geological Survey

Abbildung 10 zeigt den Anteil der Regionen an der Aluminiumweltproduktion. China ist mit riesigem Abstand die größte aluminiumproduzierende Nation der Welt, gefolgt von der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten und Europa. Die Dynamik des Ausbaus chinesischer Produktionskapazitäten wird deutlich, wenn man den

zeitlichen Verlauf der Aluminiumweltproduktion nach Regionen betrachtet (Abbildung 11). Während China um das Jahr 2000 noch über ähnliche Produktionskapazitäten wie Russland verfügte, haben sich diese seither mit jährlichen Zuwachsraten im hohen zweistelligen Prozentbereich gesteigert.

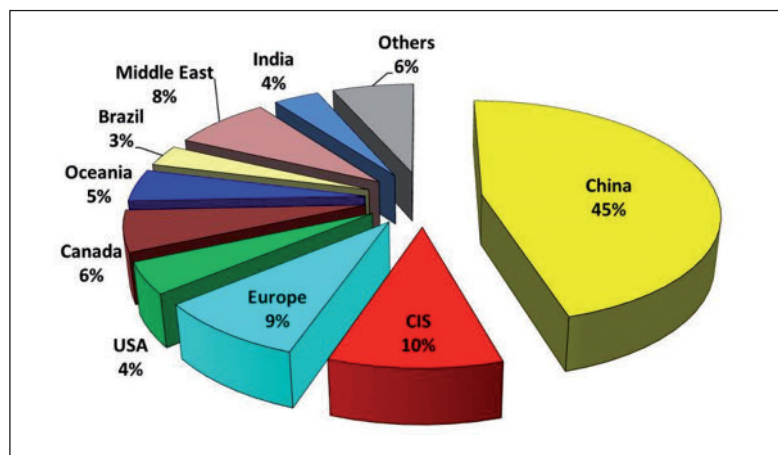


Abbildung 10:  
Anteil der Aluminium-Primärproduktion nach Regionen 2012,  
Quelle: alueurope.eu

Abbildung 11:  
Anteile der Staaten an der Aluminiumweltproduktion,  
Quelle: alueurope.eu

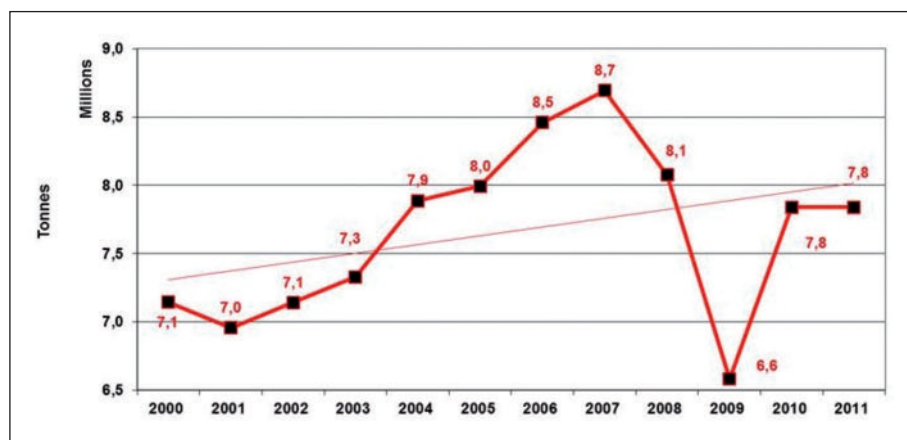
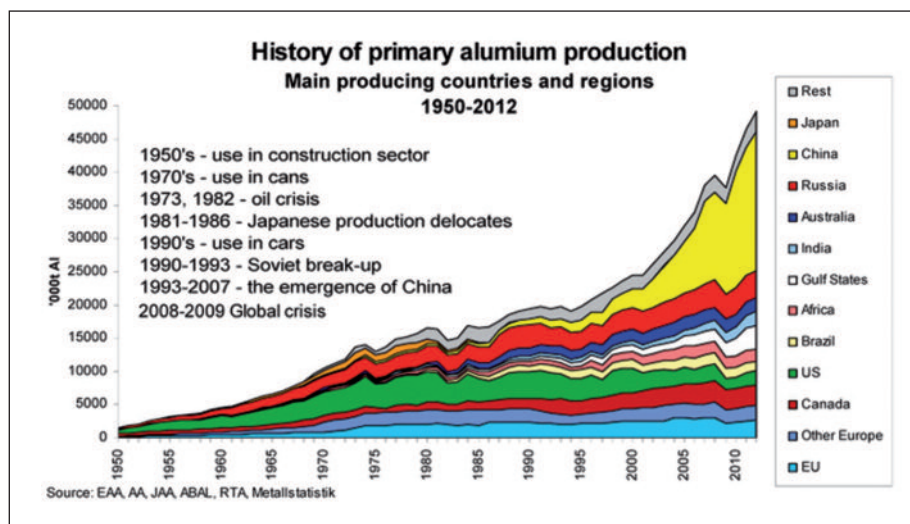


Abbildung 12:  
Europäische Aluminiumproduktion, Quelle: alueurope.eu

Während dieser sehr dynamischen chinesischen Entwicklung hat sich die Aluminiumproduktion in Europa seit dem Jahr 2000 nur schleppend entwickelt. Nach einem der Weltwirtschaftskrise geschuldeten Einbruch im Jahr 2009 konnte sich die Produktionsmenge der europäischen Aluminiumindustrie in der Zwischenzeit nur wenig erholen und bleibt unter dem Vorkrisenniveau (siehe Abbildung 12).

Ein Problem der europäischen Aluminiumindustrie ist die hohe Abhängigkeit von Primäraluminiumimporten (siehe Abbildung 13). Aufgrund der hohen Energiepreise und geringen Vorkommen macht die Primärproduktion in den EU-27 nur 14 % des industriellen Bedarfs aus. 35 % des produzierten Aluminiums werden über die Sekundärroute erzeugt. Zum Ausbau dieses Prozentsatzes wird es in der Zukunft wichtig sein,

verbleibende Lücken im Rohstoffkreislauf zu schließen und die innereuropäischen Sammelquoten weiter zu steigern. Gegenwärtig müssen 51 % des in Europa verarbeiteten Aluminiums importiert werden. Eine Steigerung der Produktion von Primäraluminium ist in Europa aufgrund der strukturellen Veränderungen bei der Stromversorgung und der hohen Energiepreise nicht zu erwarten.

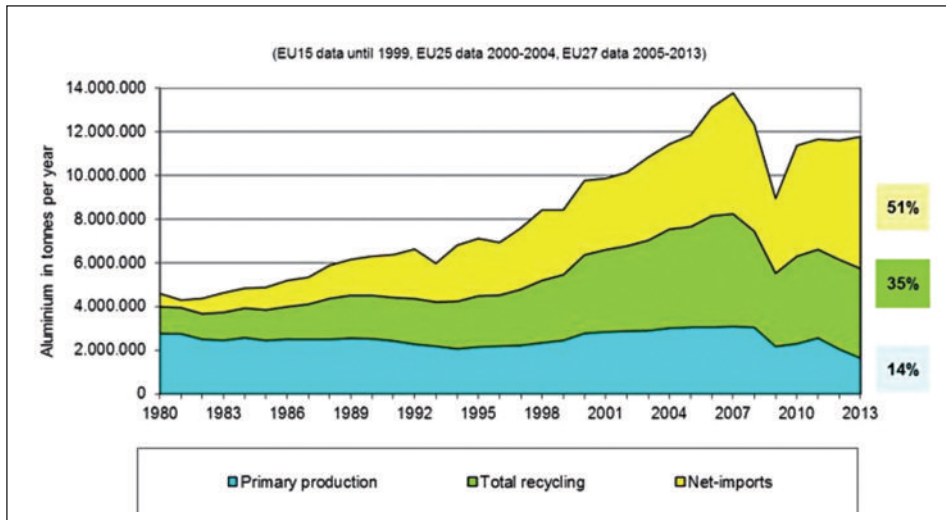


Abbildung 13:  
Importabhängigkeit  
der europäischen  
Aluminiumindustrie,  
Quelle: alueurope.eu

Während die Rahmenbedingungen in Europa schwierig sind, ist die allgemeine Entwicklung auf den Märkten durchaus erfreulich. Im Jahr 2012 ist der weltweite Verbrauch an Primäraluminium um 4 % gewachsen. Aktuelle Prognosen der CRU, eines der führenden Marktforschungsinstitute für die Bergbau- und Metallindustrie, gehen für die nächsten Jahre von einem jährlichen Wachstum des Primäraluminiumeinsatzes von

6 % aus. Wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist der zunehmende Bedarf an Leichtbaulösungen, vor allem im Transportbereich. Die größten Aluminiumverbraucher der Welt sind China (23,2 Mt), gefolgt vom Rest des asiatischen Kontinents (10,11 Mt) und der europäischen Union (7,2 Mt). Auf Grund der zunehmenden Bedeutung der CO<sub>2</sub>-Thematik gelten vor allem Europa und die USA als attraktive Wachstumsmärkte. [5, 18]

### 3.4 Kupfer

Mit einer Raffinadeproduktion von 19,2 Mt im Jahr 2010 ist Kupfer nach Aluminium mengenmäßig das zweitwichtigste Nichteisenmetall. Die zeitliche Entwicklung der weltweiten Kupferproduktion ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Entwicklung der mengenmäßigen Verteilung der Kupferweltproduktion nach Route findet sich in Abbildung 15.

Abbildung 14:  
Entwicklung der weltweiten  
Kupferproduktion,  
Quelle: U.S. Geological Survey

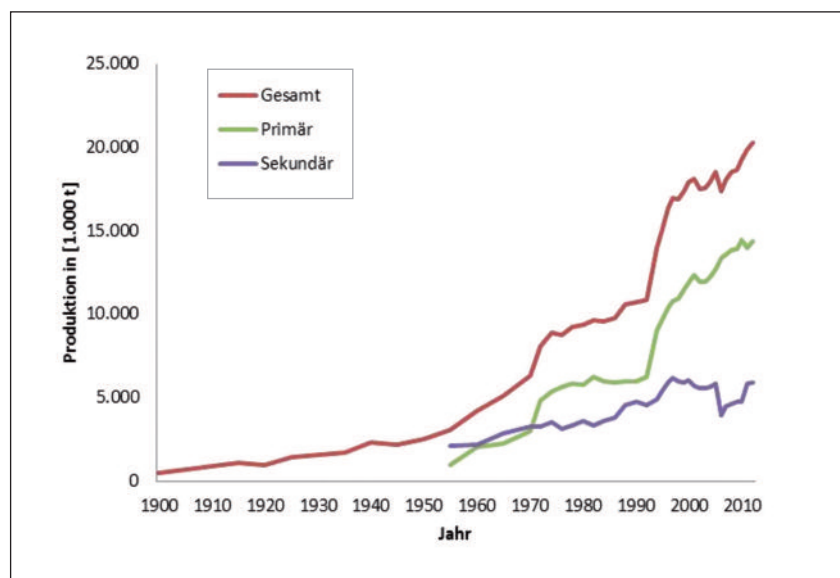
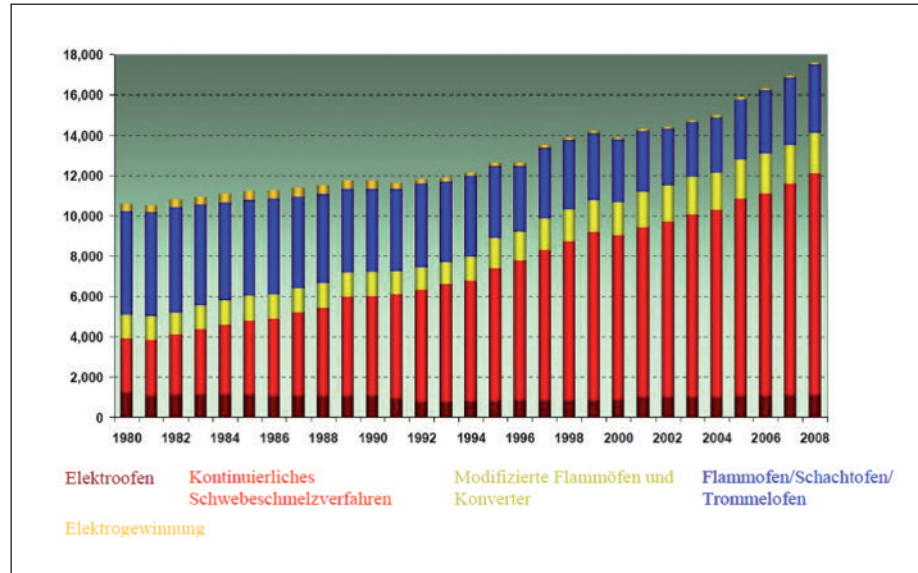


Abbildung 15:  
Entwicklung der Kupferwelt-  
produktion nach Route [6]



Die größte Kupferverbrauchende Region der Welt ist China, gefolgt von Restasien, Europa und den USA. Aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Kupferprodukten hat sich der Kupferpreis in den letzten zehn Jahren

mehr als verdoppelt. Gegenwärtig werden eine weiter steigende Kupferweltproduktion und eine Erhöhung des Anteils an Sekundärkupfer prognostiziert.

## 4.0 Energieeffizienz bei Nichteisenmetallen

Abbildung 16 zeigt einen Überblick über den Energieverbrauch bei der Herstellung der verschiedenen Nichteisenmetalle. Dabei ist zu beachten, dass die Prozessschritte für die Aufbereitung nicht in der Grafik enthalten sind. Diese ist vor allem bei der pyrometallurgischen Herstellung von Kupfer relevant und macht

ca. 60–80 GJ/t aus, was die Kupferproduktion auf einen Gesamtenergiebedarf von ungefähr 100 GJ/t kommen lässt. Die Herstellung von Primäraluminium stellt in der Nichteisenmetall-Industrie den energieintensivsten Prozess dar.

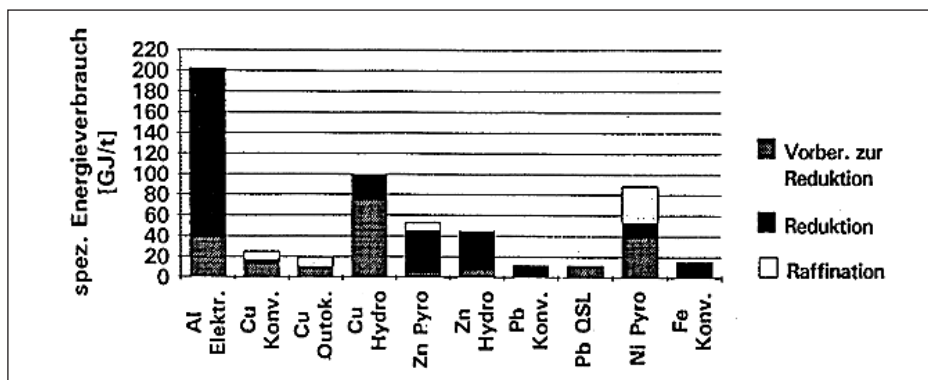


Abbildung 16:  
Energieverbrauch  
bei der Herstellung von  
Nichteisenmetallen,  
Quelle: Institut für  
Nichteisenmetallurgie,  
Montanuniversität



Charakteristisch für die meisten Herstellungsrouten der Nichteisenmetalle sind die großen Energieeinsparungspotenziale der Sekundärerzeugungsrouten. Dies erklärt sich daraus, dass beim Einsatz von Schrotten diese bereits einmal aus dem Erz reduziert wurden und im Wesentlichen aufbereitet und neu eingeschmolzen werden müssen. Die erreichbaren Energieeinsparungspotenziale sind für einige Nichteisenmetalle in Tabelle 1 dargestellt. Davon hat Aluminium nicht nur relativ, sondern aufgrund des hohen Energiebedarfs für die Primärerzeugung auch absolut das höchste Effizienzpotenzial.

Metall	Energieeinsparung
Al	91 %
Ni	81 %
Fe	60 %
Zn	54 %
Cu	39 %
Pb	39 %

Tabelle 1:  
Energieeinsparungspotenziale beim Metallrecycling, eigene Darstellung

#### 4.1 Energiebedarf der Aluminiumproduktion

In Tabelle 2 ist der Energiebedarf für die einzelnen Prozessschritte der Herstellung von Primäraluminium aufgeführt. Dabei ist die Schmelzflusselektrolyse mit 79,2 % des Anteils an aufzuwendender Energie der energieintensivste Prozessschritt. Die Herstellung von

Tonerde schlägt im Durchschnitt mit 16,9 % der aufzuwendenden Energie zu Buche, während die Prozesse der Schmelzereinigung und das Vergießen in energie-technischer Sicht zu vernachlässigen sind. Über die Jahre konnte das Hall-Héroult-Verfahren als einziges angewandtes Verfahren zur Aluminiumherstellung hinsichtlich des Strombedarfs ständig verbessert werden und diesen mehr als halbieren (siehe Abbildung 17).

Prozessschritt	Menge	Gesamt $E_{\text{prim}}$ (MJ)	Anteil am Gesamtbedarf in %
Tonerdeherstellung	1,94	27.683,6	16,9
Schmelzflusselektrolyse	1,02	129.617,9	79,2
Schmelzereinigung	1,02	4.472,7	2,7
Vergießen	1,00	1.956,3	1,2
Summe (1 t Primäraluminium)		163.730,5	100,0

Tabelle 2:  
Energiebedarf für die Herstellung von Primäraluminium,  
Quelle: Institut für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben

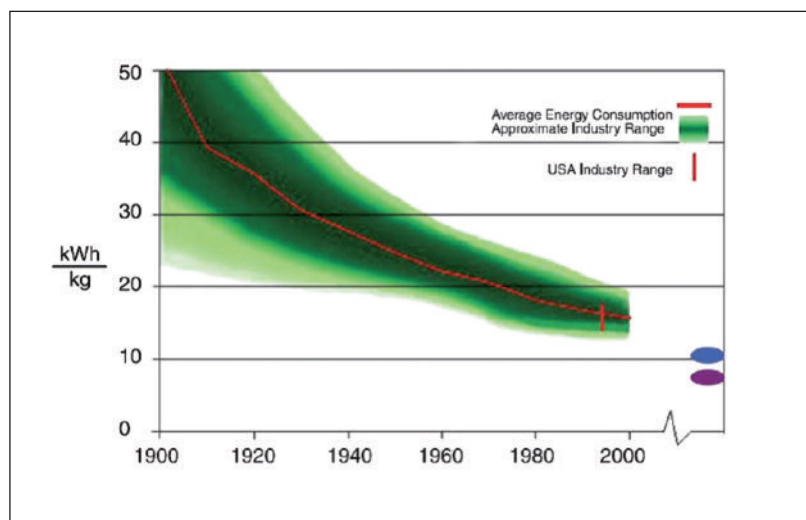


Abbildung 17:  
Entwicklung des Strombedarfs für die Aluminium-Primärerzeugung [19]

Tabelle 3 zeigt die anfallenden Energiemengen für die Produktion von Sekundäraluminium. Dabei macht der Einschmelzprozess im Durchschnitt 46,6 % des Energiebedarfs aus. Weitere energieintensive Prozessschritte sind die Aufbereitung der Salzschlacke und die Schmelzereinigung sowie die Trocknung des Schrotts,

bevor er in den Ofen eingesetzt wird. Beim Vergleich des Gesamtenergiebedarfs von Primär- und Sekundärroute wird deutlich, dass nach derzeitigem Stand der Technik für die Erzeugung von Sekundäraluminium lediglich ein Zehntel des Energiebedarfs für die Primärroute aufgewendet werden muss.

Prozessschritt	Menge	Gesamt $E_{\text{prim}}$ (MJ)	Anteil am Gesamtbedarf in %
Transport	2.576	1.013,5	5,6
Shreddern	431	247,6	1,4
Magnetscheidung	765	5,2	–
Schwimm-Sink-Trennung	227	190,5	1,1
Abschwelen/Trocknen	396	1.286,8	7,1
Paketieren	71	21,4	0,1
Krätzeaufbereitung	292	62,2	0,3
Abschmelzen	163	1.496,4	8,3
Einschmelzen Salzbadofen	1.134	8.503,3	46,6
Salzschlackenaufarbeitung	722	3.376,2	18,5
Schmelzereinigung/Gießen	1.000	2.014,9	11,1
Summe (1 t Primäraluminium)		18.218,0	100,0

Tabelle 3:  
Energiebedarf für die Herstellung von Sekundäraluminium,  
Quelle: Institut für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben

## 4.2 Energiebedarf der Kupferproduktion

Für die Herstellung von Kupfer aus sulfidischen Erzen benötigt man ca. 100 GJ/t, wobei ein großer Anteil von 70 GJ für die Gewinnung, Mahlung und Flotation im Bergbau, ca. 20 GJ für den Transport und nur 10 GJ

für die elektrolytische Reinigung aufgewendet werden müssen. Etwa 80 % der weltweiten Kupfererzeugung erfolgen über diese Produktionsroute. Die restlichen 20 % der Primärkupfererzeugung erfolgen auf hydro-metallurgischem Wege. Der Energieaufwand dafür ist ähnlich hoch. [1, 20]

# 5.0 Mögliche Maßnahmen

In diesem Kapitel werden mögliche Maßnahmen für eine Erhöhung der Energieeffizienz in der Nichteisenmetall-Industrie besprochen. Dabei wurde darauf Wert gelegt Maßnahmen zu definieren, die für den Großteil der Betriebe der Branche anwendbar sind. In weiterer Folge wird auf mögliche Maßnahmen speziell für die Aluminium- und Kupferproduktion eingegangen.

## 5.1 Übergreifende Maßnahmen

### 5.1.1 Entwicklung geeigneter Kennzahlensysteme

Die Beurteilung der Energieeffizienz einer Unternehmung ist bei eingehender Betrachtung keine triviale Angelegenheit. In der politischen Debatte um eine Erhöhung der Energieeffizienz wird zumeist der absolute Energieverbrauch einer Unternehmung als Messlatte zur Beurteilung der Energieeffizienz herangezogen. Auch für die europäischen Zielsetzungen bezüglich einer Limitierung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase wurde ein Absolutwert vorgegeben. Bis 2050 soll die als Referenzwert herangezogene Summe an Emissionen aus dem Jahr 1990 um 83–87 % reduziert werden. Dies ist vor allem im Zusammenhang mit dem demnächst anstehenden Energieeffizienzgesetz eine gefährliche Entwicklung. [21]

Durch absolute Limits, sei es im Bereich der Emissionen oder des energetischen Endverbrauchs, werden die österreichischen Unternehmen der Nichteisenbranche in ihrer Weiterentwicklung behindert: [22]

- Absolute Limits schränken die maximale Produktionskapazität ein. Es könnte der Fall eintreten, dass es aufgrund von Zahlungen für Emissionsrechte oder einer Überschreitung des energetischen Verbrauchslimits für den Betreiber günstiger ist, eine Anlage unter der möglichen Anlagenkapazität zu betreiben und damit auf zusätzliche Beschäftigung und Wertschöpfung zu verzichten.
- Absolute Limits verhindern den Aufbau weiterer Produktionskapazitäten. Wenn eine Überschreitung des jeweiligen Emissions- oder Energieverbrauchslimits zu hohen Ausgaben für den Ankauf von Emissionsrechten oder Strafzahlungen führt, so wäre jeder Anreiz verloren, in einen Ausbau des Standorts

zu investieren. Dies verhindert zusätzliche Wertschöpfung im Inland, die Entstehung weiterer Arbeitsplätze und schadet letztendlich der Umwelt, da die geplanten Investitionen wohl woanders durchgeführt werden.

- Absolute Limits schaden der technischen Weiterentwicklung. Die verhinderte Wertschöpfung wird dazu führen, dass technische Innovationen nicht im Inland entwickelt und umgesetzt werden, sondern die Geldmittel dafür benutzt werden, in konventionelle Technologien im Ausland zu investieren.
- Absolute Limits könnten letzten Endes dazu führen, dass die europäische Industrie in ihrer Weiterentwicklung derart behindert wird, dass die Wettbewerbsfähigkeit verloren geht und es diesen technisch weit entwickelten Industriezweig in Europa zukünftig nicht mehr gibt. Mit allen negativen Konsequenzen für die Umwelt durch eine Produktionsverlagerung in Drittstaaten.

Etwas entwicklungsfreundlicher für die österreichische Nichteisenindustrie wären spezifische Verbrauchslimits, wenngleich diese, wie die Diskussion zeigen wird, auch nur ein suboptimales Instrument zur Bewertung der Energieeffizienz eines Betriebes bilden.

Der spezifische Energiebedarf errechnet sich aus dem gesamten Energiebedarf einer Unternehmung, eines Produktionsstandortes oder eines Betriebs, dividiert durch eine Leistungseinheit, zumeist die Güterproduktion in Stück bzw. in Tonnen gefertigtes Produkt. Das heißt, es wird der Energieverbrauch pro produzierter Leistungseinheit zur Beurteilung der energetischen Leistung eines Produktionsbetriebes herangezogen. Der Vorteil eines spezifischen Energieverbrauchslimits ist, dass dieses Auslastungsschwankungen berücksichtigt, da bei einer höheren Auslastung der zusätzliche Energieverbrauch durch einen höheren Output ausgeglichen wird. Selbstverständlich wäre es auch möglich, spezifische Treibhausgasemissionen zu errechnen. Die Beurteilung der Energieeffizienz oder das Setzen eines Energieverbrauchslimits anhand des spezifischen Energieverbrauchs hat allerdings Grenzen.

Eine Schwäche der spezifischen Leistungskennzahlen liegt darin, dass verschiedene Erzeugnisse aus dem gleichen Metall über einen unterschiedlichen Energiebedarf verfügen. Je komplexer die Fertigungskette



eines Metallproduktes, desto höher ist zumeist der energetische Aufwand zur Herstellung, aber auch die zu erzielende Wertschöpfung steigt mit der Zahl der Produktionsschritte. Gleichzeitig ist die Produktvielfalt in österreichischen Nichteisenmetall-Verarbeitungsbetrieben derartig groß, dass es nur unter größtem Aufwand möglich wäre, den genauen Energieverbrauch jedes Einzelproduktes zu messen. Dies müsste aber geschehen, um den spezifischen Energieverbrauch zu korrigieren, da ja eine Tonne höherwertiges Produkt mehr energetischen Aufwand bedeutet. Am wahrscheinlichsten ist also, dass diese Korrektur nicht stattfinden kann, sondern der Gesamtoutput in Tonnen herangezogen wird. Dies könnte jedoch in der Folge zu eigentümlichen Ergebnissen führen: [21]

Eine Beurteilung der energetischen Leistung einer Unternehmung anhand des spezifischen Energieverbrauchs könnte verursachen, dass ein produzierendes Unternehmen aufgrund des Zwanges, möglichst viel Output zu generieren, um den spezifischen Energieverbrauch gering zu halten, sein Produktionsprogramm derart verändert, dass zunehmend auf einfach zu fertigende Produkte gesetzt wird. Gleichzeitig könnten etwaige Maluszahlungen den Benefit der Erzeugung höherwertiger Produkte aufheben und es wirtschaftlich günstiger werden lassen, auf sogenannte Commodities zu setzen. Dieser Umstand würde nicht nur der österreichischen Wirtschaftsstrategie, die die Positionierung der Republik als Hochlohn- und Hochtechnologiestandort vorsieht, zuwiderlaufen, sondern auch der durch die österreichische Nichteisenmetall-Branche in den letzten zwei Jahrzehnten sehr erfolgreich verfolgten Nischenstrategie diametral widersprechen. [21]

Demnach braucht es zur seriösen Beurteilung der Energieeffizienz produzierender Unternehmen geeignete Instrumente zur Messung und Kontrolle des Energieverbrauchs sowie zur Bewertung und Evaluierung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, Kostenoptimierung und zur Setzung etwaiger Verbrauchslimits durch den Gesetzgeber.

Deutlicher Entwicklungsbedarf besteht also in der Bestimmung von standardisierten Leitkennzahlen auf Prozess-, Anlagen- und Unternehmensebene. Diese Kennzahlen haben die Aufgabe, die Energieeffizienz zu messen und Ineffizienzen in Verfahren und Prozessen zu identifizieren. Zudem sollen mithilfe von Energy Performance Indicators (EnPIs) Veränderungen der Energieeffizienz sichtbar gemacht werden. Des Weiteren sollte es durch diese Instrumente möglich sein, eine Erhöhung des Effizienzniveaus auch monetär zu bewerten. Weiters sollte es durch standardisierte, branchenspezifische Benchmarks möglich werden, die

energetische Leistung von Unternehmungen überbetrieblich zu vergleichen. Hier ist die Aufgabe, ein geeignetes Bewertungssystem für den internen und externen Vergleich von Prozessen, Betrieben und Unternehmen zu ermöglichen. [22]

## 5.1.2 Energiemanagementsysteme

Aufgrund der hohen Bedeutung des Themas Energie in der verarbeitenden Industrie hat die österreichische Nichteisenindustrie ihre Verantwortung wahrgenommen und viele Betriebe haben bereits kurz nach Publikation der ISO 50001 mit der Implementierung eines normierten Energiemanagementsystems begonnen und sind mittlerweile zertifiziert. Die ISO-Norm bietet für die Einführung eines Energiemanagementsystems einen groben Rahmen. So verlangt sie bspw. von einer Unternehmung die Einführung und Überwachung von Energieleistungskennzahlen, lässt den Unternehmen aber dabei jeglichen Freiraum. Der Entwicklungsbedarf in diesem Zusammenhang wurde im letzten Abschnitt bereits eingehend diskutiert. Die Norm ist aber auch bezüglich der Einführung eines Energiemanagementsystems im Betrieb eher vage formuliert und bietet auf der technischen Ebene keinerlei Unterstützung.

Daher ist ein Entwicklungsbedarf bei der Integration von Energiemanagementsystemen in bestehende Managementsysteme von Unternehmen gegeben. Die Verknüpfung der normativen und strategischen Ebene als Teil des ganzheitlichen Energiemanagements ist als Stand der Forschung verfügbar, aber die Implementierung im Betrieb fehlt. Eine Lücke im ganzheitlichen Managementsystem stellt die Integration des operativen Feldes durch geeignete Methoden und Instrumente dar. Diesbezügliche Anstrengungen sollten jedenfalls unterstützt werden.

## 5.1.3 Gewährleistung ausreichender Schrottverfügbarkeit

Tabelle 1 zeigt die prozentuellen Einsparungen im Energieverbrauch zwischen Primär- und Sekundärerzeugungsrouten. Daher sollte es im Interesse der Republik sein, nach Möglichkeit Schrotte bzw. Schrottquellen im Inland zu belassen.

Hier gilt es einige Lücken in der Gesetzgebung zu schließen. Bspw. verlässt ein nicht unbeträchtlicher Ressourcenstrom an potenziellen Metallschrotten unser Land in Form von Exporten sogenannter Altprodukte. Prominentes Beispiel hierfür ist der Verkauf in Österreich nicht mehr verkehrstüchtiger Altfahrzeuge in Ostblockstaaten oder nach Afrika. Ähnliche Probleme bestehen im Bereich von Altelektrogeräten, die ebenfalls

ins Ausland exportiert werden. Zwar steht dem Verkauf eine inländische Wertschöpfung gegenüber, jedoch würden die Nichteisenindustrie, der energetische Endverbrauch sowie die heimische Aufbereitungswirtschaft eher davon profitieren, wenn diese Altprodukte im Inland verblieben und hier aufbereitet würden.

Mangels Deklarationspflicht liegt für diesen Bereich nur mangelhaftes Datenmaterial vor. In einem ersten Schritt sollten also die Potenziale an nutzbaren Ressourcen aus diversen Altproduktsegmenten erhoben werden. In weiterer Folge sollten dann gesetzliche Maßnahmen dafür sorgen, dass diese Potenziale im Inland verbleiben.

Gerade durch das Recycling von Aluminium wären große Energieeinsparungen möglich. Da Aluminium ein beliebtes Verpackungsmaterial darstellt, existiert bereits eine Sammelinfrastruktur. Dennoch liegt die österreichische Sammelquote von Aluminium deutlich niedriger als jene von Deutschland, Norwegen, Finnland und Belgien, die jeweils Quoten von über 90 % aufweisen können. Hier ist durch geeignete abfallwirtschaftliche Maßnahmenpakete nachzuschärfen.

#### **5.1.4 Verbesserung verfügbarer Schrottqualitäten**

Leider weist die Sekundärroute der Aluminiumerzeugung gewisse Limitierungen hinsichtlich der herzustellenden Materialqualität auf. Neben der Möglichkeit der Schmelzereinigung bzw. der Kompensation negativer Materialeigenschaften in nachgelagerten Prozessschritten wäre die geeignetste Lösung zu gewährleisten, dass Schrott in hoher Sortenreinheit und guter Qualität zur Verfügung steht.

Dies wird lediglich durch eine gemeinsame langfristige Kraftanstrengung von Politik, Industrie und der Abfallwirtschaft möglich sein. Schließlich bedarf es für eine nachhaltige Verbesserung der Qualität verfügbarer Schrotte bereits einer Optimierung im Produktplanungsprozess. Durch recyclinggerechte Konstruktion von Produkten können spätere Probleme bei der Aufbereitung zu großen Teilen kompensiert werden. Nach Ablauf der Produktlebensdauer muss gewährleistet sein, dass es zu einer Sammlung kommt und der Aluminiumschrott möglichst gut und sortenrein aufbereitet werden kann. Diesbezügliche Initiativen wären überaus begrüßenswert, wobei zu beachten ist, dass der Benefit einer Optimierung in diesem Bereich erst langfristig Wirkung zeigen wird, da die Produkte ja erst nach ihrer Lebenszeit wieder in den Rohstoffkreislauf kommen.

#### **5.1.5 Modelle zur Vorhersage der Schrottzusammensetzung**

Für die Produktion qualitativ hochwertiger Metallprodukte ist die genaue Kenntnis über die Zusammensetzung der eingesetzten Schrotte notwendig. Neben der Anstrengung, höherwertige Schrotte zur Verfügung zu stellen, wäre es notwendig, kommerziell nutzbare Modelle zur Voraussage der Schrottzusammensetzung zu entwickeln. [1, 23]

#### **5.1.6 Autotherme Schmelzen**

Verunreinigte Schrotte weisen zumeist eine hohe Kontamination an organischen Verbindungen auf (Kunststoffe, Beschichtungen etc.). Diese Verunreinigungen könnten als Energieträger zum Aufschmelzen des Einsatzmaterials genutzt werden. Dafür ist eine genaue Kenntnis der Schrottzusammensetzung nötig. Des Weiteren bedarf es Anpassungen der Ofentechnologie (Atmosphärenkontrolle, Brennertechnologie, Abgaskontrolle, etc.). Durch Anwendung dieser Technik wären enorme Effizienzverbesserungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Recyclingquote möglich. [24]

#### **5.1.7 Optimierte Wärmebehandlung**

Durch eine detaillierte Analyse der Materialveränderungen über die einzelnen Prozessschritte des Walzens und der Wärmebehandlung wäre es möglich, weitere Einsparpotenziale in diesem Bereich zu identifizieren. So kann ein verbessertes Verständnis der Materialeigenschaften zu einer Erhöhung der Energieeffizienz der Produktion beitragen.

#### **5.1.8 Verringerung des Eigenschrottanteils**

Durch eine verbesserte Prozessführung kann der entstehende Eigenschrottanteil weiter vermindert werden. Eine Reduktion des Eigenschrottanteils ist eine direkte Effizienzmaßnahme. Dafür müssten im Einzelfall eine genaue Analyse des Schrottaufkommens und die Definition von Verbesserungsmaßnahmen erfolgen.

#### **5.1.9 Modernisierung bestehender Öfen**

Gelingt es, durch geeignete Maßnahmen die Reinheit verfügbarer Schrotte zu verbessern, wäre es möglich, Trommelöfen durch effizientere Aggregate zu substituieren. Trommelöfen finden vor allem deshalb Verwendung, weil sie sehr tolerant gegenüber verschiedenen Schrottqualitäten sind. Durch den Einsatz verbesserter Brennertechnologien und moderner Technik zur Prozesssteuerung lassen sich auch bei Beibehaltung der Trommelofentechnologie Effizienzverbesserungen erreichen. [25]

### 5.1.10 Verbesserte Wärmerückgewinnung bei Öfen

Durch den Einsatz von Rekuperativ- und Regenerativbrennern können Wärmeverluste im Abgas vermieden werden. Durch Optimierung der Brennersteuerung können weitere Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden. [1]

### 5.1.11 Gleichstrommagnetheizung

Im Vergleich zu brennstoffbetriebenen Öfen können induktive Schmelzöfen die Endenergie besser ausnutzen. Leider geht dieser Vorteil aufgrund des Wirkungsgrades der von fossilem Energieeinsatz abhängigen Stromversorgung verloren. Durch den Einsatz supra-leitender Spulen für die Erzeugung des Magnetfeldes kann der Wirkungsgrad von Induktionsöfen derartig erhöht werden, dass ein vermehrter Einsatz energietechnisch sinnvoll wird. Gegenwärtig wird diese Technologie in der Umformtechnik als Wärmeverbehandlung eingesetzt, eine Ausweitung des Anwendungsfeldes erscheint aber sinnvoll und möglich. [1, 26]

### 5.1.12 Vorwärmen der Einsatzmaterialien

Durch Vorwärmung der Einsatzmaterialien vor dem Aufschmelzen kann eine Steigerung des Wirkungsgrades der Schmelzaggregate erreicht werden. Problematisch in diesem Zusammenhang ist die Entstehung etwaiger Giftstoffe durch Verunreinigungen im Material, die eine Aufbereitung der Abluft erforderlich machen könnte. Diese Probleme könnte man durch die Verfügbarkeit höherer Schrottqualitäten oder eine gute Kenntnis der Schrottzusammensetzung bzw. geeignete Reinigung beheben. [1]

### 5.1.13 Optimierter Betrieb

Durch einen optimierten Betrieb und Verbesserungen in der Produktionsplanung mit einer geeigneten automatisierten Prozesssteuerung sind weitere Effizienzpotenziale zu erschließen. Hierbei ist vor allem ein vorausschauender Betrieb der Öfen, gepaart mit optimierter Chargierung, zu erwähnen. [1]

## 5.2 Erzeugung von Primäraluminium

Zwar verfügt Österreich über keine Produktionsstätte zur Erzeugung von Primäraluminium, der Vollständigkeit halber sollen aber die technischen Möglichkeiten an dieser Stelle mitbehandelt werden.

### 5.2.1 Inerte Anoden

Seit den 1970er-Jahren wird intensiv an der Entwicklung sogenannter inerte Anoden geforscht. Ein Problem während der Elektrolyse von Aluminium ist, dass die verwendeten Grafitanoden während des Prozesses verbraucht werden. Die Lebensdauer einer typischen Kohlenstoffanode beträgt bei Volllastung der Elektrolyseeinheit ungefähr einen Monat. Durch Einsatz von inerten Anoden, die nicht mit dem Elektrolyten reagieren, könnte die Lebensdauer der Anode um den Faktor 25–30 vergrößert werden. Durch Entfall des Anodenerstellungsprozesses würden Energie und Treibhausgasemissionen gespart werden. Dabei liegt die größte Herausforderung der Forschung in der Entwicklung eines Werkstoffes, der die thermischen Verluste minimiert, über die nötige Korrosionsbeständigkeit verfügt und einen wirtschaftlichen Einsatz ermöglicht, wobei erste Studien die Technologie unmittelbar vor der Marktreife sehen. Durch Anwendung von Inertanoden könnten zwischen 7 und 27 % des Energiebedarfs für die Aluminium-Primärproduktion eingespart werden. [1, 2, 27, 28]

### 5.2.2 Benetzbare Kathoden

Die aktuell angewendete Kathodentechnologie auf Kohlenstoffbasis verfügt nur über eine schlechte Benetzbarkeit mit Aluminium. Dieser Umstand führt zu elektromagnetischen Wechselwirkungen und Strömungen, die eine Verformung verursachen können. Deswegen muss in den elektrolytischen Zellen ein relativ großer Anoden-Kathoden-Abstand gewährleistet sein. Dieser wirkt sich negativ auf den Energieverbrauch aus. Benetzbare Kathoden könnten diesen vermindern. Auch bei dieser Technologie stellt sich vor allem die Problematik eines geeigneten Werkstoffes, dessen Einsatz wirtschaftlich ist. Trotz erster Forschungsarbeiten während der 1970er-Jahre ist die Technologie noch immer nicht marktreif. [1]

### 5.2.3 Carbothermischer Herstellungsprozess

Ein neues Verfahren zur Aluminiumerzeugung könnte bis zu 20 % des Energiebedarfs für die Primärerstellung von Aluminium einsparen. Beim carbothermischen Prozessansatz wäre es möglich, den hohen Stromverbrauch für die Aluminiumelektrolyse einzusparen. Darüber hinaus wäre diese Prozessarchitektur besser für die Anwendung von Wärmerückgewinnungs- und CCS-Technologien geeignet. Das Verfahren befindet sich aber noch in der Entwicklung. [1, 19]

## 5.2.4 Bipolare Elektrolysezellen

Der Einsatz von Inertanoden und benetzbaren Kathoden gemeinsam innerhalb einer bipolaren Elektrolysezelle könnte den Gesamtenergieaufwand für die Primärerzeugung um 20–25 % reduzieren. Darüber hinaus würde der Aufwand für die Anodenherstellung wegfallen. [1]

## 5.3 Produktion von Aluminium-Walzprodukten

### 5.3.1 Modernisierung von Tieföfen

Vor Umformschritten müssen gegossene Aluminiumbarren erwärmt werden. Durch die Umstellung der Tieföfen auf direkte Feuerung und den Einsatz moderner Brenner und Steuerungstechniken kann der dafür aufzuwendende Energieeinsatz reduziert werden. [1]

### 5.3.2 Umstellung von Tief- auf Stoßöfen

Stoßöfen sind aufgrund baulicher Unterschiede energieeffizienter zu betreiben als die weit verbreiteten Tieföfen. Dies liegt daran, dass Stoßöfen direkt und kontinuierlich arbeiten. Aus diesem Grund sind die Wärmeverluste bei Stoßöfen geringer. [1]

### 5.3.3 Betriebsoptimierung

Durch Optimierungen im Bereich der Produktionsplanung kann eine optimale Ausnutzung aller Anlagenteile zum Warm- und Kaltwalzen von Aluminium erreicht werden. Dies kann zu Effizienzsteigerungen führen. [1]

## 5.4 Erzeugung von Primärkupfer

Der Vollständigkeit halber seien an dieser Stelle auch zwei Möglichkeiten zur Verbesserung der Kupferproduktionsverfahren erwähnt:

Eine Steigerung der Reaktionsraten kann laut aktueller BREF-Dokumente durch den Wechsel von der Schweschmelz- zur Badschmelztechnik mit abgedichteten oder halbabgedichteten Öfen erreicht werden.

Eine Weiterentwicklung des hydrometallurgischen Verfahrensweges soll es ermöglichen, oxidische und sulfidische Erze, die über einen geringen Kupfergehalt verfügen, gemeinsam zu laugen.

## 5.5 Zusammenfassung

Die Nichteisenmetall-Branche bietet vielfältige Optimierungsmöglichkeiten. Dabei ist vor allem die Optimierung des Gesamtprozesses über die gesamte Wertschöpfungskette von Bedeutung. Diese beginnt bei einer recyclinggerechten Konstruktionsweise und einer energieeffizienten Produktion. Nach Ende der Produktlebensdauer erfolgt die Sammlung, Aufbereitung und eine neuerliche stoffliche Verwertung. Dabei sind Lücken im jetzigen Sammelsystem konsequent zu schließen. Über das Recycling von Nichteisenmetallen können enorme Energieeinsparungspotenziale erschlossen werden.

Dazu muss eine Optimierung gewisser Einzelsysteme erfolgen: Verbesserung der Ofentechnologie (autotherme Schmelzprozesse), Brennertechnik, neue Prozesstechniken beim Recycling, simultane Rückgewinnung von Metallen.

Auch die klassische Materialforschung kann durch die Entwicklung eines besseren Verständnisses von Wärmebehandlungsprozessen und den damit einhergehenden Materialveränderungen zu einer Steigerung der Energieeffizienz beitragen.

# 6.0 Literatur

- [1] Hassan, A.: Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken. Schlussbericht. Karlsruhe 2011.
- [2] Jochem, E.; Schön, M.; Angerer, G.; Ball, M.; Bradke, H.; Celik, B.: Werkstoffeffizienz, Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Stuttgart 2004.
- [3] Daxbeck, H.; Merl, A.; Ritter, E.; Brunner, P.: Analyse der Flüsse des lizenzierten Aluminiums in Österreich. Wien 2000.
- [4] Aiginger, K.; Bayer, K.; Stankovsky, J.; Volk, E.: Die Entwicklung der österreichischen Aluminiumindustrie. In: WIFO Monatsberichte (1986) 10, S. 625–646.
- [5] AMAG Austria Metall AG: Geschäftsbericht 2012. Ranshofen 2013.
- [6] Antrekowitsch, H.: Skriptum zu Metallhüttenkunde II, Skriptum. Leoben 2014.
- [7] Antrekowitsch, H.: Sekundärmetallurgie der Nichteisenmetalle, Skriptum. Leoben 2014.
- [8] Montanwerke Brixlegg AG: Unternehmensvorstellung.  
[www.montanwerke-brixlegg.com](http://www.montanwerke-brixlegg.com)  
Abrufdatum 29.04.2014.
- [9] Austria Buntmetall Ges.m.b.H.: Unternehmensvorstellung.  
[www.austria-buntmetall.at/internet/de/startseite.jsp](http://www.austria-buntmetall.at/internet/de/startseite.jsp)  
Abrufdatum 29.04.2014.
- [10] Salzburger Aluminium AG: Unternehmensvorstellung.  
[www.sag.at/de/unternehmen/standorte/alutech-gmbh](http://www.sag.at/de/unternehmen/standorte/alutech-gmbh)
- [11] Hütte Klein-Reichenbach Ges.m.b.H.: Unternehmensvorstellung.  
[www.hkb.at](http://www.hkb.at)  
Abrufdatum 29.04.2014.
- [12] Neuman Aluminium Ges.m.b.H.: Unternehmensvorstellung.  
[www.neuman.at](http://www.neuman.at)
- [13] BMG Metall & Recycling Ges.m.b.H.: Unternehmensvorstellung.  
[www.bmg-recycling.at](http://www.bmg-recycling.at)
- [14] Plansee AG: Unternehmensvorstellung.  
[www.plansee.com](http://www.plansee.com)  
Abrufdatum 29.04.2014.
- [15] Treibacher AG: Unternehmensvorstellung.  
[www.treibacher.at](http://www.treibacher.at)  
Abrufdatum 29.04.2014.
- [16] Wolfram Bergbau und Hütten AG: Unternehmensvorstellung.  
[www.wolfram.at](http://www.wolfram.at)  
Abrufdatum 29.04.2013.
- [17] Weber, L.; Zsak, G.; Reichl, C.; Schatz, M.: World Mining Data 2011.  
[www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/WeltBergbauDaten/Documents/Weltbergbaudaten%202011.pdf](http://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/WeltBergbauDaten/Documents/Weltbergbaudaten%202011.pdf)  
Abrufdatum 30.04.2014.
- [18] CRU: The Aluminium Market Outlook October 2012. London 2011.
- [19] Kemper, Ch.; Friedrich, B.; Ridderbusch, M.; Balomenos, E.; Panias, D.; Paspaliaris, I.: Energieeffizienz in der Al-Gewinnung: Hall-Héroult-Prozess vs carbothermische Reduktion. Ulm 2012.
- [20] Winnacker; Küchler: Chemische Technik: Prozesse und Produkte. Weinheim 2006.
- [21] Pulm, P.: Vorgehenskonzept für die Implementierung eines Managementsystems nach ISO 50001, Masterarbeit. Leoben 2014.
- [22] Pulm, P.: Energieeffizienz in der österreichischen Industrie – Rahmenbedingungen und Potentiale, Dissertation. Leoben. Noch nicht veröffentlicht.
- [23] Wietschel, M.; Arens, M.; Dötsch, C.; Herkel, S.; Krewitt, W.; Markewitz, P.; Möst, D.; Scheufen, M.:

- [24] Schwalbe, M.: Grundlagen und Möglichkeiten der  
Verarbeitung von höher kontaminierten Aluminium-  
schrotten. Ranshofen 2010.
- [25] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz:  
Effiziente Energieverwendung in der Industrie. In:  
Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.):  
Effiziente Energienutzung in Nicht-Eisen-Metall-  
Schmelzbetrieben. Augsburg 2005.
- [26] Kellers, J.; Bühner, C.; Hagemann, H.; Ostermeyer,  
B.; Witte, W.: Magnetic billet heating rivals conven-  
tional furnaces. In: Heat Processing 7 (2009) 3,  
S. 205–210.
- [27] McMinn, C.; Nora, V.: Inert anodes for aluminium  
production. In: Aluminium 80 (2004) 3, S. 135–140.
- [28] Kvande, H.; Haupin, W.: Inert anodes for Al smel-  
ters: Energy balances and environmental impact.  
In: Journal of the Minerals 53 (2001) 5, S. 29–33.

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Al</b>	Elementsymbol für Aluminium
<b>Al(OH)<sub>3</sub></b>	Chemische Formel von Aluminiumhydroxid
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Chemische Formel von Aluminiumoxid
<b>BAT</b>	Best Available Techniques (dt. beste verfügbare Techniken (BVT))
<b>BREF</b>	Best Available Techniques Reference Documents (dt. BVT-Merkblätter)
<b>CCS</b>	Carbon Capture and Storage (dt. Kohlenstoffabscheidung und -speicherung)
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>CO</b>	Chemische Formel von Kohlenmonoxid
<b>CO<sub>2</sub></b>	Chemische Formel von Kohlendioxid
<b>Cu</b>	Elementsymbol für Kupfer
<b>EnPI</b>	Energy Performance Indicator (dt. Energieleistungskennzahl)
<b>E<sub>prim</sub></b>	Primärenergie
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>Fe</b>	Elementsymbol für Eisen
<b>FTI</b>	Forschung, Technologie und Innovation
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>GJ</b>	Gigajoule
<b>ISO</b>	Internationale Organisation für Normung (vom griechischen Wort „isos“ = gleich)
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>Mg</b>	Elementsymbol für Magnesium
<b>MJ</b>	Megajoule
<b>mm</b>	Millimeter
<b>Mt</b>	Millionen Tonnen
<b>MWh</b>	Megawattstunde
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	Chemische Formel von Natriumoxid

## Abkürzungsverzeichnis

**NaOH** Chemische Formel von Natriumhydroxid

**Ni** Elementsymbol für Nickel

**Pb** Elementsymbol für Blei

**Sn** Elementsymbol für Zinn

**SO<sub>2</sub>** Chemische Formel von Schwefeldioxid

**t** Tonne

**Zn** Elementsymbol für Zink



[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

In Kooperation mit:

