

Prognose des Aluminiumschrottaufkommens mittels dynamischer Modellierung – Fallbeispiel Österreich

Hanno Buchner, David Laner, Helmut Rechberger und Johann Fellner

1.	Dynamische Stoffflussmodellierung	486
1.1.	Berechnung des Aluminiumnutzlagers.....	486
1.2.	Zukünftige Entwicklung des Nutzlagers und der Altschrottflüsse.....	487
1.3.	Nationaler Selbstversorgungsgrad	488
2.	Ergebnisse	488
2.1.	Entwicklung des Nutzlagers.....	488
2.2.	Entwicklung des Altschrottanfalls	489
2.3.	Zukünftiger Endverbrauch	490
2.4.	Zukünftiger Selbstversorgungsgrad.....	491
3.	Diskussion und Ausblick.....	493
4.	Literatur	495

Aluminium (Al) als häufigstes Metall der Erdkruste [19] entwickelte sich durch die kontinuierliche Prozess- und Werkstoffentwicklung [18] und der steigenden Nachfrage nach Leichtbauwerkstoffen im Automobil- und Luftfahrtsektor [11] zu einem Massenwerkstoff unter den Nichteisenmetallen. Heute ist Al das meistproduzierte Nichteisenmetall vor Kupfer, Zink und Blei [17] mit einer jährlichen Primärproduktion von 53 Millionen Tonnen (Mt) (Bild 1). Auf Grund der günstigen Materialeigenschaften in Bezug auf Korrosionsbeständigkeit, Flexibilität und Leitfähigkeit [16] wurde Al jedoch auch im Bausektor, im (elektrischen) Anlagenbau sowie als Verpackungsmaterial zu einem gefragten Material. Der jährliche Konsum von Al liegt im europäischen Durchschnitt derzeit bei 22 kg/Pers, dominiert vom Transportsektor (39 Prozent), gefolgt vom Bausektor (24 Prozent), Verpackungen (17 Prozent), Maschinenbau (10 Prozent) und Konsumgütern (7 Prozent) [6].

Durch den vorwiegenden Einsatz von Al in langlebigen Produkten und Gütern führte der stetig steigende Konsum zu einem Aufbau beträchtlicher Nutzlager (= anthropogenes Lager). Darunter ist die in Form verschiedenster Güter befindliche Al-Menge zu verstehen, die sich in Nutzung befindet – z.B. Al in angemeldeten Personenkraftwagen – oder die aus der Nutzung ausgeschieden ist, aber noch nicht zu Abfall wurde – z.B. abgeklemmtes Al-Kabel. Globalen Modellen zu Folge befinden sich 75 Prozent der gesamten bisher produzierten Al-Menge, die auf etwa 1,2 Milliarden Tonnen geschätzt

wird [8, 23], nach wie vor in diesem Lager[1]. Eine spezifische Analyse des anthropogenen Aluminiumlagers scheint daher sinnvoll, um das zukünftige Ressourcenpotenzial dieser Lagerstätten beurteilen zu können.

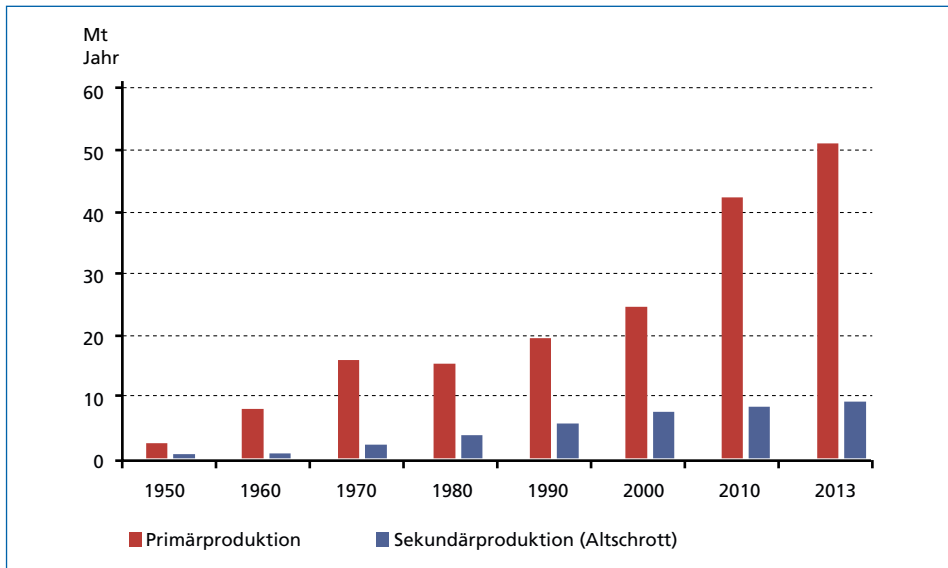


Bild 1: Globale Produktion von Primäraluminium und Produktion von Sekundäraluminium aus Altschrott (1950–2013)

Quellen: WBMS Metallstatistik – Metal Statistics vol 54-101. World Bureau of Metal Statistics

World Aluminium: Primary Aluminium Production. The International Aluminium Institute., London, 2015

Die aus Altschrotten produzierte Sekundäraluminiummenge ist seit 1970 etwa um einen Faktor 5 gestiegen und beträgt derzeit etwa 9 Mt/Jahr (Bild 1). Die gesamte aus Schrott – Alt- und Neuschrott – produzierte Sekundäraluminiummenge liegt mit geschätzten 16-23 Mt/Jahr nochmals deutlich darüber. Verglichen mit den sehr energieintensiven und umweltbelastenden Prozessschritten bei der Herstellung von Primär-Al (Bayer-Verfahren mit anschließendem Hall-Héroult-Prozess), ist das Wiedereinschmelzen von Al mit wesentlich geringeren Umweltauswirkungen auch in Bezug auf die anfallenden Reststoffe – vgl. Rotschlamm bei der Primärproduktion – verbunden. Der konkrete Energiebedarf in der Primärproduktion kann dabei in Abhängigkeit von verwendeter Prozesstechnologie, Energieaufbringung und Bauxitqualität deutlich variieren und liegt zwischen 170 GJ/t und 340 GJ/t [19, 20]. In der Sekundärproduktion verringert sich der spezifische Energiebedarf auf 5-10 Prozent verglichen zur Primärproduktion, außerdem kommt es zu einem deutlich geringeren Anfall von Reststoffen [18]. Nicht zuletzt auf Grund hoher Energiekosten sowie strenger Umweltauflagen hat in Europa – vor allem in Österreich – in den letzten Jahrzehnten ein Übergang von der Primär- zur Sekundärproduktion stattgefunden. Während sich europaweit der Anteil an Sekundär-Al am Gesamtbedarf in den letzten 30 Jahren von 28 Prozent auf 35 Prozent erhöht hat, ist der Anteil an in Europa produziertem Primär-Al auf 14 Prozent gesunken (Bild 2a).

Vergleichsweise noch ausgeprägter stellt sich die Situation für Österreich dar. Seit der Schließung der Schmelzflusselektrolyseanlagen in Ranshofen im Jahr 1992 gibt es in Österreich derzeit nur mehr Sekundärproduktionsanlagen (Bild 2b).

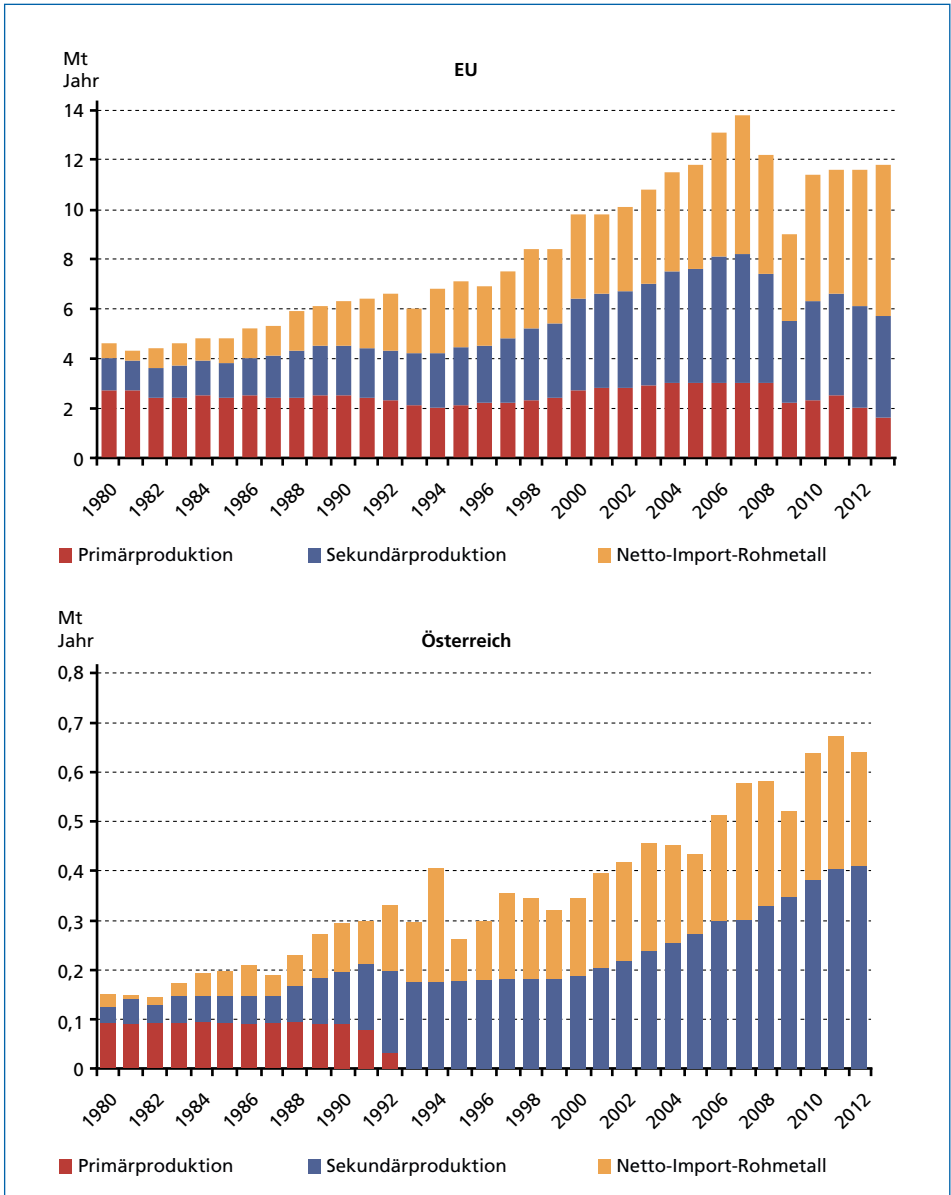


Bild 2: Importabhängigkeit der Roh-Aluminiumversorgung (a) für die EU und (b) für Österreich

Daten basieren auf: WBMS Metallstatistik – Metal Statistics vol 54-101. World Bureau of Metal Statistics

European Aluminium Association: EU Primary aluminium import dependency. <http://www.alueurope.eu/production-eu-primary-aluminium-supply/>. 27.04.2015

Fachverband der NE-Metallindustrie: Private Kommunikation zur Produktionsstatistik, 2014

Obwohl die Verfügbarkeit von Primär-Al auf Basis der heutigen Verbrauchsmengen für zumindest die nächsten 200 Jahre global gesichert scheint [21], stellt sich aus europäischer und speziell österreichischer Sicht die Frage, in welchem Ausmaß das Al aus anthropogenen Lagerstätten zukünftig den Bedarf aus Primärquellen bzw. an Importen verringern kann. Dies wäre nicht zuletzt auch auf Grund der erheblichen Umweltbelastungen durch die Primärproduktion von Interesse. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wird ein dynamisches Stoffflussmodell für die Berechnung des aktuellen Nutzlagers sowie der derzeit und zukünftig anfallenden Altschrottmengen entwickelt. In einem weiteren Schritt werden die modellierten Nutzlager mit Prognosen über den zukünftigen Al-Bedarf kombiniert, um daraus Aussagen über den möglichen Selbstversorgungsgrad (= Unabhängigkeit von Rohstoffimporten) ableiten zu können.

1. Dynamische Stoffflussmodellierung

1.1. Berechnung des Aluminiumnutzlagers

Die Ermittlung des derzeitigen nationalen Al-Lagers erfolgt mittels dynamischer Stoffflussmodellierung in Rahmen eines Rechenmodells, welches sämtliche relevanten Al-flüsse im Zeitraum zwischen 1964 und 2012 abbildet. Beginnend mit Daten zur Halbzeug-Produktion werden, unter Berücksichtigung von Außenhandelsflüssen, sämtliche Prozesse der nachfolgenden Wertschöpfungskette betrachtet, um dadurch den nationalen jährlichen Endverbrauch an Al zu ermitteln. Eine schematische Darstellung des Rechenmodells zeigt Bild 3, wobei sich der graue Bereich (links) auf den historischen (datenbasierten) Teil des Modells zur Berechnung der aktuellen Lager bezieht und der schwarze Bereich den Prognosezeitraum zur Berechnung der zukünftigen Lager- und Altschrottmengen umfasst. Ausgehend von der national produzierten Menge an Halbzeugen wird zunächst der Außenhandel mit selbigen berücksichtigt. Im nächsten Berechnungsschritt wird sektor-spezifisch der (Neu-)Schrottanfall im Zuge der Bearbeitung von Halbzeugen zu fertigen Produkten ermittelt. Um die tatsächliche national konsumierte Menge an Al ermitteln zu können, werden im letzten Schritt die *indirekten* Al-Flüsse berechnet und zur Menge an national produzierten Al-Gütern hinzugezählt. Unter indirekten Al-Flüssen sind alle Flüsse in Form von Al beinhaltenden Fertiggütern zu verstehen – z.B. Fahrzeuge, Maschinenbauteile, Konsumgüter usw. Die Berechnung dieser indirekten Flüsse erfolgt dabei analog zur Berechnung der Außenhandelsflüsse auf Halbezebene unter Berücksichtigung der in der Außenhandelsstatistik [12] nach HS-Codes gegliederten Gesamtmengen, multipliziert mit produktspezifischen Al-Anteilen. Durch die Verknüpfung der für jedes Modelljahr berechneten Inputmengen mit sektor-spezifischen Lebensdauerfunktionen, kann der Altschrottanfall in den Folgejahren und Jahrzehnten berechnet werden [14]. Dabei erfolgt eine Differenzierung nach sechs Nutzungs-Sektoren mit unterschiedlichen mittleren Lebensdauern [5, 13, 14]: Transport (15 Jahre), Gebäude und Infrastruktur (40 Jahre), Maschinenbau (17 Jahre), Elektrischer Anlagenbau (25 Jahre), Konsumgüter (10 Jahre) und Verpackungen (0-5 Jahre).

Die mathematische Abbildung der Lebensdauern im Lager erfolgt dabei über Weibull-Verteilungen. Das Nutzlager berechnet sich am Ende aus dem kumulierten Delta zwischen Input und Output. Um die Konsistenz und Plausibilität der berechneten Ergebnisse zu überprüfen, wurde das Modell intensiv mit unabhängig erhobenen Daten überprüft und verglichen. Die Plausibilitätsprüfung bezieht sich dabei sowohl auf die Überprüfung der national konsumierten Al Menge, wie auch auf die national anfallende Alschrottmenge. Weiters werden im Prozess Produktion die dokumentierten Produktionsmengen mit den im Modell berechneten Schrottmengen – nationaler Alt-/Neuschrottanfall + Netto-Schrott-Importe – verglichen. Ein zusätzlicher Vergleich erfolgt zwischen der konsumierten Menge an Rohmetall – Nationale Produktion + Netto-Importe – und der nationalen Produktionsmenge an Halbzeugen [2].

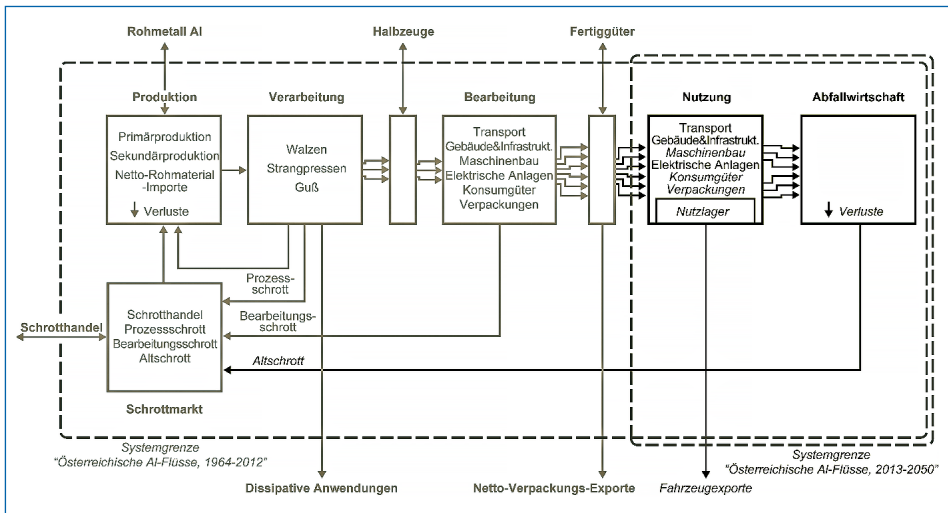


Bild 3: Systemdefinition des nationalen Aluminium-Stoffflussmodells

Quelle: Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Future raw material supply, opportunities and limits of aluminium recycling. In: Austria Journal of Sustainable Metallurgy 1, 2015, S. 253-262

1.2. Zukünftige Entwicklung des Nutzlagers und der Altschrotfflüsse

Die Berechnung der zukünftigen Nutzlager und Schrotfflüsse erfolgt auf Basis von zwei Komponenten: zum einen müssen zukünftige Altschrotfflüsse aus dem bestehenden Nutzlager berücksichtigt werden – Produkte die sich derzeit im Lager befinden, aber in Zukunft das Ende ihrer Lebensdauer erreichen und zu Abfall werden, – zum anderen müssen der zukünftige Al-Konsum prognostiziert und die daraus über die Lebensdauer von Produkten resultierenden Schrottmengen berechnet werden. Aus der Verknüpfung dieser beiden Komponenten ergibt sich am Ende die zukünftig zu erwartende Gesamtschrottmenge. In der Abschätzung des zukünftigen Al-Konsums kann methodisch auf zwei unterschiedliche Weisen vorgegangen werden.

Die erste Möglichkeit stellt die Abschätzung der zukünftigen Mengen auf Basis aktuell konsumierter Mengen – z.B. Anwendung einer jährlichen Steigerungsrate auf die aktuelle Konsummenge – dar (input-driven modelling). Die zweite Möglichkeit besteht darin, die zukünftige Entwicklung des Lagers zu ermitteln – z.B. zukünftige Entwicklung der Anzahl der Fahrzeuge im Bestand multipliziert mit den spezifischen Al-Anteilen – und daraus in einem nächsten Schritt unter Berücksichtigung des jährlichen Schrottanfalls den *notwendigen* Al-Konsum zu berechnen (stock-driven modelling) [4].

1.3. Nationaler Selbstversorgungsgrad

Die zukünftige Importabhängigkeit – Differenz zwischen nationalem Verbrauch und zur Verfügung stehenden Sekundärrohstoffmengen – wird im bestehenden Modell aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Zum einen aus einer industriellen Perspektive (Formel 1) und zum anderen aus der Perspektive des nationalen Endverbrauchs. Bei der industriellen Perspektive handelt es sich um jene Metallmenge, die abzüglich national verfügbarer Schrottmengen notwendig ist, um eine ausreichende Versorgung der Industrie mit Rohstoffen sicherzustellen (nationaler Rohmetallverbrauch).

Beim Endverbrauch wird jener Grad analysiert, zu dem die Deckung des nationalen Konsums (= Endverbrauch) aus nationalen Sekundärrohstoffquellen erfolgen kann (Formel 2). Durch die bewusste Nicht-Betrachtung des Außenhandels von Schrotten soll das theoretische Potenzial der nationalen Selbstversorgung abgeschätzt werden. Qualitätsaspekte beim Recycling von Aluminiumlegierungen wurden im Rahmen der Analysen nicht betrachtet. Eine Berücksichtigung dieser könnte zu einer Reduktion der im Folgenden ausgewiesenen Selbstversorgungsgrade führen.

$$\text{Selbstversorgungsgrad}_{\text{Industrie}} = \frac{\text{Rohmetallverbrauch Aluminium}}{\text{Altschrottanfall}} \quad (1)$$

$$\text{Selbstversorgungsgrad}_{\text{Endverbrauch}} = \frac{\text{Endverbrauch Aluminium}}{\text{Altschrottanfall}} \quad (2)$$

2. Ergebnisse

2.1. Entwicklung des Nutzlagers

Die historische sowie die prognostizierte Entwicklung des anthropogenen Lagers ist in Bild 4 dargestellt. Auf Grund der langen Verweildauer von Al-Bauteilen in Gebäuden und Infrastruktur ist für diesen Sektor historisch der stärkste Lageraufbau erkennbar. Im Transportsektor ist, auf Grund des verstärkten Einsatzes von Leichtbaukonzepten, vor allem in den letzten 15 Jahren ein ansteigender Trend für den Lagerzuwachs erkennbar. In den verbleibenden Sektoren – Maschinenbau, Elektrische Anlagen und Konsumgüter – ist aktuell kaum ein bzw. nur ein gedämpftes Wachstum der Lager festzustellen.

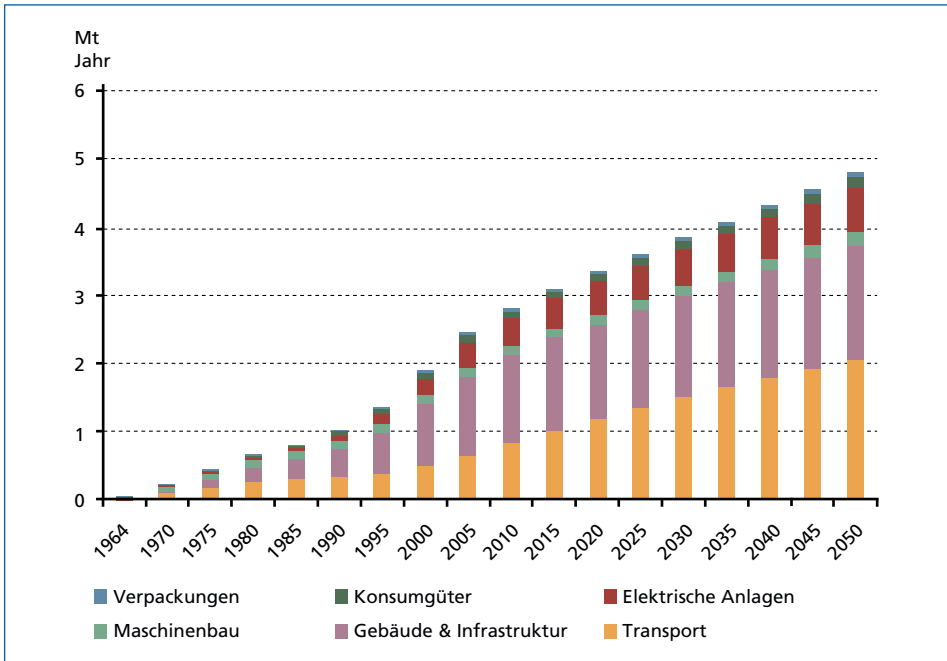


Bild 4: Entwicklung des österreichischen Aluminium-Lagers gegliedert nach Nutzungssektoren

Vorwiegend getrieben durch die starke Al-Nachfrage aus dem Transportsektor, wächst das derzeitige Gesamtlager mit einer jährlichen Rate von etwa 2 Prozent. Das aktuelle Nutzlager pro Kopf beträgt 360 kg, wobei bis 2030 ein Anstieg auf 440 kg und bis 2050 ein weiterer Anstieg auf 530 kg zu erwarten ist.

2.2. Entwicklung des Altschrottanfalls

Die aktuell wie zukünftige anfallende Altschrottmenge zeigt Bild 7 mit einer Gliederung nach Nutzungssektoren. Die dargestellten Mengen beziehen sich auf das rechnerische Altschrottpotenzial, bei dem zum einen Verluste durch Fahrzeugexporte, Sammlung und Aufbereitung ebenso wie Lagereffekte, die ebenfalls zu einer veränderten Menge an verfügbaren Altschrotten führen können, nicht berücksichtigt sind. Unter Lagereffekten sind in diesem Zusammenhang vor allem jene Effekte zu verstehen, die potentiell zu einer Veränderung der verfügbaren Schrottmenge führen können, z.B. durch längere Nutzung oder verzögerte Entsorgung von Geräten, Fahrzeugen oder Gebäuden. Eine detaillierte Analyse des Einflusses dieser Effekte findet sich in Buchner et al. (2015) [2]. Das Altschrottpotenzial liegt zumeist über der tatsächlichen zu Verwertung verfügbaren Altschrottmenge.

Die drei größten Sektoren – Transport, Gebäude und Infrastruktur und Verpackungen – liefern derzeit etwa 2/3 der gesamten Altschrottmenge von 130.000 t/a. Deutliche Steigerungen sind zukünftig im Transport und im Gebäude und Infrastruktur Sektor zu erwarten. Im Transportsektor führt der verstärkte Einsatz von Al zu einer Verdoppelung

der Altschrottmenge bis 2030 und zu einer Verdreifachung bis 2050, wobei hier vor allem eine Steigerung im Bereich der Knetlegierungen – Strukturbauteile von Fahrzeugen – zu erwarten ist. Im Gebäudebereich ist durch die zukünftig Mobilisierung von Material aus dem bestehenden Nutzlager von einer ähnlichen Entwicklung auszugehen. In Summe ergibt sich ausgehend von dem derzeitigen Niveau von 14 kg/Pers./a ein Anstieg auf 24 kg/Pers./a im Jahr 2030 sowie 31 kg/Pers./a in 2050. Die entspricht somit einem Anstieg des Schrottanfalls um etwa 120 Prozent in den nächsten 35 Jahren.

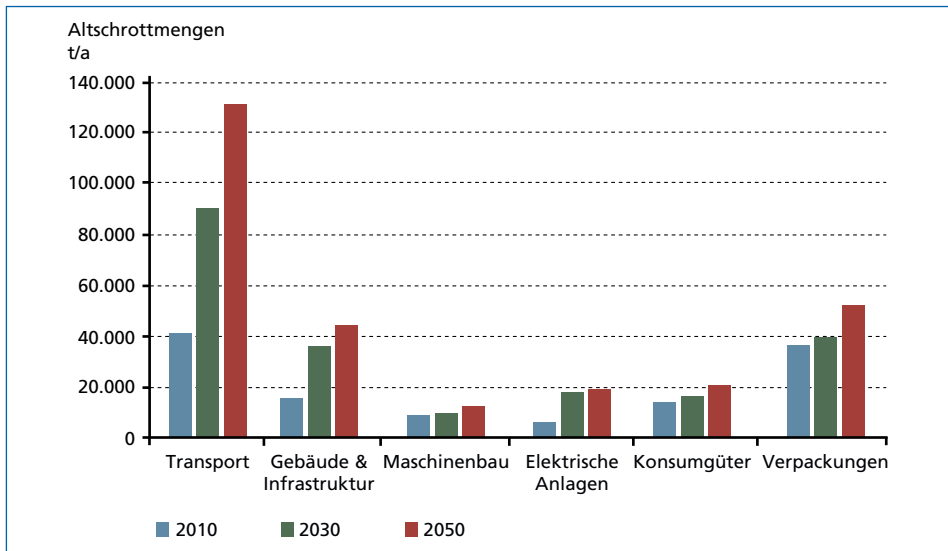


Bild 5: Aktuelle und zukünftige Altschrottmengen gegliedert nach Nutzungssektoren

Quelle: Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Dynamische Modellierung nationaler Aluminiumflüsse zur Abschätzung zukünftiger Sekundärrohstoffpotentiale Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (in submission), 2015

2.3. Zukünftiger Endverbrauch

Zusätzlich zum zeitlich diskretisierten (aktuellen) Nutzlager, stellt die Prognose über den zukünftigen Al-Verbrauch eine wichtige Komponente in der Modellierung des zukünftigen Altschrottanfalls dar. Der im gegenständlichen Modell ermittelte zukünftige Al-Verbrauch nach Nutzungssektoren ist in Bild 6 dargestellt. Die stärksten Steigerungen im Relativ- und Absolutverbrauch befinden sich im Transportsektor auf Grund der Bestrebungen nach Leichtbaukonzepten zur Reduktion von CO₂-Emissionen. Der derzeitige Al-Anteil in PKWs beträgt etwa 140 kg, wobei in den nächsten Jahren unter dem verstärkten Einsatz von Al für Strukturbauteile von einem Al-Anteil bis zu 260 kg pro PKW gerechnet wird [15]. Eine vergleichbar rapide Zunahme des Endverbrauchs in den anderen Nutzungssektoren ist nicht zu erwarten.

In Summe beträgt der derzeitige pro Kopf Al-Konsum in Österreich etwa 25 kg/Jahr, wobei in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Steigerung von 7 kg/Jahr vor 30 Jahren zu beobachten war. Unter Berücksichtigung des zukünftigen Al-Konsums ist im pro

Kopf Verbrauch ein weiterer Anstieg von etwa 40 Prozent in den kommenden drei Jahrzehnten zu erwarten. Dies bedeutet, dass der pro Kopf Verbrauch von derzeit etwa 25 kg/Pers./a auf 35 kg/Pers./a im Jahr 2050 steigen wird.

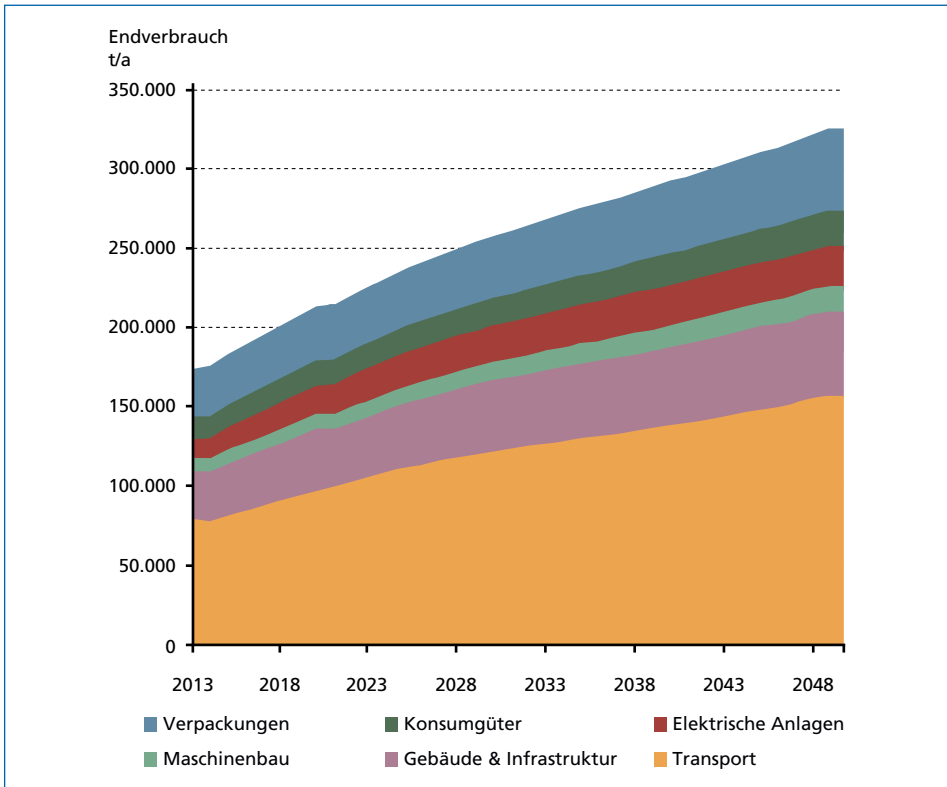


Bild 6: Modellierter zukünftiger Endverbrauch an Aluminium

Quelle: Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Future raw material supply, opportunities and limits of aluminium recycling. In: Austria Journal of Sustainable Metallurgy 1, 2015, S. 253-262

2.4. Zukünftiger Selbstversorgungsgrad

Die Berechnung des Selbstversorgungsgrades erfolgte zum einen bezogen auf den Rohmetallverbrauch (Formel 1) zum anderen bezogen auf den Endverbrauch an Al (Formel 2). Die Ermittlung des Selbstversorgungsgrades in Bezug auf den Endverbrauch zeigt, dass ausgehend von der derzeitigen Verbrauchssituation, unter Berücksichtigung des prognostizierten zukünftigen Verbrauchs (Abschnitt 3.3), keine wesentliche Änderung des Selbstversorgungsgrades zu erwarten ist. Bei einem derzeitigen Selbstversorgungsgrad von etwa 35 Prozent ist bis 2050 lediglich eine Erhöhung auf 40 Prozent zu erwarten. Verbesserte Sammlung – basierend auf den Recyclingzielen der Europäischen Kommission [9] – führt auch im Optimalfall nur zu einer

minimalen Erhöhung (+3 Prozent) der Selbstversorgung. Eine wesentliche Verbesserung des Selbstversorgungsgrades (+27 Prozent) wäre lediglich durch eine nationale Verwertung von Altfahrzeugen zu erwarten (Bild 7). Bezogen auf den Rohmetallverbrauch liegt der Selbstversorgungsgrad auf Grund einer verhältnismäßig ausgeprägten Al-Industrie im Falle Österreichs deutlich unter dem Selbstversorgungsgrad des Endverbrauchs. Ausgehend von einem derzeitigen Selbstversorgungsgrad von etwa 10 Prozent ist bis 2050 hier, bei einem angenommen jährlichen Mehrverbrauch an Rohmetall von 2 Prozent, nur mit einem Anstieg auf 12 Prozent zu rechnen (Bild 7). Für beide Szenarien gilt, dass sich der Selbstversorgungsgrad nur auf die Altschrottmenge im System bezieht und keine Produktions- oder Verarbeitungsschrotte (Neuschrotte) berücksichtigt sind. Diese entstehen prozessbedingt und sind jedenfalls zu minimieren und können aus Ressourcensichtweise nicht als Substitut für Primärmaterial verstanden werden, auch wenn dies in Bezug auf den *Abfall vor Gebrauch* in einem gewissen Widerspruch zur geltenden Normung (EN ISO 14021:2001) steht.

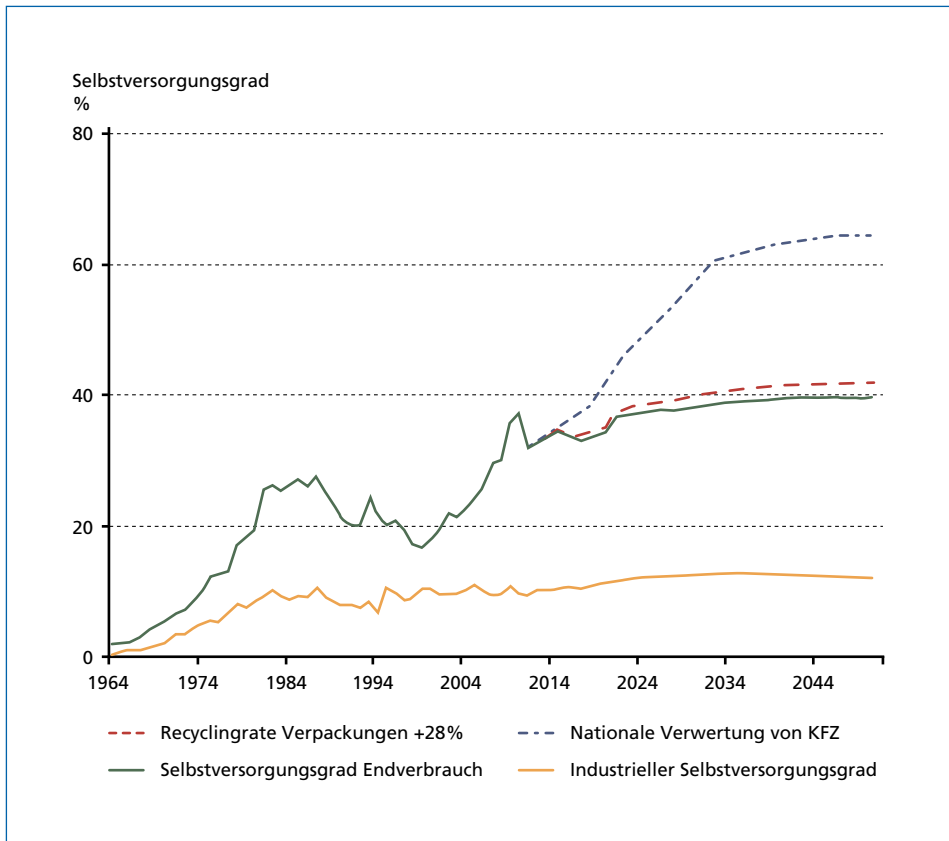


Bild 7: Berechneter Selbstversorgungsgrad der österreichischen Aluminium-Industrie, sowie theoretischer Selbstversorgungsgrad bezogen auf den nationalen Endverbrauch inklusive der Auswirkung alternativer Recyclingszenarien auf den Selbstversorgungsgrad

3. Diskussion und Ausblick

Obwohl sich die jährlichen Steigerungsraten im pro Kopf Verbrauch von Al reduziert haben, ist auch in Zukunft von einem Wachstums des Endverbrauchs auszugehen. Aus derzeitiger Sicht kommt in Hinblick auf den zukünftigen Al-Endverbrauch dem Transportsektor eine wesentliche Rolle zu. Der Einsatz von Al ermöglicht eine Reduktion des Fahrzeuggewichts und eine damit einhergehende Reduktion des Treibstoffverbrauchs und damit auch der CO₂-Emissionen im Fahrzeugbetrieb. Al steht als Leichtbauwerkstoff aber ebenso in Konkurrenz zu anderen Materialien – z.B. hochfeste Stähle, Verbundwerkstoffe – und eine endgültige Entwicklung wie sich Al als Werkstoff in diesem Konkurrenzfeld behaupten kann, ist derzeit noch nicht absehbar.

Obwohl mit einer deutlichen Zunahme der Altschrottmenge in Zukunft zu rechnen ist (+120 Prozent im pro Kopfanfall bis 2050), bleibt der Selbstversorgungsgrad sowohl in Bezug auf den Endverbrauch wie auf den industriellen Rohmetallverbrauch unter den bestehenden Wachstumsprognosen wenig beeinflusst. Die Möglichkeiten von verbesserten Recyclingmaßnahmen beim Haus- und Verpackungsabfall sind in Bezug auf Al Verpackungen jedenfalls in Relation zu ihrem beschränkten Potential zu betrachten. Gleichzeitig sei jedoch erwähnt, dass aus ökologischen Gründen ein Recycling von Al jedenfalls sinnvoll erscheint, vor allem auf Grund der hohen Energieaufwendungen, Emissionen und des Reststoffanfalls in der Primärproduktion. Das sekundärrohstoffliche Potential aus der nationalen Verwertung von Altfahrzeugen ist jedenfalls relevant in Bezug auf ein Schließen von Materialkreisläufen. Eine wesentliche Änderung der derzeitigen Praxis des Gebrauch- und Altfahrzeugexports gilt jedoch als unwahrscheinlich. Bezüglich des Selbstversorgungsgrades gemessen am Endverbrauch scheint eine Übertragbarkeit der Österreichischen Ergebnisse auf (west-)europäische Länder gegeben, da die verbrauchten (pro Kopf) Al-Mengen wie auch deren Einsatz in verschiedensten Nutzungssektoren als ähnlich anzusehen sind. Die Selbstversorgung in Bezug auf den Rohmetallbedarf ist hingegen länderspezifisch, da die Produktionsstrukturen – Anteil von Primärproduzenten, Remeltern und Refinern an der nationalen Gesamt-Al Produktion – sich von Land zu Land deutlich unterscheiden können und hier keine repräsentativen Durchschnittsangaben möglich sind.

Das nationale Aufkommen an rezyklierbaren Al-Schrotten beträgt im Jahr 2012 etwa 120.000 Tonnen, wobei darin etwa 1/3 Bearbeitungsschrotte (Neuschrotte) und 2/3 Altschrotte enthalten sind. Die im Zuge der Halbzeugproduktion anfallenden Prozessschrotte, welche zumeist in internen Kreisläufen geführt werden, sind darin nicht berücksichtigt. Dazu im Verhältnis stehen aktuell 286.000 Tonnen pro Jahr an Schrottimporten sowie Schrottexporte von 173.000 Tonnen pro Jahr (2014, Bild 8).

Daten über den genauen Verbleib der national gesammelten Altschrottmenge sowie der importierten Al-Schrotte sind derzeit statistisch nicht erfasst. Die Schrottimporte betreffend ist jedoch davon auszugehen, dass diese größtenteils direkt durch die Hüttenbetriebe erfolgen. Eine Auswertung nach Herkunftsländern zeigt hierbei eine deutliche Dominanz von Deutschland (60 Prozent), gefolgt von der Schweiz (8 Prozent), Polen (6 Prozent), Tschechien (5 Prozent) und Frankreich (4 Prozent).

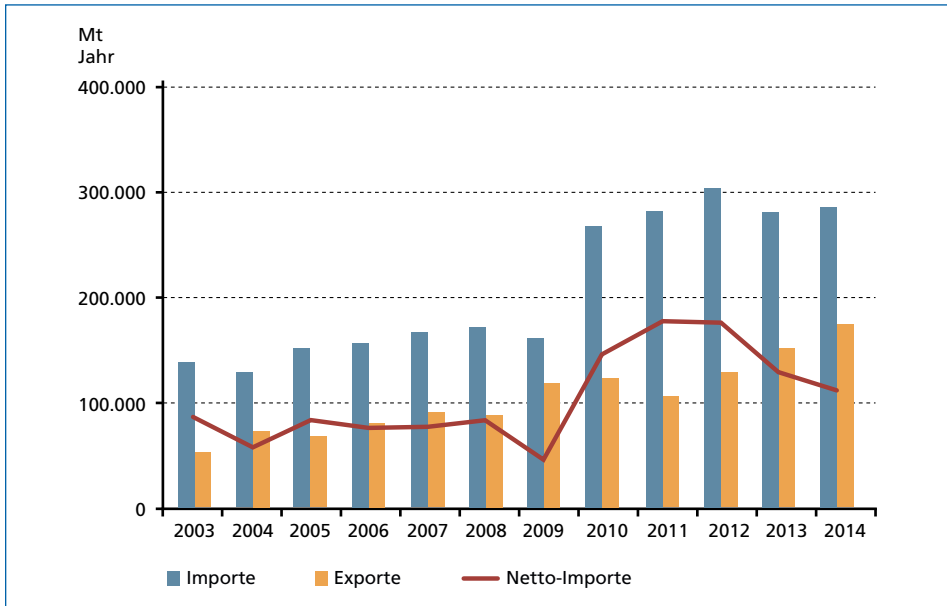


Bild 8: Außenhandel Aluminium-Schrott Österreich

Quelle: International Trade Statistics Database: United Nations, 2014

Rückblickend liegen die Netto-Schrottimporte der letzten fünf Jahre jährlich zwischen 110.000 Tonnen und 180.000 Tonnen und legen somit ebenfalls die beschränkten Möglichkeiten der nationalen Selbstversorgung im Verhältnis zum nationalen Schrottaufkommen dar.

Trotz der steigenden nationalen Sekundärproduktion und der anhaltend hohen Mengen an Schrottimporten stiegen die Exporte von Al-Schrotten über die letzten 5 Jahre deutlich an (+45 Prozent). Eine eindeutige Erklärung dafür fehlt bisher jedoch. Zum einen können gestiegene Außenhandelsaktivitäten, welche sich lediglich aus marktwirtschaftlichen Gründen ableiten – Preis, Verfügbarkeit usw. – dafür verantwortlich sein, zum anderen wären potenziell auch qualitative Grenzen in Bezug auf die Verwertung der national verfügbaren Altschrotte denkbar. Wobei in Bezug auf Qualität zwischen Legierungszusammensetzung – Guss-, Knetlegierungen – und externen Kontaminationen – Farben, Lacke, Lamine usw. – unterschieden werden muss.

Jedenfalls ist eine Erweiterung des Modells in Hinblick auf eine Differenzierung der Stoffflüsse nach Guss-, und Knetlegierungen erstrebenswert. Eine differenzierte Betrachtung der Altschrotfflüsse nach Guss- und Knetlegierungen könnte einen Vergleich auf Qualitätsebene mit den nationalen Erfordernissen in der Produktion wie auch in Bezug auf die im Endverbrauch benötigten Al-Qualitäten ermöglichen. Weiters könnten auch potenzielle Auswirkungen von Systemveränderung – z.B. eine Verschiebung des Guss-Knetlegierungsanteils zugunsten von Knetlegierungen im Transportsektor –

in einer zeitlichen Dimension analysiert werden, um potenzielle Erfordernisse in Bezug auf eine intensivere Schrottaufbereitung und Sortierung von Al-Legierungen frühzeitig identifizieren zu können.

4. Literatur

- [1] Bertram, M.; Martchek, K.J.; Rombach, G.: Material Flow Analysis in the Aluminum Industry *Journal of Industrial Ecology* 13, 2009, S. 650-654 doi:10.1111/j.1530-9290.2009.00158.x
- [2] Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Dynamic material flow modelling: an effort to calibrate and validate Aluminium stocks and flows. In: *Austria Environmental Science & Technology* 49, 2015, S. 8
- [3] Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Dynamische Modellierung nationaler Aluminiumflüsse zur Abschätzung zukünftiger Sekundärrohstoffpotentiale *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift* (in submission), 2015
- [4] Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H.; Fellner, J.: Future raw material supply, opportunities and limits of aluminium recycling. In: *Austria Journal of Sustainable Metallurgy* 1, 2015, S. 253-262
- [5] Dahlström, K.; Ekins, P.; He, J.; Davis, J.C.; Roland: *Iron, Steel and Aluminium in the UK: Material Flows and their Economic Dimension*. Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, 2004
- [6] EAA: Sustainable development indicators for the aluminium industry in Europe. European Aluminium Association, Brussels, 2013
- [7] European Aluminium Association: EU Primary aluminium import dependency. <http://www.alueurope.eu/production-eu-primary-aluminium-supply/>. 27.04.2015
- [8] European Aluminium Association: History-of-Primary-Aluminium-Production. <http://www.european-aluminium.eu/production-primary-aluminium-production-evolution-worldwide/>. Accessed 23.11.2015
- [9] European Commission: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. European Commission, Brussels, 2014
- [10] Fachverband der NE-Metallindustrie: Private Kommunikation zur Produktionsstatistik, 2014
- [11] Hirsch, J.: Aluminium in Innovative Light-Weight Car Design *Materials Transactions* 52, 2011, S. 7
- [12] International Trade Statistics Database: United Nations, 2014
- [13] Liu, G.; Müller, D.B.: Centennial Evolution of Aluminum In-Use Stocks on Our Aluminized Planet *Environmental Science & Technology* 47, 2013, S. 4882-4888, doi:10.1021/es305108p
- [14] Melo, M.T.: Statistical analysis of metal scrap generation: the case of aluminium in Germany *Resources, Conservation and Recycling* 26, 1999, S. 91-113 doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00077-9
- [15] Modaresi, R.; Müller, D.B.: The Role of Automobiles for the Future of Aluminum Recycling *Environmental Science & Technology* 46:8587-8594 doi:10.1021/es300648w, 2012
- [16] Recalde, K.; Wang, J.; Graedel, T.E.: Aluminium in-use stocks in the state of Connecticut *Resources, Conservation and Recycling* 52, 2008, S. 1271-1282 doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.006
- [17] Rogich, D.G.M.; Grecia, R.: *The Global Flows of Metals and Minerals* USGS, 2008

- [18] Schlesinger, M.E.: Aluminium recycling second edition. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2014
- [19] Schmitz, C. (ed.): Handbook of Aluminium Recycling. Vulkan-Verlag, Essen, 2006
- [20] Sverdrup, H.U.; Ragnarsdottir, K.V.; Koca, D.: Aluminium for the future: Modelling the global production, market supply, demand, price and long term development of the global reserves Resources, Conservation and Recycling 103, 2015, S. 139-154 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.008>
- [21] UNEP: Manufacturing- Investing in energy and resource efficiency. United Nations Environment Programme, 2011
- [22] WBMS Metallstatistik - Metal Statistics vol 54-101. World Bureau of Metal Statistics
- [23] World Aluminium: Primary Aluminium Production. The International Aluminium Institute., London, 2015