

Bewertung von Carbon Leakage bei Metallimporten

Kurzstudie der ewi Energy Research & Scenarios gGmbH
Vorgelegt der Wirtschaftsvereinigung Metalle
Köln, September 2015
www.ewi.uni-koeln.de



ewi Energy Research & Scenarios gGmbH

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100
Fax: +49 (0)221 277 29-400
www.ewi.uni-koeln.de

ewi Energy Research & Scenarios ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Der wissenschaftliche Betrieb wird finanziert durch Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und privatwirtschaftliche Auftraggeber sowie Zuwendungen einer gemeinnützigen Förderergesellschaft, die gegenwärtig mehr als vierzig Mitglieder zählt – u.a. Energieversorger, Industrieunternehmen, Banken, Beratungsfirmen und Verbände. Eine Einflussnahme auf die wissenschaftliche Arbeit oder die Beratungstätigkeit von ewi ER&S durch die Förderergesellschaft ist ausgeschlossen.

AUTOREN

Dr. Harald Hecking

Helena Schweter

INHALTSVERZEICHNIS

1	Hintergrund und Problemstellung.....	1
2	AP1: Theoretischer Hintergrund von Carbon Leakage.....	3
3	AP2: Produktionsprozess von Aluminium, Kupfer und Zink.....	5
3.1	Produktionsprozess von Primäraluminium	5
3.2	Produktionsprozess von Primär- und Sekundärkupfer.....	5
3.3	Produktionsprozess von Zink	6
4	AP3: Analyse der CO ₂ -Intensitäten der wichtigsten Importländer von Aluminium, Kupfer und Zink.....	7
4.1	Aluminium	7
4.1.1	Produzentenländer.....	7
4.1.2	Importländer	8
4.2	Kupfer	9
4.2.1	Produzentenländer.....	9
4.2.2	Importländer	10
4.3	Zink.....	12
4.3.1	Produzentenländer.....	12
4.3.2	Importländer	12
5	AP4: Bewertung der CO ₂ -Intensität von Metallimporten.....	14
5.1	Aluminium	14
5.2	Kupfer	16
5.3	Zink.....	18
6	Fazit.....	20
7	Literaturverzeichnis.....	21
	Abbildungsverzeichnis.....	III
	Tabellenverzeichnis.....	IV

EXECUTIVE SUMMARY

Die Erzeugung von Aluminium, Kupfer und Zink ist durch einen sehr energie- und emissionsintensiven Produktionsprozess charakterisiert. Durch die Festlegung einer Emissionsobergrenze innerhalb der EU wird ein europäischer Preis für CO₂ induziert, der zu einem Anstieg der Produktionskosten von Aluminium, Kupfer und Zink führt. Dieser Kostenanstieg ist begründet in gestiegenen direkten und indirekten Produktionskosten. Direkte Kostensteigerungen beziehen sich dabei auf jene Kosten, die anfallen um Emissionen im Produktionsprozess zu kontrollieren bzw. um Emissionszertifikate zu erwerben. Indirekte Kostensteigerungen hingegen werden durch einen höheren Strompreis verursacht, da Kraftwerksbetreiber ihre gestiegenen Kosten in Form höherer Preise an die Verbraucher weitergeben. Durch die gestiegenen Produktionskosten der Aluminium-, Kupfer- und Zinkindustrie sowie aufgrund starkem internationalem Wettbewerb und einem vergleichsweise geringem Ausmaß an Produktdifferenzierung besteht die Gefahr der Verlagerung der Produktion in das nicht-europäische Ausland bzw. des Imports der Metalle aus nicht-europäischen Ländern. Als Folge wird ein Teil der Emissionsreduktion in andere, nicht dem EU ETS unterliegende Länder verlagert. Dieser Effekt, dass ein Teil der in Europa reduzierten Emissionen durch verlagerte Produktion bzw. Importe zu erhöhten Emissionen in anderen, nicht dem EU ETS unterliegenden Ländern führen, wird als Carbon Leakage bezeichnet. Gegenstand dieser Studie ist die Analyse der CO₂-Intensität der deutschen Importe von Aluminium, Kupfer und Zink, um Carbon Leakage in diesen Sektoren zu quantifizieren und zu bewerten.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Jahr 2012 durch die Produktion der deutschen Importe von Primäraluminium 4,5 Millionen Tonnen CO₂ emittiert wurden, während die Importe von Primärkupfer 261 Tausend Tonnen CO₂ in 2012 verursachten. Die deutschen Importe von Primärzink induzierten lediglich 34 Tausend Tonnen CO₂. Diese Emissionsmengen beziehen sich lediglich auf Emissionen, die in Ländern auftreten, die nicht dem EU ETS unterliegen, da diese Emissionen nicht im Rahmen des EU ETS internalisiert sind. Die ermittelten Emissionsmengen verdeutlichen die hohe Relevanz der Aluminiumimporte für die Analyse von Carbon Leakage. Dies ist zum einen begründet in den großen deutschen Importmengen von Primäraluminium im Vergleich zu Kupfer und Zink. Die deutschen Primäraluminiumimporte sind mengenmäßig (auf Tonnenbasis) doppelt so hoch wie die deutschen Primärkupferimporte und 18-mal so hoch wie die Zinkimporte Deutschlands aus nicht dem EU ETS unterliegenden Ländern. Des Weiteren weist die Aluminiumproduktion eine wesentlich höhere Stromintensität auf als die Produktionsprozesse von Kupfer und Zink. Insgesamt kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass die Importe von Primäraluminium, Primärkupfer und Primärzink in 2012 Emissionen in Höhe von 4,8 Millionen Tonnen in Produktionsländern außerhalb des EU ETS induziert haben.

1 HINTERGRUND UND PROBLEMSTELLUNG

Die Herstellung von Aluminium, Kupfer und Zink erfolgt durch Elektrolyse und pyrometallurgische Verfahren und ist somit durch einen sehr energieintensiven Produktionsprozess gekennzeichnet. Das europäische Emissionshandelssystem EU ETS impliziert eine Bepreisung von CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung sowie bestimmter Industriezweige und führt daher zu einer Verteuerung der Produktion der genannten Metalle innerhalb der Europäischen Union (EU). Auf der einen Seite impliziert der CO₂-Preis höhere indirekte Produktionskosten aufgrund des Strompreisanstiegs. Auf der anderen Seite steigen die direkten Kosten aufgrund der CO₂-Emissionen im Produktionsprozess. In den ersten beiden Phasen des EU ETS war die Aluminium-, Kupfer- und Zinkindustrie nicht erfasst und war so lediglich den indirekten Kosten des Strompreisanstiegs ausgesetzt. Seit Beginn der dritten Handelsperiode im Jahr 2013 jedoch sind auch die direkten Emissionen der nicht-eisenhaltigen Metallproduktion im EU ETS erfasst. Durch die gestiegenen Produktionskosten besteht das Risiko einer Verlagerung der Produktion von Aluminium, Kupfer und Zink in das nicht-europäische Ausland bzw. des Imports der Metalle aus nicht-europäischen Ländern. Insgesamt wird so ein Teil der Emissionsreduktion in andere, nicht dem EU ETS unterliegende Länder verlagert. Eine höhere CO₂-Intensität des Stromerzeugungsmix der Importländer kann sogar dazu führen, dass insgesamt mehr Emissionen auftreten, als ohne Emissionshandelssystem der Fall wäre. Der Effekt, dass ein Teil der in Europa reduzierten Emissionen durch verlagerte Produktion bzw. Importe zu erhöhten Emissionen in anderen, nicht dem EU ETS unterliegenden Ländern führen, wird als Carbon Leakage bezeichnet.

Ziel dieser Studie ist eine Analyse der CO₂-Intensität der Importe von Aluminium, Kupfer und Zink, um Carbon Leakage in diesen Sektoren zu quantifizieren und zu bewerten. Dazu geht Arbeitspaket 1 zunächst auf den theoretischen Hintergrund von Carbon Leakage ein. Anschließend werden in Arbeitspaket 2 die Produktionsprozesse von Aluminium, Kupfer und Zink skizziert. Darauf folgend werden in Arbeitspaket 3 die relevanten Produktions- sowie Importländer von Aluminium, Kupfer und Zink identifiziert und der Stromerzeugungsmix und die CO₂-Intensität der nicht dem EU ETS unterliegenden Importländer analysiert und verglichen. Arbeitspaket 4 quantifiziert schließlich die CO₂-Intensität der Importe von Aluminium, Kupfer und Zink und ermittelt die Gesamtmenge an Emissionen, die durch die deutschen Importe der Metalle in den Produktionsländern entstehen.

2 AP1: THEORETISCHER HINTERGRUND VON CARBON LEAKAGE

Im Jahr 2003 wurden vom Europäischen Parlament und dem Rat der EU die Richtlinien eines Emissionshandels beschlossen. Diese bildeten die Grundlage des am 1. Januar 2005 in Kraft getretenen europäischen Emissionshandelssystems EU ETS. Im EU ETS wird für Emissionen von Energieanlagen und emissionsintensiven Industrieanlagen eine Obergrenze festgelegt. Die Emissionsberechtigungen können von den teilnehmenden Anlagenbetreibern frei gehandelt werden. Durch dieses Prinzip des Deckelns und Handelns („Cap & Trade“) bildet sich ein Preis für Emissionen (Europäische Kommission 2013). Dieser europäische CO₂-Preis kann zu Carbon Leakage führen. Carbon Leakage beschreibt allgemein den Effekt, dass der Rückgang von CO₂-Emissionen in einem klimapolitisch aktiven Land zur Folge hat, dass in einem anderen Land mehr CO₂ emittiert wird. So besteht die Möglichkeit, dass die unilaterale Klimapolitik weniger effektiv und im schlimmsten Falle das Emissionsniveau insgesamt sogar ansteigt.

Grundsätzlich können zwei mögliche Kanäle des Carbon Leakage identifiziert werden. Angebotsseitiges Leakage beschreibt den Effekt, dass sich eine strikte Klimapolitik in einem Land dämpfend auf die Rohstoffnachfrage und somit auf den internationalen Rohstoffpreis auswirkt. Der geringere Rohstoffpreis induziert eine steigende Rohstoffnachfrage und dadurch höhere CO₂-Emissionen in anderen Ländern. Nachfrageseitiges Leakage bezieht sich dahingegen auf die Verlagerung der Produktion CO₂-intensiver Güter ins Ausland. Eine strikte Klimapolitik und damit „teure“ CO₂-Emissionen führen im klimapolitisch aktiven Land zu gesteigerten Kosten der Produktion CO₂-intensiver Güter. So kann es sein, dass Unternehmen, um wettbewerbsfähig zu bleiben, ihre Produktion hin zu sauberen Gütern im Inland verlagern und/oder ein erhöhter Import CO₂-intensiver Güter aus dem Ausland erfolgt.

Nachfrageseitiges Leakage ist insbesondere relevant für Sektoren, die energie-intensiv produzieren und unter starkem internationalem Wettbewerb agieren. In diesen Sektoren kann der CO₂-Preis sowohl die direkten als auch die indirekten Produktionskosten steigern. Direkte Kosten beziehen sich auf die zusätzlichen Kosten, die anfallen, um Emissionen im Produktionsprozess zu kontrollieren bzw. Emissionszertifikate zu erwerben. Sektoren mit emissions-intensiven Produktionsprozessen sind daher einem Anstieg der direkten Kosten ausgesetzt. Neben den direkten Kosten für die Einhaltung der Emissionsobergrenze, kann es ebenfalls zu einem Anstieg der indirekten Produktionskosten kommen. Indirekte Kostensteigerungen können entstehen, wenn vorgelagerte, in dem EU ETS erfasste Sektoren ihre Preise erhöhen. So steigen beispielsweise die Elektrizitätspreise, da fossile Kraftwerksbetreiber ihre gestiegenen Kosten an die Verbraucher weitergeben. Sektoren mit strom-intensiven Produktionsprozessen sind daher einem Anstieg der indirekten Kosten ausgesetzt (Reinaud 2009). Der Verlust der Wettbewerbsfähigkeit und somit der Verlagerung der Produktion in das nicht-europäische Ausland hängen jedoch von der Möglichkeit der Sektoren ab, ihre gestiegenen Kosten an die Verbraucher weiterzureichen ohne an Marktanteil zu verlieren. Dies hängt von verschiedenen Faktoren wie z.B. Marktkonzentration, internationalem Wettbewerb und Produktdifferenzierung ab (Reinaud 2008).

Die Aluminium-, Kupfer- und Zinkindustrie ist aufgrund emissions- und stromintensiver Produktionsprozesse sowohl direkten als auch indirekten Kostensteigerungen ausgesetzt. Die Aluminium-, Kupfer- und Zinkindustrie wurde als Carbon Leakage gefährdet beurteilt (Europäische Union 2010). Gründe sind der geringe Marktanteil, der internationale Wettbewerb, die Preisbildung an der Londoner Metallbörse (London Metal Exchange, LME) und das vergleichsweise geringe Ausmaß an Produktdifferenzierung.

3 AP2: PRODUKTIONSPROZESS VON ALUMINIUM, KUPFER UND ZINK

3.1 Produktionsprozess von Primäraluminium

Aluminium wird in zwei Schritten aus dem Aluminiumerz Bauxit gewonnen. Zunächst entsteht im sogenannten Bayer-Verfahren in einem Druckbehälter mit einer alkalischen Lösung aus Bauxit Aluminiumoxid, auch als Tonerde bezeichnet. Als Abfallprodukt fällt hier Rotschlamm an. Das abgekühlte Aluminiumoxid wird von der Natronlauge gereinigt und bei etwa 1100°C kristallisiert. Im zweiten Schritt wird in Aluminiumhütten im Hall-Héroult-Prozess reines Aluminium gewonnen. Dies geschieht durch Elektrolyse unter Zugabe des Minerals Kryolith und elektrischer Spannung, wobei flüssiges Aluminium gewonnen wird (Ecofys 2009). Der Elektrolyseprozess ist durch den hohen Verbrauch elektrischer Energie gekennzeichnet. Die Herstellung einer Tonne Hüttenaluminium bedarf im heutigen Durchschnitt zwischen 14 und 15 MWh_{el}. Zur Bereitstellung direkter Prozesswärme werden außerdem etwa 5,2 GJ/t_{Al} in Form von Erdgas und Heizöl benötigt (Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung 2004). In Deutschland wurden im Jahr 2014 530.000 Tonnen Primäraluminium produziert und bei der Herstellung insgesamt 7,65 TWh Strom verbraucht. Bei der Elektrolyse werden zudem sowohl CO₂- als auch Perfluorkarbon-Emissionen ausgestoßen (Quinkertz 2002). Die Transportwege zwischen den einzelnen Produktionsschritten sind durch einen unterschiedlichen Energiebedarf je nach Transportmittel gekennzeichnet und spielen bei der Betrachtung des Gesamtenergiebedarfs der gesamten Produktionskette eine untergeordnete Rolle (Dienhart 2003).

3.2 Produktionsprozess von Primär- und Sekundärkupfer

Es gibt zwei Produktionsmethoden um Primärkupfer herzustellen. Im pyrometallurgischen Prozess werden die abgebauten Kupfererze zermahlen um zunächst Kupferkonzentrat zu erhalten, welches bis zu 30% reines Kupfer enthält (Lanz, Rutherford und Tilton 2013). Dieses Konzentrat wird in einem Röst- und Schmelzprozess zu Blisterkupfer mit 98 bis 99,5% Reinheitsgehalt weiterverarbeitet. Durch weitere Raffination kann 99,99 prozentiges Reinkupfer gewonnen werden. Der Arbeitsschritt mit dem höchsten Anteil am spezifischen Energieverbrauch der gesamten Produktion von Abbau bis Raffination hat mit 50% die Konzentration, bei dem das Kupferkonzentrat hergestellt wird (Alvarado, Maldonado und Jaques 1999). Darüber hinaus gibt es eine hydrometallurgische Methode zur Kupfergewinnung, die bei oxidischen Kupfererzen angewandt wird, da auf sie anders als bei sulfidischen Erzen die Methode der Flotation nicht anwendbar ist. Es wird das Verfahren der Solventextraktion und Elektrolyse (SX/EW) angewandt. Zuvor wird direkt an der Mine durch Schwefelsäure eine kupferhaltige Lösung aus dem abgebauten Material gewonnen. Auf die Solventextraktion mittels organischer Stoffe und Schwefelsäure folgt die Elektrolyse, mittels derer hochreines Kupfer gewonnen wird. Die zweite Methode der Kupfergewinnung macht

ca. 20% der Kupferproduktion aus (Langner 2013). Der kumulierte Primärenergieaufwand, den es zur Herstellung einer Tonne Primärkupfer bedarf, beläuft sich auf 62 GJ (Umweltbundesamt 2007). In 2014 wurden in Deutschland 350 Tausend Tonnen Primärkupfer hergestellt. Für die Produktion wurden insgesamt 800 GWh Strom benötigt, woraus sich ein Strombedarf von 1,1 MWh pro Tonne raffiniertem Kupfer ergibt.

Sekundäre Kupferproduktion bzw. Recycling macht weltweit ein Viertel an der Kupferproduktion aus. Rund 80 bis 90 % des historisch produzierten Kupfers sind bis heute im Umlauf. Dabei hat nur ein geringer Teil des Kupferschrotts einen Reinheitsgrad, der es erlaubt das Material einzuschmelzen und direkt weiterzuverarbeiten. Aus Altkupfer mit einem Gehalt von 85 % bis 99 % und Recyclingmaterial mit deutlich geringen Kupfergehalten wird über eine pyrometallurgische Behandlung mit anschließender Elektrolyse wieder Kathodenkupfer erzeugt. Der Einsatz von Strom fällt in vergleichbarer Größenordnung wie bei der Erzeugung von Kupferkathoden aus Kupferkonzentrat aus.

3.3 Produktionsprozess von Zink

Die Herstellung von Zink aus Erz erfolgt weltweit zu 95 % durch das RLE-Verfahren: Röstung, Laugung und Elektrolyse. Durch die Röstung wird die Zink-Schwefel-Verbindung zu Zinkoxid umgewandelt. In der Laugung wird das Zinkoxid in Schwefelsäure gelöst und von Verunreinigungen befreit. In der Elektrolyse erfolgt die Gewinnung von Zinkmetall durch den Einsatz von Strom. Im Jahr 2014 wurden in Deutschland rund 130 Tausend Tonnen Primärzink produziert. Beim dem Produktionsprozess wurden insgesamt 600 GWh Strom benötigt.

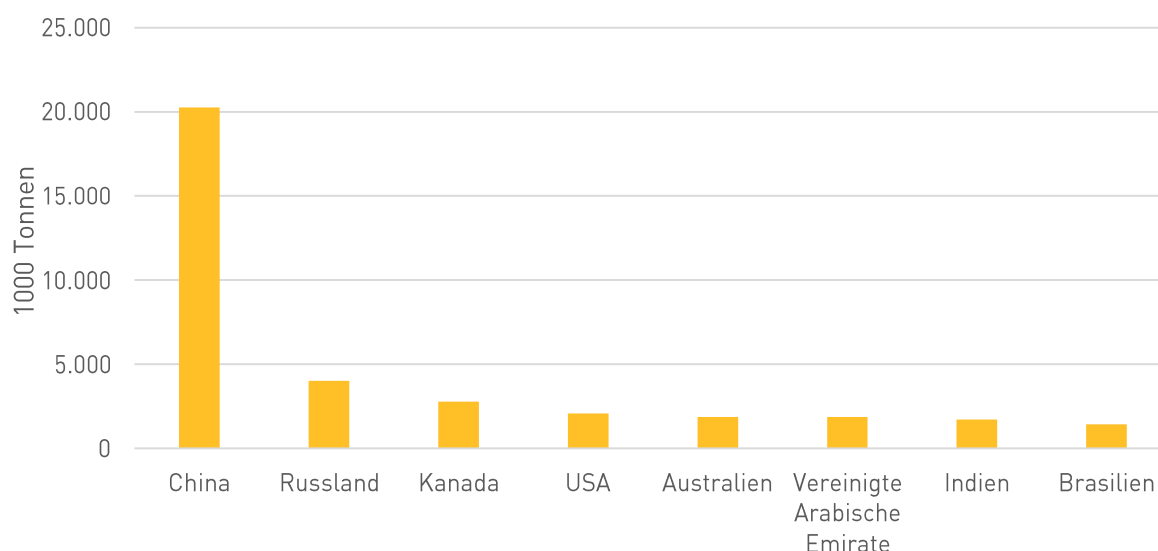
4 AP3: ANALYSE DER CO₂-INTENSITÄTEN DER WICHTIGSTEN IMPORTLÄNDER VON ALUMINIUM, KUPFER UND ZINK

Die CO₂-Intensität von Produktionsprozessen wird maßgeblich durch die CO₂-Intensität des zur Produktion eingesetzten Stroms beeinflusst. Die CO₂-Intensität des Stromerzeugungsmix ist dabei abhängig vom Kraftwerkspark, der sich zwischen den Importländern stark unterscheiden kann. Ziel dieses Arbeitspakets ist es daher zunächst die wesentlichen Produzenten- sowie Importländer von Aluminium, Kupfer und Zink zu identifizieren. Anschließend werden eine Analyse des Stromerzeugungsmix und der CO₂-Intensität der wichtigsten nicht dem EU ETS unterstehenden Importländer vorgenommen.

4.1 Aluminium

4.1.1 Produzentenländer

Die acht größten Produzentenländer von Primäraluminium in 2012 werden in Abbildung 1 dargestellt. Die Abbildung zeigt sehr deutlich, dass in China mit mehr als 20 Millionen Tonnen in 2012 das meiste Primäraluminium produziert wurde. Die Produktion der anderen dargestellten Länder reichte von 4 Millionen Tonnen in Russland bis zu knapp 1,5 Millionen Tonnen in Brasilien. Insgesamt wurden in 2012 weltweit etwa 46 Millionen Tonnen Primäraluminium produziert, die hier aufgeführten Länder kommen somit für 78 Prozent der Primäraluminiumproduktion weltweit auf.

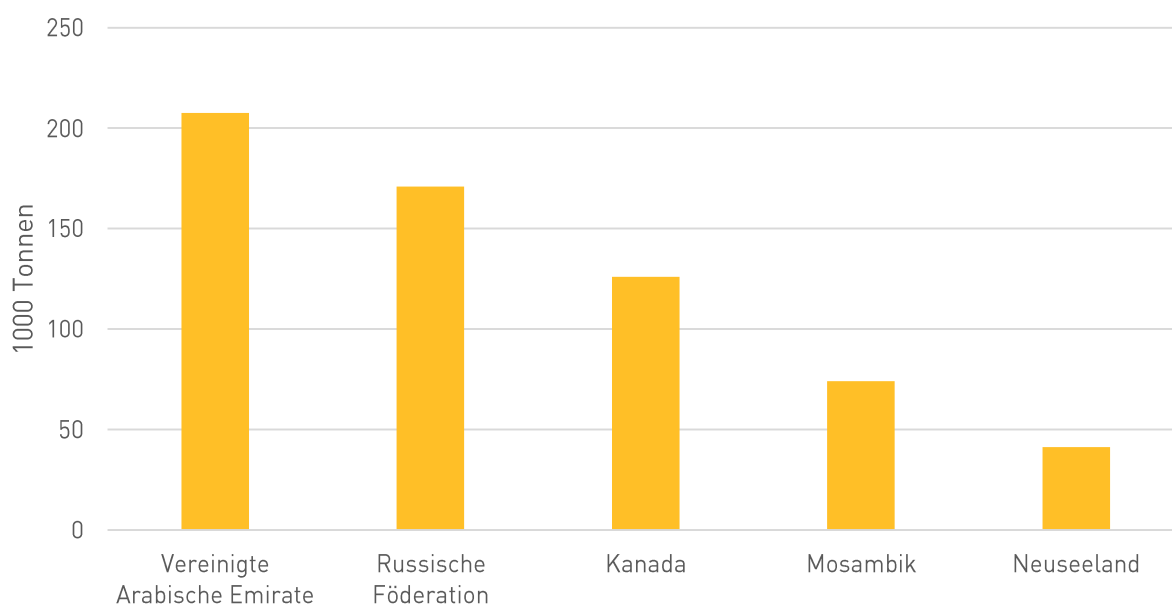


Quelle: World Bureau of Metal Statistics (2015)

ABBILDUNG 1 PRIMÄRALUMINIUMPRODUKTION IN 2012

4.1.2 Importländer

Ziel dieser Kurzstudie ist die Analyse und Quantifizierung von Carbon Leakage durch die Importe von Aluminium, Kupfer und Zink. Für die Analyse sind daher nur diejenigen Importe relevant, die aus Ländern stammen, die nicht im EU ETS erfasst sind. Importe aus nicht EU ETS-Ländern repräsentieren ca. 20 Prozent der gesamten Importe Deutschlands. Die größten nicht-EU ETS Importländer sind in Abbildung 2 dargestellt. Es handelt sich um unlegiertes sowie legiertes Aluminium¹. Um die indirekten Importe Deutschlands über die Niederlande, das Vereinigte Königreich, Österreich und die Schweiz zu berücksichtigen, wurden die Importmengen aus diesen Ländern anhand eines Schlüssels auf ihre Herkunftsländer verteilt. Dazu wurde die Annahme getroffen, dass Deutschland die Durchschnittsimporte dieser „Zwischenländer“ importiert. Darüber hinaus wurde anhand der Produktionsmengen von Primär- bzw. Sekundäraluminium der Importländer der Anteil von Primäraluminiumimporten an den gesamten Aluminiumimporten berechnet.



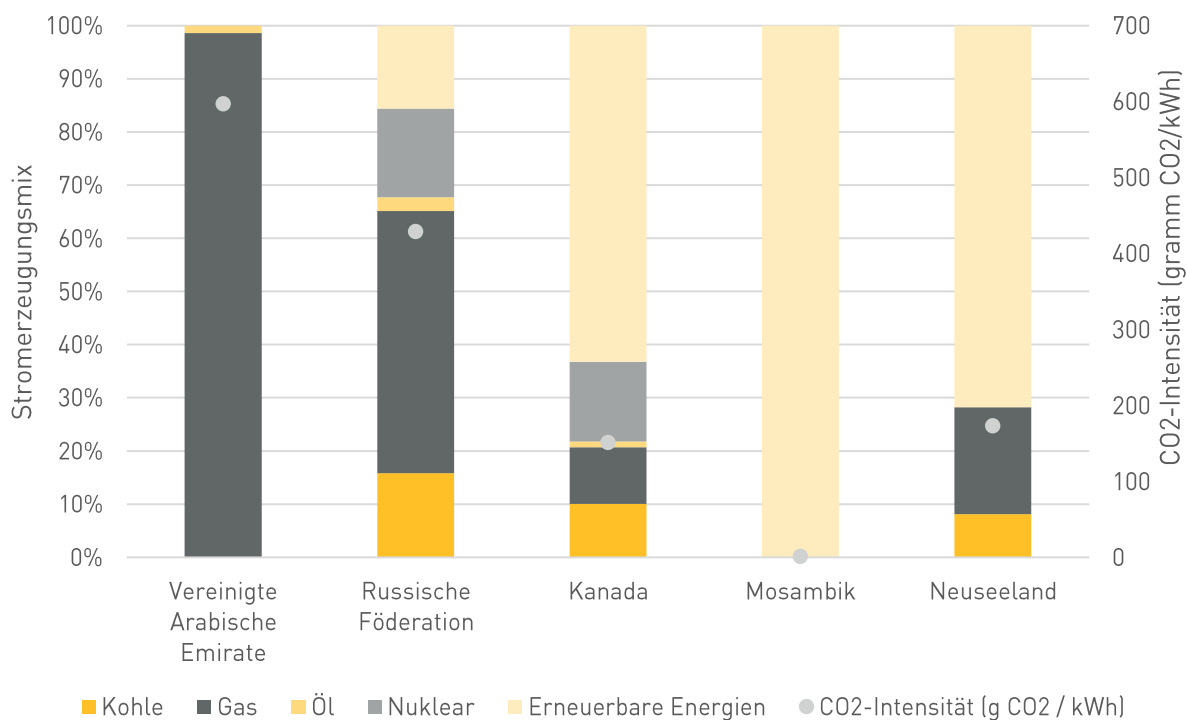
Quelle: Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e.V. (2015)

ABBILDUNG 2 DEUTSCHE IMPORTE VON PRIMÄRALUMINIUM AUS LÄNDERN AUßERHALB DES EU ETS IN 2012

Betrachtet man lediglich die nicht EU ETS-Länder importierte Deutschland in 2012 das meiste Aluminium aus den Vereinigten Arabischen Emiraten mit einer Summe von mehr als 200 Tausend Tonnen. Aus der Russischen Föderation, dem zweitgrößten Importland, importierte Deutschland in 2012 etwas mehr als 170 Tausend Tonnen Aluminium. Die in der Abbildung dargestellten Länder kommen für etwa 90 Prozent der Importe aus nicht EU ETS-Ländern auf.

¹ Dies entspricht den internationalen Warennummern 76011000, 76012010, 76012091 und 76012099.

Abbildung 3 stellt den Stromerzeugungsmix¹ und die daraus resultierende CO₂-Intensität der Stromerzeugung² für die relevanten Importländer dar. Dabei wird der Erzeugungsmix auf der Primär- und die CO₂-Intensität auf der Sekundärachse dargestellt.



Quelle: Stromerzeugungsmix: IEA (2014a), CO₂-Intensität: IEA (2014b)

ABBILDUNG 3 STROMERZEUGUNGSMIX UND CO₂-INTENSITÄT 2012

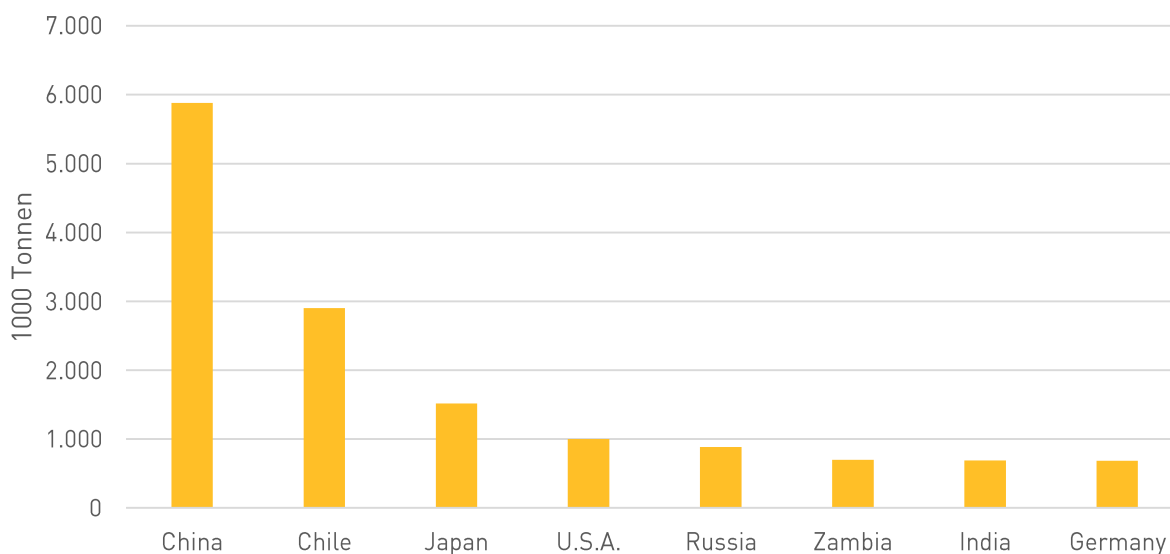
4.2 Kupfer

4.2.1 Produzentenländer

Die acht größten Produzentenländer von raffiniertem Kupfer sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Weltproduktion von Kupfer in 2012 belief sich auf 20 Millionen Tonnen. Das größte Produzentenland von Kupfer war China mit knapp 6 Millionen Tonnen. Die zweit- und drittgrößten Kupferproduzenten waren Chile und Japan mit 3 bzw. 1,5 Millionen Tonnen Kupfer.

¹ Bei dem Stromerzeugungsmix handelt es sich um die Bruttostromerzeugung.

² Die dargestellte CO₂-Intensität entspricht den CO₂-Emissionen fossiler Brennstoffe für die Stromerzeugung geteilt durch die gesamte Stromerzeugung. Um die Emissionen von KWK-Kraftwerken der Strom- bzw. Wärmeproduktion zuzuordnen, muss eine Annahme zu der Verteilung der Inputs auf die Strom- und Wärmeproduktion getroffen werden. Da Wärmeproduktion üblicherweise eine höhere Effizienz als Stromerzeugung aufweist, überschätzt eine proportionale Aufteilung der Inputs die Effizienz der Stromerzeugung und unterschätzt somit die CO₂-Intensität der Stromerzeugung. Die IEA verfolgt daher den sogenannten „fixed heat efficiency approach“. Dieser Ansatz fixiert die Effizienz der Wärmeproduktion auf 90 Prozent und berechnet so die Inputs der Wärmeproduktion. Die Inputs der Stromerzeugung werden schließlich als Residuen des gesamten Inputs berechnet.



Quelle: World Bureau of Metal Statistics (2015)

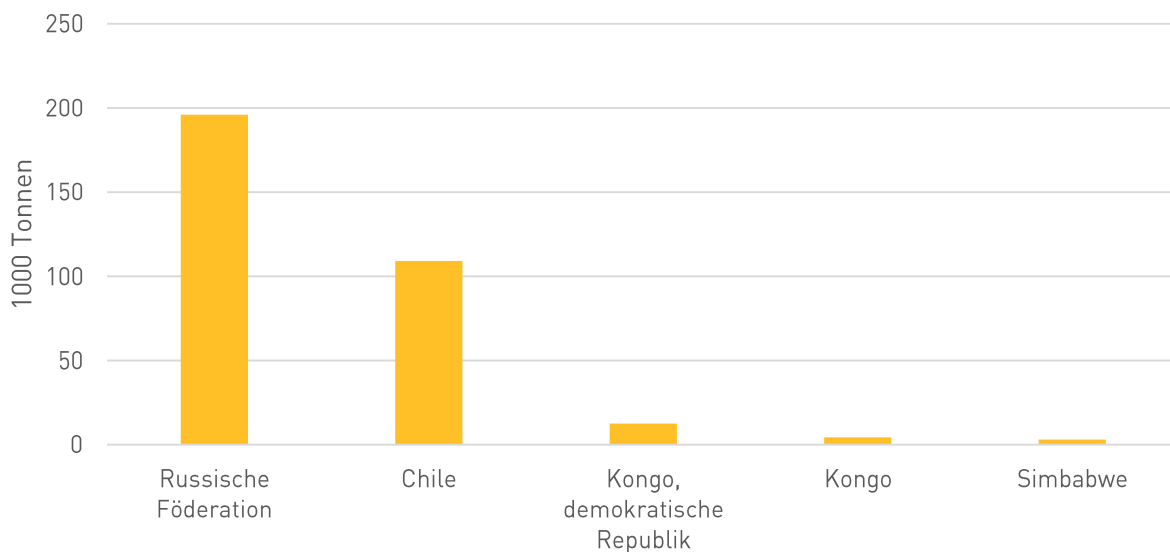
ABBILDUNG 4 KUPFERPRODUKTION IN 2012

4.2.2 Importländer

In 2012 importierte Deutschland insgesamt 744 Tausend Tonnen raffiniertes Kupfer. Abbildung 5 zeigt diejenigen Länder außerhalb des EU ETS, von denen Deutschland in 2012 die größten Mengen an raffiniertem Kupfer importiert hat. Analog zu der Berechnung der Aluminiumimporte wurden die indirekten Importe aus dem Vereinigten Königreich berücksichtigt und auf die Herkunftsländer umgelegt. Da die Herkunftsländer von Sekundärkupfer nicht eindeutig bestimmt werden können, wird die Summe aus Primär- und Sekundärkupfer betrachtet.¹ Bei den Werten handelt es sich sowohl um legiertes als auch unlegiertes Kupfer.² Es ist zu erkennen, dass insbesondere die Russische Föderation und Chile in 2012 raffiniertes Kupfer nach Deutschland exportiert haben. Insgesamt stammten in 2012 45 Prozent der Importe Deutschlands aus Ländern, die nicht im EU ETS erfasst sind. Die hier dargestellten Importmengen repräsentieren etwa 95 Prozent der Importe aus Ländern außerhalb des EU ETS.

¹ Die Ergebnisse sind nicht sensitiv in Bezug auf diese Annahme, da die Energieintensitäten für Primär- und Sekundärkupfer sehr ähnlich sind.

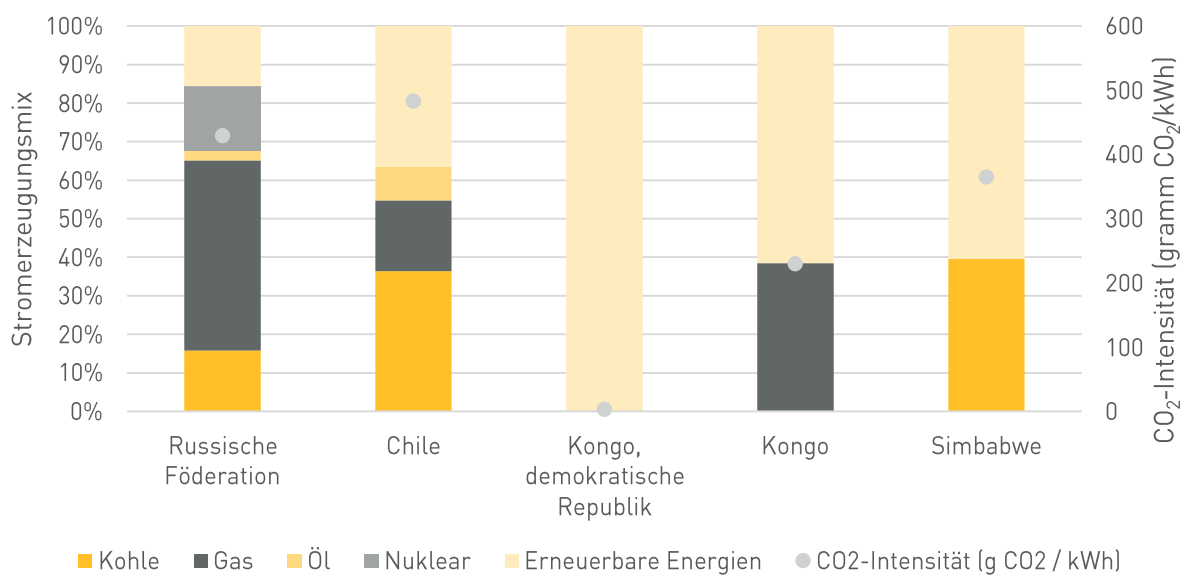
² Dies entspricht den internationalen Warennummern 74031100, 74031200, 74031300, 74031900, 74032100, 74032200, 74032900 und 74050000.



Quelle: Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e.V. (2015)

ABBILDUNG 5 DEUTSCHE IMPORTE VON RAFFINIERTEM KUPFER AUS LÄNDERN AUßERHALB DES EU ETS IN 2012

Der Stromerzeugungsmix¹ sowie die dazugehörige CO₂-Intensität der Stromerzeugung für die wichtigsten Importländer ist in Abbildung 6 dargestellt. Erneut sind der Stromerzeugungsmix auf der Primär- und die CO₂-Intensität auf der Sekundärachse dargestellt.



Quelle: Stromerzeugungsmix: IEA (2014a), CO₂-Intensität: IEA (2014b)

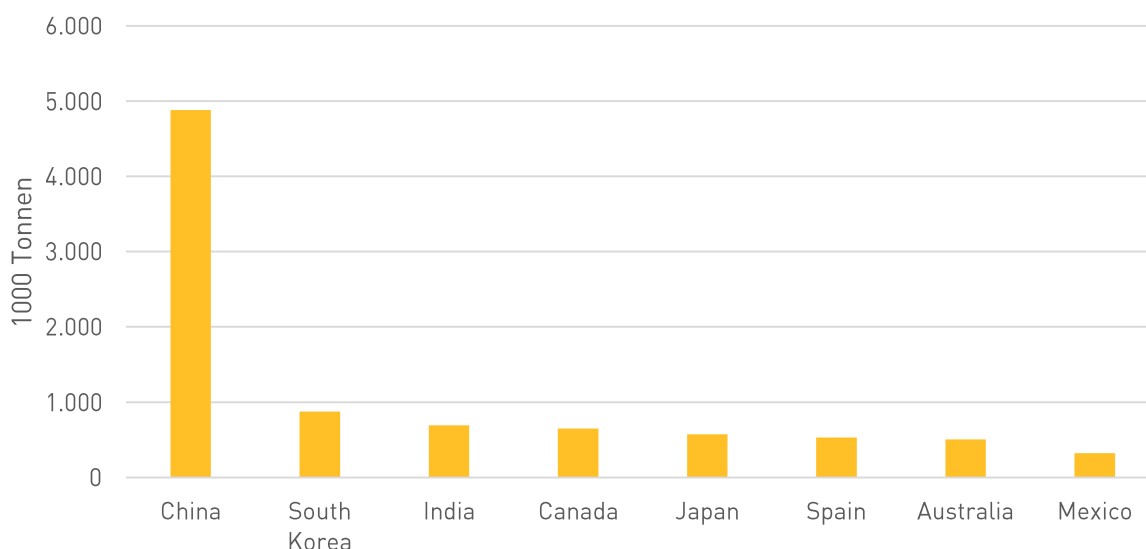
ABBILDUNG 6 STROMERZEUGUNGSMIX UND CO₂-INTENSITÄT 2012

¹ Bei dem Stromerzeugungsmix handelt es sich um die Bruttostromerzeugung.

4.3 Zink

4.3.1 Produzenteländer

Abbildung 7 zeigt die acht größten Produzenteländer von Raffinadezink in 2012. Insgesamt wurden in 2012 weltweit 12,5 Millionen Tonnen raffinierter Zink produziert, davon knapp 5 Millionen Tonnen in China. Die anderen dargestellten Länder kommen jeweils für Mengen zwischen 300 und 900 Tausend Tonnen auf.



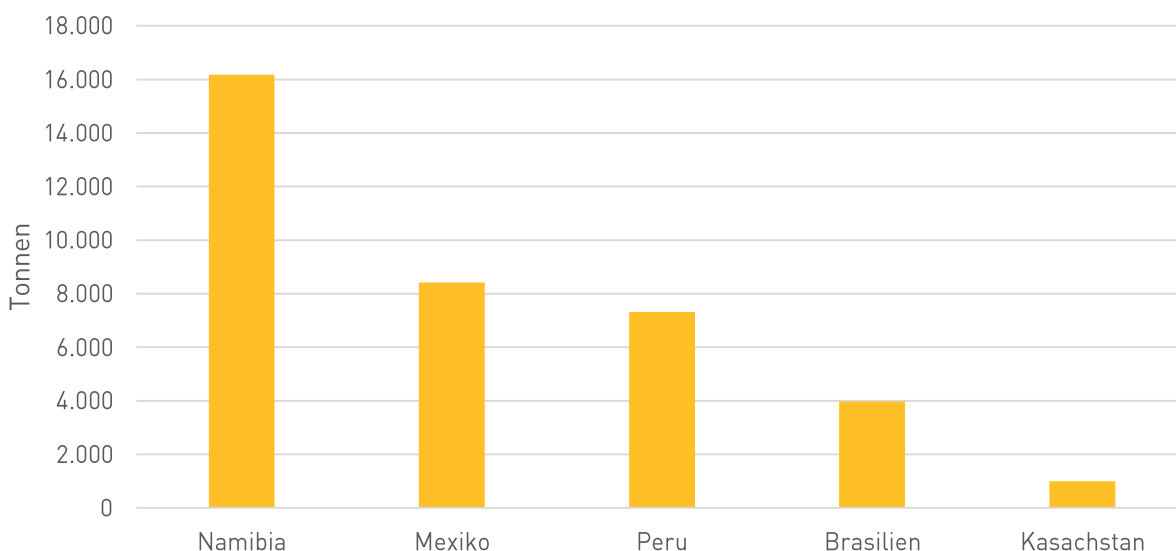
Quelle: World Bureau of Metal Statistics (2015)

ABBILDUNG 7 PRDOUKTION VON RAFFINADEZINK IN 2012

4.3.2 Importländer

Insgesamt importierte Deutschland in 2012 etwas mehr als 430 Tausend Tonnen Raffinadezink. Die meisten Länder, die in 2012 Zink nach Deutschland exportierten sind im EU ETS erfasst und daher nicht relevant für die Analyse von Carbon Leakage. Lediglich neun Prozent der deutschen Importe stammen aus Ländern, die nicht Teil des EU ETS sind. Nicht EU ETS-Länder, die Zink in 2012 nach Deutschland exportierten, sind in Abbildung 8 dargestellt. Erneut wurden indirekte Importe aus Luxemburg berücksichtigt sowie die Importe um den Produktionsanteil von Primärzink bereinigt. Es handelt sich um unlegiertes sowie legiertes Zink¹. Die größte Menge stammt dabei aus Namibia mit etwas mehr als 16 Tausend Tonnen. Die in der Abbildung dargestellten Importe repräsentieren ca. 97 Prozent der Importe aus nicht EU ETS-Ländern.

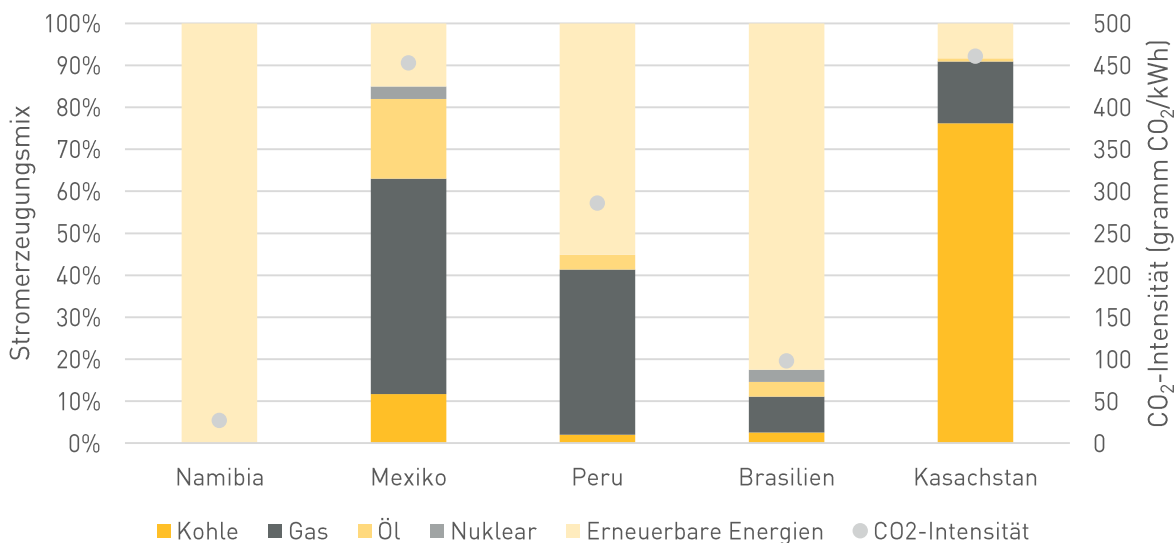
¹ Dies entspricht den internationalen Warennummern 79011100, 79011210, 79011230, 79011290 und 79012000.



Quelle: Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e.V. (2015)

ABBILDUNG 8 DEUTSCHE IMPORTE VON PRIMÄRZINK AUS LÄNDERN AUßERHALB DES EU ETS IN 2012

Abbildung 9 stellt den Stromerzeugungsmix¹ und die CO₂-Intensität der Stromerzeugung für jene Länder dar, die in 2012 die größten Mengen Primärzink nach Deutschland exportiert haben.



Quelle: Stromerzeugungsmix: IEA (2014a), CO₂-Intensität: IEA (2014b)

ABBILDUNG 9 STROMERZEUGUNGSMIX UND CO₂-INTENSITÄT 2012

¹ Bei dem Stromerzeugungsmix handelt es sich um die Bruttostromerzeugung.

5 AP4: BEWERTUNG DER CO₂-INTENSITÄT VON METALLIMPORTEN

Nachdem in Arbeitspaket 3 die Produktions- und Importländer von Primäraluminium, Primär- und Sekundärkupfer und Primärzink identifiziert sowie der Stromerzeugungsmix und die CO₂-Intensität der Stromerzeugung dieser Länder analysiert wurden, soll in diesem Arbeitspaket die CO₂-Intensität der deutschen Importe bestimmt werden.

5.1 Aluminium

Die CO₂-Intensität der Importe wird bestimmt durch den Strom- und Brennstoffbedarf des Produktionsprozesses, die CO₂-Intensität der Strom- sowie Prozesswärmeerzeugung des Herkunftslands sowie die Prozessemissionen. Informationen zu Stromintensität und Brennstoffbedarf des Produktionsprozesses von Primäraluminium sind in Tabelle 1 dargestellt.

TABELLE 1 ANGENOMMEN DATEN ZUM PRODUKTIONSPROZESS VON PRIMÄRALUMINIUM

Stromintensität (MWh/t _{AL})	14,4
Brennstoffbedarf (GJ/t _{AL})	5,2

Quelle: Stromintensität: WVM, Brennstoffbedarf: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (2004)

Um die CO₂-Intensität der deutschen Importe zu bestimmen, müssen sowohl die indirekten Emissionen berücksichtigt werden, die durch den Stromverbrauch verursacht werden, als auch die direkten Emissionen, die während des Produktionsprozesses durch den Brennstoffverbrauch entstehen sowie die Prozessemissionen. Um die indirekten Emissionen, die aufgrund des stromintensiven Produktionsprozesses auftreten, zu bestimmen, wird zunächst der Stromverbrauch berechnet, der in den identifizierten Importländern zur Produktion der Exporte nach Deutschland anfällt, um diesen in einem nächsten Schritt mit der jeweiligen CO₂-Intensität der Stromerzeugung des Landes zu bewerten. Daraus ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten indirekten Emissionen durch den Stromverbrauch.

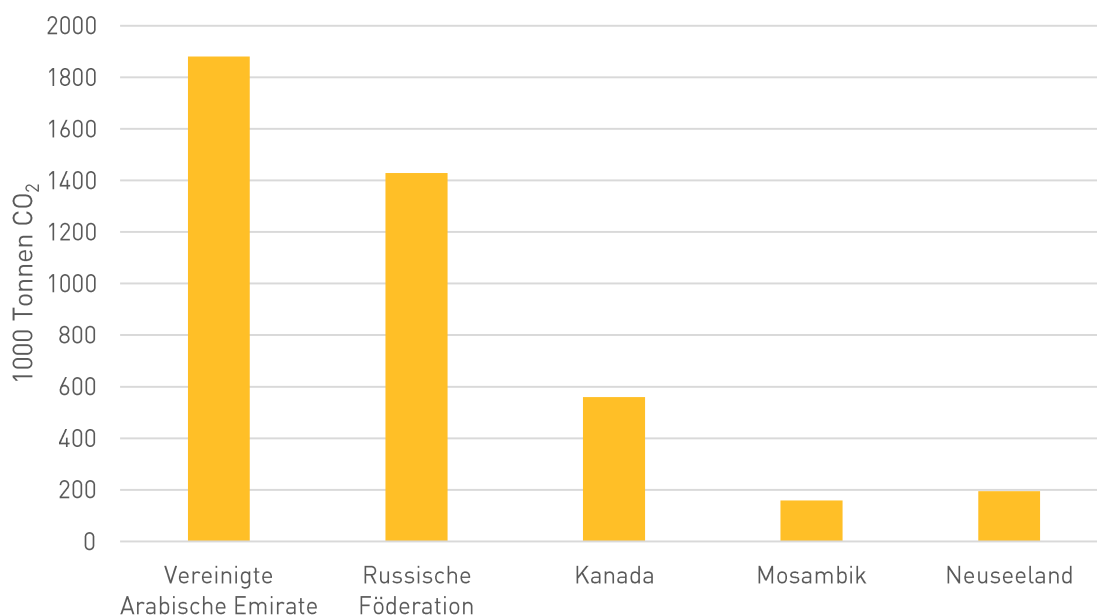
Die direkten Emissionen, die aufgrund des Bedarfs an Prozesswärme auftreten, werden maßgeblich beeinflusst durch die Art des Brennstoffes, der hierfür verwendet wird. Da in den Herkunftsländern verschiedene Brennstoffe zur Generierung von Prozesswärme verwendet werden, wird eine CO₂-Intensität der Wärmeerzeugung berechnet, die auf dem Brennstoffverbrauch der Länder basiert (IEA 2014a). Im nächsten Schritt wird der Brennstoffverbrauch, der in den Importländern durch die Produktion der Primäraluminiumexporte nach Deutschland entsteht, mit dieser CO₂-Intensität der Wärmeerzeugung bewertet. Die resultierenden direkten Emissionen durch den Brennstoffverbrauch sind ebenfalls in Tabelle 2 dargestellt.

TABELLE 2 EMISSIONEN DURCH PRIMÄRALUMINIUMERZEUGUNG IN 2012

Importland	Indirekte Emissionen durch Stromverbrauch (1000t CO ₂)	Direkte Emissionen durch Brennstoffverbrauch (1000t CO ₂)	Prozessemissionen (1000t CO ₂)
Vereinigte Arabische Emirate	1.438	61	382
Russische Föderation	1.057	59	314
Kanada	274	53	232
Mosambik	1	22	136
Neuseeland	103	16	76

Quelle: eigene Berechnungen

Die gesamten Emissionen, die durch die Produktion deutscher Importe entstehen, ergeben sich durch die Summe der indirekten Emissionen durch den Strombedarf zuzüglich der direkten Emissionen, die bei der Herstellung von Primäraluminium durch den Brennstoffeinsatz entstehen, sowie der direkten Prozessemissionen. Als konservative Annahme für die Berechnung der Prozessemissionen wurden die Benchmark-Werte der Anoden- und Primäraluminiumproduktion für die kostenfreie Zuteilung im EU ETS verwendet (Beschluss der Kommission vom 27. April 2011). Diese gesamten Emissionen aufgeschlüsselt nach Herkunftsland sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Importe aus den Vereinigten Arabischen Emiraten induzieren Emissionen in Höhe von etwas weniger als 1,9 Millionen Tonnen, während in der Russischen Föderation und Kanada 1,4 Millionen bzw. 600 Tausend Tonnen CO₂ durch die Produktion der Exporte von Primäraluminium nach Deutschland emittiert werden. Während die Importe aus den Vereinigten Arabischen Emiraten und der Russischen Föderation eine relativ hohe CO₂-Intensität von etwa neun bzw. acht Tonnen CO₂ pro Tonne Primäraluminium aufweisen, liegt diese bei Kanada bei vier, in Mosambik lediglich bei zwei Tonnen CO₂ pro Tonne Primäraluminium. Insgesamt werden durch die Importe der hier dargestellten Länder 4,2 Millionen Tonnen CO₂ verursacht. Die Importe dieser fünf Länder umfassen etwa 90 Prozent der nicht-EU ETS-Importe. Rechnet man diese Menge für die nicht betrachteten 10 Prozent hoch, indem man eine durchschnittliche CO₂ Intensität annimmt, ergeben sich CO₂ Emissionen für die Importe von Primäraluminium von 4,5 Millionen Tonnen CO₂.



ABILDUNG 10 EMISSIONEN DER PRODUKTION DEUTSCHER PRIMÄRALUMINIUMIMPORTS IN 2012

Quelle: eigene Berechnungen

5.2 Kupfer

Im Folgenden werden die Emissionen bestimmt, die durch die deutschen Importe von Primärkupfer in den Herkunftsländern verursacht werden. Da die Importe von Sekundärkupfer nicht eindeutig bestimmt werden können, wird im Folgenden die Annahme getroffen, dass es sich bei den Kupferimporten ausschließlich um Primärkupfer handelt. Eine Variation des Anteils von Primär- bzw. Sekundärkupfer hat gezeigt, dass die Ergebnisse nicht sensitiv in Bezug auf diese Annahme sind. Die den Berechnungen zugrundeliegenden Daten zu dem Produktionsprozess von Primärkupfer sind in Tabelle 3 dargestellt.

TABELLE 3 ANGENOMMEN DATEN ZUM PRODUKTIONSPROZESS VON PRIMÄRKUPFER

Stromintensität (MWh/t _{cu})	1,13
Brennstoffbedarf (GJ/t _{cu})	4

Quelle: WVM

Die Emissionen der Primärkupfererzeugung werden maßgeblich beeinflusst durch den Strom- und Brennstoffverbrauch des Produktionsprozesses sowie durch die CO₂-Intensität des Herkunftslands. Die Emissionen des Strom- sowie Brennstoffverbrauchs werden in Tabelle 4 dargestellt.

TABELLE 4 EMISSIONEN DURCH PRIMÄRKUPFERERZEUGUNG IN 2012

Importland	Indirekte Emissionen durch Stromverbrauch (1000t CO ₂)	Direkte Emissionen durch Brennstoffverbrauch (1000t CO ₂)	Prozessemissionen (1000t CO ₂)
Russische Föderation	95	51	4
Chile	60	34	2
Kongo, demokratische Republik	0	3	0,3
Kongo	1	1	0,1
Simbabwe	1	1	0,1

Quelle: eigene Berechnungen

Neben den Emissionen aufgrund des Strom- und Brennstoffbedarfs kommt es zudem zu Prozessemissionen. Die Summe aus indirekten und direkten Emissionen stellt die gesamte Menge an Emissionen dar, die durch die Importe Deutschlands in den Produktionsländern anfallen. Diese werden in Abbildung 11 dargestellt. In der Russischen Föderation und Chile entstehen durch die Produktion der Kupferexporte nach Deutschland 150 bzw. knapp 100 Tausend Tonnen CO₂. Die Importe der weiteren Länder induzieren jeweils weniger als 3 Tausend Tonnen CO₂. Die Importe aus der Russischen Föderation, Chile und Simbabwe weisen eine ähnlich hohe CO₂-Intensität von 0,8 Tonnen CO₂ pro Tonne Primärkupfer auf. Bei der demokratischen Republik Kongo und Kongo liegt diese lediglich bei 0,3 bzw. 0,5. Insgesamt induzieren die Importe der betrachteten Herkunftsländer Emissionen in Höhe von 255 Tausend Tonnen CO₂. Die Importe dieser Länder repräsentieren ca. 95 Prozent der deutschen Importe aus Ländern außerhalb des EU ETS. Eine Hochrechnung der Emissionen für die verbliebenen 5 Prozent der Importe unter der Annahme einer durchschnittlichen CO₂-Intensität ergibt eine Gesamtmenge von 261 Tausend Tonnen CO₂ für die deutschen Importe von Primärkupfer in 2012.

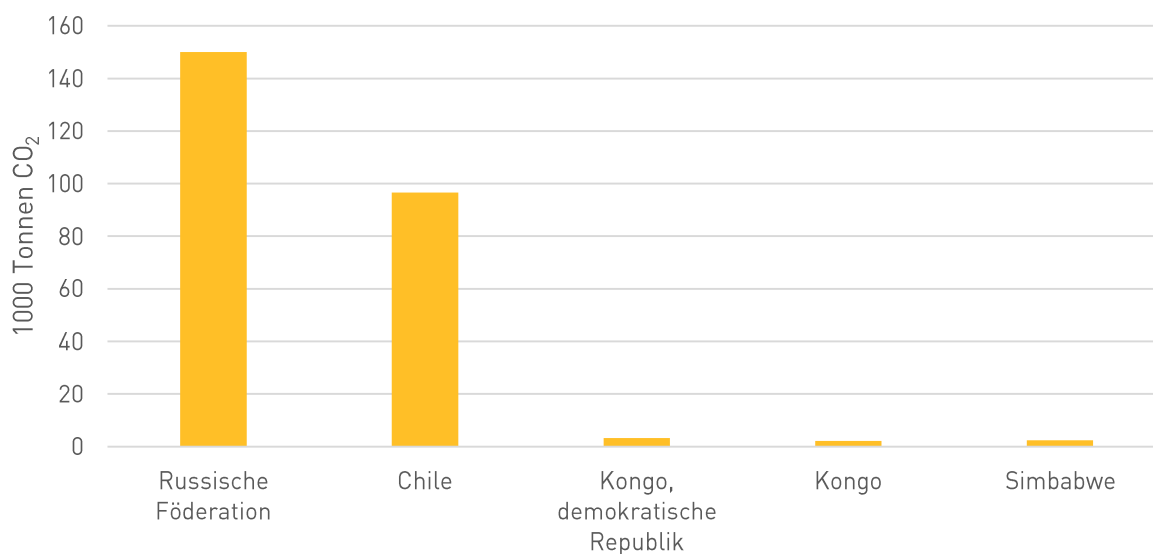


ABBILDUNG 11 EMISSIONEN DER PRODUKTION DEUTSCHER PRIMÄRKUPFERIMPORTE IN 2012

Quelle: eigene Berechnungen

5.3 Zink

Nachdem die CO₂-Intensitäten der Importe von Primäraluminium und -kupfer bestimmt wurden, werden in diesem Abschnitt die Emissionen berechnet, die bei der Produktion der Primärzinkimporte Deutschlands in den Herkunftsländern entstehen. Die Produktion von Primärzink bedarf lediglich Strom, es wird kein Brennstoff zur Prozesswärmegenerierung benötigt. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Annahmen zur Stromintensität des Produktionsprozesses von Primärzink sind in Tabelle 5 dargestellt.

TABELLE 5 ANGENOMMENEN DATEN ZUM PRODUKTIONSPROZESS VON PRIMÄRZINK

Stromintensität (MWh/t _{zink})	4,6
--	-----

Quelle: WVM

Da bei dem Produktionsprozess von Primärzink keine direkten Emissionen anfallen, stellen die indirekten Emissionen, die durch den Stromverbrauch während der Produktion auftreten, die insgesamt anfallenden Emissionen dar. Diese werden in Abbildung 12 dargestellt. Obwohl die größte Menge deutscher Primärzinkimporte aus Namibia stammen, induzieren diese lediglich Emissionen in Höhe von 2 Tausend Tonnen CO₂. Dies ist begründet in der geringen CO₂-Intensität der Stromerzeugung in Namibia von 27 g CO₂/kWh. Importe aus Mexiko und Peru weisen dahingegen eine CO₂-Intensität von 2 bzw. 1,3 Tonnen CO₂ pro Tonne Primärzink auf und verursachen somit Emissionen in Höhe von 18 bzw. 10 Tausend Tonnen CO₂. Die in der Abbildung dargestellten Länder emittieren insgesamt 33 Tausend Tonnen CO₂ durch die Produktion der Primärzinkexporte nach Deutschland. Die betrachteten Importe repräsentieren etwa 97 Prozent der Importe Deutschlands aus nicht-EU ETS-Ländern. Rechnet man die Emissionen für die nicht betrachteten 3 Prozent der Importe hoch unter der Annahme durchschnittlicher CO₂-Intensitäten, ergibt sich eine Gesamtsumme von 34 Tausend Tonnen CO₂ für die deutschen Primärzinkimporte in 2012.

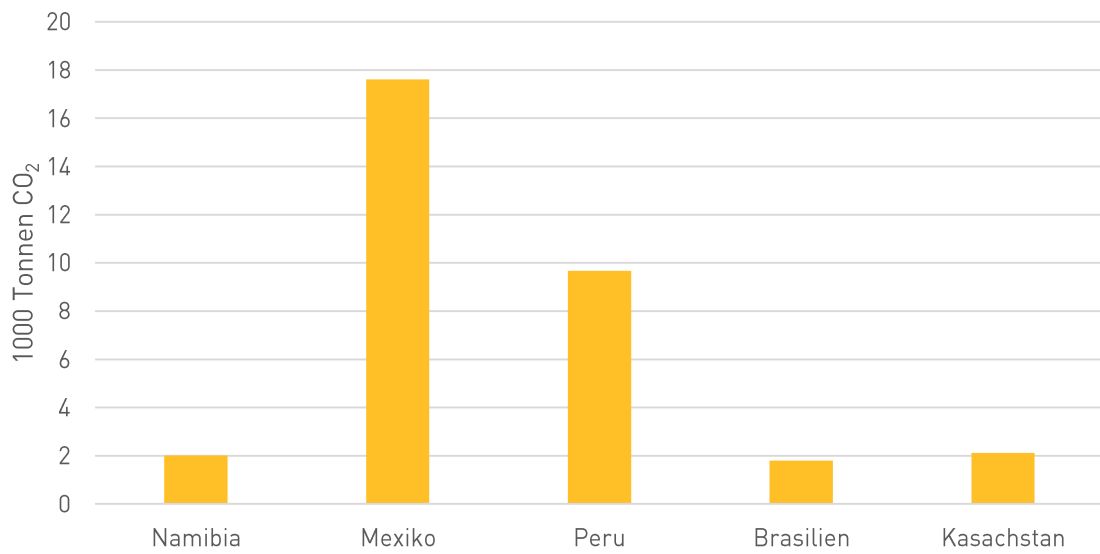


ABBILDUNG 12 EMISSIONEN DER PRODUKTION DEUTSCHER PRIMÄRZINKIMPORTE IN 2012

Quelle: eigene Berechnungen

6 FAZIT

Der europäische CO₂-Preis führt zu gesteigerten direkten und indirekten Herstellungskosten von Aluminium, Kupfer und Zink innerhalb der EU, da die Produktionsprozesse der Metalle durch eine sehr hohe Energieintensität charakterisiert sind. Diese Kostensteigerung kann zu erhöhten Metallimporten aus dem nicht-europäischen Ausland und somit zu Carbon Leakage führen. Ziel dieser Studie war die Quantifizierung von Carbon Leakage für Aluminium, Kupfer und Zink. Die Höhe von Carbon Leakage wird dabei maßgeblich beeinflusst durch die Importmengen, die Energie- und Emissionsintensität des Produktionsprozesses sowie die CO₂-Intensität der Strom- und Wärmeerzeugung in den Herkunftsländern.

Die Ergebnisse zeigen, dass in 2012 durch die Produktion der deutschen Importe von Primäraluminium in den wichtigsten, in der Studie betrachteten Herkunftsländern knapp 4 Millionen Tonnen CO₂ emittiert wurden, während durch die Importe von Primärkupfer 255 Tausend Tonnen und durch die Importe von Primärzink 33 Tonnen CO₂ in den Produktionsländern entstanden sind. Bei diesen Emissionsmengen handelt es sich lediglich um jene Emissionen, die in Ländern außerhalb des EU ETS auftreten, da diese nicht im Rahmen des EU ETS internalisiert sind. Die Zahlen verdeutlichen, dass insbesondere die Importe von Primäraluminium für Carbon Leakage relevant sind. Dies ist zum einen begründet in den großen Importmengen von Primäraluminium im Vergleich zu Kupfer und Zink. Die Importe von Primäraluminium aus Ländern außerhalb des EU ETS sind mengenmäßig (auf Tonnenbasis) doppelt so hoch wie die Importe von Primärkupfer und 18 Mal so groß wie die Zinkimporte Deutschlands aus Ländern außerhalb des EU ETS. Des Weiteren weist die Aluminiumproduktion eine deutlich höhere Stromintensität auf als die Produktionsprozesse von Kupfer und Zink. Während die Produktion einer Tonne Primäraluminium 14 MWh bedarf, liegt die Stromintensität bei Primärkupfer und -zink lediglich bei 1 bzw. 5 MWh pro Tonne. Diese hohe Stromintensität des Produktionsprozesses von Primäraluminium führt zu einer CO₂-Intensität der Importe in den betrachteten Herkunftsländern zwischen vier und neun Tonnen CO₂ pro Tonne Primäraluminium. Bei Primärkupfer liegt die CO₂-Intensität der Importe hingegen lediglich zwischen 0,3 und 0,9 Tonnen CO₂ pro Tonne Primärkupfer, bei einer Tonne Primärzink bei 0,1 bis 2,1 Tonnen CO₂.

Insgesamt kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass die Importe von Primäraluminium, Primärkupfer und Primärzink in 2012 Emissionen in Höhe von 4,8 Millionen Tonnen in Produktionsländern außerhalb des EU ETS induziert haben.

7 LITERATURVERZEICHNIS

Alvarado, S., Maldonado, P., & Jaques, I. (1999). Energy and Environmental Implications of Copper Production. *Energy*, 24(4), 307-316.

Dienhart, M. (2003). Ganzheitliche Bilanzierung der Energiebereitstellung für die Aluminiumherstellung (Doctoral dissertation, Bibliothek der RWTH Aachen).

Ecofys (2009). Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012. Sector report for the aluminium industry.

Europäische Kommission (2013). Das Emissionshandelssystem der EU (EU ETS).

Europäische Union (2010). Beschluss der Kommission vom 24. Dezember 2009 zur Festlegung eines Verzeichnisses der Sektoren und Teilsektoren, von denen angenommen wird, dass sie einem erheblichen Risiko einer Verlagerung von CO₂-Emissionen ausgesetzt sind, gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Aktenzeichen K(2009) 10251.

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (2004). Werkstoffeffizienz: Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Ein Projekt für das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Förderkennzeichen 0327313A.

Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e.V. (2015): Daten bereitgestellt durch Herrn Eisenberg.

IEA (2014a): Electricity Information, IEA Statistics.

IEA (2014b): CO₂ emissions from fuel combustion, IEA Statistics.

Langner, B. E. (2013). Kupfer: woher und wohin. *Nachrichten aus der Chemie*, 61(12), 1212-1215.

Lanz, B., Rutherford, T. F., & Tilton, J. E. (2013). Subglobal climate agreements and energy-intensive activities: an evaluation of carbon leakage in the copper industry. *The World Economy*, 36(3), 254-279.

Quinkertz, R. (2002). Optimierung der Energienutzung bei der Aluminiumherstellung (Doctoral Dissertation, Bibliothek der RWTH Aachen).

Reinaud, J. (2009). Trade, Competitiveness and Carbon Leakage: Challenges and Opportunities. *Energy, Environment and Development Programme Paper*: 09/01.

Reinaud, J. (2008). Climate Policy and Carbon Leakage: Impacts of the European Emissions Trading Scheme on Aluminium. *IEA Information Paper*.

Sartor, O. (2012). Carbon Leakage in the Primary Aluminium Sector: What evidence after 6,5 years of the EU ETS? *CDC Climat Research Working Paper N° 2012-12*.

Umweltbundesamt (2007). Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Vewertung gefährlicher Abfälle. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 20235310.

World Bureau of Metal Statistics (2015): World Metal Statistics, Volume 68 Number 8, 19. August 2015, World Bureau of Metal Statistics, Ware, Großbritannien.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Primäraluminiumproduktion in 2012	7
Abbildung 2 Deutsche Importe von Primäraluminium aus Ländern außerhalb des EU ETS in 2012.....	8
Abbildung 3 Stromerzeugungsmix und CO ₂ -Intensität 2012.....	9
Abbildung 4 Kupferproduktion in 2012.....	10
Abbildung 5 Deutsche Importe von raffiniertem Kupfer aus Ländern außerhalb des EU ETS in 2012	11
Abbildung 6 Stromerzeugungsmix und CO ₂ -Intensität 2012.....	11
Abbildung 7 Prdouktion von Raffinadezink in 2012	12
Abbildung 8 Deutsche Importe von Primärzink aus Ländern außerhalb des EU ETS in 2012.....	13
Abbildung 9 Stromerzeugungsmix und CO ₂ -Intensität 2012.....	13
Abbildung 10 Emissionen der Produktion deutscher Primäraluminiumimporte in 2012	16
Abbildung 11 Emissionen der Produktion deutscher Primärkupferimporte in 2012	18
Abbildung 12 Emissionen der Produktion deutscher Primärzinkimporte in 2012	19

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Angenommen Daten zum Produktionsprozess von Primäraluminium.....	14
Tabelle 2 Emissionen durch Primäraluminiumerzeugung in 2012	15
Tabelle 3 Angenommen Daten zum Produktionsprozess von Primärkupfer.....	16
Tabelle 4 Emissionen durch Primärkupfererzeugung in 2012	17
Tabelle 5 Angenommen Daten zum Produktionsprozess von Primärzink.....	18