

Rohstoff- Energie- und CO₂-Einsparungen durch das Recycling von Sicherungseinsätzen

von Dipl.-Ing. Götz Bräuninger

Einführung

Der gemeinnützige Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen e.V. hat sich die Abkehr von einer gedankenlosen Wegwerfgesellschaft hin zu einer nachhaltigen Wiederverwertung wertvoller Rohstoffe aus Sicherungseinsätzen zum Ziel gesetzt. Die Schonung von endlichen Ressourcen und ein aktiver Umweltschutz sind, zusammen mit der Förderung von Wissenschaft und Lehre, die tragenden Anliegen des NH/HH-Recyclingvereins.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde eine Infrastruktur zum Sammeln und Aufbereiten von Sicherungseinsätzen errichtet. Bei der Produktion von Metallen wie Kupfer und Silber wird neben Rohstoffen auch Energie benötigt, welche zumindest zu einem Teil, unter Freisetzung von Kohlendioxid erzeugt wird. Das Recycling von Materialien führt zu weniger CO₂-Ausstoß. Durch die Substitution des Herstellungsprozesses mit einem oft weniger energieaufwendigen Recyclingprozess wird eine Verringerung in Höhe der Differenz zwischen den Emissionen des primären Herstellungsprozesses und des Recyclingprozesses erzielt. Neben dem Effekt der CO₂-Einsparungen werden auch Ressourcen geschont und Abfälle vermieden, d. h. Recycling kann einen zusätzlichen Beitrag zum Umweltschutz leisten und die Importabhängigkeit Deutschlands von Rohmaterialien reduzieren.

In der vorliegenden Untersuchung wird das Recycling von Kupfer und Silber aus Sicherungseinsätzen mit der Gewinnung aus Erzen, dem sogenannten Primärprozess, für den Zeitraum von 1995 bis 2014 verglichen. Der Vergleich schließt alle dazu notwendigen logistischen Prozesse ein, für die Daten vorliegen.

Der Sekundärprozess beschreibt die Herstellung des Produkts aus Recyclingmaterial, im vorliegenden Fall aus Sicherungseinsätzen.

Ziel der Untersuchung

Im Jahr 2000, fünf Jahre nach der Gründung des Vereins, wurde die Montanuniversität Leoben in Österreich damit beauftragt, den Nutzen der Initiative einzuschätzen. Schließlich vermindert der Verein durch die Sammeltätigkeit und das Recycling den Abbau erheblicher Mengen von Erz, den Verbrauch von Energie und die Erzeugung von CO₂, es war aber nicht bekannt, um welche Größenordnung es sich handelte.

Die Basis für die Kalkulation waren damals die ersten verfügbaren Zahlen aus den Jahren 1995 bis 2000. Welche Annahmen damals gemacht und welche Fakten aus Rohstoffgewinnung und -verarbeitung herangezogen wurden, ist nach 20 Jahren leider nicht mehr im Detail nachvollziehbar. Alle späteren Abschätzungen erfolgten allerdings über eine lange Zeit auf Basis dieser Kalkulation.

Seitdem gab es ganz wesentliche Veränderungen im Bergbau und der Aufbereitung, den Konzentrationen von Metall im Erz und in der Energieerzeugung. Es wurde deshalb notwendig, eine neue Berechnung für die seit Gründung des Vereins recycelten Mengen zu erstellen und damit eine solide Grundlage zu schaffen.

Verwendete Daten und Quellen

Der NH/HH-Recyclingverein hat seit seinem Bestehen genau aufgezeichnet, wie viele Tonnen Sicherungen gesammelt wurden und welche Anteile von Kupfer und Silber zurückgewonnen werden konnten (34). Alle verfügbaren Zahlen sind auf Jahresbasis in das Berechnungsmodell einbezogen worden, Monatsangaben wurden aufsummiert.

Um zu errechnen, welche Erzmengen notwendig gewesen wären, um dieses Silber und Kupfer bergmännisch zu gewinnen und aus Kupferkonzentraten zu erschmelzen, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Diese eingesparten Erzmengen hängen unter anderem sehr vom jeweiligen Metallgehalt ab, der sich über den betrachteten Zeitraum von 1995 bis 2013 stark verändert hat. Die Konzentration ist generell gesunken, da reiche Erzlagerstätten zunehmend ausgebeutet waren, steigende Metallpreise, neue Aufbereitungs- und Gewinnungsmethoden den Abbau gering konzentrierter, sogenannter armer Erze aber wirtschaftlich machten. Somit sind die Mengen an notwendigem Roherz für ein Kilo reines Metall fast über den gesamten Zeitraum gestiegen und damit möglicherweise auch der Energieaufwand und CO₂-Ausstoß bei deren Gewinnung und Verarbeitung. Gleichzeitig sind aber Gewinnungsmethoden wie das chemische Lösen von Kupferanteilen in gering konzentrierten Erzen (enhanced sulfide heap leaching) entwickelt worden, die wesentlich weniger energieintensiv sind als konventionelle Methoden und deshalb den CO₂-Ausstoß bremsten.

Neben Preisschwankungen spielen die geographische Lage und die geologische Situation der Bergwerke sowie die Gewinnungsmethoden (Tagebau, Tiefbau) sowie andere Faktoren ebenfalls eine wesentliche Rolle für die Entscheidung, bei welchem Metallgehalt ein Erz abbauwürdig ist und tatsächlich auch abgebaut wird. Für einzelne Gewinnungsstätten, Regionen, internationale Minengesellschaften und die Metallgewinnung weltweit ergab die vorliegende Untersuchung daher immer eine gewisse Bandbreite an Metallgehalten im Erz.

Erschwerend kommt hinzu, dass es fast keine Lagerstätte gibt, in der ein Metallerz allein vorkommt. Kupferlagerstätten enthalten Gold, Molybdän und Silber; Silberlagerstätten oft Blei, Zink und Gold; Zinkvorkommen eine beachtliche Menge Silber. In vielen Fällen sind sie nur deshalb wirtschaftlich zu betreiben, weil neben dem Hauptprodukt auch diese willkommenen Nebenprodukte gewonnen werden. So erzeugte Codelco, der größte Kupferproduzent der Welt, im Jahr 2014 beispielsweise nicht nur 1,84 Millionen Tonnen Kupfer, sondern nebenbei auch noch 31.000 Tonnen Molybdän, 635 Tonnen Silber und 2,6 Tonnen Gold. Bei solchen Zusatzverdiensten lassen sich auch noch Kupferlagerstätten mit nur 0,4 % Metallgehalt wirtschaftlich abbauen, wenn andere bei 0,7 % unrentabel werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde sowohl mit Angaben führender Minengesellschaften als auch mit regionalen oder globalen Durchschnittswerten aus wissenschaftlichen Publikationen gearbeitet.

Der Energiemix aus Kohle, Öl, Gas, erneuerbaren Energien und Atomkraft ist in jedem Land und oft auch für jede Gewinnungsstätte unterschiedlich, im untersuchten Zeitraum gab es in den Haupterzeugerländern teilweise große Veränderungen. In Deutschland ist der Energiemix und seine Veränderung über die letzten 20 Jahren bekannt, in anderen Ländern nicht. Die Abkehr von Kohle und Atomkraft und der Ausbau der erneuerbaren Energien hat den CO₂-Ausstoß leicht verringert. Diese Veränderungen hatten aber nur einen Einfluss auf den CO₂-Ausstoß beim Recycling von Aurubis, nicht beim Abbau, da in Deutschland seit der Schließung des Bergwerks Grund im Harz 1992 kein Metallerz mehr gewonnen wird.

Nachzuvollziehen, aus welchem Bergwerk in welchem Land unser Kupfer im Jahr 1995 kam oder heute kommt, ist nicht möglich, daher wurde hier mit jährlichen globalen Durchschnittswerten gerechnet. Wenn Produzenten oder Regionen den CO₂-Ausstoß direkt angaben, wurden diese Werte ohne den Umweg über den Energiemix in das Modell übernommen.

Kupfer

Kupfer wurde vom Menschen nachweislich schon vor etwa 10.000 Jahren genutzt, seit mindestens 6.000 Jahren wird es industriell gewonnen und verarbeitet (20, Deutsches Kupferinstitut, Informationsdruck Kupfervorkommen und Eigenschaften 1999). Das Metall ist in der Erdkruste, in den Ozeanen, Seen und Flüssen vorhanden und überlebenswichtig für Pflanzen und Tiere. Die durchschnittliche Konzentration von Kupfer in der Erdkruste beträgt etwa 60 ppm (Angaben des U. S. Bureau of Mines, Copper Reserves and Grades), das sind 60 Gramm pro Tonne. Die meisten Bergwerke bauen Lagerstätten mit einem Kupfergehalt zwischen 0,2 und 0,8 % ab, dies entspricht 2 bis 8 kg pro Tonne. Einige der reichsten Erzvorkommen in Zentral- und Südafrika enthalten 5-6 % oder 50 bis 60 kg pro Tonne, in der Weltproduktion spielen sie aber keine wesentliche Rolle.

Sie heben den durchschnittlichen Metallgehalt aller Produzenten nicht spürbar an. Die größten bekannten Vorkommen befinden sich in Nord- und Südamerika, Afrika und Australien, gefolgt von China, Russland und Indonesien. Der größte Einzelproduzent ist Codelco in Chile, der das Land zum wichtigsten Lieferanten von Kupfer weltweit gemacht hat: Chile liefert jährlich etwa 35 % der gesamten globalen Kupfermenge. (Codelco Firmenmitteilungen, Nicola Jaeger, Rohstoffsteckbrief Kupfer, Power Shift Berlin)

Im Jahr 1995 betrug die weltweite Kupferproduktion etwas über 10 Millionen Tonnen, 2013 waren es bereits 18 Millionen Tonnen. (Copper Development Association Annual Data, veröffentlicht 2014). In diesem Zeitraum ist der Kupfergehalt immer weiter gefallen, es musste deshalb immer mehr Material verarbeitet werden. Nach Angaben der US Geological Survey hat sich trotzdem die Verfügbarkeit von Kupfer seit 50 Jahren nicht geändert, zu jedem Zeitpunkt wurden 40 Jahre Lebenszeit für die Reserven und 200 Jahre für die Ressourcen errechnet. Andere Untersuchungen kommen zu allerdings weit weniger optimistischen Ergebnissen. Eine neue Studie der University of Technology (UTS) in Sydney, Australien, kommt zu dem Schluss, dass der Höhepunkt der Kupferförderung bereits 2040 überschritten wird. Ab 2040, so die Prognose, wird das Metall immer knapper. Hierbei wurden sämtliche bekannten Reserven und Ressourcen berücksichtigt.

Reserven sind Vorkommen, die bereits entdeckt und untersucht wurden und sich profitabel gewinnen lassen. Ressourcen sind wesentlich größer, sie schließen Reserven ein und die Vorkommen, die bereits entdeckt wurden und potentiell profitabel sind, sowie diejenigen, die noch nicht vollkommen erforscht sind, aber deren Existenz aufgrund von Explorationsarbeiten wahrscheinlich ist. Im Jahr 2013 teilte die U.S. Geological Survey mit, dass die Reserven für Kupfer 680 Millionen Tonnen und die Ressourcen 3 Milliarden Tonnen betragen. Mit den Preisänderungen haben sich sowohl die Ressourcen als auch die als wirtschaftlich gewinnbar geltenden Metallgehalte verändert, aus unwirtschaftlichen Lagerstätten im Jahr 1995 sind bis 2014 profitable geworden. Wenn die Kupferpreise fallen, wird aus manchen Reserven aber schnell Abraum.

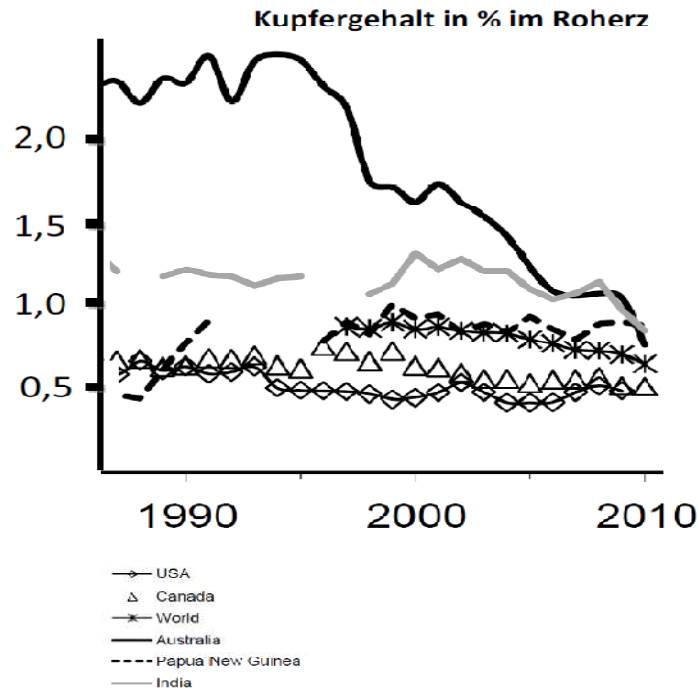
Alle diese Entwicklungen zeigen, wie wichtig und umweltschonend das Recycling ist. Es ist immer wirtschaftlich, hilft dabei, Ressourcen und Reserven zu schonen und vermindert die Zerstörung von Landschaften, den Energieverbrauch sowie den Ausstoß von CO₂. Bereits jetzt stammen weltweit 35 Prozent des in der Industrie verarbeiteten Kupfers aus aufgearbeitetem Kupferschrott, in der EU sind es sogar 41 Prozent. (siehe auch: Tagesspiegel 0902211, Fraunhofer, <http://www.copperalliance.eu/about-copper/resources>)

Für die vorliegende Untersuchung ist entscheidend, wie hoch der Kupfergehalt im verarbeiteten Erz in den Jahren 1995 bis 2013 weltweit war. Erst damit lässt sich eine Äquivalenzmenge von Primärrohstoff errechnen. Die Angaben der Unternehmen, staatlichen geologischen Dienste, Untersuchungen der Fachzeitschriften für Bergbau und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen weichen hier signifikant voneinander ab. Dies führt zwangsweise zu einer großen Bandbreite bei der Berechnung derjenigen Erzmengemenge, die gewonnen und verarbeitet werden müsste, um das vom Verein recycelte Metall zu produzieren.

Das Mining Journal, die weltweit führende Fachpublikation für Bergbau, veröffentlichte im Oktober 2011 folgende Zahlen für den Kupfergehalt im Erz weltweit: (MJ, Copper changing yields and grades):

1990	0,83 %
1989	0,79 %
1999	0,80 %
2000	0,75 %
2001	0,76 %
2002	0,78 %
2003	0,78 %
2004	0,75 %
2005	0,73 %
2006	0,72 %
2007	0,71 %
2008	0,70 %
2009	0,71 %

Das Department of Civil Engineering, Monash University und Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney, kamen in ihrem Report 01/12 zu folgendem Ergebnis:



(Graphik unter Verwendung von Daten aus Mudd, G.M., Weng, Z., Memary, R., Northey, S. A., Giurco, D., Mohr, S., and Mason, L. (2012) Future greenhouse gas emissions from copper mining: assessing clean energy scenarios. Prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship by Monash University and Institute for Sustainable Futures, UTS. ISBN 978-1-922173-48-5. Mudd, Weng et al. 01/2012)

Diese Daten weichen nicht wesentlich von den Mining Journal Angaben ab, zwischen 1996 und 2000 lag der Weltdurchschnitt laut den Autoren bei etwa 0,8 % und ist bis 2010 auf etwa 0,7 % gefallen, danach bis heute auf etwa 0,68 % weiter gesunken.

Codelco teilte für das Jahr 2012 mit, dass die Reserven ihrer acht Bergwerke einen Kupfergehalt von 0,68 % hatten, für den größten Produzenten ist das ein guter Orientierungswert oder Benchmark, der weitgehend in die Datenreihen vom Mining Journal und von Mudd passt:

Proven and Probable Reserves as of December 31, 2012 ⁽¹⁾

Division	Proven plus Probable Reserves		
	Ore (Mt) ⁽³⁾	Cu Grade (%)	Fine Cu ⁽²⁾ (Mt)
Radomiro Tomic	2,567	0.47	12.1
Chuquibambilla	1,057	0.81	8.6
Ministro Hales ⁽⁴⁾	280	1.00	2.8
Salvador	812	0.50	4.1
Andina	2,551	0.74	18.8
El Teniente	1,538	0.99	15.2
Gabriela Mistral	535	0.37	2.0
Codelco total	9,340	0.68	63.6

(Quelle: Codelco Mitteilungen)

Weniger gut recherchierte und ungenauere Graphiken präsentieren z.B. die Banken BNP Paribas und Standard Chartered. Hier geht man davon aus, dass die Kupferkonzentration im Erz zwar in den letzten 20 Jahren um 32 % gefallen ist und weiter stark abnimmt, aber heute immer noch um 1 % liegt. (Current Trends in Mining Finance Carlos Urquiaga, MD, Structured Debt Metals & Mining, BNP Paribas und Standard Chartered Research Estimates.)

Dies widerspricht allen anderen seriösen Angaben. Mangels nachvollziehbarer Quellenangaben und Einzeldaten werden diese Bankangaben hier nicht weiter berücksichtigt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Datenreihen der Produzenten, der Recherchen des Mining Journal, von Codelco und Mudd (Dr. Gavin M Mudd, Institute for Sustainable Resources, Department of Civil Engineering, 2004) und die daraus errechneten Durchschnittswerte für Kupfer am besten recherchiert und schlüssig sind. Sie wurden für die Berechnung übernommen, Datenlücken wurden durch gemittelte Werte des Vorjahres und des nachfolgenden Jahres geschlossen.

In großen Tagebauen, die mit 70 % den größten Teil der weltweiten Kupferproduktion erbringen, wird heute das Zwei- bis Dreifache der Erzmenge als Abraum bewegt. Hierfür sollte eigentlich ein Zuschlag für Energie bzw. CO₂ eingerechnet werden.

Es gibt allerdings keine globalen Daten darüber, wie hoch der Anteil des Energieverbrauchs oder der CO₂-Ausstoß für Sprengung, Verladen und Transport von Abraum und Erz tatsächlich ist. Aus Einzeldaten verschiedener Bergwerke liegt er wahrscheinlich bei 5-10 % des Gesamtwertes, kann jedoch aufgrund ungenauer oder fehlender Angaben nicht errechnet werden. Die CO₂-Emissionen für diesen Prozess sind nicht in die vorliegende Berechnung eingegangen. Dadurch ergibt sich ein konservatives Rechenmodell, in dem die erreichten CO₂- und Energieeinsparungen durch die Sammeltätigkeit des Vereins mit Sicherheit nicht zu hoch angegeben werden.

Für die Untersuchung wurde der mehrfach ermittelte Wert von 2 Tonnen Abraum für jede Tonne Erz übernommen. (50, sowie A.-J. Löhre, The Environmental Impact of the Anthropogenic Copper Cycle, Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology und US. Geological Survey).

Dieser Wert stimmt gut überein mit der Angabe, dass 70 % der Kupferproduktion aus Tagebauen kommen und 30 % aus Untertagebetrieben. Im Tagebau beträgt der Stripping Ratio, also das Verhältnis von Abraum zu Erz, 2-3. Beim Durchschnittswert von 2,5 im Tagebau und 1 unter Tage ergibt sich ein global durchschnittlicher Stripping Ratio von 2,05. (50, 6 u.A.)

Ebenfalls nicht übereinstimmend in den Fachpublikationen ist der CO₂-Ausstoß für den gesamten Gewinnungsprozess vom Bergbau bis zur Aufbereitung und die Erzeugung reinen Metalls bzw. der Energieaufwand. Vor 2005 sind diese Daten nicht vollständig zugänglich, sie wurden deshalb über die Abnahme der Erzkonzentration und die erhöhten Erzmengen oder den Energieverbrauch 1995 zurückgerechnet. Den größten Einfluss auf den CO₂-Ausstoß haben Gewinnung und Aufbereitung; sie erzeugen mindestens 50 % der Gesamtmenge von CO₂ bei 1 % und 90 % bei 0,5 % Kupfergehalt im Erz.

Für die Berechnungen von 2005-2013 wurden folgende Daten für die CO₂-Emissionen verwendet und die Durchschnittswerte in Tonnen CO₂ pro Tonne reines Kupfer ermittelt (Genaue Literaturangaben im Anhang):

U.S. EPA 2005	7,30
Metallurgium 2008	4,84
Chilean Copper Comission 2008	3,69
Freeport Mc Moran 2008	7,58
Dow Jones Trade News 2009	3,50
Mining Engineering 2009	3,30
Simonsen 2009	5,90
Hiebel 2009	5,50
Rio Tinto 2011	8,20
Rio Tinto 2012	10,70

Literaturrecherche ICMM bis 2012	3,80
Mudd 2012	4,00
ICMM 2013	3,80

Der nicht gewichtete Gesamtdurchschnitt beträgt 5,15 Tonnen CO₂ pro Tonne Kupfer. Ein zeitlicher Trend ist nicht erkennbar, die Bandbreite der Ergebnisse unterschiedlicher Quellen für gleiche Zeiträume überlagert ihn. Eine Rekonstruktion des Energieverbrauchs ist zeitabhängig nur eingeschränkt möglich.

Die breite Streuung der Daten einzelner Bergwerksgesellschaften ist nicht so erstaunlich. Sie ist teilweise erklärbar durch unterschiedliche Abbau- und Gewinnungsverfahren, die Erzkonzentration, den Energiemix usw., wie bereits oben erklärt. Lässt man die Angaben von Rio Tinto und aus Chile weg, ergibt sich aber ein eher abnehmender Trend im Zeitraum von 2005 bis 2013, obwohl im gleichen Zeitraum die Kupferkonzentration im Erz um 9 % abgenommen hat.

Dies könnte zum Einen dadurch gelungen sein, dass die Betreiber erfolgreich durch verbesserte Verfahren den Ausstoß von CO₂ verringern konnten. Chemische Extraktionsverfahren sind effektiver als mechanische und auf dem Vormarsch.

Zum Anderen ist auch zu bedenken, dass in einigen Ländern (USA, Kanada, Australien) über CO₂-Steuern diskutiert wurde oder sie sogar erhoben wurden. Es liegt also im Interesse der Kupferproduzenten, geringere CO₂-Emissionen zu melden.

Bei der Analyse von Stichproben zeigte sich auch, dass nicht alle mit dem gleichen Maß messen. Nur bei wenigen ist transparent, welche Schritte in der Produktion überhaupt beim CO₂-Ausstoß mit einbezogen wurden. Manche beginnen mit dem Bohren der Sprenglöcher und schließen jeden Schritt bis zur Kupferanode mit ein, andere nicht. Dies führt zu Abweichungen in den ersten Prozessschritten Bohren, Verladen und Transport zur Aufbereitung, von unter 5 % am Gesamtvolumen.

Angesichts der unterschiedlichen Verfahren und Transportwege und der neuen Gewinnungsverfahren, wie dem immer häufiger angewendeten Heap Leaching, sind diese aber für die Gesamtrechnung nicht erheblich.

((4)The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products Robert U. Ayres, Leslie W. Ayres and Ingrid Råde, 2002 Commissioned by the MMSD project of IIED. und ENERGY AND GREENHOUSE GAS IMPLICATIONS OF DETERIORATING QUALITY ORE RESERVES Terry Norgate and Sharif Jahanshahi CSIRO Minerals/Centre for Sustainable Resource Processing 2006)

Beim Recycling in Deutschland wird ebenfalls CO₂ freigesetzt. Die Untersuchung von Dr. Hiebel und die Angaben von Aurubis stimmen hier überein, es sind weniger als 2 t CO₂ pro Tonne Kupfer. Hier stellt sich die Frage, ob das auch schon 1995 so war und wie sich der Energiemix in Deutschland seitdem verändert hat. Im betrachteten Zeitraum verringerte sich der Anteil der Kernenergie stark und der der erneuerbaren Energien

stieg an, so dass sie im Jahr 2013 gleich groß waren (Quelle: BDEW Energiebilanzen). Da Kernenergie und erneuerbare Energien als Klimaneutral gelten, ergibt sich hier zunächst einmal keine Veränderung.

Signifikant niedriger war der Anteil der Steinkohle, er sank von etwa 1.300 auf 1.100 PJ. Insgesamt trägt die Steinkohle allerdings nur etwas unter 20 % zur Energieerzeugung bei. Kohle insgesamt wurde in den letzten Jahren wieder verstärkt zur Stromerzeugung herangezogen. Auch bei Braunkohle und Gas haben sich die Anteile verschoben, der CO₂-Ausstoß war also wahrscheinlich 1995 etwas höher als 2014, lässt sich aber ohne eine zusätzliche, noch aufwendigere Recherche und Untersuchung nicht genau quantifizieren. Im Rahmen des vorliegenden Modells wurde Energie daher mit dem aktuellen CO₂-Wert von 0,58 kg CO₂/kWh in Emissionen umgerechnet.

Silber

Ähnlich wie Kupfer kommt auch Silber gelegentlich als gediegenes, fast reines Metall vor und wurde schon mehrere tausend Jahre genutzt, bevor eine industrielle Gewinnung entwickelt war. Kupfer hatte aber über lange Zeit eine wesentlich größere wirtschaftliche Bedeutung, weil es sich mit dem leicht schmelzbaren Zinn zu harter Bronze für Waffen und Geräte legieren lässt, was bereits im vierten Jahrtausend vor Christus in China und Vorderasien praktiziert wurde. Große technische Bedeutung bekam Silber mit der Entwicklung der Photographie und der Röntgenuntersuchungen, digitale Aufnahmetechnik macht es in beiden Anwendungen zunehmend überflüssig. Seit einigen Jahren spielt es jetzt eine wesentliche Rolle bei der Produktion von Photovoltaikanlagen. Als Münz- und Anlagemetall sowie für dekorative Gegenstände wird es weiterhin geschätzt und genutzt, hat aber mit der Erfindung von pflegeleichten rostfreien Stählen auch hier an Bedeutung verloren.

Mexiko, Peru, die Vereinigten Staaten und Australien sind die größten Produzenten. Nach gut übereinstimmenden Daten liegt seit Mitte des 20. Jahrhunderts global der Silberanteil im Erz durchschnittlich bei 100 Gramm per Tonne oder darunter, das entspricht einem Metallgehalt von 0,1 Promille.

(Svendrup et al., Sustainable Mining : An Evaluation of Changing Ore Grades and Waste Volumes von Dr. Gavin M Mudd, Institute for Sustainable Water Resources, Department of Civil Engineering, 2004)

Es gibt allerdings nur noch wenige Bergwerke, die in erster Linie Silber produzieren, mehr als die Hälfte des Metalls kommt aus anderen Vorkommen, im Einzelnen:

Gesamtmenge Silber aus Bergbau 2013: 22160 Tonnen

davon stammte aus

Silbererz	48,7 %
Kupfererz	22,6 %
Zinkerz	25,7 %
Bleierz	2,3 %
Golderz	0,7 %

(Quelle: Investigating the sustainability of the global silver supply, reserves, stocks in society and market price using different approaches. Harald Sverdrup, Deniz Koca, Kristin Vala Ragnarsdottir, Resources, Conservation and Recycling 83 (2014) 121– 140)

Das U.S. Silver Institute kommt für die Produktion von Silber zu ganz anderen Einschätzungen für das Jahr 2013:

Gesamtmenge Silber aus Bergbau 2013 26000 Tonnen

davon aus

Silbererz	29 %
Kupfererz	20 %
Blei-Zinkerz	38 %
Golderz	13 %

(American Geoscience Institute, Earth Magazine und American Geological Survey, Februar 2015)

Die USGS ermittelte für das Jahr 2005

Gesamtmenge Silber aus Bergbau 18700 Tonnen

davon aus

Silbererz	25 %
Kupfer- Blei- und Zinkerz	60 %
Golderz	15 %

(Silver—Mineral Commodity Profiles von W.C. Buttermann und H.E. Hilliard, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia 2005)

Es ist selbstverständlich nicht unerheblich, ob und wie viel Erz gefördert und verarbeitet wird, um nebenbei auch Silber zu gewinnen.

Da die Basisdaten dieser seriösen Veröffentlichungen und Institute aber so stark voneinander abweichen, lässt sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung schwer ermitteln, welchen Anteil an Energie die Silbergewinnung aus anderen Lagerstätten verbraucht und welche CO₂-Mengen dadurch erzeugt werden. Für die Berechnung werden daher andere Quellen herangezogen.

48 t CO₂ pro t Ag werden im Bergwerk für den Abbau und die Herstellung der Konzentrate freigesetzt. (Conversion of Large Scale Wastes into Value, Taylor and Francis Group 2010)

Nach Untersuchungen des Unternehmens Umicore betragen die CO₂-Emissionen je geförderter Tonne Silber 150 Tonnen.
(Urban Mining, wichtiger Beitrag zum Klimaschutz von C. Hagelüken Umicore Precious Metals Hanau in Dow Jones Trade News Emissions 03/2009)

Für die Berechnungen bei Silber wurden die folgende Daten verwendet und Annahmen getroffen:

Der durchschnittliche Silberhalt weltweit im Erz von 1995 bis heute betrug 100 Gramm pro Tonne.

150 Tonnen CO₂ werden für die Gewinnung vom Bergwerk bis zur Metallhütte pro Tonne Silber freigesetzt.

Es werden 20 % der CO₂-Emissionen gegenüber der Primärproduktion beim Recycling von Silber erzeugt. Dieser Wert ist eher etwas zu hoch angesetzt, da bei der Primärgewinnung nach der Herstellung der Konzentrate nur noch 100 Tonnen CO₂ erzeugt werden, die tatsächlich eingesparte Energie und CO₂-Emissionen sind aller Wahrscheinlichkeit nach sogar höher gewesen.

Zusammenfassung und Ergebnisse

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ermittelt, welche Mengen an Metallerzen aus Primärquellen notwendig gewesen wären, um das vom Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen e.V. in den Jahren 1995 bis 2014 recycelte Kupfer und Silber zu erzeugen. Für diese Berechnungen wurden Daten über den Metallgehalt dieser Erze in den wichtigsten Förderländern weltweit verwendet.

Zur Berechnung der zur Förderung und Verarbeitung notwendigen Energie und des dabei freigesetzten CO₂ konnten Angaben der Bergbaugesellschaften und Hüttenbetriebe sowie Statistiken nationaler Behörden verschiedener Länder und Untersuchungen unabhängiger Wissenschaftler herangezogen werden.

Aufgrund einer nicht immer befriedigenden Datenlage mussten einige Annahmen getroffen oder Durchschnittswerte verwendet werden. Diese betreffen im Wesentlichen die Jahre 1995 bis 2000 und wurden fachlich nachvollziehbar sowie auf der Basis von Literaturangaben sowie Statistiken der Rohstoffbetriebe sowie wissenschaftlicher Untersuchungen (siehe Anhang 1) vorgenommen.

Bei der Auswertung und Berechnung zeigte sich, dass der NH/HH-Recyclingverein in den vergangenen 20 Jahren wesentlich mehr für den Umweltschutz und die Erhaltung von Ressourcen getan hat, als auf der Basis der ersten Auswertungen Ende der 90er Jahre angenommen wurde.

Es wurden in den Jahren 1995 bis 2013

- 3390 Tonnen Sicherungseinsätze gesammelt, dem Recycling zugeführt und daraus
- 569 Tonnen Kupfer zurückgewonnen
- 8570 kg Silber zurückgewonnen

Sowie mindestens*

- 483 000 Tonnen Gewinnung, Förderung und Transport von Abraum und Erz vermieden
- 7900 t CO₂ Emissionen vermieden
- 10.000 MWh Energie eingespart

(*ohne Berücksichtigung der Einsparungen für den Abbau und Transport des Abraums)

Alle verwendeten Daten und Berechnungsergebnisse für die Einzeljahre 1995 bis 2014 und die Gesamtperiode sind im Excel-Format beigelegt.

Götz Bräuninger, 31. Juli 2015

Anhang 1:

Quellenangaben und weiterführende Literatur

1. Recycling für den Klimaschutz

– CO₂-Emissionen bei der Verwertung von Sekundärrohstoffen im Vergleich zur Nutzung von Primärrohstoffen

Dr. Markus Hiebel und Dr. Hartmut Pflaum, Zeitschrift Müll und Abfall 01/09

2. Conversion of Large Scale Wastes into Value-added Products

herausgegeben von Justin S.J. Hargreaves, Ian D. Pulford, Malini Balakrishnan, Vidya S. Batra

3. ENERGY AND GREENHOUSE GAS IMPLICATIONS OF
DETERIORATING QUALITY ORE RESERVES

Terry Norgate and Sharif Jahanshahi

CSIRO Minerals/Centre for Sustainable Resource Processing

4. The Life Cycle of Copper, its
Co-Products and By-Products

Robert U. Ayres, Leslie W. Ayres and Ingrid Råde

5. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2001

6. The Environmental Impact of the Future

Anthropogenic Copper Cycle

Anne-Jori S Løhre, Master of Science in Mechanical Engineering

Department of Energy and Process Engineering

June 2014

Norwegian University of Science and Technology

7. Chilean Copper Commission

Research and Policy Planning Department,

ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS
IN THE CHILEAN COPPER MINING INDUSTRY

Events of 2008

8. Copper in 1995 - USGS Mineral Resources Program By **Daniel L. Edelstein**.

minerals.usgs.gov/minerals/pubs

9. Energy Efficiency & Copper Hydrometallurgy John O. Marsden

August 18, 2008, Freeport Mc Moran

10. Energy Use in the Copper Industry - Princeton University,
<https://www.princeton.edu/~ota/disk2/.../880809.PD>

11. Global Industrial Energy
Efficiency Benchmarking
An Energy Policy Tool, Working Paper
November 2010 UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

12. The cost of carbon pricing:
Competitiveness implications for the mining and metals industry International council on
mining and metals, ICMM; April 2013

13. CO₂-Emissionen der Stromerzeugung
Ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken, BWK Bd. 59 (2007) Nr. 10

14. Energiemix in Deutschland im Wandel, Josef Auer, Vasilios
Anatolitis, Deutsche Bank AG Deutsche Bank Research Frankfurt
am Main

15. Energie in Deutschland
Trends und Hintergründe zur Energieversorgung, Herausgeber
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit 11019 Aktualisierte Ausgabe Februar 2013

16. Olympic dam supplementary environmental statement, Greenhouse Gas Assessment and
Mitigation 2011

17. Anglo American plc Fact Book 2011/12, Copper

18. TECHNICAL RESOURCE DOCUMENT: EXTRACTION AND BENEFICIATION OF
ORES AND MINERALS, VOLUME 4
COPPER, EPA 530-R-94-031 NTIS PB94-200979, August 1994

19. Urban Mining, wichtiger Beitrag zum Klimaschutz von C. Hagelüken, Umicore Precious
Metals Hanau

20. DKI Informationsdruck Kupfer: Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften.
Deutsches Kupferinstitut 1999

21. Chile Key Figures 2012, International Energy Agency
9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France

22. Investigating the sustainability of the global silver supply, reserves, stocks in society and market price using different approaches
2014, Harald Sverdrupa, Deniz Kocaa, Kristin Vala Ragnarsdottir
a Applied Systems Analysis and Dynamics Group, Chemical Engineering, Lund University
Sweden
Institutes of Earth Sciences and Sustainable Development, Askja, University of Iceland,
Reykjavik

23. Silver - USGS Mineral Resources Program SILVER
By Robert G. Reese, Jr. minerals.usgs.gov 1995

24. Sustainable Mining : An Evaluation of Changing Ore Grades and Waste Volumes
Dr Gavin M Mudd
Institute for Sustainable Water Resources
Department of Civil Engineering
Monash University, Clayton, VIC Australia International Conference on Sustainability
Engineering & Science, Auckland, New Zealand 2004

25. Canadian Silver Mining Company Average Silver Ore Value Chart, GoldMinerPulse:
TSX/TSXv Gold Mining and Silver Mining Companies November 2012

26. Future Greenhouse Gas Emissions from Copper
Mining: Assessing Clean Energy Scenarios.
G.M. Mudd, Weng, Z., R. Mearns, S.A. Northey,
D. Giurco, S. Mohr, L. Mason Oktober 2012

27. Mining Industry Energy Bandwidth Study, U.S. Department of Energy, Juni 2007

28. Economic Filters for Evaluating Porphyry Copper Deposit Resource Assessments Using
Grade-Tonnage Deposit Models, with Examples from the U.S. Geological Survey Global
Mineral Resource Assessment, Scientific Investigations Report 2010–5090–H
U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey Version 1.2, March 2014

29. Porphyry Copper Deposits of the World: Database And Grade and Tonnage Models, 2008
Von Donald A. Singer¹, Vladimir I. Berger, and Barry C. Moring. Open-File Report 2008-1155
2008 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey 1U.S. Geological Survey, Menlo
Park

30. PORPHYRY COPPER DEPOSITS OF THE WORLD: DATABASE, MAPS, AND PRELIMINARY ANALYSIS
Von Donald A. Singer, Vladimir I. Berger, and Barry C. Moring
Open-File Report 02–268, 2002
31. Corporación Nacional del Cobre de Chile, Rating Report 2014
32. Bureau of mines copper reserves and grades, Part Three
Resources and Technology 1985
33. The role of mining in national economies, 2nd edition Chapter 5
World Copper Resources, 2014
34. Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen, Broschüre 2012 sowie Mitteilungen von Birgit Zwicknagel und Martin Grote, 2015
35. Annual Data 2014
Copper Supply & Consumption — 1993–2013, Copper Development Association 2014
36. Nicola Jaeger, Rohstoffsteckbrief Kupfer
Power Shift Berlin, 2012
37. Broschüre Metalle Pro Klima, Aurubis AG Hamburg
38. Aurubis Umweltreport 2014
39. Metal production, Morten Simonsen Vestlandsforskning 2009
40. SNAP: Copper production
ISIC: 2720 Manufacture of basic precious and non-ferrous metals EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009
41. Mudd, G.M., Weng, Z., Mearns, R., Northey, S. A., Giurco, D., Mohr, S., and Mason, L. (2012) Future greenhouse gas emissions from copper mining: assessing clean energy scenarios. Prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship by Monash University and Institute for Sustainable Futures, UTS. ISBN 978-1-922173-48-5. Mudd, Weng et al. 01/2012)
42. Carbon footprint for building products Antti Ruuska VTT TECHNOLOGY 115 ISBN 978-951-38-8042-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>) 2013

43. Carbon emissions from base metal mine sites, APRIL 2009 Mining Engineering
44. Eine Form des modernen Bergbaus
Interview mit Dipl.-Ing. Volker Seefeld, dem Vorstandsvorsitzenden des NH/HH-
Recyclingvereins, Elektropraktiker, Berlin 68 (2014) 7
45. Copper - Changing copper yields and grades, Mining Journal 2011
46. ENERGY EFFICIENCY IN THE MINING INDUSTRY: OPPORTUNITIES AND INSTITUTIONAL
DESIGN
von MALDONADO, PEDRO
Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, Instituto de Asuntos Públicos,
Universidad de Chile 2008
47. Copper, ITP MINING: ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROFILE OF THE U.S. MINING
INDUSTRY (DECEMBER 2002)
48. CO2 Emission Taxes and the European Copper Industry
European Copper Institute, Avenue de Tervueren 168, B-1150 Brussels, Belgium
2008
49. Urban Mining ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz
Christian Hagelüken, Umicore Precious Metals Refining Hanau, Dow Jones Trade News
Emissions, 2009
50. Mine wastes Management, <https://miningandblasting.files.wordpress.com>

Anhang 2:

Zusammengefasste Ergebnisse der Modellrechnungen



Zusammenfassung
Zahlen NH-HH GV.xls