

# Überprüfung der Rohstoff- Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch das Recycling von Sicherungseinsätzen

von Dipl.-Ing. Götz Bräuninger

## Einführung

Der gemeinnützige Verein zur Förderung des umweltgerechten Recyclings von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen e.V. hat seit seiner Gründung im Jahr 1995 große Erfolge erzielt. Mehrere Hundert Tonnen abgeschalteter Schmelzsicherungen mit einem bedeutenden Anteil an Kupfer und Silber wurden gesammelt und die Metalle zurückgewonnen, ein Netzwerk aus Sammelstellen aufgebaut und viele Betriebe sowie Berufsschulen zur Zusammenarbeit motiviert. Die Erlöse flossen vollständig in die Förderung der wissenschaftlichen Forschung, in die Ausbildung von Fachkräften in der Elektroindustrie, in Fachliteratur und praktisches Anschauungsmaterial, das dann kostenlos an interessierte Ausbildungseinrichtungen abgegeben wurde.

Das Ziel, die nachhaltige und vollständige Wiederverwertung wertvoller Rohstoffe aus allen Sicherungseinsätzen, wurde aber noch nicht erreicht. Es darf davon ausgegangen werden, dass in Deutschland jedes Jahr immer noch ca. 400 Tonnen ausgedienter Schmelzsicherungen im Elektroschrott oder im Müll landen. Hier bietet sich noch eine Gelegenheit, neue Sammler zu gewinnen. Der Verein arbeitet hier ständig mit Anzeigenkampagnen und Direktansprache an Verbesserungen. Trotzdem wissen noch nicht alle Endanwender, welchen Beitrag sie für die Schonung der Umwelt und der natürlichen Ressourcen leisten können.

Bei Akkus und Batterien ist das anders. Auch dank gesetzlicher Eingriffe gelingt es hier, den größten Teil dieser elektrischen Komponenten getrennt zu sammeln und dem Recycling zuzuführen. Nicht nur bei uns, sondern auch im europäischen Ausland, stehen inzwischen in jedem Supermarkt Sammelboxen für Akkus und Batterien. Sie sind in der Regel mindestens halb voll.

Kupfer und Silber werden seit mindestens 8.000 Jahren gesucht, gewonnen und die Lagerstätten systematisch ausgebeutet. Einige archäologische Funde deuten aber auf ein noch höheres Alter der Metallgewinnung hin, wie z.B. die aus der Shanidar-Höhle in Mergasur im heutigen Irak. Die dort gefundenen Kupferobjekte wurden auf ein Alter von 8.700 Jahre vor Christi Geburt datiert. Es dürfte also angesichts von 10.000 Jahren Suche nicht überraschend sein, dass reiche Kupfer- und Silberlagerstätten heute fast nicht mehr an der Erdoberfläche entdeckt werden, sondern in einiger Tiefe. Entsprechend groß ist der Aufwand, taubes Gestein abzutragen, zu transportieren und zu lagern.

Seit langem ist der Trend beim Kupfer und Silber nahezu ungebrochen: Die Preise steigen, die Metallgehalte im Erz werden geringer und der Abraum mächtiger. Gleichzeitig wurde und wird jede Art von Energie teurer. Dies gilt für elektrische Energie, Diesel, Kohle und Gas, die alle bei der Metallgewinnung eine Rolle spielen. Jede Energieerzeugung erfolgt selbstverständlich unter Freisetzung von Kohlendioxid, auch das zum Betrieb von Kernkraftwerken benötigte Uran wird bergmännisch aus Erz gewonnen, auf LKW geladen und unter hohem Energieaufwand aufbereitet.

Das Recycling von Materialien ist wirtschaftlich, weil der Energieaufwand geringer ist als bei der Gewinnung aus Primärlagerstätten. Der mit dem Energieaufwand gekoppelte CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird damit ebenfalls geringer. 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.

Nicht mitgerechnet sind aber noch einige andere Faktoren: Beim Tief- und Tagebau werden Flächen entwaldet und damit gehen CO<sub>2</sub>-Speicher verloren. Große Mengen Wasser werden bei der Aufbereitung mit Metallsalzen verunreinigt und können nicht ohne Behandlung in den natürlichen Kreislauf zurückgespeist werden. Es bleiben große Halden, tiefe, mit Wasser gefüllte Krater und ein instabiler Boden.

Was vor einigen Jahrzehnten noch als Abraum galt und auf eine Halde gelagert wurde, ist aber inzwischen oft, aufgrund verbesserter Gewinnungsmethoden und gestiegener Preise, zum wertvollen Rohstoff geworden. Damit beginnt alles noch einmal: Transport, Zerkleinerung, meistens chemische Lösung des Metalls. Umweltkatastrophen sind fast schon an der Tagesordnung.

Diese zusätzlichen Umweltschäden lassen sich leider beim Vergleich mit dem Recycling nicht leicht quantifizieren. Einleuchtend ist, dass die Umwelt beim Bergbau und den nachfolgenden Prozessen stark geschädigt wird, beim Recycling aber nur sehr wenig.

In der letzten Untersuchung des NH/HH-Recyclingvereins im Jahr 2015 wurde 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 Sekundärprozess beschreibt die Rückgewinnung der Metalle aus dem Recyclingmaterial Sicherungseinsätze.

2015 wurde die Berechnung nach den damals vorliegenden Daten der Kupferhersteller bis 2014 durchgeführt. Wesentliche Anpassungen wurden seither lediglich für den Kupfergehalt im Roherz vorgenommen, da dieser immer weiter sank. Zwischenzeitlich sind wieder wesentliche Faktoren neu anzusetzen, insbesondere höhere Energiepreise, neue

Gewinnungsverfahren, ein veränderter Energiemix auf der Recyclingseite und Preisänderungen bei Silber und Kupfer. Kupfer kann beliebig oft wiederverwertet werden und verliert dabei nicht an Qualität. Es wird angenommen, dass von den 690 Millionen Tonnen Metall, die in den letzten hundert Jahren gewonnen wurden, zwei Drittel immer noch genutzt werden. Für effektivere Recyclingprozesse lassen sich weiterhin im Produktdesign Verbesserungen erzielen.

## Neue Daten

Folgende Daten wurden bei der Recherche im Jahr 2015 ermittelt oder errechnet:

Kupfererz enthält durchschnittlich 0,68% Metall, Silbererz 100 g Silber pro Tonne. Der Kupfergehalt lag zumindest **bis 2.000** bei 0,7 (Richard Mills, Copper: The most important metal we're running short of), es wird erwartet, dass dieser Wert bis 2030 auf 0,55% sinkt, andere Veröffentlichungen geben den aktuellen Wert bereits mit 0,6% an. Der Wert 0,65% kann also zunächst beibehalten werden.

Bei der Kupfergewinnung wurden bis 2015 5,15 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Metall erzeugt. Inzwischen hat die Copper Alliance das auch untersucht. Nach deren Schätzung lag der CO<sub>2</sub>-Ausstoß 1990 noch bei 5,4 t/t und sank bis 2000 auf 4,9 t/t, im Zeitraum 2000 bis 2018 errechnete man 4,7 t/t. Das sind Herstellerangaben, allerdings waren die 2015 ermittelten Zahlen ebenfalls Herstellerangaben. Die Produzenten haben ein Eigeninteresse, diese Angaben niedrig zu halten und Verbesserungen mitzuteilen. In Zukunft wird dieser Wert aktualisiert und zur Berechnung verwendet.

Von Aurubis wurden in den letzten Jahren große Anstrengungen unternommen, die Treibhausgasemissionen zu senken. Scope 1 und 2 werden jetzt angegeben, Scope 3 nicht. Der größte Teil – 46% – der 97 Millionen Tonnen THG (Treibhausgase), die von Kupferproduzenten emittiert werden, stammt aus Scope-2-Emissionen, das sind indirekte Emissionen im Zusammenhang mit dem Kauf von Strom, Dampf, Wärme und Kälte. Scope-3-Emissionen – andere indirekte Emissionen außerhalb von Scope 2 – machen 31% der durch die Kupferproduktion verursachten THG-Emissionen aus. Scope-1-Emissionen – direkte Emissionen aus eigenen oder kontrollierten Quellen – machen 23% der Treibhausgasemissionen der Branche aus. Scope-3-Emissionen wurden anhand von Daten zu sechs Kategorien berechnet, die als wesentlich für die Kupferproduktion identifiziert wurden: Eingeaufte Waren und Dienstleistungen, brennstoff- und energiebezogene Aktivitäten, vorgelagerter Transport, nachgelagerter Transport, im Betrieb erzeugte Abfälle und Entsorgung verkaufter Produkte am Ende ihrer Lebensdauer. Eine Analyse der „Nutzung verkaufter Produkte“ wird mangels aktueller verlässlicher Daten ausgeschlossen.

Deshalb wird in Zukunft nicht mehr mit dem Faktor 1,9 gerechnet, sondern der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beim Recycling auf der Basis des CO<sub>2</sub>-Wertes bei der Gewinnung aus Erz verwendet, da beim Recycling 65% THG eingespart werden. Auch die Kupferhütten haben bereits erhebliche Erfolge erzielt, um ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Kupfer aus dem Recycling benötigt 85% weniger Energie als Kupfer aus dem Primärprozess. 44% des Kupfers in Europa stammt bereits aus dem Recycling, vor 8 Jahren waren es nur 30%. Durch die Verwendung von Kupferschrott wird nicht nur Energie eingespart, die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden ebenfalls um 65% verringert. Im Jahr 2018 betrug die durchschnittliche THG-Emissionsintensität der raffinierten Kupferproduktion 4,6 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Kupfer. Dem stehen 5,4 Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 1990 gegenüber, eine Reduzierung um 13,4% über den Zeitraum von 28 Jahren. Dieser Rückgang ist auf eine Steigerung der Kupferproduktion aus sekundären Quellen, Änderungen im Strommix und laufende Maßnahmen der Kupferproduzenten zur Verbesserung der Energie- und Emissionseffizienz der Produktion zurückzuführen.

Die vom NH/HH-Recyclingverein gesammelten Mengen an Sicherungseinsätzen sind genau dokumentiert, ebenso welche Mengen von Kupfer und Silber zurückgewonnen werden konnten.

Für die zukünftige Berechnung der Erz- und Abraummengen, die nicht gesprengt, verladen, gemahlen und weiter zu reinem Kupfer und Silber verarbeitet werden müssen, gibt es jetzt wieder eine solide Zahlenbasis.

Der Metallgehalt ist generell gesunken, reiche Erzlagerstätten werden fast nicht mehr entdeckt, einige Analysten gehen davon aus, dass in wenigen Jahren der Bedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Dann muss man auf Erze zurückgreifen, die noch weniger Metall enthalten. Entsprechend werden die Preise steigen. Es ist technisch tatsächlich möglich, auch noch Erze mit 0,3% Metallgehalt zu gewinnen. Gewinnungsmethoden wie das chemische Lösen von Kupferanteilen in gering konzentrierten Erzen (enhanced sulfide heap leaching) sind inzwischen weiterentwickelt worden, diese Methoden sind wesentlich weniger energieintensiv sind als konventionelle.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde sowohl mit Angaben führender Minengesellschaften als auch mit regionalen oder globalen Durchschnittswerten aus wissenschaftlichen Publikationen gearbeitet. Die neueste Analyse und Prognose findet sich bei:

<https://www.kitco.com/commentaries/2022-10-27/Copper-the-most-important-metal-we-re-running-short-of.html>

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 CO<sub>2</sub>. Bereits jetzt stammen weltweit 35% des in der Industrie verarbeiteten Kupfers aus aufgearbeitetem Kupferschrott, in der EU sind es sogar 41-44%.

(siehe auch: Tagesspiegel 0902211, Fraunhofer, <http://www.copperalliance.eu>

In großen Tagebauen, die mit 70% den größten Teil der weltweiten Kupferproduktion erbringen, wird heute das Zwei- bis Dreifache der Erzmeng e als Abraum bewegt. Hierfür sollte eigentlich ein Zuschlag für Energie bzw. CO<sub>2</sub> eingerechnet werden.

Es gibt allerdings keine globalen Daten darüber, wie hoch der Anteil des Energieverbrauchs oder der CO<sub>2</sub>-Ausstoß für Sprengung, Verladen und Transport von Abraum und Erz genau ist. Aus Einzeldaten verschiedener Bergwerke liegt er wahrscheinlich bei 5-10% des Gesamtwertes, kann jedoch aufgrund ungenauer oder fehlender Angaben nicht errechnet werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für diesen Prozess sind nicht in die vorliegende Berechnung eingegangen. Dadurch ergibt sich ein konservatives Rechenmodell, in dem die erreichten CO<sub>2</sub>- und Energieeinsparungen durch die Sammeltätigkeit des Vereins mit Sicherheit nicht zu hoch angegeben werden.

Es ist anzunehmen, dass sich für einige große Tagebaue auch das Verhältnis von Abraum zu Erz negativ verändert hat, andererseits ist ein Teil des metallhaltigen Abraums wirtschaftlich gewinnbar geworden. Mangels besserer Daten wird daher weiterhin ein Verhältnis von 2 Tonnen Abraum für jede Tonne Erz übernommen. (Quelle: 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).

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. (Quelle: 50, 6 u.A.)

Den größten Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß haben Scope 1 und 2 Emissionen aus Gewinnung und Aufbereitung, sie erzeugen mindestens 50% der Gesamtmenge von CO<sub>2</sub> bei 1% und 90% bei 0,5% Kupfergehalt im Erz. Der nicht gewichtete Gesamtdurchschnitt betrug vor 2015 5,15 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Kupfer, er wird in Zukunft mit 4,6 Tonnen übernommen.

Beim Recycling in Deutschland wird ebenfalls CO<sub>2</sub> freigesetzt. Die Untersuchung von Dr. Hiebel und die Angaben von Aurubis stimmen hier überein, es waren bereits im Jahr 2014 weniger als 2 t CO<sub>2</sub> pro Tonne Kupfer. Aurubis hat den CO<sub>2</sub>-Ausstoß seitdem weiter gesenkt, wir gehen in Zukunft von einem Verhältnis von -35% gegenüber der Gewinnung aus Primärlagerstätten aus. Weiterhin besteht beim Strommix in Deutschland ein Verhältnis von 50% Erneuerbaren Energien und 50% Energie aus Kohle, Gas und Öl.

## Silber

Der Silberpreis ist seit 2015 von 15 Euro pro Feinunze stark gestiegen und schwankt seit 2020 zwischen 20 und 24 Euro. Für die Sicherungsproduzenten ist Silber mit seiner hervorragenden Leitfähigkeit unverzichtbar. Früher war Silber für die Fotografie und bei Röntgenuntersuchungen bedeutend, digitale Aufnahmetechnik macht es in beiden Anwendungen zunehmend überflüssig. Dagegen kommt in der Photovoltaik Silber in großen Mengen zum Einsatz.

Als Münz- und Anlagemetall ist das Metall größeren Spekulationsschwankungen ausgesetzt als beispielsweise Kupfer. Die Bergwerksproduktion erreichte mit 26.900 Tonnen im Jahr 2018 ihren historischen Höhepunkt, fiel in den Pandemie Jahren 2020 und 2022 stark ab und erholte sich erst im vergangenen Jahr wieder auf 26.000 Tonnen. Mexiko, Peru, die Vereinigten Staaten und Australien sind nach wie vor die größten Produzenten. (Quelle: STATISTA 2023)

Schätzungen zufolge liegen die abbauwürdigen Reserven zwischen 2.7–3.1 Millionen Tonnen, von denen aber bereits 1.35–1.46 Millionen Tonnen abgebaut wurden. Der Höhepunkt der Silberproduktion wird für den Zeitraum 2027–2038 erwartet. **Spätestens 2240** werden alle Silberbergwerke wahrscheinlich erschöpft sein. Silber wird danach immer noch gefördert werden, als Nebenprodukt der Kupfer- Blei und Zinkgewinnung. Bereits heute kommt mehr als die Hälfte des Silbers aus diesen Quellen. Besorgniserregend ist, dass trotz des Preisanstiegs in den letzten Jahren die Produktion kaum gesteigert werden konnte. In jedem Fall muss darauf geachtet werden, dass konsequent Recycling betrieben wird und der unwiederbringliche Verlust von Silber vermieden wird. (Quelle: Harald Sverdrup a, Deniz Koca a, Kristin Vala Ragnarsdottir)

Nach Untersuchungen des Unternehmens Umicore betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen je geförderter Tonne Silber 150 Tonnen. (Quelle: 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 folgende Daten verwendet und Annahmen getroffen:**

- Der durchschnittliche Silbergehalt weltweit im Erz von 1995 bis heute betrug 100 Gramm pro Tonne.
- 150 Tonnen CO<sub>2</sub> werden für die Gewinnung vom Bergwerk bis zur Metallhütte pro Tonne Silber freigesetzt.

- Es werden 20% der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber der Primärproduktion beim Recycling von Silber erzeugt.

## **Zusammenfassung und Ergebnisse**

Bereits im Jahr 2015 wurde eine umfangreiche Untersuchung des Energieaufwands und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowohl für die Gewinnung aus Bergwerken als auch für das Recycling durchgeführt. Die damals ermittelten Ergebnisse wurden inzwischen durch Untersuchungen der Copper Alliance zum gleichen Thema nahezu vollständig bestätigt. Einige Faktoren wurden mit neuen Daten aktualisiert und werden in Zukunft für die Berechnungen einbezogen.

Götz Bräuninger, 14. Juni 2023

## **Anhang 1: Quellenangaben und weiterführende Literatur**

### 1. Recycling für den Klimaschutz

– CO<sub>2</sub>-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. Energy Efficiency & Copper Hydrometallurgy John O. Marsden

August 18, 2008, Freeport Mc Moran

9. Global Industrial Energy

Efficiency Benchmarking

An Energy Policy Tool, Working Paper

November 2010 UNITED NATIONS

INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

10. The cost of carbon pricing:

Competitiveness implications for the mining and metals industry international council on mining and metals, ICMM; April 2013

11. 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

12. Energie in Deutschland

Trends und Hintergründe zur Energieversorgung, Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Öffentlichkeitsarbeit 11019 Aktualisierte Ausgabe Februar 2013

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

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

15. TECHNICAL RESOURCE DOCUMENT: EXTRACTION AND BENEFICIATION OF  
ORES AND MINERALS, VOLUME 4

COPPER, EPA 530-R-94-031 NTIS PB94-200979, August 1994



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

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

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

19. 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  
Applied Systems Analysis and Dynamics Group, Chemical Engineering, Lund University  
Sweden  
Institutes of Earth Sciences and Sustainable Development, Askja, University of Iceland,  
Reykjavik

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

21. 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

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

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

24. Mining Industry Energy Bandwith Study, U.S. Department of Energy, Juni 2007

25. 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

26. Porphyry Copper Deposits of the World: Database and Grade and Tonnage Models, 2008  
Von Donald A. Singer<sup>1</sup>, 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

27. 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

28. Corporación Nacional del Cobre de Chile, Rating Report 2014

29. Bureau of mines copper reserves and grades, Part Three  
Resources and Technology 1985

30. The role of mining in national economies, 2nd edition Chapter 5  
World Copper Resources, 2014

31. Verein zur Förderung des umweltgerechten Recyclings von abgeschalteten NH/HH-  
Sicherungseinsätzen, Broschüre 2012 sowie Mitteilungen von Birgit Zwicknagel und Martin  
Grote, 2015

32. Annual Data 2014  
Copper Supply & Consumption — 1993–2013, Copper Development Association 2014

33. Nicola Jaeger, Rohstoffsteckbrief Kupfer  
Power Shift Berlin, 2012

34. Broschüre Metalle Pro Klima, Aurubis AG Hamburg

35. Aurubis Umweltreport 2022

36. Metal production, Morten Simonsen Vestlandsforskning 2009

37. SNAP: Copper production  
ISIC: 2720 Manufacture of basic precious and non-ferrous metals EMEP/EEA emission  
inventory guidebook 2009

38. 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)

39. Carbon emissions from base metal mine sites, APRIL 2009 Mining Engineering

40. Eine Form des modernen Bergbaus

Interview mit Dipl.-Ing. Volker Seefeld, dem Vorstandsvorsitzenden des NH/HH-Recyclingvereins, Elektropraktiker, Berlin 68 (2014) 7

41. Copper - Changing copper yields and grades, Mining Journal 2011

42. 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

43. Copper, ITP MINING: ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROFILE OF THE U.S. MINING INDUSTRY (DECEMBER 2002)

44. CO2 Emission Taxes and the European Copper Industry

European Copper Institute, Avenue de Tervueren 168, B-1150 Brussels, Belgium 2008

45. Urban Mining ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz

Christian Hagelüken, Umicore Precious Metals Refining Hanau, Dow Jones Trade News Emissions, 2009

46. Mine wastes Management,

<https://miningandblasting.files.wordpress.com>

47. GHG <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2023/03/ICA-GlobalDecarb-Summary-A4-202302-R3.pdf>

48.

[https://www.codelco.com/memoria2021/site/docs/20220219/20220219165716/rsss\\_ingles\\_interactivo.pdf](https://www.codelco.com/memoria2021/site/docs/20220219/20220219165716/rsss_ingles_interactivo.pdf)

49

<https://www.kitco.com/commentaries/2022-10-27/Copper-the-most-important-metal-we-re-running-short-of.html>