

## Metals for Progress – Nachhaltige Multi-Metall-Gewinnung bei Aurubis

Andreas Nolte

1.	Multi-Metall-Gewinnung .....	300
2.	Vorteile der Multi-Metall-Gewinnung.....	301
3.	Nachteile der Multi-Metall-Gewinnung.....	303
4.	Nachhaltigkeit.....	305
5.	Auditierbarkeit .....	305
6.	Zusammenfassung und Schlussbetrachtung.....	306
7.	Quelle.....	306

Seit einem Jahr beschreibt die Aurubis AG ihre Unternehmensphilosophie mit dem Claim *Metals for Progress*. Der Fokus steht bewusst auf das was den Konzern und seine Werke seit jeher ausmacht: dem maximal möglichen Ausbringen aller Inhalte aus den eingesetzten Rohstoffen. Damit wird ein erheblicher Beitrag geleistet, dass die Metallerzeugung mit dem Metallbedarf schritthält und benötigte Metalle für den technischen Fortschritt unserer Gesellschaft erzeugt und zurückgewonnen werden. Erzeugte (Zwischen-)Produkte werden direkt im Wertstoffkreislauf verarbeitet, oder bei spezialisierten Folgeunternehmen weiter aufbereitet.

Aus Kupferkonzentraten und Sekundärrohstoffen werden aktuell konzernweit 19 Metalle bzw. Stoffe ausgebracht. Angesichts von jeweils mehr als doppelt so viel enthaltenen Elementen in den Konzentraten und Leiterplatten klingt diese Zahl gering. Die unterschiedlichen Elemente liegen allerdings in höchst verschiedenen Konzentrationsbereichen vor, von kleiner 1 Gramm je Tonne Material bis zu annähernd hundert Prozent Kupferinhalt bei hochwertigen Schrotten. Die physikalisch-chemischen, und damit auch energetischen Hürden zur Gewinnung aller Inhalt sind extrem herausfordernd.

Multi-Metall-Gewinnung liefert Lösungen für die Aufgaben der Zeit wie Rohstoffversorgung im Allgemeinen, Kreislaufwirtschaft und Urban Mining. Die Rohstoffwende verlangt einen höchsteffizienten Umgang mit den primären und sekundären Rohstoffen. Recyclingprozesse können bei weitem noch nicht den aktuellen Rohstoffbedarf decken. Das teilweise Zusammenführen von primären und sekundären Stoffströmen in der Aufarbeitungsfolge erschließt zahlreiche Synergien und gewährleistet ein optimiertes Ausbringen vieler Rohstoffinhalte.

## 1. Multi-Metall-Gewinnung

Das Attribut *Multi-Metall-Gewinnung* trifft sowohl auf primäre als auch auf sekundäre Rohstoffe gleichermaßen zu. Es geht in den Prozessen um das Raffinieren und Extrahieren einzelner Elemente entlang ihrer chemischen Wertigkeit.

Die Trägermetalle der Multi-Metall-Gewinnung sind Kupfer und Blei. Es werden insgesamt vier Basisprozesse betrieben. Zwei Schwebeschmelzofenlinien in Hamburg und Pirdop (Einsatz von Kupferkonzentraten plus diversen Kupferschrotten), einen Anodenschachtofen in Olen (Einsatz diverser Kupferschrotte, sowie primärer und sekundärer Blisterkupfer) sowie das Kayser-Recycling-System (KRS) im Recyclingzentrum Lünen (Einsatz von komplexen Sekundärrohstoffen). Hinter jedem der vier Prozesse wird das Trägermetall Kupfer über Elektrolyseprozesse zu börsennotierten Kupfer-Kathoden raffiniert. Alle Anodenschlämme der Elektrolysen werden dann über die kombinierte Edelmetall- und Bleigewinnung am Standort Hamburg final raffiniert. Spätestens an dieser Stelle der Prozesskette lassen sich die Stoffströme primärer und sekundärer Herkunft nicht mehr voneinander trennen. Weder für die Produktqualität, noch für die weitere Prozessführung hat die Rohstoffherkunft eine Relevanz. Es zählt das Ausbringen einer maximal möglichen Anzahl von Metallen.

Metalle

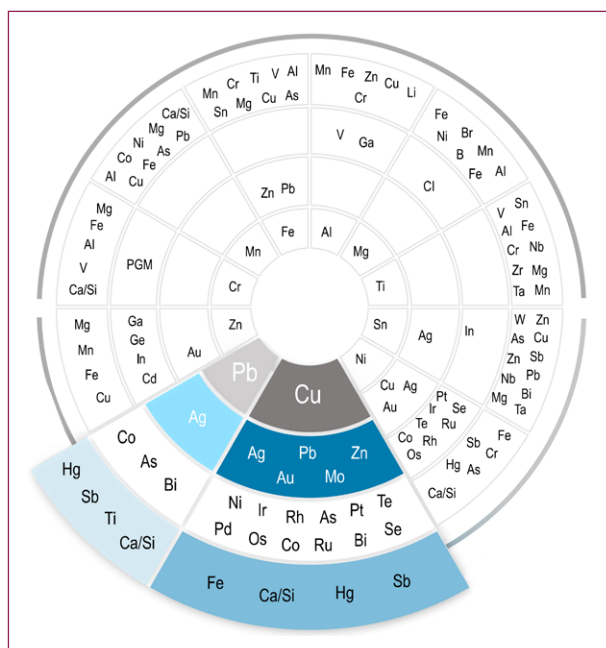


Bild 1:

Das Metallrad mit besonderem Fokus auf Kupfer und Blei als Basismetalle für die schrittweise Trennung und Aufbereitung von Rohstoffinhalten

Multi-Metall-Gewinnung ist nicht neu. Jedoch lag in der Vergangenheit der Hauptfokus auf Kupfer und den Edelmetallen. Bei vielen der begleitenden Metalle wurde selbst konzernintern von *Verunreinigungen* und *Störstoffen* gesprochen. Neu ist jedoch das interne und externe Bewusstsein, diese Stoffe als Begleit- und Wertmetalle zu erkennen und die Raffination gezielt auf das Ausbringen der Begleitstoffe zu optimieren.

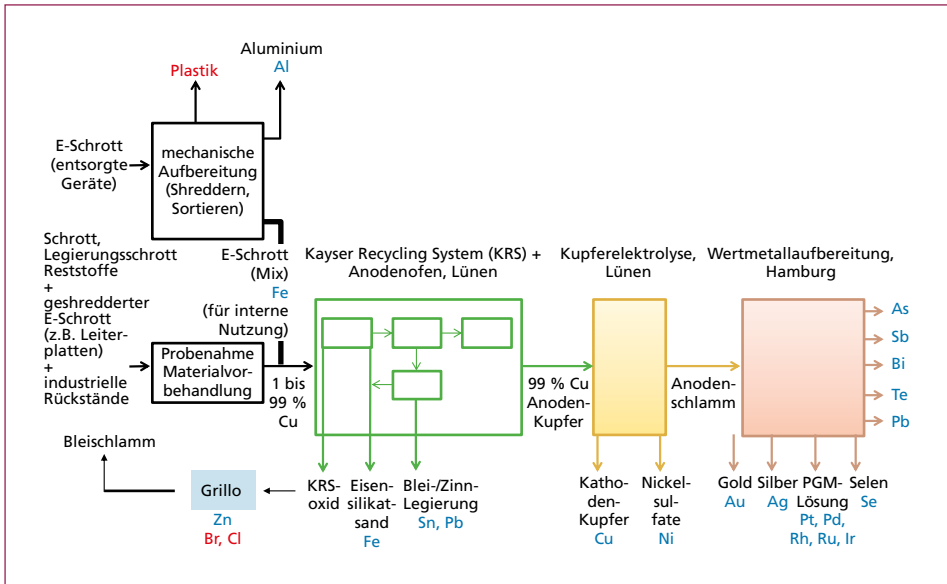


Bild 2: Abfolge der schrittweisen Metallraffination aus Recycling-Rohstoffen als Kombination von mechanischen, pyro- und hydrometallurgischen Verfahrensschritten

## 2. Vorteile der Multi-Metall-Gewinnung

Multi-Metall-Gewinnung ermöglicht die schrittweise Gewinnung von Metallen in einer Folge integrierter Aufarbeitungsschritte. Grundsätzlich werden mechanische sowie pyro- und hydrometallurgische Prozesse eingesetzt. Wie im Bild 2 dargestellt, sind die Trennprozesse aufeinander abgestimmt. Der Vorteil liegt unter anderem in der Möglichkeit, komplexe Rohstoffe sehr unterschiedlicher Konsistenz und Zusammensetzung zu optimalen Einsatzgemischen zusammenzusetzen. Leiterplattenfraktionen werden mit Metallschreddern, Galvanikschlämmen und gebrauchten Katalysatoren gemeinsam in der ersten Prozessstufe verarbeitet. Die sekundären Prozesse lassen hier grundsätzlich mehr Flexibilität zu, als die primären Verarbeitungsprozesse für die Kupferkonzentrate. In allen Fällen werden verschiedene Stoffeigenschaften metallurgisch, chemisch, und energetisch genutzt. Metallisches Eisen dient als  $\text{CO}_2$ -neutrales Reduktionsmittel und Energieträger. Die Organik von Leiterplatten dient gleichfalls als Reduktionsmittel. Trockene und staubige Materialien können mit Schlämmen verarbeitungsgerecht konditioniert werden.

Die Rahmenanalyse von Leiterplatten aus dem Elektronikschrott-Recycling (Tabelle 1) soll hier verdeutlichen welche Elementvielfalt verarbeitet wird. Materialverbünde von Leiterplatten sind schwer mechanisch zu trennen (Bild 3), daher ist ein wert- und stoffinhaltsbezogener Recyclingprozess notwendig.



Bild 3: Materialverbände von Leiterplatten

Tabelle 1: Elementinhalte bestückter, separierter Leiterplatten aus dem Elektro- und Elektronikschrott

Al	2-10 %	Pd	5-50 ppm
Ag	100-1.000 ppm	S	0,1-0,3 %
Au	20-200 ppm	Sn	1-2 %
Ba	0,2 %	Zn	0,5-2 %
Cd	< 0,1 %	Si	10-25 %
Cl	0,2-0,4 %	B	1-3 %
Co	0,1-0,35 %	K	0,2 %
Cr	0,2-0,3 %	Na	0,2 %
Cu	10-25 %	Ca	2-7 %
Fe	2-4 %	C	25-35 %
Ni	0,2-1 %	Br	2-5 %
Mn	0,5-1 %	Sb	0,1-0,5 %
Pb	1-3 %	P	0,1-0,5 %
Hg	1 ppm		

In der Schmelze spielt es keine Rolle mehr, ob das Goldatom von einer Leiterplatte stammt, oder aus einem Katalysatorrückstand. Entscheidend ist die Prozessfähigkeit geeigneter flexible Verfahrensbedingungen wie (a) reduzierende Bedingungen in der Schmelze, (b) starke Oxidationsbedingungen in der Nachverbrennung (Verbrennung von Zink zu Zinkoxid und CO zu CO<sub>2</sub>) und (c) eine gute Abwärmenutzung durch Dampferzeugung und Nutzung (einschließlich der Stromerzeugung im Kraft-Wärme-Kopplung-Prozess) zu gewährleisten.

Weitere mechanische Vorstufen von komplexen Leiterplatten sind grundsätzlich vorstellbar. Für den wirtschaftlichen und Verwertungserfolg ist entscheidend, den Goldinhalt als Hauptwertträger und strategische Ressource in maximaler Ausbeute final als raffiniertes Gold auszubringen. Die Gefahr einer Dissipation von Gold in Aufbereitungsströme für andere Elemente ist grundsätzlich hoch.

Wichtig ist, dass der Closing-the-Loop Gedanke konsequent auf alle Inhalte angewandt wird. Weiterhin ist es wichtig, dass dieser Gedanke nicht am Werkstor aufhört, sondern mit externen Partnern aus Chemie und Metallurgie bewusst weiterentwickelt wird.

Ein hoher Anteil des gewonnenen, mit Blei und Halogenen angereicherten, Zinkoxid-Produktes wird bei der Grillo AG zu Zinksulfat verarbeitet. Brom, welches überwiegend aus den flammenhemmenden Verbindungen der Leiterplattenkunststoffe stammt, wird durch Strippen in ein Bromsalzprodukt umgesetzt und industriell wiederverwertet. Blei geht als Bleischlamm wieder zurück in die Bleigewinnung.

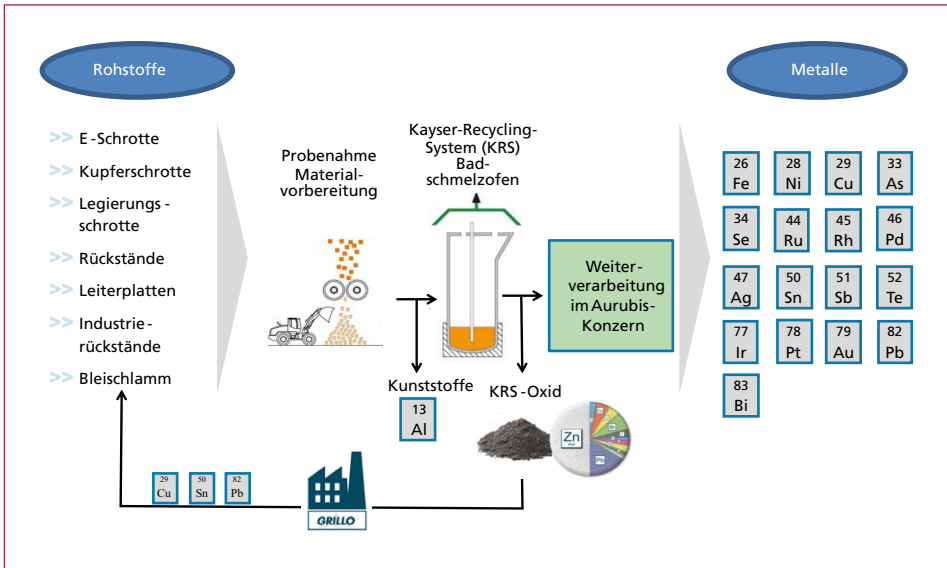


Bild 4: Schematische Darstellung zu den Kreisläufen der Multi-Metall-Gewinnung

Jedes Element im System ist ein potentieller Wertstoff. Für fast jeden Stoff primärer und sekundärer Herkunft gibt es einen geeigneten Startpunkt in einem der konzerninternen Prozesse. Die Trennkette folgt rein chemischen Zusammenhängen, entlang der chemischen Wertigkeit im Periodensystem der Elemente. Spätestens das Zusammenführen der edelmetallreichen Anodenschlämme der Elektrolysen ermöglicht ein herkunftsübergreifendes, effizientes und wirtschaftliches Gewinnen von weiteren Metallen, wie z.B. Antimon, was sowohl in Kupferkonzentraten aber auch in Leiterplatten ( $Sb_2O_3$  ist eine Flammenschutzkomponente) vorkommt.

### 3. Nachteile der Multi-Metall-Gewinnung

Pyro- und hydrometallurgische Prozesse auf Basis des Lösemittels Kupfer können nicht in einer Prozesskette Trennvorgänge für alle Elemente bereitstellen. Das liegt einerseits daran, dass Kupfer zu den elektrochemisch edlen Metallen zählt und andererseits eine Vielzahl von Metallen nur in geringen Konzentrationen von wenigen Gramm je Tonne enthalten sind. Für bedeutsame, elektrochemisch sehr unedle Metalle, wie z.B. die seltenen Erden, müssen mechanische Trenn- bzw. Anreicherungsprozesse vorgeschaltet werden. Die Metallrückgewinnung jedes zusätzlichen Metalls muss energetisch, ökologisch und ökonomisch bewertet werden. Wobei eine zukünftige Integration von Trennschritten in einen bestehenden Multi-Metall-Prozess wiederum Vorteile haben kann.

Ein *Schein-Nachteil* ist ein ansteigender Gesamtenergiebedarf und die Tendenz zu höheren direkten  $CO_2$ -Emission. In absoluten Zahlen steigt der Energiebedarf des

Recyclingstandortes Lünen langsam, aber stetig an. Allein von 2016 auf 2017 sind die direkten CO<sub>2</sub>-Emission von 173.200 Tonnen auf etwa 183.800 Tonnen jährlich angestiegen.

Hintergrund ist der stetig ansteigende Durchsatz von komplexen Sekundärrohstoffen mit niedrigen Kupferinhalten bei gleichzeitig aber höheren Begleitmetallinhalten. Das erfordert einen höheren Energiebedarf als das Raffinieren von reinen Kupferschrotten. Jeder zusätzlich Trenn- und Aufbereitungsschritt erfordert Energie. Begleitende Energieeffizienzmaßnahmen, wie z.B. der Betrieb einer zweistufigen Kondensationsturbine mit Kraft-Wärme-Kopplung können den Trend aber nur verlangsamen.

Primärenergieeintrag Werk Lünen  
GWh

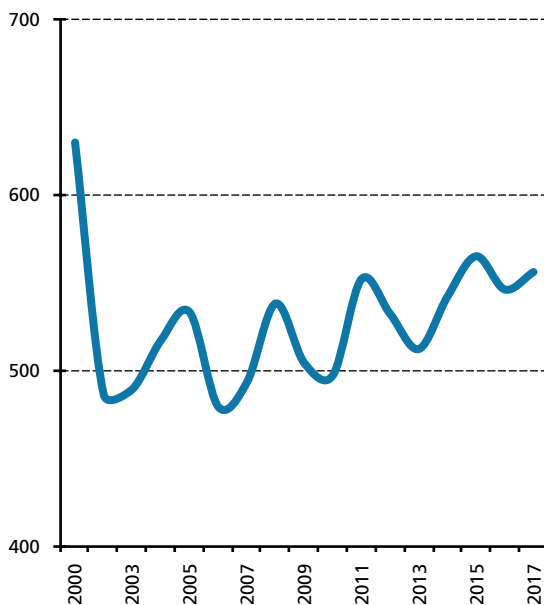


Bild 5:

Zeitliche Entwicklung des absoluten Primärenergiebedarfs der Multi-Metall-Gewinnung aus Sekundärrohstoffen im Werk Lünen

Die Kupfererzeugung ist durch die technische Kapazität der Elektrolyse gedeckelt. Mittlerweile werden über das Werk Lünen parallel zum Kupfer je rund 1.500 Tonnen Zinn und Nickel, mehr als 10.000 Tonnen Zink und mehr als 4 Tonnen Gold ausgebracht. Dieses ist das Resultat jahrelanger Verfahrensentwicklung in Multi-Metall-Gewinnung. Allein für die Goldgewinnung müsste dem Multi-Metall-Recycling Prozess in Lünen somit im Vergleich zur primären Golderzeugung rund 150 bis 200 Millionen kWh Energiebedarf *gutgeschrieben* werden [1]. [Der Energiebedarf einer Goldmine wird nach [1] mit etwa 5 GJ/oz abgeschätzt.

Somit ist in der Tat der steigende Energiebedarf eher ein *Schein-Nachteil*. Die Leistung der Multi-Metall-Gewinnung definiert sich über das maximal mögliche Ausbringen von Metallinhalten. Zusätzliche Trennschritte benötigen Energie. Der Mehrbedarf ist in der Regel im Vergleich zur direkten Erzeugung aus Erzen sehr gering.

## 4. Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit vereinbart die Bereiche *Wirtschaft, Umwelt und Mensch/Gesellschaft*. Multi-Metall-Gewinnung ist ökonomisch und schont in hohem Maße die Umwelt. Dieser Aspekt ist jedoch teilweise, wie zuvor erläutert, nur bei näherem Hinsehen sichtbar und erschließt sich teilweise nur über den Vergleich, gleiche Trennaufgaben über rein primäre Wege oder über separate Trennschritte in unterschiedlichen Anlagen umzusetzen.

Es gibt einen klaren gesellschaftlichen Auftrag für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft und den effizienten Umgang mit Ressourcen. Dazu gehören auch alle primären und sekundären Rohstoffe. Multi-Metall-Gewinnung erfüllt genau diese Vorgaben.

Allerdings erschließt sich diese besondere Nachhaltigkeit oft erst auf den zweiten Blick. Kennzahlen, wie ein steigender Energiebedarf oder ansteigende CO<sub>2</sub>-Emissionen suggerieren eine negative Entwicklung. Erst der Bezug zur Rohstoffkomplexität und einem gekoppelten Ausbringen von begleitenden Wertmetallen bringen die positiven Effekte der Multi-Metall-Gewinnung zum Vorschein.

## 5. Auditierbarkeit

Insbesondere die Verwertung von Elektro- und Elektronikschrotten erfordert eine hohe Prozesstransparenz. Diese Transparenz wird von Kunden und Gesellschaft eingefordert. Dazu gehört zum einen die selbstverständliche Erfüllung der Standardnormen wie ISO 9001, 14001 (plus EMAS) und 50001 mit entsprechendem öffentlichen Reporting, zum anderen die Umsetzung weiterer Standards wie die für Entsorgungsfachbetriebe oder die aus der WEEE-Richtlinie abgeleiteten Standards wie EERA, WEEELABEX oder TS 50625.

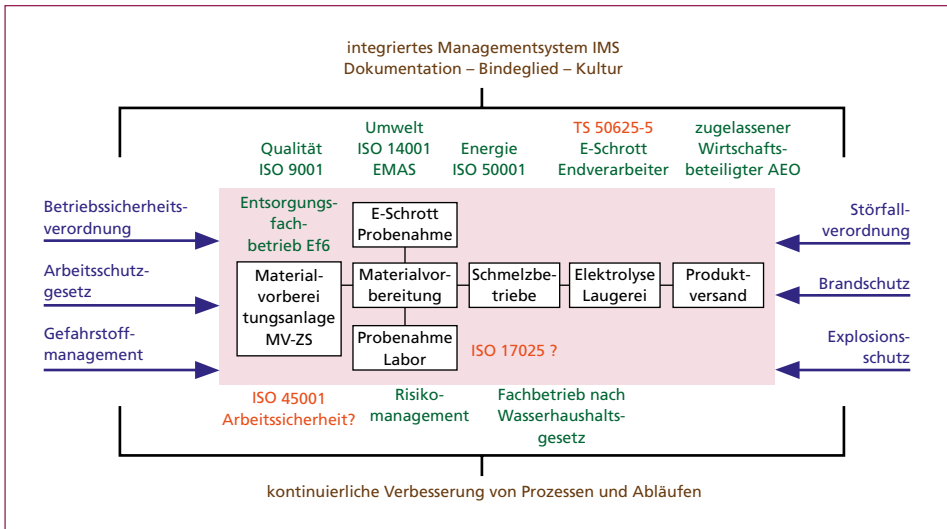


Bild 6: Schematische Darstellung zum integrierten Managementsystem des Werkes Lünen

Die Bewältigung aller notwendigen technischen und organisatorischen Vorgänge setzt eine Mindestgröße voraus. Zum verantwortungsvollen Umgang mit primären und sekundären Rohstoffen gehört unter anderem auch ein umfangreicher Probenahme- und Laborbetrieb, um die Qualität und Werthaltigkeit der eingesetzten Materialien zu bestimmen. Anlagentechnisch werden Größenordnungen erreicht, welche die Betriebe der Störfallverordnung, dem Emissionshandel und auch den energieintensiven Industrien zuzuordnen sind.

Diese Ordnung und Transparenz kann in hervorragender Weise über ein integriertes Managementsystem gewährleistet werden. Neben der Metallurgie, den Multi-Metall Prozessen (Bild 2) gehört ein ganzheitliches Verständnis der organisatorischen und Zusammenhänge unabdingbar dazu.

## 6. Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Aurubis verfolgt konsequent den Weg der Multi-Metall-Gewinnung. Schon heute werden 19 Metalle aus den primären und sekundären Rohstoffen ausgebracht. Bis zum Geschäftsjahr 2020/2021 wird der Konzern rund 320 Millionen Euro in eine Verfahrenserweiterung *Future Complex Metallurgy* investieren. Über zusätzliche Anlagen wie Badschmelzöfen, Laugung und Gewinnungselektrolyse sollen etwa 270.000 Tonnen pro Jahr zusätzliche komplexe primäre und sekundäre Rohstoffe eingesetzt werden. Komplex heißt in diesem Zusammenhang hoch konzentriert an Kupfer begleitenden Metallen. Hierdurch können auch die bestehenden Prozesse weiter ressourcen-optimiert werden und weitere Metalle werden zusätzlich ausgebracht.

*Metals for Progress* bedeutet, dass die Metallerzeugung mit dem nach wie vor steigenden Metallbedarf schritthält. Es geht nicht ausschließlich darum, *nur* mehr Metallmenge bereitzustellen.

Multi-Metall-Gewinnung leistet einen nachhaltigen Beitrag zur Rohstoffversorgung und stellt sicher, dass dieses für eine Vielzahl von Metallen maximal energie- und ressourceneffizient erfolgt.

## 7. Quelle

- [1] Harder, J.: Energie-Intensität im Kupfer- und Goldbergbau, AT Mineral Processing 10/2017, Vol. 58



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel • Elisabeth Thomé-Kozmiensky • Daniel Goldmann (Hrsg.):  
**Recycling und Rohstoffe** – Band 11

ISBN 978-3-944310-40-4 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,  
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel, Sandra Peters,  
Ginette Teske, Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.