

Vom Malachit zum Euro



Historie

Kupfer hat die Kulturgeschichte maßgeblich beeinflusst. Die Bekanntschaft des Menschen mit diesem Metall reicht über 10.000 Jahre bis in die Steinzeit zurück. Es ist das erste Metall, das von den Menschen als Werkstoff und Schmuckwerkstoff verwendet wurde. Fast 5.000 Jahre blieb es das einzige genutzte Metall, erst um 4.000 v. Chr. kam Gold als weiteres Metall hinzu.

Das in der Natur gediegen, das heißt in metallischer Form vorkommende Kupfer wurde zunächst nur durch Hämmern geformt und gefestigt. Erst später gelang es, das Metall bis

zum Schmelzpunkt zu erhitzen und in Steinformen zu gießen. Das Erschmelzen von Kupfer aus Erz gelang vermutlich erstmals um etwa 3.900 v. Chr. Sicherlich waren es die faszinierenden Farben vieler Kupferminerale – wie beispielsweise beim Malachit, Azurit oder Cuprit – die die Menschen der Frühzeit dazu brachten, sich näher mit deren Eigenschaften zu beschäftigen.

Etwa 3.000 v. Chr. lernten die Menschen Silber und Blei zu verwenden und Kupfer und Zinn zu legieren. Zinnbronze wurde für viele Jahrhunderte zum bevorzugten Material und gab einer ganzen Kulturepoche, der

Bronzezeit, den Namen. Beispielsweise waren die Rüstungen der Helden Homers aus Bronze gefertigt.

Heute ist Kupfer aus unserem täglichen Leben nicht wegzudenken. Wir finden es, um nur einige Beispiele zu nennen, als Draht in elektrischen Leitungen, als Rohr in der Wasser- und Heizungsinstallation oder als Blech für Dachdeckungen und Wandbekleidungen. Das Metall hat die Entwicklung neuer Technologien maßgeblich mitgestaltet. Von Live-Übertragungen via Internet über E-Mails rund um den Globus bis hin zur Energieversorgung – erst Kupfer ermöglicht einen hohen Standard.



Entstehung der Lagerstätten

Nach den Vorstellungen über die Entstehung der Erde haben sich die primären Kupfererze im Wesentlichen in der Abkühlungsperiode der noch feuerflüssigen Erdkugel gebildet und im Erdinnern angesammelt. Durch Brüche der ersten festen Schale der Erde sind sie später von dort aufgestiegen und haben, teils im Innern der uns noch zugänglichen Erdkruste, teils auf dieser selbst primäre Lagerstätten gebildet. Wegen seiner starken Affinität zu Schwefel wird Kupfer bei der primären Lagerstättenbildung fast immer in sulfidischer Form gebunden. Oxidische Kupfererze findet man in sekundären Lagerstätten. Sie sind durch Verwitterung aus sulfidischen Erzen entstanden.

Wichtige Kupferminerale

Der Anteil von Kupfer in der obersten 16 Kilometer dicken Erdkruste liegt im Mittel bei etwa 0,007 Prozent. In der Häufigkeitsliste der chemischen Elemente steht es damit an 25. Stelle.

Die größte Lagerstätte von gediegem Kupfer findet man am Oberen See in den USA. Weitere Vorkommen gibt es im Ural und in Neu-Mexiko. Zu den technisch wichtigsten Kupferminerale gehören der Kupferkies (Chalkopyrit) und der Kupferglanz (Chalkosin). Von bergbaulich geringerer Bedeutung sind die Minerale Buntkupferkies (Bornit), Malachit (Kupferspat), Kupferlasur (Azurit) sowie Rotkupfererz (Cuprit).



Wichtige Kupferminerale

Mineralname	Formel	Cu-Gehalt (%)*
Kupfer gediegen	Cu	99
Chalkosin	Cu ₂ S	79
Digenit	Cu ₉ S ₅	78
Covellin (Kupferindigo)	CuS	66
Bornit	Cu ₅ FeS ₄	63
Enargit	Cu ₃ AsS ₄	48
Tennantit (Arsenfahlerz)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	42–52
Tetraedrit (Antimonfahlerz)	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	30–45
Chalkopyrit (Kupferkies)	CuFeS ₂	34
Cubanit	CuFe ₂ S ₃	23
Cuprit (Rotkupfererz)	Cu ₂ O	88
Tenorit (Schwarzkupfererz)	CuO	80
Malachit (Kupferspat)	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	57
Azurit (Kupferlasur)	2 CuCO ₃ · Cu(OH) ₂	55
Chrysokoll	CuSiO ₃ + aq.	30–36
Atacamit	Cu ₂ (OH) ₃ Cl	59
Brochantit	Cu ₄ (OH) ₆ SO ₄	56
Antlerit	Cu ₃ (OH) ₄ SO ₄	53
Chalkanthit	CuSO ₄ · 5H ₂ O	25

* auf ganze Zahlen abgerundet

Die wichtigsten Kupferbergbaugelände sind in Afrika Sambia und der Süden des Kontinents, die Westküste Südamerikas, insbesondere Nordchile und Peru, das Seengebiet von Nordamerika, Kanada sowie der Südwesten der USA, auf dem Gebiet der GUS-Staaten die Kupferreviere von Kasachstan und Usbekistan. Übernennenswerte Lagerstätten verfügen auch Australien, China, Indonesien, Papua-Neuguinea und die Philippinen. In Europa sind nur die polnischen Kupfererzvorkommen sowie die Mine von Somincor in Portugal von Bedeutung. Die in Deutschland früher sehr ergiebigen Mansfelder Kupferschiefer sind nahezu erschöpft. Deshalb wurde die seit dem Jahr 1199 betriebene Erzförderung Mitte 1990 eingestellt.

Bergbau

Kupfererze werden sowohl im Untertagebau als auch im Tagebau gefördert. Sie haben deutlich geringere Kupfergehalte als die reinen Kupferminerale. Die heute ausgebeuteten Lager-

stätten enthalten meist nur circa 1 Prozent, auf einigen großen Gruben sogar nur 0,3 Prozent Kupfer. Bei Kupfergehalten unter einem Prozent lassen sich Lagerstätten nur im kostengünstigeren Tagebau unter Einsatz modernster Abbaumethoden wirtschaftlich nutzen. Um 1 Tonne Rohkupfer zu erhalten, müssen rund 1.000 Tonnen Gestein bewegt werden. Deshalb sind die terrassenförmigen Tagebaue dieser Lagerstätten die größten Erzgruben der Welt.

Aufbereitung

Bevor die Erze verhüttet werden können, muss das unerwünschte, taube Begleitgestein, die so genannte Gangart, von den kupferhaltigen Bestandteilen abgetrennt werden. Deshalb wird das Erz zunächst mit Hilfe von Erzbrechern zerkleinert. Anschließend wird es in Kugelmöhlen so fein vermahlen, bis die verschiedenen Mineralphasen frei liegen. Dies ist häufig erst bei Korngrößen unter 0,1 Millimeter der Fall.

Die Trennung erfolgt dann in einem Flotationsverfahren nach dem Schaum-Schwimm-Prinzip. Dieses Verfahren beruht auf der unterschiedlichen Benetzbarkeit der verschiedenen Minerale, also deren Fähigkeit, sich mit einem geschlossenen Flüssigkeitsfilm zu überziehen.

Das pulverisierte Erz wird in Flotationszellen mit Wasser aufgeschlämmt. Neben Schaumbildnern enthält diese Suspension geeignete Flotationshilfsmittel. Mit deren Hilfe kann die Benetzbarkeit der zu trennenden Stoffe gezielt beeinflusst werden.

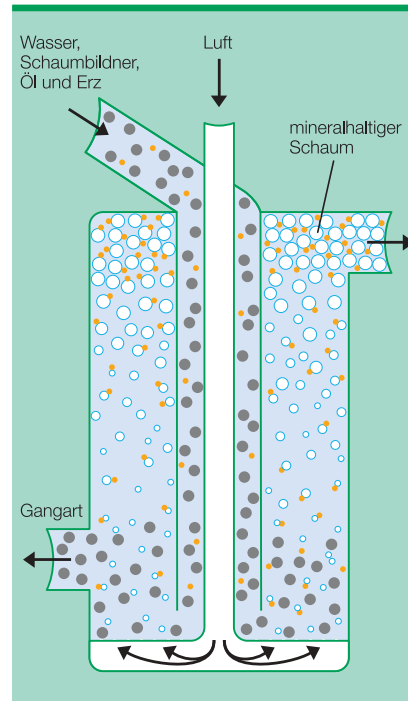
Sulfidische Minerale lassen sich leicht mit Wasser abweisenden, also hydrophoben Stoffen, wie unter anderem aliphatischen Kohlenwasserstoffen oder Ölen, benetzen. Die Bestandteile der Gangart wie Quarz und Silikate sind dagegen hydrophil und daher mit Wasser benetzbar.

Durch das Einblasen von Luft in die Suspension am Boden der Flotationszelle bilden sich feine Luftbläschen. Die hydrophoben Erzteile können sich an die Luftblasen anlagern und an ihnen haftend an die Oberfläche schwimmen. Hier bilden sie eine dichte Schaumdecke, die abgetrennt, entwässert und getrocknet wird.

Die Wasser benetzbaren Minerale verbleiben in der wässrigen Phase.

Ein Flotationsverfahren besteht meistens – abhängig von der Zusammensetzung des Roherzes – aus verschiedenen Stufen, um möglichst reine Konzentrate und hohe Ausbeuten zu erzielen. Durch diesen Prozess erhält man Erzkonzentrate, deren Kupfergehalt zwischen 20 und 40 Prozent liegt. Daneben enthält das Konzentrat Eisensulfid sowie weitere Buntmetallsulfide, unter anderem Nickel- und Bleisulfid.

Flotationsprozess



Verhüttungsprozess

Um Rohkupfer aus sulfidischen Erzkonzentraten zu gewinnen, wendet man heute bevorzugt das Schwebeschmelzverfahren an. Dazu wird das Konzentrat zunächst mit Sand (Siliziumdioxid) versetzt, der das im Erzkonzentrat enthaltene Eisen als Eisensilikat (Schlacke) bindet. Das in einen Reaktionsschacht herabfallende, „schwebende“ Gemisch wird mit Hilfe von Sauerstoff bei Temperaturen über 1.200 Grad Celsius zur Reaktion gebracht. Durch die dabei frei werdende Energie entsteht eine Schmelze aus Kupfer- und Eisensulfid, die als so genannter Kupferstein von der Schlackenphase abgetrennt wird. Im Kupferstein liegt die Kupferkonzentration bei etwa 65 Prozent.

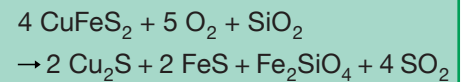
Konverterbetrieb

Der schmelzflüssige Kupferstein wird in einen Konverter gegossen. Hier entsteht in der ersten Stufe durch Einblasen von Luft zunächst Eisenoxid, das mit dem zugeschlagenen Sand eine Schlacke bildet. Beim

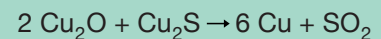
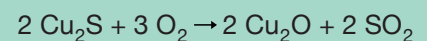
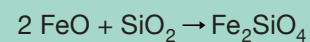
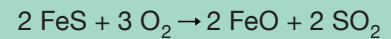
weiteren Verblasen zerlegt sich dann auch das Kupfersulfid, sodass der Konverterinhalt schließlich aus flüssigem Rohkupfer und einer stark kupferhaltigen Schlacke besteht. Dieses Rohkupfer ist mit Kupferanteilen von mehr als 98 Prozent schon recht rein. Wegen seiner Gaseinschlüsse wird es als Blasen- oder Blisterkupfer bezeichnet. Als Nebenbestandteile sind unterschiedliche Mengen an Nickel, Blei, Arsen, Antimon, Selen, Tellur und Edelmetallen enthalten.

Reaktionsschritte:

Schwebeschmelzofen



Konverter



Das beim Verhüttungsprozess entstehende Schwefeldioxid wird als Abgas abgeleitet. Nach Entstaubung und mehrstufiger Nassreinigung gelangt das Schwefeldioxid in eine Kontaktanlage und wird dort zu Schwefelsäure hoher Reinheit und Qualität umgesetzt. Die bei der Abgasreinigung abgeschiedenen Stäube werden zur Gewinnung der darin enthaltenen Metalle weiterverarbeitet. Auf Grund der extremen Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen und einer ausgezeichneten Umweltverträglichkeit wird die Eisensilikatschlacke als Baumaterial geschätzt. Sie dient beispielsweise als Deckwerk für Uferbefestigungen an Flussläufen und Küsten.

Hydrometallurgische Verarbeitung

Die Aufbereitung oxidischer sowie gemischt sulfidisch-oxidischer Kupfererze erfolgt vorzugsweise auf nasschemischem (hydrometallurgischem) Weg, denn diese lassen sich durch die gängigen Flotationsverfahren nur unzureichend anreichern. Deshalb werden die Erze mit Schwefelsäure ausgelaugt. Anschließend wird das Kupfer elektrolytisch aus dem sauren Extrakt gewonnen.

Gewinnung von Raffinadekupfer durch Feuerraffination

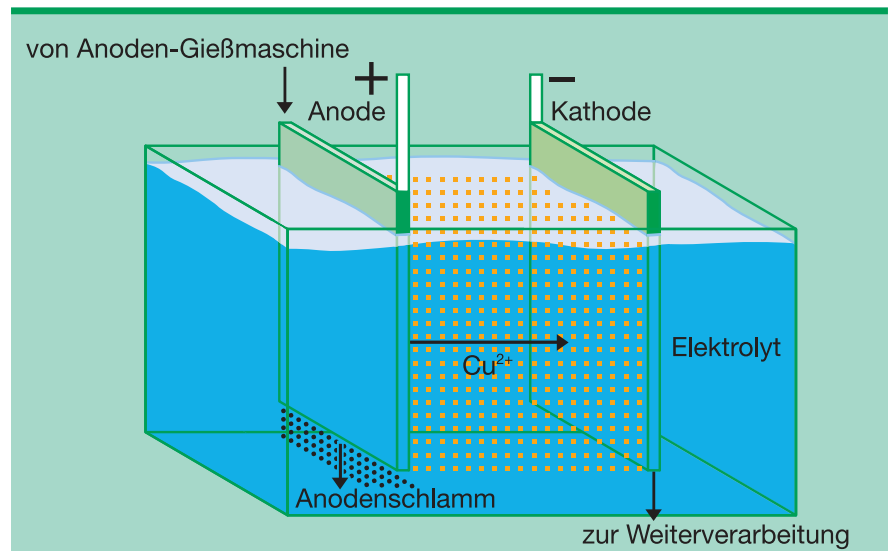
Um die verbliebenen Verunreinigungen zu entfernen, muss das Rohkupfer weitere Aufbereitungsschritte durchlaufen.

Zunächst erfolgt in einem Anodenofen eine Feuerraffination, um weitere unerwünschte Bestandteile abzutrennen und den Sauerstoffgehalt des Blisterkupfers herabzusetzen. Bei diesem Prozess, der als „Polen“ bezeichnet wird, werden Erdgas oder andere Reduktionsmittel in das flüssige Metall eingeblasen. Früher erfolgte die Reduktion durch das Einbringen frischer Birken- oder Buchenstämmen in die Metallschmelze. Das Kupfer weist nach dieser Behandlung eine Reinheit von etwa 99,5 Prozent auf und wird jetzt zu Anoden vergossen. Dies sind Kupferplatten mit einer Größe von circa 1 Meter mal 1 Meter und einem Gewicht von etwa 400 Kilogramm.

Elektrolytische Raffination

Bereits sehr geringe Verunreinigungen setzen die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer stark herab. Um den hohen Anforderungen der Elektrotechnik und Elektronik gerecht zu werden, wird das Kupfer deshalb noch einer elektrolytischen Raffination unterzogen.

Raffinationselektrolyse



Zur Elektrolyse werden die Anodenplatten in Elektrolysezellen eingehängt. Als Elektrolytlösung dient eine schwefelsaure Kupfersulfatlösung. Edelstahlbleche werden als Kathode geschaltet. Auf ihnen scheidet sich unter dem Einfluss des elektrischen Stroms das an der Anode in Lösung gehende Kupfer ab. Gearbeitet wird mit Stromdichten von über 300 Ampère pro Quadratmeter bei Temperaturen um 60 Grad Celsius. Das Kathodenkupfer zeichnet sich durch einen sehr hohen Reinheitsgrad von 99,99 Prozent aus.



Kupferkathoden

Von den Verunreinigungen des Anodenkupfers werden die unedleren Elemente anodisch gelöst. Dazu gehören beispielsweise Arsen und Nickel. Sie reichern sich in der Elektrolytlösung an. Nachdem der Elektrolyt aufgearbeitet ist und daraus Arsentrioxid und Nickelsulfat gewonnen worden sind, wird die Lösung erneut im Produktionsprozess eingesetzt.

Edle und unlösliche Bestandteile der Anode wie Gold, Silber, Platin und Palladium sowie Blei, Antimon, Bismut, Selen und Tellur setzen sich auf dem Boden der Elektrolyse als Anodenschlamm ab. Dieser Schlamm wird mit Hilfe von aufwändigen Raffinationsverfahren aufgearbeitet. Mit dem letzten Verfahrensschritt erhält man in der Gold- und Silberelektrolyse reinste Edelmetalle.

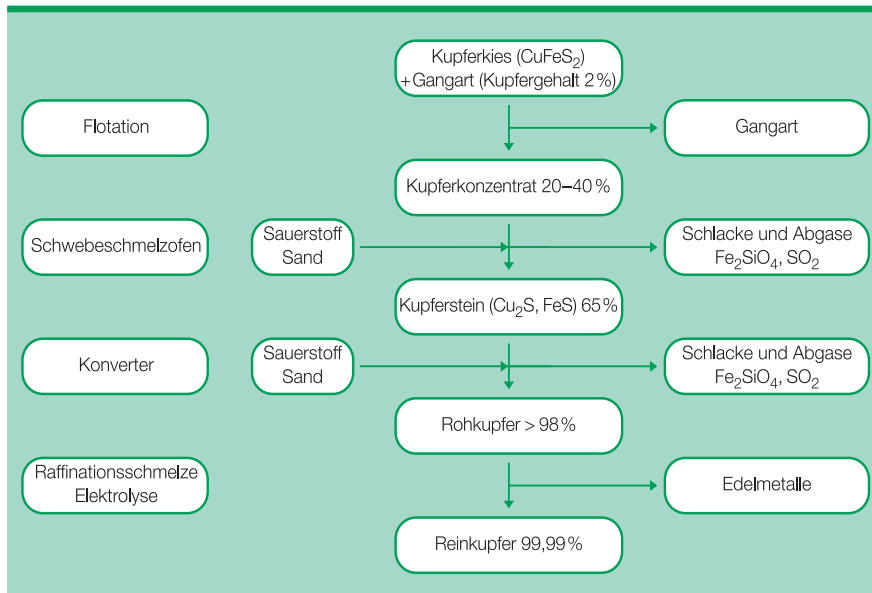
Die Auflösung einer Anode im Elektrolyseverfahren dauert 21 Tage und verläuft in 3 Schritten. Sobald jeweils 120 Kilogramm Kupfer an den Kathoden abgeschieden sind, werden die Bleche durch neue ersetzt. Die Reste der Kupferanoden gelangen in den Prozess zurück und werden zu neuen Anoden eingeschmolzen.

Raffinationswirkung einer modernen Kupferelektrolyse

Element	Anode (g/t)	Kathode (g/t)
Silber (Ag)	800	10
Selen (Se)	350	< 0,5
Tellur (Te)	70	< 0,5
Arsen (As)	1.000	≤ 1
Antimon (Sb)	300	≤ 1
Bismut (Bi)	80	< 0,2
Blei (Pb)	1.000	< 0,5
Nickel (Ni)	1.500	< 2



Pyrometallurgische Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies



Das hochreine Kathodenkupfer wird eingeschmolzen und anschließend zu Walzplatten, Rund- oder Vierkantbarren vergossen oder zu Gießwalzdraht weiterverarbeitet.

Fertigung der Münzrohlinge

Während in historischer Zeit häufig Gold- und Silbermünzen als Zahlungsmittel dienten, ist heute Kupfer das Metall der Wahl bei der Herstellung der Euromünzen. An die Geldstücke werden besonders hohe Anforderungen hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit, Automatentauglichkeit und Fälschungssicherheit gestellt. Deshalb wird das Kupfer nicht in reiner Form eingesetzt, sondern mit weiteren Metallen legiert.

Eine Sonderrolle nehmen die drei Münzen mit den Nominalwerten 1, 2 und 5 Cent ein. Sie besitzen einen Kern aus Stahl. Die Münzrohlinge werden zunächst aus Stahlblechen herausgestanzt und anschließend auf galvanischem Wege mit einer feinen Kupferschicht elektrochemisch überzogen. Mit diesem Verfahren lassen sich weitaus dünnere Kupferauflagen

erzielen, als durch die herkömmlichen Plattierverfahren, mit denen man die Pfennig- und 2-Pfennigstücke zu Zeiten der D-Mark hergestellt hat. Damals wurde ein Eisenblech beidseitig mit dünnen Kupferblechen unter hohem Druck plattiert, d. h. untrennbar verbunden. Im Anschluss wurden aus diesen dreischichtigen Blechen die Münzrohlinge gestanzt. Sieht man sich den Rand eines „Glückspfennigs“ einmal etwas genauer an, kann man den Eisenkern noch erkennen.

Die drei mittleren Werte zu 10, 20 und 50 Cent werden aus einer speziellen Legierung mit der Bezeichnung „Nordisches Gold“ gefertigt. Entsprechend der Bezeichnung CuAl5Zn5Sn1 setzt sie sich aus 89 Prozent Kupfer, 5 Prozent Aluminium, 5 Prozent Zink sowie 1 Prozent Zinn zusammen.



Die einzelnen Legierungsbestandteile müssen genauestens aufeinander abgestimmt sein. Bei geringsten Abweichungen von der Rezeptur würden die späteren Münzen von Automaten, in die wir unser Kleingeld werfen, als Falschgeld entlarvt.



Münzrohlinge

Die beiden Geldstücke mit dem höchsten Wert zu 1 und 2 Euro sind aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt. Wegen der unterschiedlichen Farbe von Kern und Ring bezeichnet man sie als Bicolor-Münzen.

Das Innere der 1-Euro-Münze wird aus dem dreischichtigen Werkstoff Magnimat hergestellt. Bei den beiden äußeren Schichten handelt es sich um eine Legierung aus 75 Prozent Kupfer und 25 Prozent Nickel (CuNi25). Der Kern besteht aus reinem Nickel. Magnimat wurde erstmals 1969 zur Produktion des 2-DM-Stückes eingesetzt und seit dem Jahr 1975 dann auch für das 5-DM-Stück. Zur Herstellung des gelben Ringes der 1-Euro-Münze verwendet man eine Nickel-Messing-Legierung der Zusammensetzung CuZn20Ni5.

Auch das Innere der 2-Euro-Münze hat einen dreischichtigen Aufbau: Hier ist der Nickelkern mit Nickel-Messing (CuZn20Ni5) plattiert und erhält auf diese Weise die gelb-goldene Farbe. Zur Fertigung des Ringes dient Kupfer-Nickel (CuNi25).

Kupferbarren

Um die für die Münzherstellung benötigten Bleche herzustellen, werden die jeweiligen Metalle eingeschmolzen. Die Münzlegierungen werden dann zunächst in Blöcke gegossen und anschließend mehrfach gewalzt und zwischengeglüht, bis die gewünschte Blechstärke erreicht ist.

Die nächste Station ist das Stanzen der Münzrohlinge, die als Ronden bezeichnet werden. Der von dem Metallband übrig gebliebene Gitterschrott wird gehäckselt und wieder dem Schmelzbetrieb zugeführt. Noch warm vom gewaltigen Druck beim Stanz-

Um die künftigen Euro-Münzen automaten-tauglich zu machen, müssen die Ronden mit genau definierten Eigenschaften, wie elektrischer Leitfähigkeit und magnetischem Moment, ausgestattet werden. Dazu werden die einzelnen Münzplättchen in einem Ofen geglüht. Bei dieser Wärmebehandlung verlieren die Rohlinge allerdings ihren Glanz. Deshalb schließt sich eine Nachbehandlung mit Waschen und Polieren an.

Jeder einzelne Münzrohling wird abschließend einer umfassenden Qualitätskontrolle unterzogen. Nach Über-

Wiederverwertung von Grundstoffen. Kupfer erfüllt die Anforderungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ideal. Der Grund hierfür ist die problemlose Umschmelzbarkeit. Darüber hinaus ist durch die Möglichkeit der elektrolytischen Raffination ein Abtrennen der edlen und unedlen Verunreinigungen von Kupfer möglich. Deshalb kann Kupfer aus Altmaterialien ohne Einbuße an Qualität zurückgewonnen werden.

Mit der Euro-Bargeldeinführung wurden bundesweit rund 120.000 Tonnen Münzen außer Kurs gesetzt. Ein großer Teil der darin enthaltenen mehr als 50.000 Tonnen Kupfer ist bereits recycelt worden und in den Stoffkreislauf zurückgeflossen.



Münzmetallrollen vor der Stanze

prozess gelangen die Ronden jetzt in eine Rändelmaschine, die die scharfen Ränder glättet und poliert. Gleichzeitig erhalten die Ronden hier die typische gestauchte Form. Jetzt lässt sich bereits erkennen, dass man ein Geldstück vor sich hat – nur bislang noch ohne Aufdruck.

prüfung aller geforderten Eigenschaften werden die Münzronden an die staatlichen Prägeanstalten der Länder verschickt.

Recycling

Recycling ist der Schlüsselbegriff für die umweltbewusste Herstellung und

Für die freundliche Unterstützung bedanken wir uns bei:

Deutsches Kupferinstitut, Düsseldorf
(www.kupferinstitut.de)

EuroCoin AG, Schwerte
(www.eurocoin-ag.com)

Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg
(www.na-ag.com)



VCI
nord

VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE E.V.

Landesverband Nord
Projekt „Chemie und Schule“

Postfach 810152 · 30501 Hannover
Güntherstraße 1 · 30519 Hannover

www.vci-nord.de

Weiterführende Informationen

Haben Sie weitere Fragen, schreiben Sie oder rufen Sie uns einfach an.

Ihr Ansprechpartner:
Gunnar Mitschke
Telefon 0511/98490-24
Telefax 0511/833574
e-Mail mitschke@lv-nord.vci.de

Flotationsprozess

Wasser, Schaumbildner,
Öl und Erz

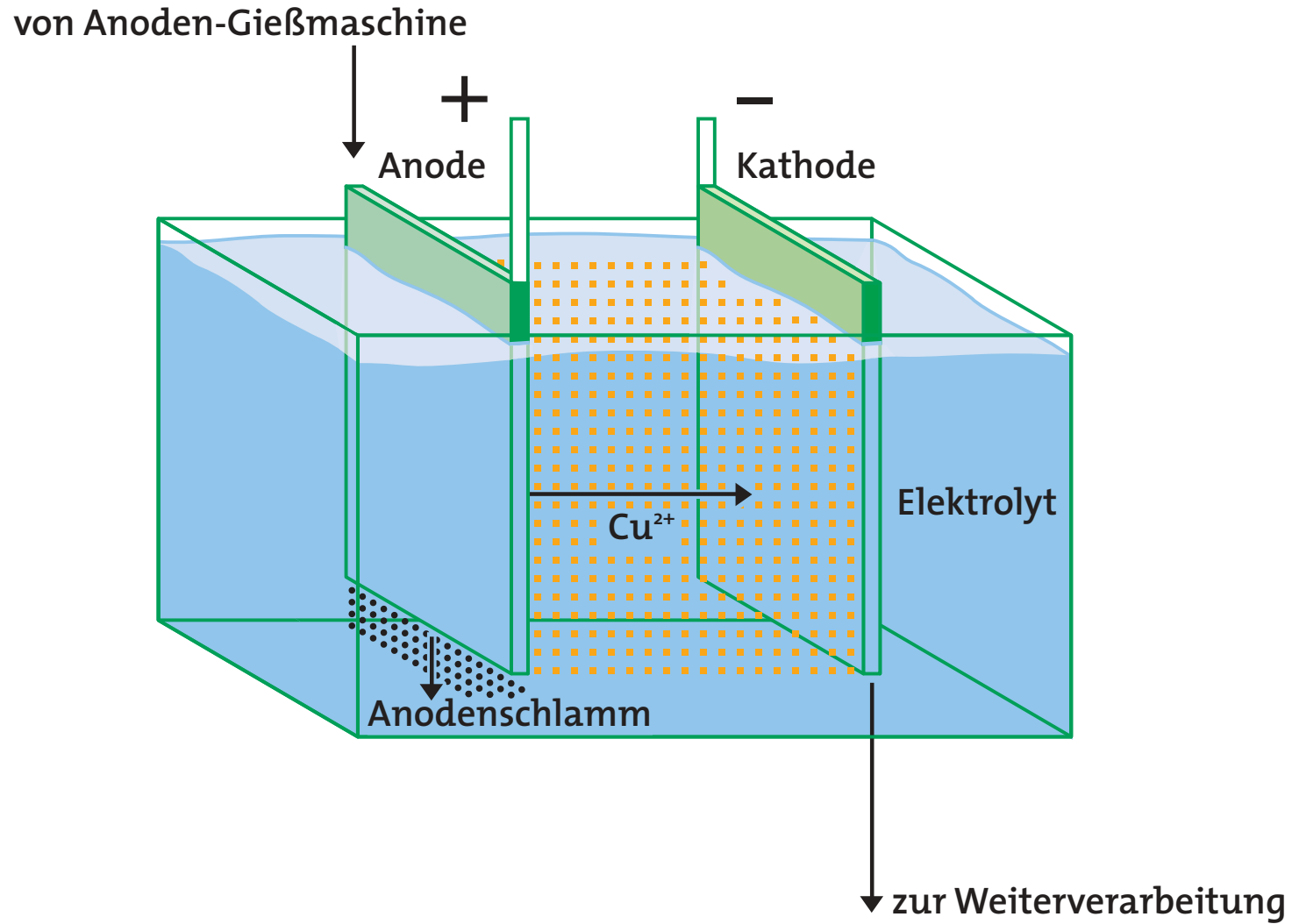
Luft

mineralhaltiger
Schaum

Gangart

- Kupfer
- Schaum
- Gangart

Raffinationselektrolyse



Pyrometallurgische Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies

