

# Recycling von Kupferwerkstoffen



# Recycling von Kupferwerkstoffen

Kupfer und Recycling	1
Verwendung und Gebrauch von Kupfer und Kupferlegierungen	2
Recyclingraten und -mengen	4
Sekundäre Rohstoffe	5
• Neuschrotte, Produktionsschrotte	
• Altkupfer und Legierungsschrotte	
• Kupferhaltige Produktionsrückstände und Shreddermaterial	
• Elektronikschrotte	
Verfahren zur Schrottaufbereitung	7
Recyclingverfahren	9
• Direktes Recycling	
• Pyrometallurgisches Recycling	
Kupfer und Nachhaltigkeit	13
Literaturverzeichnis	14
Verlagsprogramm	15

## Herausgeber:

Deutsches Kupferinstitut  
Auskunfts- und Beratungsstelle  
für die Verwendung von  
Kupfer- und Kupferlegierungen.

Am Bonnheshof 5  
40474 Düsseldorf  
Telefon: (0211) 4 79 63 00  
Telefax: (0211) 4 79 63 10  
info@kupferinstitut.de  
www.kupferinstitut.de

## Bildnachweis:

Aurubis AG  
KME Germany AG & Co KG  
www.shutterstock.com  
Cablo-Metall-Recycling & Handel GmbH

# Kupfer und Recycling

Die Wiederverwertung von Kupfer kann als größte und nachhaltigste Kupfermine der Welt betrachtet werden. Dabei beginnt die Verwendung von altem, nicht mehr gebrauchtem Kupfer nicht erst mit dem Aufkommen des modernen Recyclinggedankens Ende des 20. Jahrhunderts, sondern zieht sich als roter Faden durch die über 7.000 Jahre andauernde enge Verbindung des Menschen mit dem roten Metall. Heute wird mehr als die Hälfte des jährlichen Kupferbedarfs in Deutschland aus Recyclingmaterial gedeckt.

Bereits in der Antike wurde Kupfer als wertvolles und beständiges Gebrauchsmaterial angesehen, so dass das Recycling von Kupfer und Kupferlegierungen, vornehmlich Zinnbronzen, schon damals selbstverständlich war.

Der Werkstoff Kupfer kann aus Altmaterialien ohne Qualitätseinbußen beliebig oft recycelt werden, denn die elektrolytische Raffination ermöglicht es am Ende des Recyclingprozesses,

## Recycling, Downcycling, Upcycling

Der Begriff „Recycling“ stammt ursprünglich aus dem Englischen und tauchte erstmals Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts im deutschen Sprachgebrauch auf.

Der Duden erklärt Recycling als „Wiederverwendung bereits genutzter Rohstoffe“. Allgemein werden unter Recycling alle Verfahren verstanden, mit deren Hilfe Altmaterial und Reststoffe so aufbereitet werden, dass sie wieder im Produktionsprozess eingesetzt werden können. Im Einzelfall kann es sich dabei um Wiederverwendung, Wiederverwertung, Umarbeitung und Energiegewinnung handeln.

Ein möglicher Nachteil des Recyclings, z. B. bei Kunststoffen, ist, dass – bei vertretbarem Aufwand – das Material häufig nicht mehr die ursprüngliche Qualität bzw. Verarbeitbarkeit erreicht, wie sie bei der Primärherstellung vorgelegen hatte. Diese Abwertung wird auch als Downcycling bezeichnet, während beim Upcycling aus Abfallstoffen eines Prozesses hochwertigere Produkte hergestellt werden können.

unedle und edle Verunreinigungen aus Kupfer restlos zu entfernen. Kupfer ist das bedeutendste Industriemetall, das wie die Edelmetalle Gold oder Silber immer wieder in seine Ursprungsform rückführbar ist. Recycling erhält nicht nur die Rohstoffe, sondern hilft auch, Energie zu sparen, und somit die Umwelt zu schonen. Denn bei der Wieder-

verwertung von Kupfer entfällt zum einen der Energieaufwand, der mit dem Erzabbau, der Aufbereitung und dem Transport zu den Verarbeitungsstätten verbunden ist. Zum anderen beträgt der Energieeinsatz für das Einschmelzen des Altmetalls nur einen Bruchteil dessen, was für die Metallgewinnung aus Konzentraten erforderlich ist.



# Verwendung und Gebrauch von Kupfer und Kupferlegierungen

Kupfer begegnet uns in vielen Bereichen des täglichen Lebens. Vor allem aber ist es ein bedeutender Werkstoff für die Elektrotechnik. Durch seine hohe elektrische Leitfähigkeit spielt Kupfer u. a. eine herausragende Rolle in der Informations- und Kommunikationstechnologie.

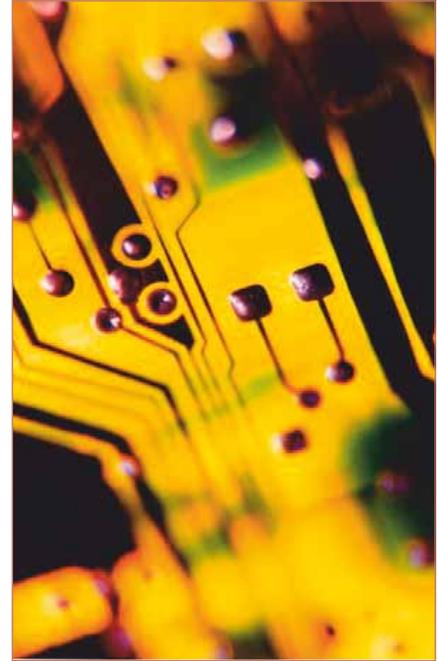
Kupfer wird in Starkstromkabeln ebenso eingesetzt wie in der Gebäudetechnik oder Handys. Seiner ausgezeichneten Wärmeleitfähigkeit verdankt Kupfer zudem den Einsatz in Wärmetauschern wie z.B. den Kühlern von Computerchips, Klimaanlage, Solarkollektoren und zur Heizungsinstallation. Auch im Transportwesen werden Kupfer und Kupferlegierungen in Autos, Zügen, Schiffen und Flugzeugen verwendet.

Die einzigartige Ästhetik von Kupferwerkstoffen erfährt heutzutage in der modernen Architektur immer größeren Zuspruch. Das Material besticht durch seine Lebendigkeit und seinen Facettenreichtum ebenso wie durch seine besondere Oberfläche, seine Korrosionsbeständigkeit und sein



außergewöhnliches Farbenspiel und findet seinen Einsatz auf Dächern und Fassaden oder bei der Dachentwässerung.

Aufgrund seiner Meerwasserbeständigkeit werden Kupferlegierungen heutzutage auch immer häufiger in Off-Shore-Windkraftanlagen genutzt.

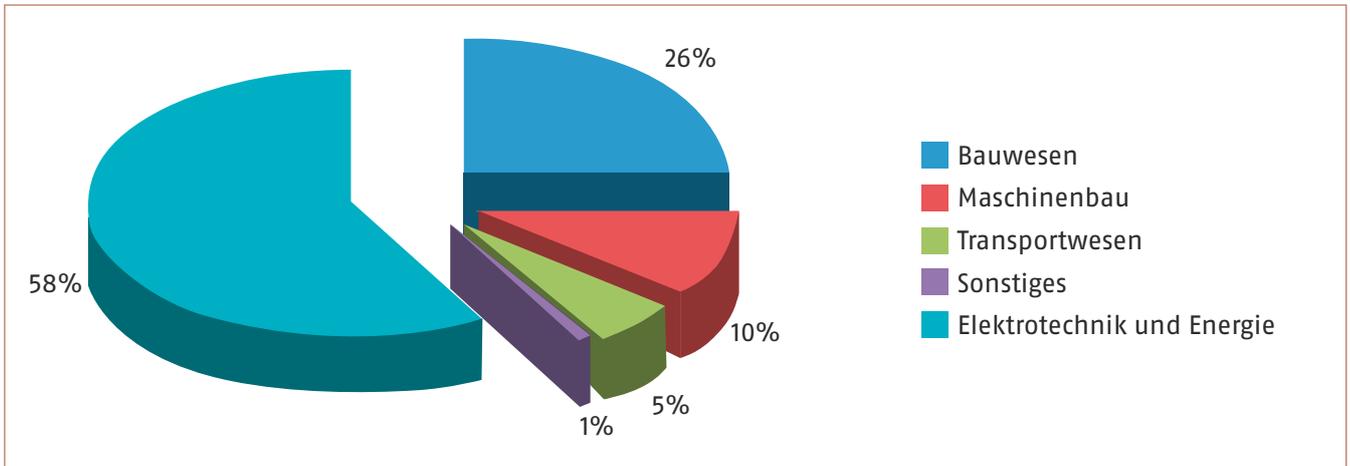


Für manche Anwendungen werden besondere Ansprüche an den Werkstoff gestellt. Um diese speziellen Eigenschaften einzustellen, fügen die Fachleute dem Kupfer andere Metalle hinzu. Es entstehen Legierungen.

Die wohl bekanntesten Verbindungen des Kupfers sind Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) und Kupfer-Zinn-

Eigenschaft des Kupfers	Verwendung des Kupfers
Hohe elektrische Leitfähigkeit (59,5 MS/m)	Elektrotechnik, z.B. als Wicklungen elektrischer Maschinen, Spulen, Generatoren, Transformatoren, in Schaltgeräten, Kabel- und Leitungsanlagen, der Nachrichtentechnik, Funk- und Fernsehtechnik, Elektronik und der Elektronischen Datenverarbeitung
Hohe thermische Leitfähigkeit (398 W/(m*K) bei 0°C)	Durchlauferhitzer, Kühler, Kälte- und Klimatechnik
Gute Verformbarkeit (Elastizitätsmodul: 120 GPa bei 20°C, Torsionsmodul: 45 GPa bei 20°C)	Rohre z.B. in der Kalt- und Warmwasserinstallation, Fassaden und Bedachungen, Kunsthandwerk
Gute Korrosionsbeständigkeit	Chemische Industrie, Erdölindustrie, Brauerei- und Getränketechnik, Dächer und Dachrinnen, Off-Shore-Anwendungen
Antimikrobielle Eigenschaften, d.h. Kupfer hemmt das Wachstum schädlicher Bakterien und verhindert so ihre Verbreitung	Krankenhaus- und Pflegeeinrichtungen, Münzen, Geländer, Türklinken, Lichtschalter, Trinkwasserrohre
Ansprechende Farbe bzw. Färbemöglichkeiten	Architektur, Dach und Fassade, Kunstwerke
Günstige Legierungsfähigkeit	Werkstoffe für Einsatzgebiete mit besonderen Ansprüchen z.B. an Farbe oder Verformbarkeit

Tab. 1: Verwendung von metallischem Kupfer



Haupteinsatzbereiche von Kupfer (i)

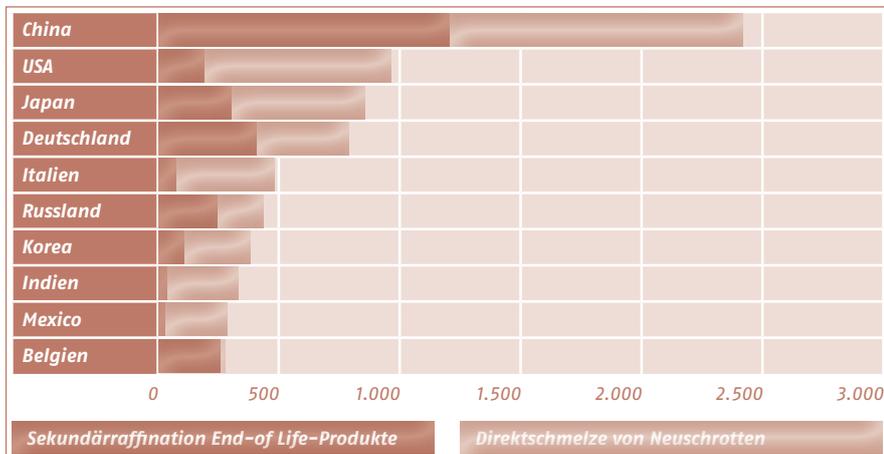
Legierungen (Bronzen). Das Diagramm zeigt auf, in welchen Bereichen die unterschiedlichen Kupferprodukte letztendlich eingesetzt werden. Die Haupteinsatzbereiche des Kupfers sind das Bauwesen und die Elektrotechnik. Berücksichtigt man, dass Kupferkabel, die ja eigentlich als

Leiter der Elektrotechnik zuzuordnen sind, auch beim Bau in Wände verlegt werden, so wird insgesamt rund die Hälfte des Kupfers im Baubereich eingesetzt. Recycelt wird Kupfer aus Produkten aller Anwendungsbereiche. Die hierfür erforderliche Logistik zum Sammeln und Sortieren sowie die

Technik zum Recycling des sogenannten Altkupfers werden vor allem durch die Art des Kupferprodukts und seines Einsatzes definiert.



# Recyclingraten und -mengen



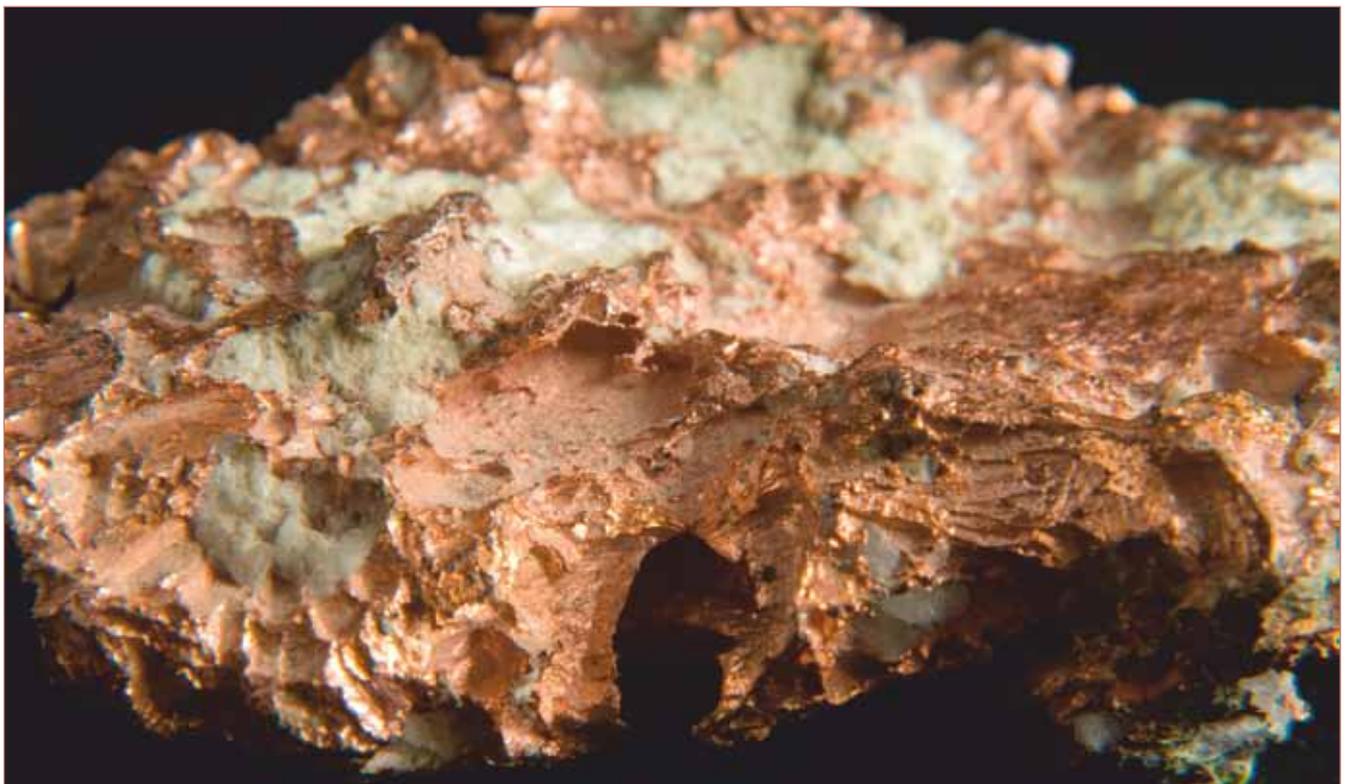
Schrottverbrauch ausgewählter Länder in 1.000 t (ii)

Gebrauchsfähiges Kupfer stammt aus zwei Quellen: aus der Primärproduktion durch Extraktion und Weiterbehandlung des Erzes sowie aus der Sekundärproduktion durch Direktschmelze von Neuschrotten und dem Recycling von End-of-Life-Produkten und kupferhaltigen Produktionsrückständen. Insgesamt beträgt der Anteil des recycelten Kupfers etwas mehr als ein Drittel der gesamten Weltproduktion (2).

In Deutschland stammen mehr als 50 Prozent des hierzulande hergestellten Kupfers aus Recyclingmaterial. Dieser Wert wird als die klassische Recyclingrate bezeichnet. Grundsätzlich kann Kupfer in seinen Anwendungen ohne jeglichen Qualitätsverlust immer wieder recycelt werden. Man könnte also erwarten, dass nahezu 100 Prozent des in Deutschland benötigten Kupfers aus Altkupfer erzeugt werden können.

Aufgrund der mitunter langen Lebenszyklen der Kupferprodukte gelangen diese jedoch oft erst nach einer großen Zeitspanne der Produktnutzung wieder in den Kupferkreislauf zurück. Zwei Beispiele: ein Auto wird heute etwa zehn Jahre alt, d.h. das Kupfer darin kann auch erst nach etwa zehn Jahren recycelt werden. Ein Dach aus Kupfer wird frühestens nach 60 bis 80 Jahren erneuert. Der Bedarf an Kupfer für die Erzeugung neuer Produkte ist jedoch heute höher als vor zehn Jahren und weitaus größer als vor 80 Jahren. Es ist offensichtlich, dass zur Erzeugung der heute benötigten Menge an Kupfer auch weiterhin ein Teil des Kupfers aus Erzen gewonnen werden muss.

Nimmt man eine durchschnittliche Lebensdauer aller Kupferprodukte von ca. 33 Jahren an und bezieht die Altkupfermenge auf die Kupferproduktion im selben Zeitraum, so steigt der Anteil an Kupfer aus Schrotten auf etwa 80 Prozent. Dieser Wert ist die echte Recyclingrate. (3; 4)



# Sekundäre Rohstoffe

Nahezu alle kupferhaltigen Materialien können als Rohstoffe zur Kupfergewinnung dienen. Kupferschrott wird von Primär- und Sekundärhütten, Veredlern und Produzenten genutzt, um verschiedenste Kupferprodukte herzustellen.

Der Gehalt an Kupfer schwankt dabei in weiten Grenzen zwischen ein Prozent und 100 Prozent. Die Rohstoffe zur Kupfergewinnung aus recycelten Materialien, also die sekundären Rohstoffe, lassen sich in Gruppen aufteilen.

## Neuschrotte, Produktionsschrotte

Damit bezeichnet man Produktionsabfälle aus der Metallfertigung ohne Verunreinigungen. Diese Schrotte fallen z.B. beim Ausstanzen aus Blechen an und werden wieder eingeschmolzen.

## Altkupfer und Legierungsschrotte

Unter diesen Begriffen versteht man z.B. hochkupferhaltige Schrotte wie alte Rohre, Regenrinnen oder Dachabdeckungen oder auch Kupferkabel mit entfernter Isolierung. Legierungsschrotte sind Schrotte aus Kupferlegierungen wie Rotguss, Bronze oder Messing, z.B. alte Türklincken oder Schiffsschrauben.

## Kupferhaltige Produktionsrückstände und Shreddermaterial

Unter „Kupferhaltige Produktionsrückstände und Shreddermaterial“ fasst man solche Materialien zusammen, die einen geringeren Anteil an Kupfer beinhalten und denen man auf den ersten Blick gar nicht ansieht, dass Kupfer darin enthalten ist. So fallen z.B. in Gießereien kupferhaltige Altsande an; in Betrieben, in denen galvanische Schichten aufgebracht werden („Verkupfern“), entstehen kupferhaltige Schlämme.

Schlacken oder sogenannte Krätzen aus der Weiterverarbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen enthalten



ebenfalls Kupfer und werden in Recyclinghütten verarbeitet. Auch beim Recycling von Altautos können solche Rückstände anfallen. Die entsprechende Verfahrenstechnik basiert auf bewährten Maschinensystemen der Zerkleinerungs-, Trocknungs-, Sieb-

und Sortiertechnik, die an das Materialgemisch und an die geforderten Sortierergebnisse angepasst wird. Am Ende des Sortiervorgangs werden unter anderem Kupferhäcksel gewonnen, die vor allem wieder in der Kupfergewinnung eingesetzt werden.

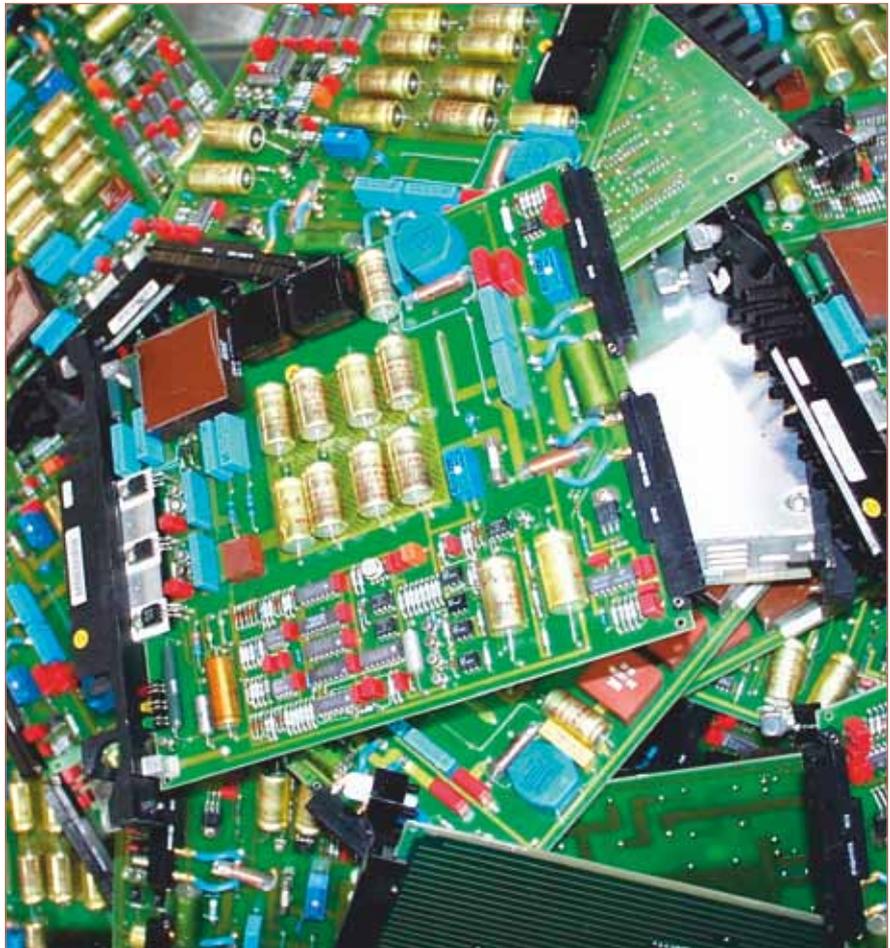


### Elektronikschrotte

Ausgediente Geräte der Elektronik stellen durch die spezielle Zusammensetzung der Schrotte besondere Anforderungen an die Recyclingverfahren. Eine Tonne Platinschrott kann beispielsweise etwa ein kg Gold, sechs kg Silber, zwölf kg Aluminium, 20 kg Zinn und bis zu 200 kg Kupfer enthalten.

Darüber hinaus sind ein erheblicher Teil des Gesamtgewichts Kunststoffe, auf denen die Leiterbahnen und elektronischen Bauteile angeordnet sind. Vor allem der hohe Kunststoffanteil muss beim thermischen Recycling berücksichtigt werden. Bei einem nicht sachgerechten Recycling besteht die Gefahr der Freisetzung von Schadstoffen, was allerdings durch die in Deutschland eingesetzten modernen Recyclingverfahren für Elektronikschrotte ausgeschlossen ist.

Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick der Materialien, die für die Herstellung von Sekundärkupfer herangezogen werden (5).



Materialtyp	Kupfergehalt in %	Ursprung
Vermischter und reiner Kupferschlamm	2 – 40	Galvanisierung
Computerschrott	15 – 20	Elektronikindustrie, Konsumgüter
Eisenhaltiges Kupfermaterial (klumpig oder zerkleinert) aus Armaturen, Statorn und Rotoren	10 – 20	Elektroindustrie, Altautorecycling (EOL), WEEE
Messingschlacken, -krätzen und -aschen (Legierungen aus Cu-Zn)	10 – 40	Gießereien, Halbzeuherstellung
Rotgusschlacken, -krätzen und -aschen (Legierungen aus Cu-Sn-Zn)	10 – 40	Gießereien, Halbzeuherstellung
Shredder-Material	30 – 80	Shredderanlagen, Altautorecycling (EOL), WEEE
Kupferkühler	60 – 65	Autos
Vermischter Rotguss-Schrott (Legierungen aus Cu-Sn-Zn)	70 – 85	Wasserzähler, Zahnräder, Ventile, Armaturen, Bauteile, Propeller, Fittinge
Leichter Kupferschrott	88 – 92	Kupferbleche, Dachrinnen, Wasserkessel, Heizgeräte
Schwerer Kupferschrott	90 – 98	Bleche, Stanzabfälle, Gleitschienen, Drähte, Rohre
Vermischter Kupferschrott	90 – 95	Leichter und schwerer Kupferschrott
Kupfergranulate	90 – 98	Kabelzerkleinerung
Reiner Schrott	> 99	Halbzeugprodukte, Draht, Späne, Bänder

Tab. 2: Ursprungsmaterialien für Sekundärkupfer

# Verfahren zur Schrottaufbereitung



Die Aufbereitung von kupferhaltigem Altmetall wird durch manuelle, mechanische, pyro- und hydrometallurgische Verfahren erzielt.

Manuelle und mechanische Methoden beinhalten dabei die Sortierung, die Zerkleinerung und die Trennung der verschiedenen Stofffraktionen sowie die Vorbereitung für den Prozesseinsatz.

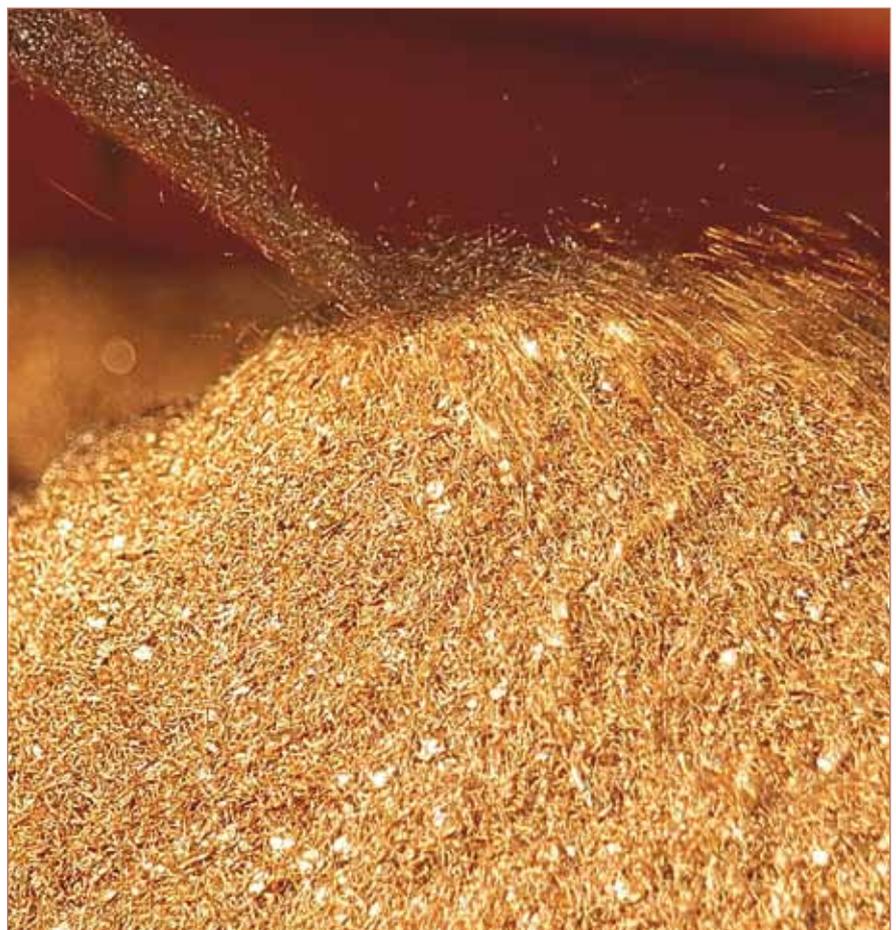
Für ein effektives Recyceln des Kupferschrotts muss das Material art- und qualitätsgerecht nach seinem unterschiedlichen Reinheitsgrad gesammelt und vorsortiert werden. In den meisten Fällen wird dies vom Schrotthändler vorgenommen. Der Einkauf und die Bewertung selbst erfolgen dabei unter Berücksichtigung tagesaktueller Börsennotierungen für Kupferrohstoffe an der Londoner Metallbörse LME.

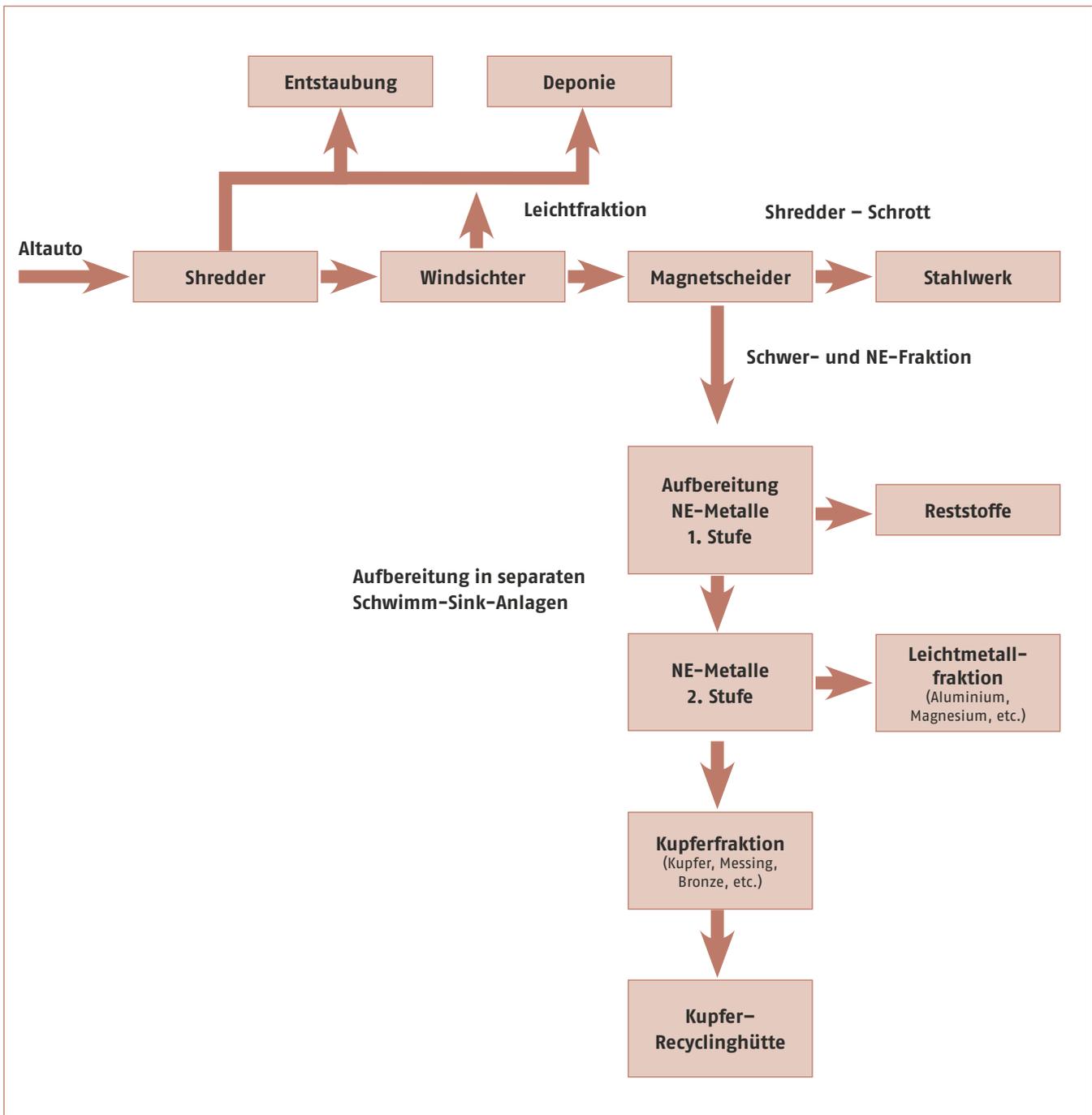
Die Behandlung des Kupferschrotts hängt dabei von seiner Reinheit ab. Sortenrein sortierte Kupfer- und Legierungsschrotte können direkt in die Verfahren zur Erzeugung von Kupferwerkstoffen eingebracht werden. Ist dies möglich, handelt es sich um den nachhaltigsten und effizientesten Weg des Kupferrecyclings. Alle anderen kupferhaltigen Sekundärrohstoffe

müssen zunächst für weitere Recyclingprozesse vorbereitet werden. Diese Aufbereitung kann eine Zerkleinerung größerer Stücke durch Schneiden oder Brechen sein; auch das Zusammenpressen staubförmiger Materialien z.B. durch Pelletieren bzw. Brikkettieren ist möglich. Unter „Aufbereitung“ versteht man aber auch das Abtrennen einzelner Bestandteile oder das Vermischen unterschiedlicher Einsatzstoffe: So wie im Beispiel Kupferkabel. Dort ist der metallische Leiter zur elektrischen Isolation mit verschiedenen Kunststoffen ummantelt. Diese Isolation muss vor Wiederverwendung des Kupfers abgetrennt werden. Dies geschieht über die trockenmechanische Zerkleinerung in Schneidmühlen und anschließende Dichtentrennung in Gegenstromsichtern. Die aus dem Zerlegeprozess erhaltenen Metall- und Kunststoffgranulate werden durch nachgeschaltete, moderne

mechanische und optische Sortierverfahren von Restverunreinigungen befreit. Das produzierte Kupfergranulat mit Reinheiten bis zu 99,95% kann in der Metall-, Chemischen- und Automobilindustrie direkt eingesetzt werden. (Aus den Kunststoffgranulaten werden durch die Verwendung von Spritzgussanlagen neue Kunststoffprodukte).

Ein weiteres Beispiel für komplexe Materialvorbereitung vor dem eigentlichen Recycling ist das Zerkleinern von Altfahrzeugen im Shredderbetrieb.





Fließschema eines Shredderbetriebes für die Altautoverwertung

# Recyclingverfahren



## Direktes Recycling

Für das Erschmelzen von Kupferlegierungen und das Gießen von Walzplatten oder Pressbolzen werden Reinforme, Recyclingmaterial, gegebenenfalls Vorlegierungen sowie fertigungsbedingter Rücklauf aus der Kupferproduktion eingesetzt. Reinforme (z.B. Kathodenkupfer, Reinforme, Reinforme) werden direkt von den Hütten und den Raffinerien bezogen.

Recyclingmaterial (EN 12861) gelangt teils über den Handel ins Werk, teils wird es von Kunden zurückgeliefert – beispielsweise als Drehspäne oder Stanzabfälle.

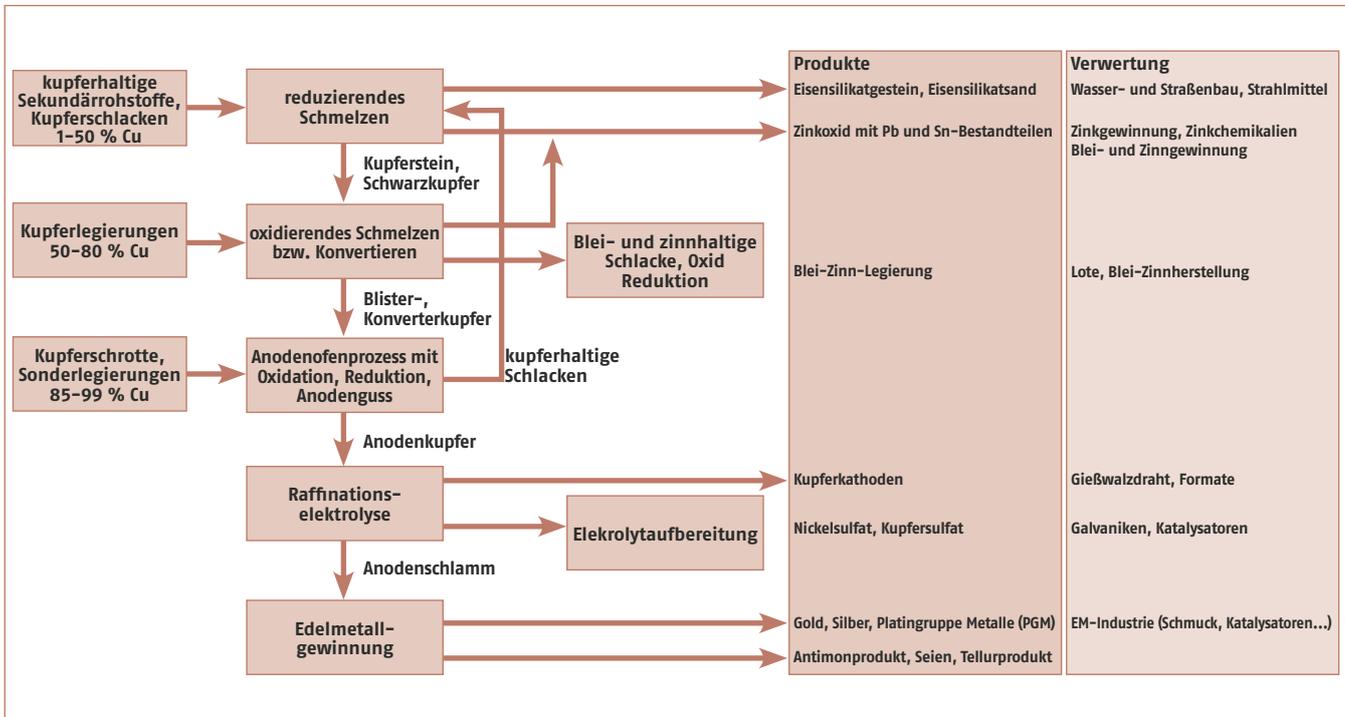
Das Einsatzmaterial kommt zunächst ins Metalllager und wird dort sortiert, kontrolliert, gewogen und gelagert. Um Verunreinigungen in den Schmelzen zu vermeiden, werden Sichtkon-

trollen, physikalische Prüfungen und chemische Untersuchungen durchgeführt. Häufig wird dann ein Paketierprozess vorgeschaltet, um das Material besser handhaben zu können.

Die Zusammensetzung wird durch nass-chemische Untersuchungen oder mit automatischen Analysegeräten ermittelt (6).

Technik/Aggregat	Verarbeitungsstufe	Einsatzmaterialien	Eigenschaften
Schachtofen	1	Rückstände, Cu-Fe Material, Schlacken	Energieträger/Reduktionsmittel: Koks; geringer Anteil feines Material
TBRC-Top Blowing Rotary Converter	1, 2, 3	grundsätzlich höchste Flexibilität	Optimal für Stufe 2, Reduktionsmittel Eisen
Badschmelzofen	1,2	grundsätzlich höchste Flexibilität	Optimal für Stufe 1, Reduktionsmittel Eisen, Energie durch Öl und Gas
Mini-Smelter	1	grundsätzlich höchste Flexibilität	Nur für 1. Stufe geeignet; Reduktionsmittel Eisen, wenig Primärenergieeintrag
Elektroofen	1	Rückstände, Schlacken, pelletierte Stäube	Nur für 1. Stufe geeignet; Reduktionsmittel Elektrode, Koks; hoher Aufwand für Material-trocknung
Konverter-Typ Pierce Smith	2	Legierungen	Flüssigeintrag von Metall aus Stufe 1 möglich; Koks als Brennstoff erforderlich
Herdflamofen – stationär/ kippbar	3	Kupferschrotte, Kupfergranulate; Legierungen	Nur für 3. Stufe; Flüssigeintrag von Metall aus Stufe 2 möglich

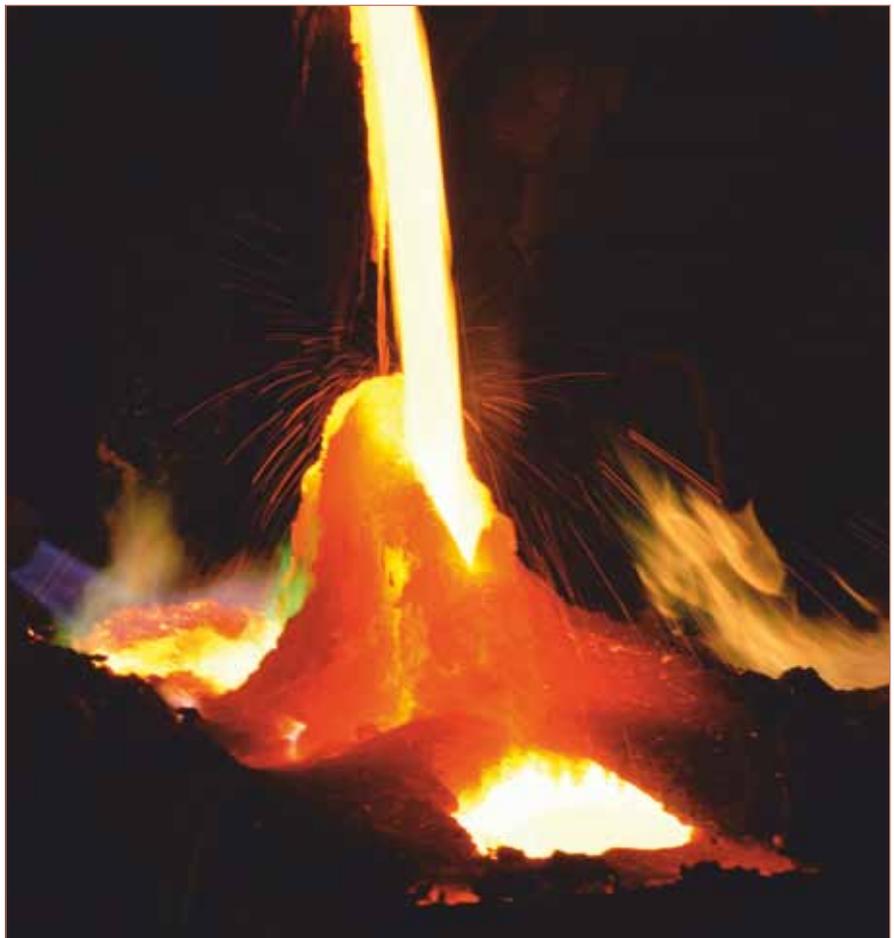
Tab. 3: Pyrometallurgische Schmelzaggregate



Verfahrensschema für die Gewinnung von NE- und Edelmetallen in primären und sekundären Kupferhütten

### Pyrometallurgisches Recycling

Im pyrometallurgischen Recycling werden die Kupferschrotte je nach Kupfergehalt in den entsprechenden Stufen der Sekundärkupfererzeugung bzw. auch als Kühlschrott in der Primärkupfer-Gewinnung eingesetzt. Die „Kunst“ des Kupferrecyclings besteht nicht nur darin, Kupfer von den Begleitelementen zu trennen und in reiner Form anzureichern, sondern vor allem auch in der gezielten Gewinnung der Begleitelemente. Diese werden nach Möglichkeit ebenfalls zu wertvollen Produkten oder Rohstoffen angereichert wie z.B. Zinkoxiden, Zinnlegierungen, Nickelsalzen oder Rohstoffen zur Edelmetallgewinnung. Die pyrometallurgische Verhüttung, d.h. Recycling durch reduzierend und oxidierend arbeitendes Schmelzen der Sekundärrohstoffe, hat sich als Hauptverfahren durchgesetzt. Sobald die metallischen Sekundärrohstoffe (Kupfer- bzw. Legierungsschrotte) Verunreinigungen mit Begleitelementen, aber auch sonstige mineralischen und organische Anhaftungen aufweisen,





die ein direktes Einschmelzen zur Legierungsherstellung aus Qualitätsgründen nicht mehr zulassen, müssen pyrometallurgische Recyclingverfahren eingesetzt werden. Dieses gilt grundsätzlich für alle kupferhaltigen Sekundärrohstoffe, in welchen Kupfer und andere Begleitmetalle, z.B. als Oxidverbindung, vorliegen – und damit auch für die kupfer- und edelmetallhaltigen Materialien aus der Elektronikschrottaufbereitung. Die Grundoperationen des pyrometallurgischen Kupferrecyclings lassen sich in vier Stufen aufgliedern.

### 1) Reduzierendes Schmelzen

Kupferschlacken, Krätzen, kupferhaltige Galvanikschlämme, aber auch niedrigkupferhaltige Shredderprodukte aus der Elektronikschrott- und Automobil-aufbereitung sowie auch Leiterplatten-schrotte mit Kupfergehalten von ein bis zu 50 Prozent werden in dieser ersten Aufbereitungsstufe eingesetzt. Reduktionsmittel sind sowohl Koks bzw. Petrolkoks, als auch metallisches Eisen. Kupfer und die edleren Begleitmetalle reichern sich in einer Metallfraktion von etwa 80 Prozent Kupferinhalt an. Zink wird verflüchtigt und wird als Zinkoxid gewonnen. Alle mineralischen Bestandteile und das oxidierte Eisen werden über ein Schlackenprodukt als Eisensilikatsand oder auch Stückschlacke ausgebracht.

### 2) Oxidierendes Schmelzen bzw. Konvertieren

Die Metallfraktion aus der ersten Stufe, kupferhaltige Legierungsschrotte, hochkupferhaltige Shredderfraktionen und Schlacken sowie hochedelmetallhaltige Leiterplattenfraktionen werden in die zweite, oxidierend arbeitende Schmelzstufe eingebracht. Der Sauerstoffüberschuss wird durch Einblasen von Luft bzw. sauerstoffangereicherter Luft sichergestellt. Kupfer, Nickel und die Edelmetalle reichern sich in diesem Konverter- oder Blisterkupfer auf ca. 95 Prozent Kupferinhalt an. Zinn und Blei sammeln sich in der Schlacken-

phase und können durch einen weiteren, mehrstufigen Reduktionsprozess zu Zinn-Blei-Legierungen verarbeitet werden. Beim Verfahren mit Peirce Smith Konverter sammeln sich Zinn und Blei in der Oxidphase und werden auch daraus gewonnen.

### 3) Anodenofenprozess mit Oxidation, Reduktion und Anodenguss

Im Anodenofenprozess werden Kupferschrotte und hochkupferhaltige Legierungen, das Konverterkupfer aus der zweiten Stufe sowie Anodenreste der Raffinationselektrolyse eingeschmolzen.



Um auf die notwendige Reinheit des Anodenkupfers von ca. 99 Prozent zu kommen, erfolgt im Anodenofen eine Raffination durch Einblasen von Luft und Sauerstoff. Nichtkupferhaltige Verunreinigungen wie Zinn, Blei, Nickel und auch Zink werden in einer Schlacke angereichert, welche wieder in die erste Stufe zurückgeführt werden. Der hierbei vom Kupfer aufgenommene Sauerstoff muss nach der Raffination durch eine Reduktion mit Erdgas oder Polholz entfernt werden.

Anodenkupfer lässt sich nur bei niedrigen Sauerstoffgehalten sauber vergießen und auch elektrolysieren. Das Produkt der dritten Stufe ist eine gegossene Kupferanode mit ca. 99 Prozent Kupferanteil und angereichertem Edelmetallinhalt.

Kupferschrotte werden auch in der Konverterstufe von Primärkupferhütten eingesetzt. Hier wird Kühlkupfer für die stark exothermen Prozesse benötigt.

#### 4) Raffinationselektrolyse

In der Raffinationselektrolyse wird die Kupferanode in einem schwefelsauren Elektrolyten mittels Gleichstrom aufgelöst. Das Kupfer scheidet sich kathodisch ab. Kathodenmaterial war früher Kupfer, heute wird vorwiegend Edelstahl eingesetzt (Permanentkathode). Von diesem Edelstahlblech kann das Kupfer leicht abgetrennt („gestrippt“) werden. Das Kupfer hat nun die erforderliche Reinheit von > 99,995 Prozent und unterscheidet sich in seiner Qualität absolut nicht von der aus der Erzeugung von Erzen. Gold, Silber, Platin und Palladium

lagern sich als Andenschlamm ab und können der Edelmetallgewinnung zugeführt werden. Durch die Aufbereitung des Elektrolyten wird Nickel meist als Nickelsulfat gewonnen und weiterverarbeitet.

In Zukunft wird auch dem Recycling von Metallen durch das sogenannte „Bio-Mining“ eine wichtige Rolle zukommen. Hierbei sorgen spezielle Bakterien dafür, dass Wertstoffe wie Kupfer aus Abfällen herausgelöst werden. Insbesondere beim Elektroschrottreycling könnte sich diese biotechnologische Methode auf Dauer lohnen. Hier liegt eine Herausforderung auch für die Entwicklung weiterer, innovativer Aufbereitungsverfahren insbesondere für niedrigkonzentrierte, hochdiffuse Kupferanwendungen.



# Kupfer und Nachhaltigkeit

Kupfer ist ein Basismetall, ein Wirtschaftsfaktor und ein Kulturträger. Daraus erwächst Verantwortung gegenüber den Menschen, die den Werkstoff und seine Produkte nutzen. Diese Verantwortung lässt sich unter dem Begriff der „Nachhaltigen Entwicklung“ zusammenfassen, der 1987 im Bericht der sogenannten Brundtland-Kommission geprägt wurde: „Nachhaltige Entwicklung bedeutet eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der gegenwärtig lebenden Menschen entspricht, ohne die Fähigkeiten zukünftiger Generationen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse zu gefährden.“ Dieses Leitbild der Nachhaltigkeit beinhaltet, die wirtschaftlichen und sozialen Lebensverhältnisse mit der Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen. Man spricht von den drei Säulen der Nachhaltigkeit: der ökologischen, der ökonomischen und der sozialen Säule. (7; 8)

Die wirtschaftliche und soziale Bedeutung der Kupferindustrie zeigt sich in vielfacher Hinsicht. Sie sichert vielen Menschen Ausbildung, Arbeit und Einkommen und bietet ihren Familien eine hohe soziale Sicherheit. Dies gilt auch für solche Betriebe, die Kupfer-

produkte wie beispielsweise Drähte zu Produkten, die vielfach dem sogenannten High-Tech-Bereich zugerechnet werden, weiterverarbeiten. Darüber hinaus investieren die Unternehmen Jahr für Jahr Millionenbeträge in die Arbeitssicherheit, Unfallverhütung und den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Die Kupferindustrie und die in ihr beschäftigten Menschen leisten als Steuerzahler einen wichtigen Beitrag zur Finanzierung volkswirtschaftlicher und sozialer Aufgaben. Durch den weltweiten Handel mit Rohstoffen und Produkten trägt die Kupferindustrie zur Entwicklung strukturschwacher Regionen bei. So haben sich in den letzten Jahren Länder, die bislang nur Kupfererze abgebaut haben – wie zum Beispiel Chile – zu Weiterverarbeitern entwickelt. Dies hilft, Armut zu bekämpfen und das Wohlstandsgefälle weltweit weiter abzubauen.

Gewinnung, Verarbeitung und Verwendung von Kupfer sind umweltverträglich. Rund zehn Prozent der Investitionen in der Kupferindustrie werden mittlerweile für Umweltschutzanlagen wie Luftfilter und Wasserreinigungsanlagen aufgebracht. Ein Mehrfaches der Auf-

wendungen fließt Jahr für Jahr in den Betrieb dieser Anlagen.

Zentrale Ziele einer umweltgerechten Entwicklung sind die schonende und effiziente Nutzung von Energie und Rohstoffressourcen. Der Aufbau geschlossener Stoffkreisläufe ist ein wesentlicher Beitrag auf dem Weg dorthin. Die Kupferindustrie trägt diesen Zielen durch die Verarbeitung und Verwertung nahezu aller Zwischenprodukte, die bei der Erzeugung von Kupfer anfallen, Rechnung. Das entscheidende Plus von Kupferwerkstoffen liegt vor allem in ihrer Recyclingfähigkeit. Im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen kann Kupfer immer wieder ohne Qualitätsverlust zu neuen, hochwertigen Produkten verarbeitet werden. Das gilt auch für Kupferlegierungen wie Messing, Bronze oder Neusilber. Denn Kupfer ist kein Verbrauchs-, sondern ein Gebrauchsmaterial.

Und Kupferrecycling wird immer wichtiger: Auf diese Weise werden nicht nur wertvolle Rohstoffe geschont, sondern auch große Mengen an Energie gespart; der Energieeinsatz für die Gewinnung von Kupfer aus Recyclingmaterialien ist um bis zu 90 Prozent geringer als der für die Kupfergewinnung aus Erzen. Entscheidend hierbei ist vor allem, dass keine Energie für Abbau, Transport und Aufbereitung der Erze aufgewendet werden muss. Grundsätzlich gilt: je höher der Kupfergehalt eines Schrottes ist, desto größer ist seine gespeicherte Energie und desto weniger Prozessstufen muss er durchlaufen (3; 6) Zum Vergleich: ein Kupfererz gilt heute mit unter ein Prozent Kupferanteil als wirtschaftlich abbaubar. Ein Kupferschrott hat bereits einen Kupfergehalt von nahezu 100 Prozent. Daneben ist Kupferschrott sehr energiereich und spart entsprechend externe Energie. Tatsächlich benötigt die Kupferproduktion aus Sekundärstoffen nur 20 Prozent der Energie, die für die Gewinnung von Primärkupfer aus Erz und Konzentraten benötigt wird. (10)



# Literaturverzeichnis

1. Spiridonov, A.A. Kupfer in der Geschichte der Menschheit. Leipzig : VEB Verlag für Grundstoffindustrie, 1987.
  2. IPTS, Januar 2011
  3. Arpacı, E. und Ventura, T. Recycling von Kupferwerkstoffen. VDI Berichte Nr. 917. 1992, S. 595-616.
  4. Ruhrberg, M. International Copper Study Group ICSG's COPPER FLOW MODEL - Determining Recycling Rates for Western Europe Final Report March 2005
  5. Rentz, O. Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen, 1999
  6. Wieland-Kupferwerkstoffe. Herstellung, Eigenschaften und Verarbeitung, S. 197: Wieland-Werke AG, 1999
  7. Jischa, M. Das Leitbild der Nachhaltigkeit und das Konzept der Technikbewertung. Chemie Ingenieur Technik. 1997, Bd. 69, S. 1695-1703.
  8. Kupfer - der Nachhaltigkeit verpflichtet. Informationsbroschüre. Deutsches Kupferinstitut, 2001.
  9. Sachbilanz einer Ökobilanz. Sonderdruck S. 198. Deutsches Kupferinstitut.
  10. Servin, G. Copper Recycling, European Copper Institute, Vortrag auf dem ICSG-Meeting in Lissabon, April 2011
- Recycling Copper. Nolte, A. Golden, Colorado : s.n., Juni 2001. Recycling Metals from Industrial Waste. S. 19 -21.
- Non Ferrous BAT (Best Available Technologies) Reference (BREF) Document. [Http://eippcb.jrs.es](http://eippcb.jrs.es). [Online]
- Elektroschrott: Die guten ins Töpfchen. Metall. 55, 2001, Bd. 11, S. 668.
- (i) ICSG, Annual Report, 2009  
(ii) ICSG, Annual Report, 2009
- [www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de)  
[www.icsg.org](http://www.icsg.org)

# Verlagsprogramm

## Sanitärinstallation

Kupfer in Regenwassernutzungsanlagen  
Bestell-Nr. s. 174

.....

Kupferwerkstoffe in der Trinkwasseranwendung – den Anforderungen an die Zukunft angepasst  
Bestell-Nr. s. 196

.....

Die fachgerechte Kupferrohrinstallation  
Bestell-Nr. i. 158

.....

Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen  
Bestell-Nr. i. 160

## Werkstoffe

Schwermetall-Schleuder- und Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten  
Bestell-Nr. s. 165

.....

Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau  
Bestell-Nr. s. 178

.....

Ergänzende Zeitstandsversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn20Al2  
Bestell-Nr. s. 191

.....

Einsatz CuNi10Fe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper  
Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls  
Bestell-Nr. s. 201

.....

Kupfer-Nickel-Bekleidung für Offshore-Plattformen  
Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures  
Bestell-Nr. s. 202

.....

Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme  
Materials for Seawater Pipeline Systems  
Bestell-Nr. s. 203

Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)  
Bestell-Nr. i. 5

.....

Kupfer-Aluminium-Legierungen, Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung, Verwendung  
Bestell-Nr. i. 6

.....

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)  
Bestell-Nr. i. 15

.....

Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)  
Bestell-Nr. i. 25

.....

Kupfer – Werkstoff der Menschheit

.....

Messing – Ein moderner Werkstoff mit langer Tradition

.....

Von Messing profitieren – Drehteile im Kostenvergleich

.....

Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne

.....

Antimikrobielle Kupferlegierungen – Neue Lösungen für Gesundheit und Hygiene

## Verarbeitung

Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken  
Bestell-Nr. s. 194

.....

Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen  
Bestell-Nr. i. 7

.....

Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen  
Bestell-Nr. i. 12

.....

Trennen und Verbinden von Kupfer und Kupferlegierungen  
Bestell-Nr. i. 16

.....

Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen  
Bestell-Nr. i. 18

.....

Recommended machining parameters for copper and copper alloys  
Bestell-Nr. i. 18

## Elektrotechnik

Optimale Auswahl und Betriebsweise von Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen  
Bestell-Nr. s. 180

.....

Optimal selection and operation of ballasts for fluorescent lamps  
Bestell-Nr. s. 180

.....

Verteilstransformatoren  
Bestell-Nr. s. 182

.....

Energiesparen mit Spartransformatoren  
Bestell-Nr. s. 183

.....

Wechselwirkungen von Blindstrom-Kompensationsanlagen mit Oberschwingungen  
Bestell-Nr. s. 185

.....

Messungen und Prüfungen an Erdungsanlagen  
Bestell-Nr. s. 190

.....

Sparen mit dem Sparmotor  
Bestell-Nr. s. 192

.....

Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren  
Bestell-Nr. s. 193

.....

Kupfer spart Energie

## Umwelt / Gesundheit

Versickerung von Dachablaufwasser  
Bestell-Nr. s. 195

.....

Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlamm  
Bestell-Nr. s. 197

.....

Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung  
Bestell-Nr. s. 198

Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien  
Bestell-Nr. s. 199

.....

Untersuchung zur Bleiabgabe der Messinglegierung CuZn39PB3 an Trinkwasser – Testverfahren nach British Standards BS 7766 and NSF Standard 61  
Bestell-Nr. s. 200

## Recycling von Kupferwerkstoffen Spezielle Themen

Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau  
Bestell-Nr. s. 160

.....

Die Korrosionsbeständigkeit metallischer Automobilbremsleitungen – Mängelhäufigkeit in Deutschland und Schweden  
Bestell-Nr. s. 161

.....

Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?  
Bestell-Nr. s. 210

.....

Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen  
Bestell-Nr. s. 211

.....

Kupferrohre in der Kälte-Klimatechnik, für technische und medizinische Gase  
Bestell-Nr. i. 164

## DKI-Fachbücher

Kupfer in der Landwirtschaft

.....

Kupfer im Hochbau EUR 10,00

.....

Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze EUR 10,00

.....

Architektur und Solarthermie  
Dokumentation zum Architekturpreis EUR 10,00

## CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts

Solares Heizen EUR 10,00

.....

Neue Last in alten Netzen EUR 10,00

.....

Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer  
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempner-technik EUR 10,00

.....

Werkstofftechnik –  
Herstellungsverfahren EUR 10,00

## Lernprogramm

Die fachgerechte Kupferrohr-  
Installation EUR 10,00

.....

Filmdienst des DKI  
„Kupfer in unserem Leben“  
DVD, 20 Min. Schutzgebühr EUR 10,00

.....

„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren“  
Lehrfilm  
DVD, 15 Min. Schutzgebühr EUR 10,00

.....

„Kupfer in der Klempner-technik“  
Lehrfilm  
Videokassette, 15 Min. Schutzgebühr EUR 10,00

.....

Sonderkonditionen für Dozenten,  
Studenten und Berufsschulen





**Auskunfts- und Beratungsstelle  
für die Verwendung von  
Kupfer und Kupferlegierungen**

Am Bonneshof 5  
40474 Düsseldorf  
Telefon: (0211) 4 79 63 00  
Telefax: (0211) 4 79 63 10  
info@kupferinstitut.de

**[www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de)**

