



AB 1 FAKTEN-CHECK KUPFER

Kupfer ist als relativ weiches und zähes Metall gut formbar. Als hervorragender Wärme- und Stromleiter findet es vielseitige Verwendung. Darüber hinaus zählt es auch zur Gruppe der Münzmetalle. Als wichtiges Technologie- bzw. Funktionsmetall gehört Kupfer zu den Halbedelmetallen

In der Natur bildet sich Kupfer entweder in Form von „kupferroten“, metallisch glänzenden Nuggets oder in verzweigten Strukturen, so genannten Dendriten. Kupfer ist in Kupfermineralen und Kupfererzen (Cuprit, Malachit, Kupferglanz) häufig mit weiteren Metallen vergesellschaftet.

Der bedeutendste Kupferproduzent weltweit ist Chile, mit großem Abstand gefolgt von Peru und China. In Europa sind Polen, Portugal und Schweden nennenswert.

Die Gewinnung von Kupfer aus den Erzen ist ein mehrstufiger Prozess: Rohkupfer wird zunächst in einen Schwebeschmelzofen aus dem Mineral unter Zusatz von Koks- und Kohle herausgelöst. Im folgenden Veredelungsschritt werden unerwünschte Verunreinigungen durch Oxidation entfernt. Das resultierende Rohkupfer enthält noch 2 % Eisen, Zink und Silber und Gold. Durch eine abschließende elektrolytische Raffination wird das reine Metall gewonnen.

Kupfer ist ein All-Round-Metall und zählt zu den Buntmetallen! Es ist nach Stahl und Aluminium der drittwichtigste metallische Werkstoff. Neben einer sehr guten Korrosionsbeständigkeit ist Kupfer der wichtigste elektrische Leiter und besitzt eine gute Wärmeleitfähigkeit. Es kommt in über 400 verschiedenen Legierungen vor, die selbst technisch vielseitig verwendbare Werkstoffe darstellen. 2016 wurden weltweit 2,1 Mio. Tonnen produziert. Der Preis für Kupfer ist unverändert hoch und bewegte sich am Weltmarkt 2015 um den Wert von 6000 Dollar pro Tonne (Reinheit von 99,8 %). Deshalb wird Kupfer oft gestohlen! Kupfer ist zu 100 Prozent ohne Qualitätsverluste recycelbar.

AUFGABEN

1. Recherchieren Sie zum Werkstoff Kupfer und seinen vielseitigen Verwendungen.
2. Ergänzen Sie die Tabelle.

Bereich	Verwendet in / als...
Medizin	
Kunsthandwerk	
Banken	
Konstruktion, Funktionswerkstoff	
Leichtbau	
E-Fahrzeugbau, Luft- & Raumfahrt	
Thermischer Leiter	
Elektrischer Leiter	
Messtechnik	

AB 2 INFO BLATT PRODUKTION VON KUPFER

Abbau am Beispiel des wassergefüllten ehemaligen Kupfertagebaus Mamut Copper Mine in Malaysia. Der Krater hat einen Durchmesser von 1,2 Kilometern und ist 500 Meter tief. Weltweit hat sich die Gewinnung von Kupfer seit 1900 etwa alle 20 Jahre verdoppelt und stieg in den 120 Jahren auf das 40-fache (etwa 15 Mio. Jahrestonnen), was vor allem auf den Bedarf der Elektroindustrie zurückgeht.



Weltweit bestehen bereits sehr alte Kupferminen, deren Kupfergrade mit der Zeit deutlich sinken, seit Ende der 1990er Jahre ungefähr um ein Drittel. Da deswegen wesentlich mehr Erdoberfläche bewegt werden muss, um die gleiche Menge Kupfer zu erhalten, verteuert sich der Betrieb bestehender Minen kontinuierlich. Durch den Abbau des Kupfererzes werden große Flächen in Anspruch genommen, die erst nach einer Rekultivierung wieder nutzbar werden

AUFGABEN

3. Recherchieren Sie die Bedingungen auf der weltweit größten Kupfermine ESCONDIDA in Chile. Informieren Sie sich auf den Websites zum Aufbereitungsprozess und zur Raffination von Kupfer <https://www.copper.org/education/copper-production/> und https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Copper_electrowinning?uselang=de
4. Nutzen Sie das DEMO-TOOL SimaPro5 und rekapitulieren Sie die Ökobilanzierung. Verwenden Sie AB 3 + 4.
5. Erstellen Sie ihr eigenes DATA-SET und bereiten Sie die Daten grafisch auf. Achten Sie auf die Skalierungen.

Recycling: In Deutschland liegt die Produktion von Kupfer aus Sekundärkreisläufen konstant bei etwa 45 %, weltweit bei etwa 35 %.

Kupfer ist sehr gut wiederverwendbar. Durch Urban Mining (u.a. E-Geräte von Recyclingstationen, der Metallbe- und Metallverarbeitung etc.) gelangen die metallhaltigen Schrotte in die Sekundärkreisläufe. Durch verschiedene Recyclingverfahren werden vor allem die werthaltigen Metalle (Gold, Silber, PGM, Kupfer) und die sogenannten strategisch bedeutsamen Metalle (die für E-Mobilität und Digitalisierung wichtig sind) zurückgewonnen.

Eine Möglichkeit bietet die Multi-Metall-Gewinnung, die u.a. von der Aurubis AG in Hamburg (siehe Abb. nebenstehend) vollzogen wird. Dabei werden mehrere Verfahren hintereinandergeschaltet, um verschiedene Elemente zu gewinnen. Durch die Kombination von mechanischen, pyro- und hydrometallurgischen Verfahren, können komplexe Rohstoffe, wie bspw. die Platinen, aufgetrennt werden. Über die elektrolytische Raffination kann aus Rohkupfer elementares Kupfer gewonnen werden. Zusätzlich fällt der aus Edelmetall bestehende Anodenschlamm aus. Dieser wird nach der Multi-Metall-Gewinnung in einer Wertmetallaufbereitung durch die elektrolytische Raffination zur maximalen Ausbeute und Reinheit von Kupfer (sowie Gold und Elemente der Platin-Gruppe PGM) wiedergewonnen. Beim Kupferrecycling wird nur 10 % der Energiemenge der Primärproduktion benötigt.



AB 3 Schadstoffe und Einflussparameter am Beispiel Kupfer – aus Erz oder besser recycelt?

Vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenverknappung, Umweltverschmutzung und weltweiten klimatischen Veränderungen gewinnen nachhaltige Produktionstechnologien und Änderungen im Konsumverhalten allen wirtschaftlichen, sozialen und politischen Bereichen an Bedeutung. Life Cycle Assessment (LCA) ist ein methodisches Gerüst, um Produkte, Materialien und Dienstleistungen zu analysieren, um ihre Einflüsse auf Gesundheit, Umwelt und Ressourcenverbrauch zu ermitteln.

Die drei genannten Einflussgrößen stellen die Endpunkte des LCA dar. Sie resultieren aus elf Schadenskategorien, die die relevanten Umweltkompartimente (Lebewesen, Boden, Wasser, Luft) mit den Schadstoffeinträgen (Stoffe, Strahlung, Lärm) sowie deren Migration betrachten. Mineralische und fossile Ressourcen als auch Flächen- und Wasserbedarfe werden ebenso berücksichtigt wie die Emissionsfracht aller untersuchten Subsysteme.

Diese Schadenskategorien werden im LCA (Life Cycle Inventory; LCI) mit Hilfe der Materialangaben, der angewandten Verarbeitungsprozesse, den Energieeinträgen und der Entsorgungsrouten berechnet. Durch Stoffstromanalysen mit dem SimaPro5-Tool in der DEMO Version 9.4.0 gelingt eine ÖKOBILANZ. In der DEMO Variante sind leider keine Ökobilanzdaten für Kupfer aus Erz (primär, virgin) erhältlich!

In der Tabelle sind zum einen die für eine Schädwirkung verantwortlichen Elemente, Stoffe und Strahlungen aufgeführt, zum anderen weitere Einflussgrößen die Verbräuche von Rohstoffen und Landflächen betreffend detailliert gelistet. Teilweise wirken Schadstoffklassen auf mehr als einen Endpunkt. So beeinträchtigen die Gase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas sowohl die menschliche Gesundheit als auch die Umwelt. Schwermetalle sind für alle Lebewesen toxisch.

AUFGABE:

6. Am Beispiel des Metalls Kupfer soll für die Menge von 1 kg die Umweltbelastungen ermittelt werden, wenn das Metall aus den Schlämmen (Copper Cakes; hier (4)) gewonnen wird oder zu 100 % recyceltes Altkupfer aus E-Schrotten bzw. (6) zu 100 % aus Schrott (5) aus der Metallverarbeitung aufbereitet wird.

Schadenskategorie Impact Categories	COPPER RAW Data for 1 kg Material					
	1	2	3	4	5	6
	Cu cathode	Cu, cathode, solvent extraction / electrowinning	Cu anode	Cu rich material	Cu Scrap	Cu electronic scrap, anode
in mPt	3240	4734	3669	2884	0.0014	0.0320
Carcinogens/Toxicity	9.37E-05	0.0001	0.000121	0.000063	3.6E-07	0.000012
Resp. Organics/Inorganic	9.06E-06	9.19E-06	8.06E-06	6.91E-06	2.41E-08	1.95E-06
Climate Change	5.13E-08	5.2E-08	4.56E-08	3.91E-08	1.36E-10	1.1E-08
Radiation	1.2E-08	9.27E-09	9.58E-09	2.58E-08	4.88E-12	9.41E-10
Ozone Layer	4E-09	5.33E-09	4.34E-09	2.48E-09	8.13E-12	1.03E-10
	8.09E-10	9.53E-10	7.18E-10	1.04E-09	1.04E-09	2.29E-10
Ecotoxicity	3.32E-05	1.27E-05	4.48E-05	2.52E-08	1.37E-08	3.14E-07
	1.88E-09	5.3E-09	1.56E-09	8.1E-09	6.97E-08	1.89E-11
	3.46E-09	9.36E-09	2.98E-09	1.54E-09	1.23E-08	3.65E-11
	2.27E-09	3.16E-10	3.47E-09	3.21E-09	6.77E-13	1.16E-11
Acidification	2.47E-09	7.63E-10	3.34E-09	1.78E-10	4.84E-13	1.54E-11
Eutrophication	1.95E-09	5.3E-09	1.63E-09	2.1E-09	1.4E-13	2.79E-12
Land Use	5.5E-09	1.05E-08	4.39E-09	3.21E-09	7.16E-12	9.2E-11
	2.72E-08	1.55E-08	3.87E-08	2.09E-08	5.55E-11	4.15E-10
	9.52E-09	6.79E-09	1.28E-08	7.57E-09	-5.58E-11	1.62E-10
Metal depletion	2.96	4.46	3.42	2.63	0.000208	0.00092
Fossile Fuels	0.28	0.274	0.249	0.254	0.00121	0.0311

Die Schadenskategorien sind farblich codiert. Sie finden sich in den gestaffelten Balken des Diagramms wieder.

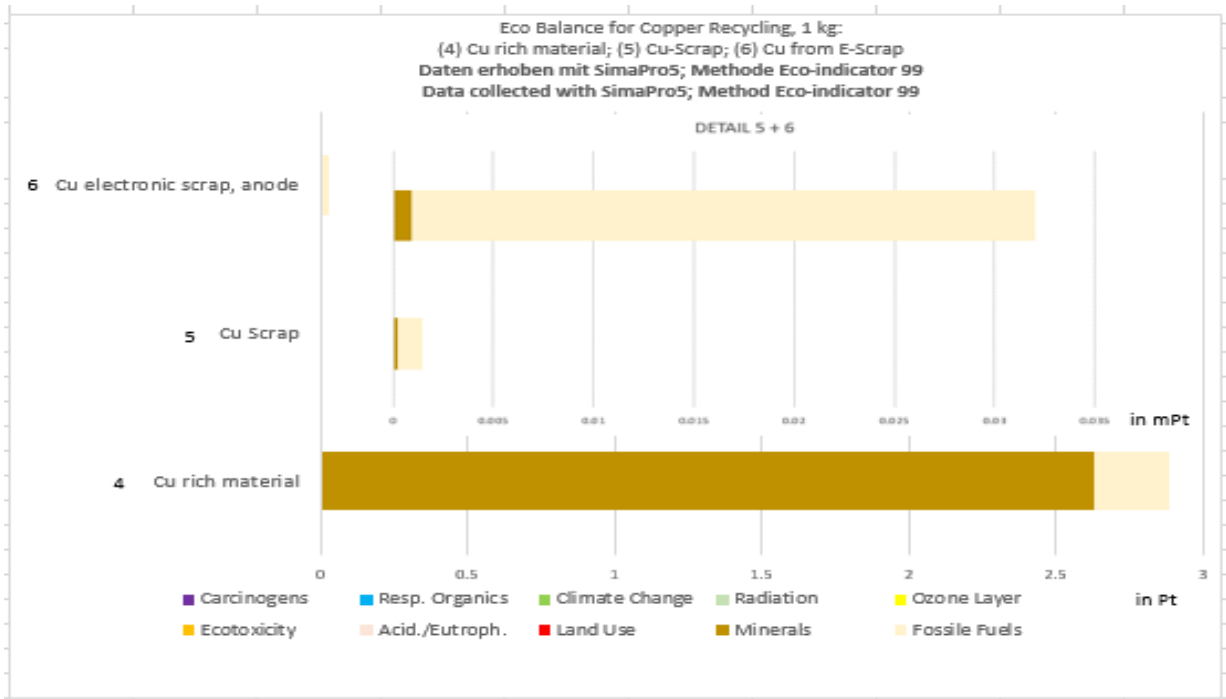
Die erhobenen Daten wurden mit der Methode Eco-indicator 99 erstellt. Die Einheit wird in Eco-Point **Pt** angegeben. 1 Pt ist 1/1000stel der jährlichen Umweltbelastung eines Durchschnitts-Europäers.

AB 4 Interpretation der Ergebnisse am Beispiel von Kupfer

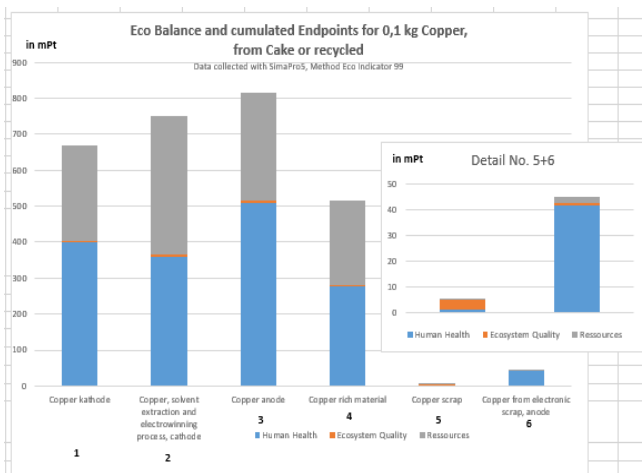
Gut erkennbar sind der mineralische und energetische Ressourcenverbrauch auch beim Recycling von Copper-Cakes. Er enthält je nach Ursprung noch erhebliche Anteile anderer Metalle, die aufwändig elektrolytisch abgetrennt werden müssen. Daher ist der energetische Aufwand rund 10 Mal höher als bei der Schrott-Verwertung. Je höher der Anteil der Wertstoffrückgewinnung ist, desto besser wird die Ökobilanz.

AUFGABE:

- Die negativen gesundheitlichen Auswirkungen gehen in der Skalierung unter. Bereiten Sie die Daten im DATA-SET so auf, dass eine grafische Interpretation möglich wird.



Die manuelle Vorsortierung und die aufwändige Aufbereitung des E-Schrotts (6) bringt vor allem durch die Staubbelastung erhebliche gesundheitliche Risiken mit sich, da in ihm weitere z.T. toxische Metallbestandteile enthalten sind. Die Schrotte (5) aus der Metallbearbeitung ist dagegen lediglich mit Schneidölen und Kühlschmierstoffen belastet, die bei der Elektrolyse kaum eine Rolle spielen. Die Endpunkt-Betrachtung jetzt für jeweils 100 g aufbereitetes Kupfermaterial verdeutlicht dies.



Cu 0.1 kg	1	2	3	4	5	6
	Copper kathode	Copper, solvent extraction and electrowinning process, cathode	Copper anode	Copper rich material	Copper scrap	Copper from electronic scrap, anode
	mPt	mPt	mPt	mPt	mPt	mPt
Human Health	399	358	510	276	1.17	41.9
Ecosystem Quality	5.34	6.69	5.99	3.71	3.58	0.521
Resources	264	387	300	235	0.115	2.61
Summe mPt	668	752	816	515	4.86	45

FAZIT: Am besten lassen sich fast sortenreine Abfälle aus der metallverarbeitenden Industrie wieder in den Kupfer-Sekundärkreislauf zurückführen! Aber das Urban Mining mit dem Aufbereiten auch komplexer E-Schrotte lohnt sich sehr!



LÖSUNG TABELLE AB 1

Bereich	Verwendet in / als...
Medizin	Spurenelement; Desinfektion - absolute Barrierewirkung gegenüber Bakterien.
Kunsth Handwerk	Radierungen, Kupferstiche, Schmuck & Besteck
Banken	Zahlungsmittel, Münzen
Konstruktion, Funktionswerkstoff	Kupferdächer, Kupferprofile in Fassadenelementen, Regenrinnen, Kupfernägeln
Leichtbau	Cu hat hohe spezifische Festigkeit. In Presshülsen, Kontaktträgern, Bauteilanschlussbeine
E-Fahrzeugbau, Luft- & Raumfahrt	Für Flugzeuge, Raketen, Autos und Züge: die geringe Masse von Al bei gleichzeitiger Stabilität spart Treibstoff
Thermischer Leiter	Heizung- und Sanitärbereich, Kochgeschirr, Wärmetauscher, Kühlkörper
Elektrischer Leiter	Cu besitzt nach Silber und noch vor Gold die zweithöchste elektrische Leitfähigkeit aller Metalle auf.
	Leiterbahnen auf Leiterplatten und integrierten Schaltkreisen, elektrische Leitungen, Oberleitungen, Drahtwicklungen in Transformatoren, Drosseln/Spulen und Elektromotoren
Messtechnik	Kupfer besitzt ein hohes Reflexionsvermögen im Infrarotbereich und wird daher als Spiegel für Kohlendioxidlaser-Strahlen und zur Glasbeschichtung (Isolierglas) eingesetzt.