

Handyrecycling

Sophia Röstel, WS 23/24

Inhalt

1	Der Prozess des Handyrecyclings.....	1
2	Das Gehäuse – Magnesium und Aluminium	2
3	Die Leiterplatte – Kupfer, Silber und Gold	2
3.1	Experiment 1: Lösen des Kupfers von der Leiterplatte	2
3.2	Experiment 2: Elektrolyse von Kupfersulfat.....	3
3.3	Elektrolytische Raffination von Kupfer.....	4
3.4	Miller-Verfahren.....	5
4	Der Akku – Nickel und Kobalt.....	5

Einstieg: China ist eine Großmacht – auch, wenn es um Metalle geht. Egal ob Kupfer, Nickel oder die seltenen Erdmetalle, China hat weltweiten Einfluss auf Abbau und Aufbereitung, kontrolliert Lieferketten und setzt diese als politische Druckmittel ein. Dies macht auch Deutschland verwundbar gegenüber Preisschwankungen und Versorgungsengpässen. Die Idee, wie wir von diesen Metallimporten unabhängig werden könnten: Handys destillieren.

1 Der Prozess des Handyrecyclings

Das Handy besteht aus verschiedenen Bauteilen – vom Gehäuse und Display bis hin zu Leiterplatte und Akku. Diese wiederum sind aus den unterschiedlichsten Materialien, ob Metall, Glas oder Kunststoff, aufgebaut. Im Zuge des Recyclingprozesses werden Handys in ihre Einzelbestandteile zerlegt.

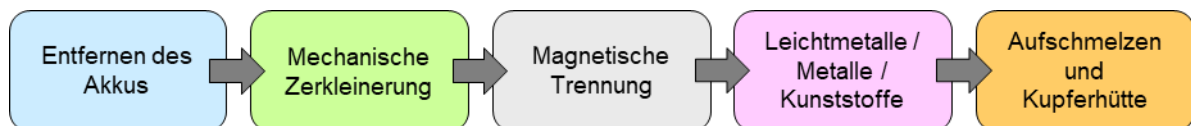


Abb. 1: Prozess des Handyrecyclings

Zu Beginn muss der Akku separat entnommen und fachgerecht entsorgt werden, da dieser zum Teil schädliche Bestandteile, wie Blei oder Quecksilber, enthält. Ebenso würde durch hohe Druck- und Temperatureinwirkung erhöhte Brandgefahr bestehen. [1]

Anschließend wird in einem Schredder das Handy mechanisch zerkleinert und mittels eines Magneten können eisenhaltige Bestandteile abgetrennt werden. Über diverse Prozessmechanismen wird das zerkleinerte Material in Leichtmetalle, wie Aluminium und Magnesium, Metalle und Kunststoffe zerlegt. Der Metallschrott wird schließlich aufgeschmolzen und in der Kupferhütte können wertvolle Edelmetalle wie Silber, Gold und Kupfer wiedergewonnen werden.

2 Das Gehäuse – Magnesium und Aluminium


Das Handygehäuse besteht zum Großteil aus Leichtmetallen wie Magnesium und Aluminium.

Magnesium besitzt mit einer Temperatur von 1107 °C [2] eine im Vergleich zu den meisten Metallen niedrige Siedetemperatur und ist deutlich flüchtiger als Aluminium, dessen Siedepunkt bei 2470 °C [3] liegt. Mittels einer Vakuumdestillation lassen sich beide Leichtmetalle unter Bildung einer hochreinen Magnesium-Schmelze voneinander trennen.

3 Die Leiterplatte – Kupfer, Silber und Gold

Aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit bestehen die Handyleiterplatten aus einem hohen Anteil Kupfer.

3.1 Experiment 1: Lösen des Kupfers von der Leiterplatte

Material	<ul style="list-style-type: none">• Reagenzglas• Pipette• Gummistopfen
Chemikalien	<ul style="list-style-type: none">• ein Stück Kupferblech ca. 1*1cm, d=ca. 0,1mm• Salpetersäure w(HNO₃) = 65% [4]  <p>H272, H290, H330, H314 P210, P220, P280, P303+P361+P353, P304+P340+P310, P305+P351+P338 EUH071</p>
Durchführung	Das Stück Kupferblech wird in das Reagenzglas gegeben. Ab nun gilt es, unter dem Abzug zu arbeiten, da bei der ablaufenden Reaktion schädliche nitrose Gase entstehen. Ca. 1mL konzentrierte Salpetersäure (HNO ₃) wird mit Hilfe der Pipette dem Reagenzglas mit dem Kupferblech zugegeben.
Beobachtung	Das Kupferblech löst sich allmählich auf und es entsteht eine grüne Lösung.
Erklärung	Kupfer reagiert mit Salpetersäure zu Kupfer(II)-nitrat und Wasser. Zudem wird das giftige und reizend wirkende Stickstoffmonoxid freigesetzt. $3 \text{ Cu} + 8 \text{ HNO}_3 \rightarrow 3 \text{ Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{ NO} + 4 \text{ H}_2\text{O}$

3.2 Experiment 2: Elektrolyse von Kupfersulfat

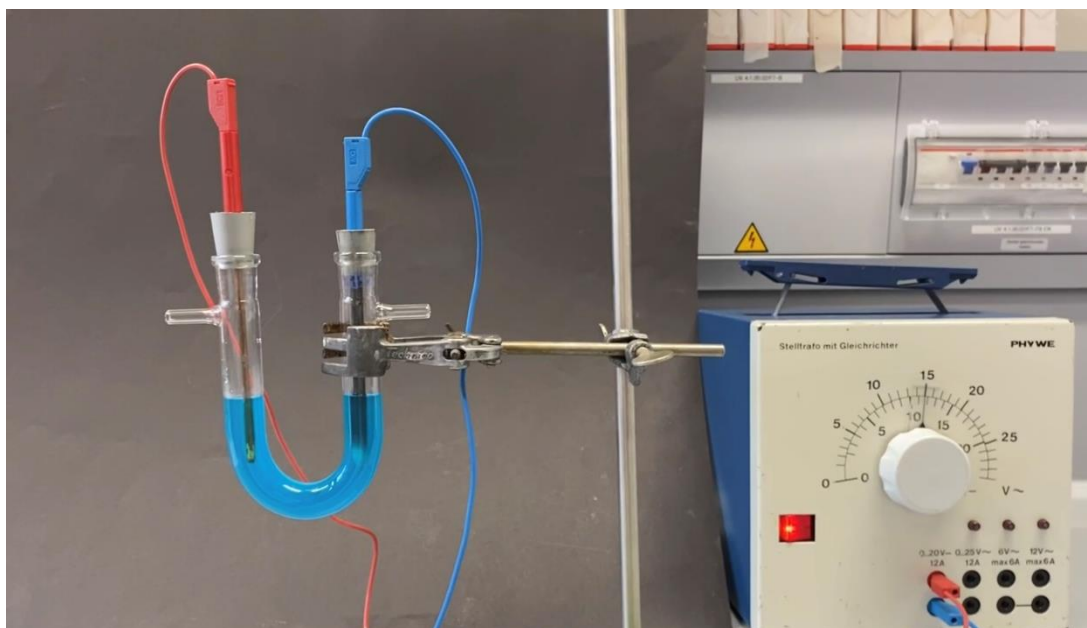


Abb. 2: Elektrolyseaufbau – Kupferelektrode (Anode, rot), Graphitelektrode (Kathode, blau)

Material	<ul style="list-style-type: none"> • Stativ mit Muffe und Klemme • U-Rohr • Spannungsquelle • zwei Stromkabel
Chemikalien	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferelektrode • Graphitelektrode • CuSO_4-Lösung ca. $c=1\text{mol/L}$
Durchführung	Das U-Rohr wird mittels Muffe und Klemme am Stativ befestigt und etwa bis zur Hälfte mit der Elektrolytlösung Kupfer(II)-sulfat (CuSO_4) befüllt. Die beiden Elektroden werden anschließend jeweils durch eine Rohröffnung in die blaue Lösung getaucht. Dabei wird die Kupferelektrode über ein Stromkabel mit dem Pluspol, die Graphitelektrode über das zweite Stromkabel mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden. Es wird eine Gleichspannung von $U=5\text{ V}$ angelegt.
Beobachtung	Die Kupferelektrode löst sich allmählich auf, während sich auf der Graphitelektrode eine kupferfarbene Schicht bildet.
Erklärung	Durch das Anlegen einer Gleichspannung wird an der Kupfer- und Graphitelektrode eine Redoxreaktion, bestehend aus Oxidation und Reduktion, erzwungen. Das Kupfer der Kupferelektrode wird zu Kupfer(II)-Kationen oxidiert und die freigewordenen Elektronen bewegen sich über den äußeren Stromkreis zur Graphitelektrode. Ein dortiger negativer Ladungsüberschuss bewirkt die Reduktion der sich in Lösung befindlichen Kationen. Die Graphitelektrode wird mit elementarem Kupfer überzogen. (vgl. Abschnitt 3.3)

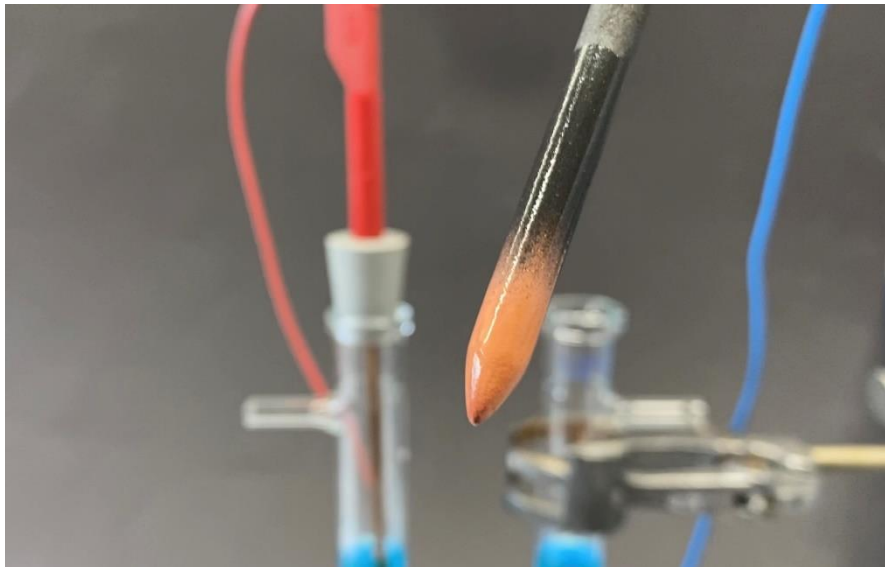


Abb. 3: Bildung einer kupferfarbenen Ablagerung auf der Graphitelektrode

3.3 Elektrolytische Raffination von Kupfer

Das von der Leiterplatte gelöste Kupfer wird als **Rohkupfer** bezeichnet, da es noch nicht in seiner reinen Form, sondern noch mit weiteren Edelmetallen verunreinigt, vorliegt. Um aus Rohkupfer **Reinkupfer** mit einem Kupfergehalt von 99,95% herzustellen, wird das Verfahren der elektrolytischen Raffination angewendet.

Das Rohkupfer wird dabei als Anodenmaterial verwendet, während eine Elektrode aus Reinkupfer als Kathode fungiert. Als Elektrolytlösung wird eine Kupfer(II)-sulfat-Lösung vorgelegt.

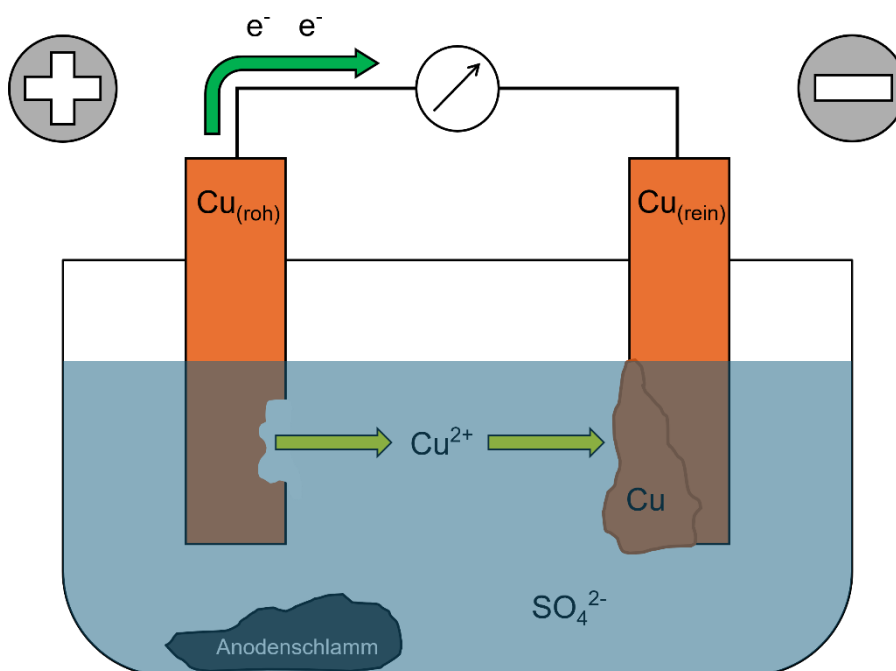
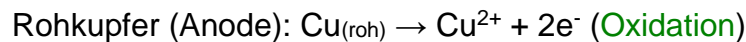


Abb. 4: Elektrolytische Raffination von Rohkupfer zu Reinkupfer

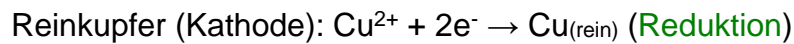
Der hier für die Aufreinigung von Rohkupfer zu Grunde liegende chemische Prozess wird als **Elektrolyse** bezeichnet. Dabei wird durch Anlegen eines elektrischen Stroms eine Redoxreaktion erzwungen.

Sobald eine Gleichspannung angelegt wird, laufen folgende Redox-Prozesse ab:

An der Anode, welche aus Rohkupfer besteht, findet die Oxidationsreaktion statt. Hierbei wird das Kupfer durch Abgabe zweier Elektronen oxidiert und geht als zweiwertiges Kation in Lösung. Es kommt zur Auflösung der Rohkupfer-Anode.



Die Elektronen werden über den äußeren Stromkreis zur Kathode, bestehend aus Reinkupfer, transportiert, wodurch dort nun ein Elektronenüberschuss entsteht. Die sich in Lösung befindlichen zweiwertigen Kupferkationen werden an der Kathode durch Aufnahme beider Elektronen reduziert. Es scheidet sich elementares, reines Kupfer an der Kathode ab.



Bei den sich in der Rohkupfer-Anode befindlichen Verunreinigungen handelt es sich um Metalle wie Platin, Silber oder Gold. Diese sind deutlich edler als das Kupfer, weshalb sie nicht im Zuge dieses Redoxprozesses oxidiert werden, sondern als Anodenschlamm ausfallen.

Mittels der elektrolytischen Raffination kann zum einen reines Kupfer, zum anderen wertvolle Edelmetalle, durch Weiterverarbeitung des Anodenschlammes, gewonnen werden.

3.4 Miller-Verfahren

Die aus dem Anodenschlamm gewonnenen Edelmetalle Gold und Silber können mit Hilfe des Miller-Verfahrens voneinander getrennt werden.

Hierbei wird ein reiner Chlorgas-Strom durch einen Tiegel, welcher mit einer Schmelze von noch unreinem Gold gefüllt ist, geblasen. Bei Temperaturen von 1100 °C kommt es zur Chlorierung beider Elemente. Während Silber selbst bei hohen Temperaturen stabile Silberchloride bildet, sind Goldchloride ab Temperaturen von 400 °C unbeständig. Die stabilen Silberchloride fallen an der Oberfläche aus und können abgeschöpft werden. [5]

4 Der Akku – Nickel und Kobalt

Der vor Beginn der mechanischen Zerkleinerung des Handys separat entfernte Akku enthält sehr häufig die metallischen Bestandteile Nickel und Kobalt.

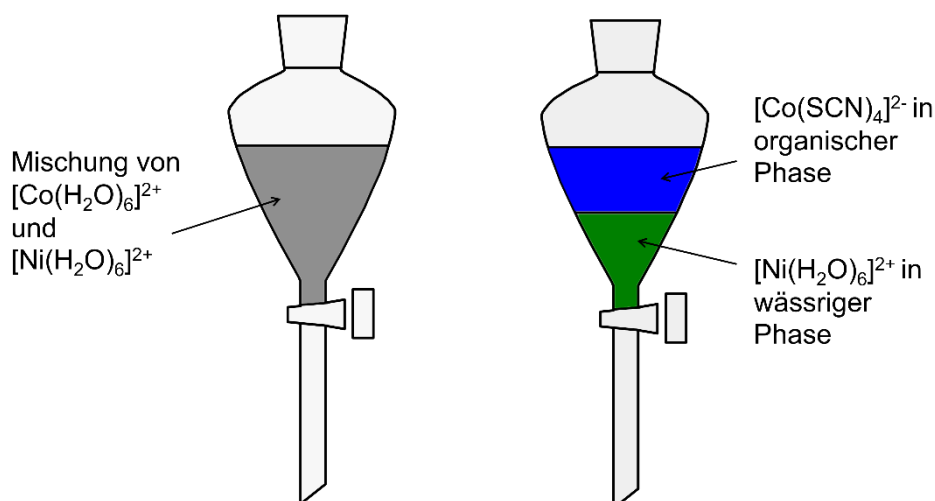
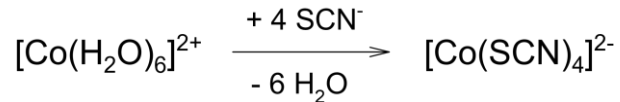


Abb. 5: Trennung von Kobalt- und Nickelsalzen mittels Extrahierens im Scheidetrichter

Nickel- und Kobaltsalze – **Vorsicht, diese Salze werden als krebserregend eingestuft!** – können mittels der Extraktion im Scheidetrichter voneinander getrennt werden.

Die Mischung aus den beiden Aquakomplexen des Nickel(II)- sowie des Kobalt(II)-Salzes ergibt eine graue Farbe. Nach Zugabe von Butanon und Kaliumthiocyanat und anschließendem Schütteln des Scheidetrichters kommt es langsam zur Phasentrennung in wässrige und organische Phase, wobei die organische Phase aufgrund der geringeren Dichte die obere Phase bildet.

Der Hexaaquanickel(II)-Komplex behält seine oktaedrische Koordinationsgeometrie und färbt sich in der wässrigen Lösung grün.



Beim Aquakomplex des Kobalt(II)-Kations kommt es dagegen zu einem Ligandenaustausch und es bildet sich ein tetraedrischer Tetrathiocyanatocobaltat(II)-Komplex, welcher sich in der organischen Phase mit tiefblauer Farbe löst. [6]

Zusammenfassung: So falsch war die Idee des Handydestillierens gar nicht. Wertvolle Metalle können im Zuge des Recyclings über jeweils für sie spezifische Trennverfahren in großer Reinheit wiedergewonnen werden. Um möglichst viele Metalle aufzureinigen, müssen neben der Destillation weitere Reinigungstechniken, wie die elektrolytische Raffination, das Miller-Verfahren oder das Extrahieren, angewendet werden.

Abschluss: Auch wenn sich einige Recycling-Methoden für spezielle Metalle noch als technisch aufwendig herausstellen, ist Recycling notwendiger denn je – wenn es um die Schonung unserer Umwelt, knapper werdender Ressourcen sowie die Verringerung weltweiter Konflikte geht. Vor allem aber ist das Recycling wertvoll geworden – in unseren Handys stecken die größten Schätze weltweit. Einer Studie zufolge könne man mit den durch das Recycling von 210 Mio. ausgedienter Handys gewonnenen Materialien 10 Jahre lang neue Smartphones herstellen. [7] Also nicht lange überlegen – ab mit den Handys aus den Schubläden zu Wertstoffhöfen, Sammelstellen in Supermärkten oder Elektrogeschäften.

Quellen:

1. <https://www.turn-on.de/article/akku-entsorgen-das-ist-bei-handy-und-laptop-zu-beachten-347201?from=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F>, 08.11.2023.
2. <https://www.chemie.de/lexikon/Magnesium.html>, 03.11.2023.
3. <https://www.chemie.de/lexikon/Aluminium.html>, 03.11.2023.
4. <https://gestis.dguv.de/data?name=001370>, 22.02.2024.
5. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/3970/file/Ma-Ress_AP2_1.pdf, 08.11.2023.
6. <https://www.chem-page.de/experimente/trennung-von-cobalt-und-nickelsalzen.html>, 08.11.2023.
7. <https://www.geo.de/natur/nachhaltigkeit/alte-handys-enthalten-material-fuer-die-naechsten-10-jahre-33112692.html>, 04.11.2023.
8. <https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-sachgeschichte-handy-recycling-100.html>, 08.11.2023.
9. Dittmeyer, R.; Keim, W.; Kreysa, G.; Oberholz, A.: Metalle, in: Chemische Technik: Prozesse und Produkte, hg. v. Winnacker/Küchler, Weinheim⁶, 2006.
10. Bookhagen, B.; Bastian D.: Metalle in Smartphones. Commodity TopNews, Heft 65, 2020, 1-13.
11. Riedel, E., Janiak, C.: Anorganische Chemie, DeGruyter, Berlin 2015.