

Was steckt drin im Handy?



Eine experimentell orientierte Unterrichtseinheit zum Thema
Elektroschrott und *urban mining*

Dr. Bernhard F. Sieve
IDN - Fachgebiet Chemiedidaktik
Leibniz Universität, Hannover



Metalle - begehrte Ressourcen

Kupferklau nimmt zu

Metalldiebe legen Bahnverkehr lahm

Für acht Stunden war die wichtigste Bahnstrecke Norddeutschlands lahmgelegt - weil Metalldiebe Kabel von Strommasten und Signalanlagen gestohlen hatten.

Seltene Erden

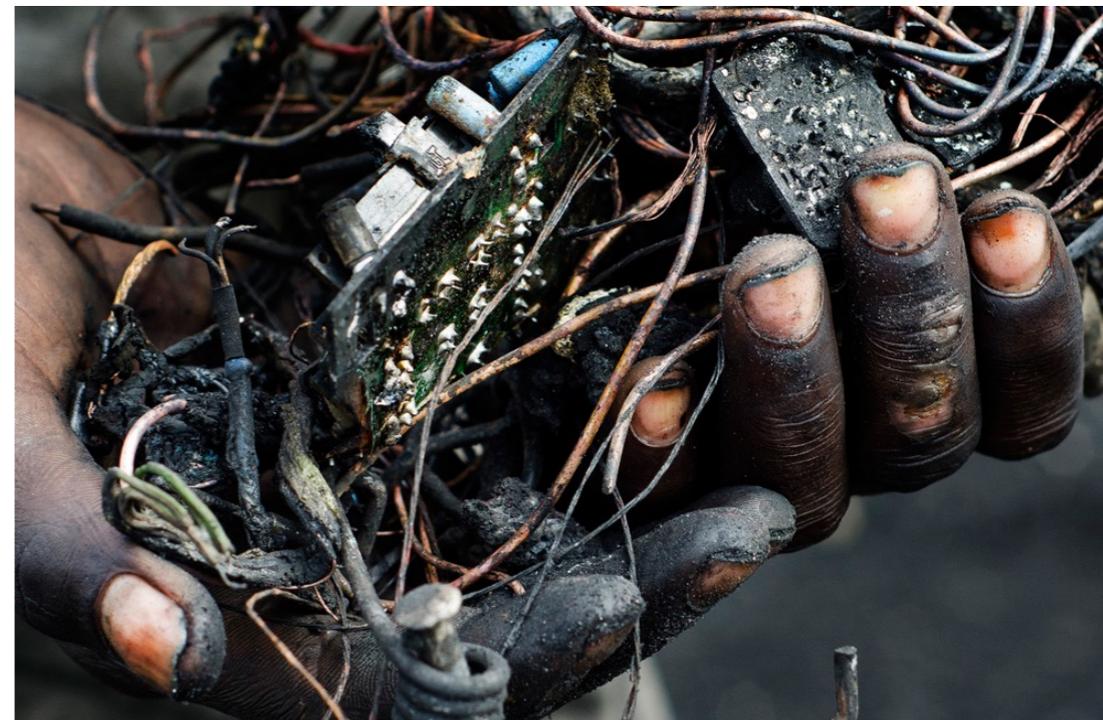
Hightech-Metalle aus schmutzigen Minen

Viele Hightechprodukte kommen nicht ohne die Metalle aus, die Chemiker im 19. Jahrhundert "Seltene Erden" genannt haben. Inzwischen suchen Forscher nach Alternativen und Recyclingtechniken.

Europa exportiert gefährlichen Müll

Elektroschrott vergiftet Ghana

Chinesisches Monopol bei Seltenen Erden:
Risiko für die Hochtechnologie



(<http://theweek.com/article/index/250685/going-up-in-smoke>)



Institut für Didaktik
der Naturwissenschaften

11
102
1004
Leibniz
Universität
Hannover

Das erwartet Sie...

- Experimentell orientierte UE für die SII zur Metallgewinnung / Metallrecycling am Beispiel der Elektroschrott-Problematik
- Vermittlung zentraler Konzepte der Elektrochemie und von analytischen Verfahren
- Schulung von Bewertungskompetenz / Förderung des nachhaltigen Umgangs mit begrenzten Ressourcen



Der Einstieg

Europa exportiert gefährlichen Müll

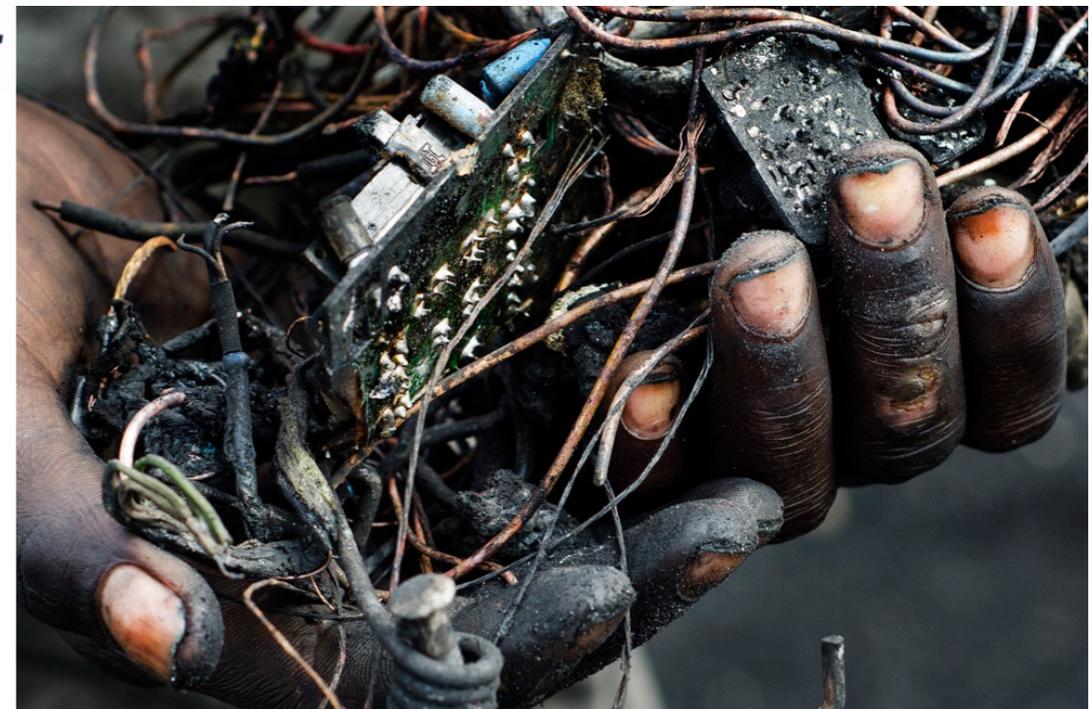
Elektroschrott vergiftet Ghana

MÜLLDEPONIE AGBOGBLOSHIE

Aufwachsen auf dem Schrottplatz der Welt

Deutschland erstickt im Elektroschrott

<http://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?film=8553>



Probleme über Probleme

Warum wird der Elektroschrott verschifft und dort verbrannt? Darf man das überhaupt?

Welche Schäden verursacht dies an Mensch und Umwelt?

Welche Metalle sind denn so wertvoll in diesen Geräten? Was ist da eigentlich drin?

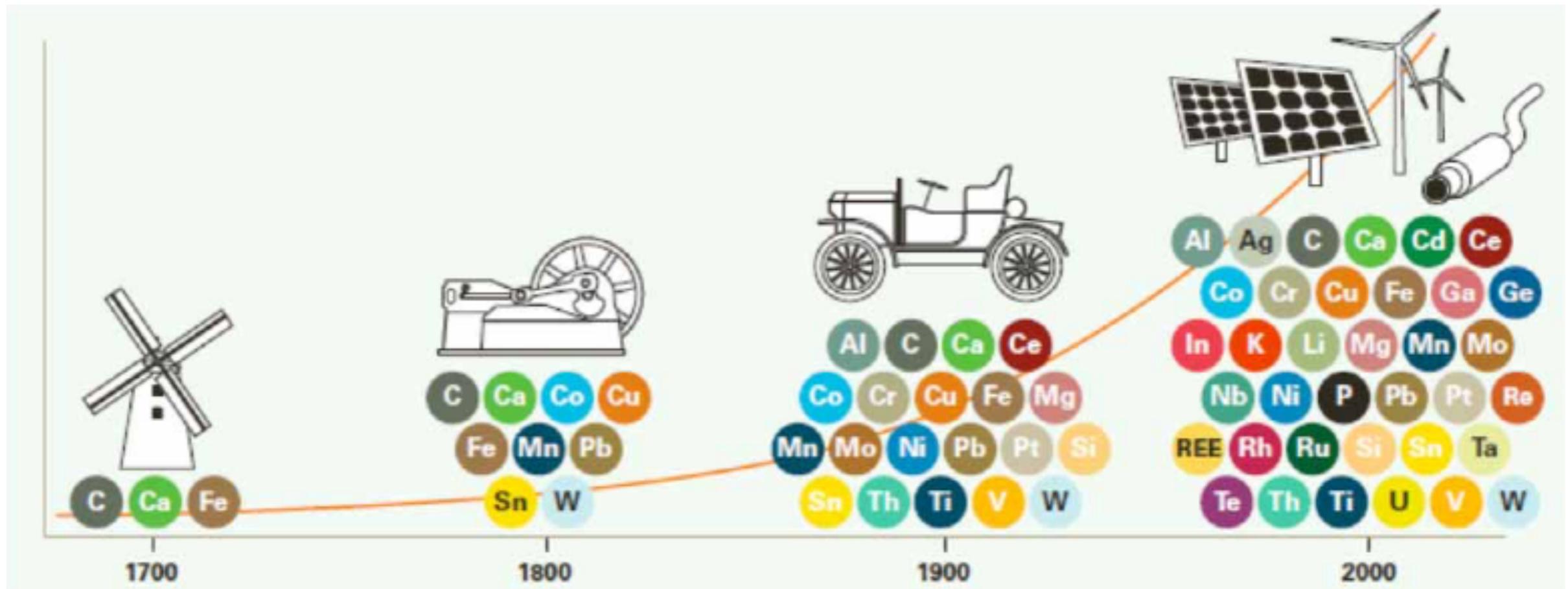
Was macht man mit den Metallen, mit der Asche? Lassen sich die daraus Metalle zurückgewinnen?

Kann man die Metalle nicht unter kontrollierten Bedingungen wiedergewinnen? Wie erfolgt das Recycling von Altgeräten in Deutschland?

Was kann man / können wir dagegen tun?



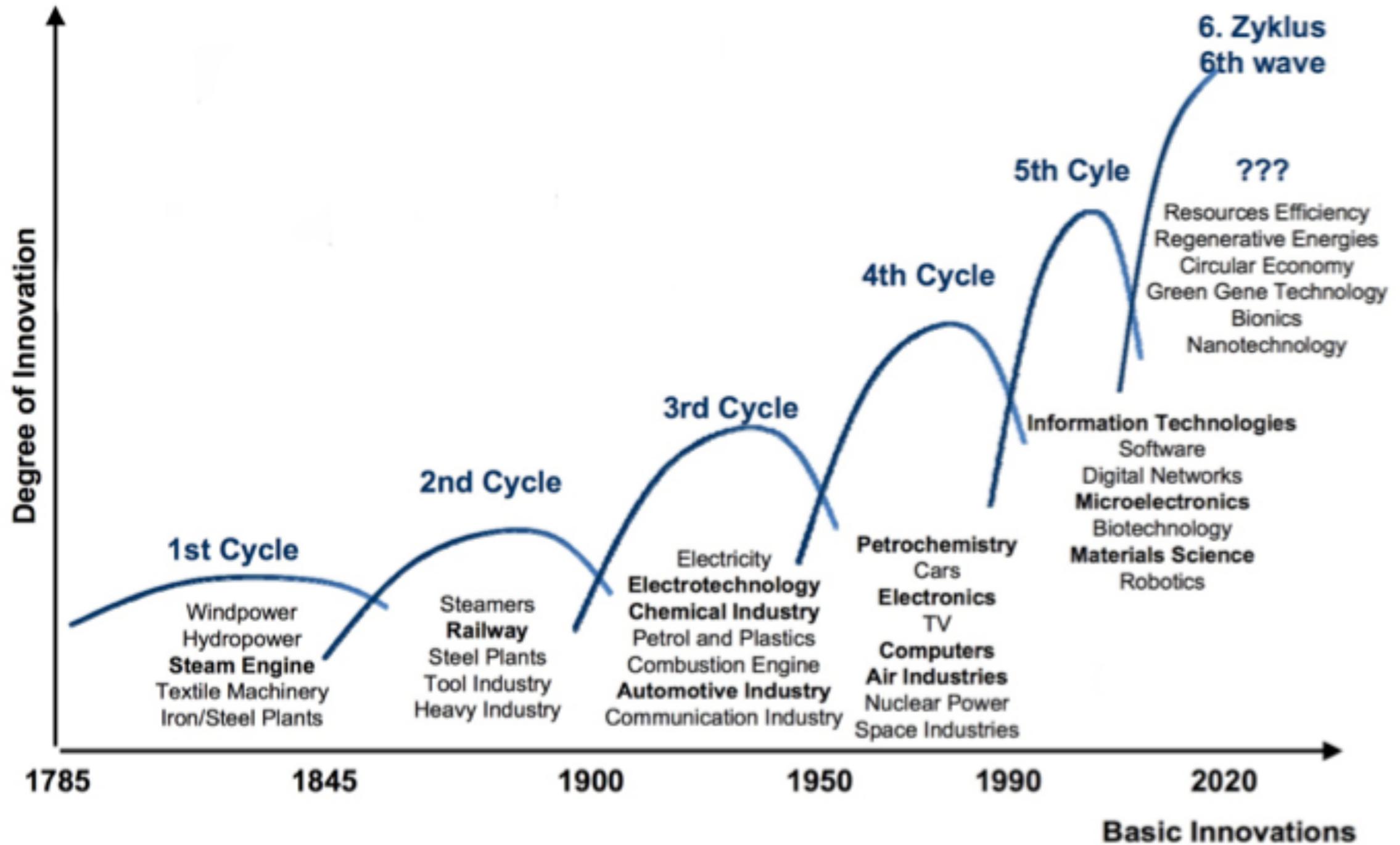
Die Welt im Wandel - Ressourcen entscheiden



(Reller 2011)



Die Welt im Wandel - Ressourcen entscheiden



(Meadows et al. 2008)



Bedarfe an High-Tech-Metallen

Metall	Bedarf 2014	Bedarf 2030	Reserven	Statistische Reichweite
Antimon	160 kt	180 kt	1,8 Mt	ca. 11 a
Cobalt	112 kt	220 kt	7,2 Mt	ca. 65 a
Gallium	400 t	7 kt	750 kt	ca. 150 a
Germanium	165 t	480 t	2500 t	< 20 a
Indium	820 t	1,3 kt	10 kt	< 20 a
Kupfer	1,4 Mt	6,7 Mt	480 Mt	> 200 a
Lithium	36 kt	105 kt	13,5 Mt	> 350 a
Neodym	17 kt	28 kt	10 Mt	> 350 a
Platin	160 t	360 t	66 kt	ca. 190 a
Silber	26 kt	38 kt	530 kt	ca. 20 a
SEE (gesamt)	110 kt	380 kt	130 Mt	> 500 a
Tantal (Coltan)	1,2 kt	12 kt	> 100 kt	ca. 80 a
Zinn	190 kt	235 kt	6,1 Mt	< 20 a

(US Geological Survey 2014)



Bedarfe an High-Tech-Metallen

 kritisch

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003						
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182																	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050																	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80						
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29						
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)						
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114										
58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967										
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)										

(European Commission 2012)



Anwendungen von High-Tech-Metallen



Ga, In, Pt, Ru, Ti, Se, Te



Ga, In, Eu ...



Nd ...



In, Sn, Li, Ag, Au, Ga, Ge, Eu ...



Nd, Ce, Pt, La, Y, Eu, Dy, Co ...

Vorkommen von High-Tech-Metallen



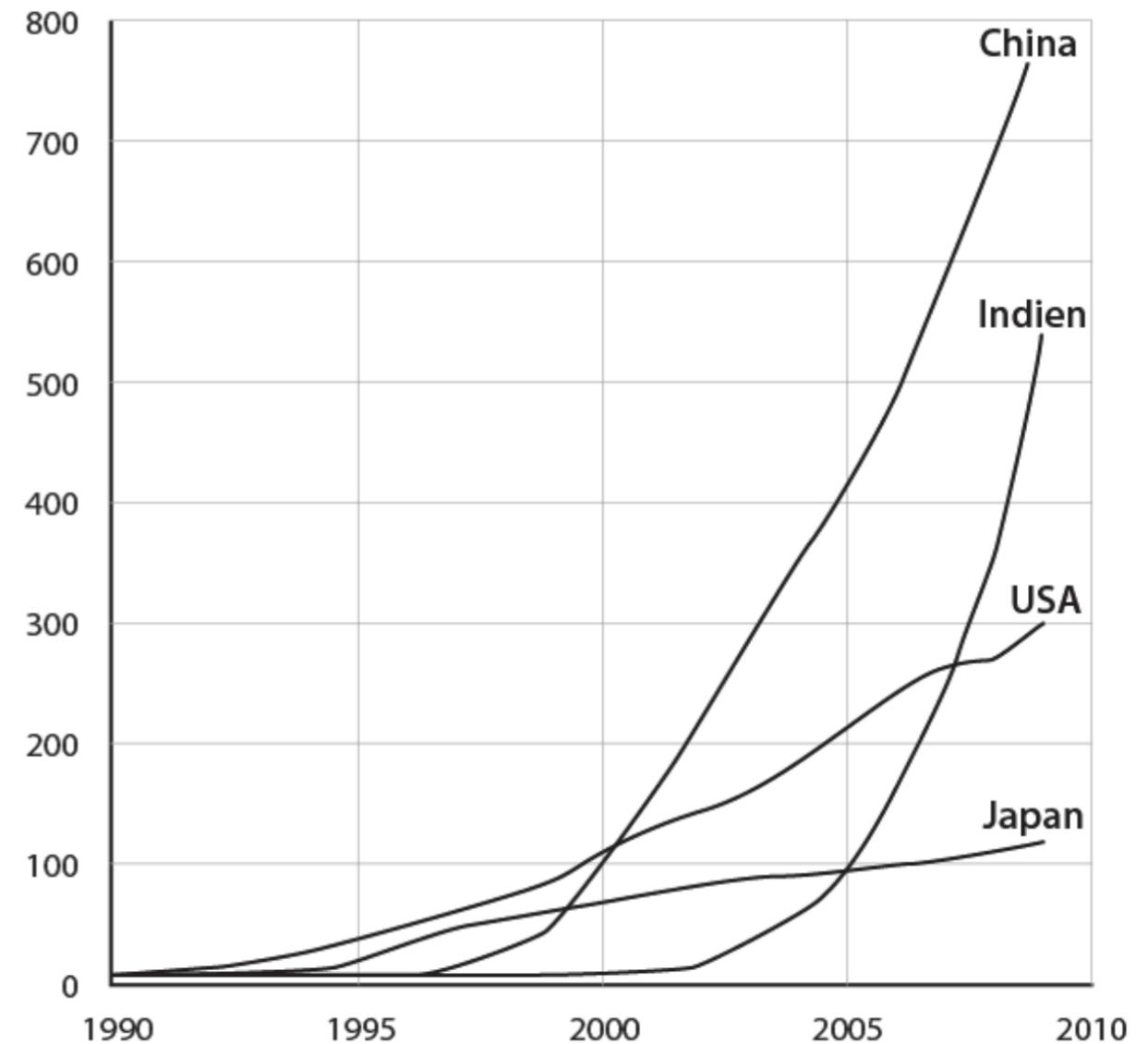
(Die Zeit 2009)



Beispiel Handys

- 97 % der Jugendlichen zwischen 12 und 19 Jahren haben ein Handy, 88 % ein Smartphone; Tendenz steigend (MPFS 2014)
- 76 % der Jugendlichen haben einen eigenen Computer (MPFS 2014)
- 2013 wurden in Deutschland über 21 Millionen Smartphones verkauft (Statista 2013)
- über 100 Millionen Althandys lagern in Schubladen (Bitkom 2014)

neue Mobilfunkverträge in Millionen



(Nair 2011)

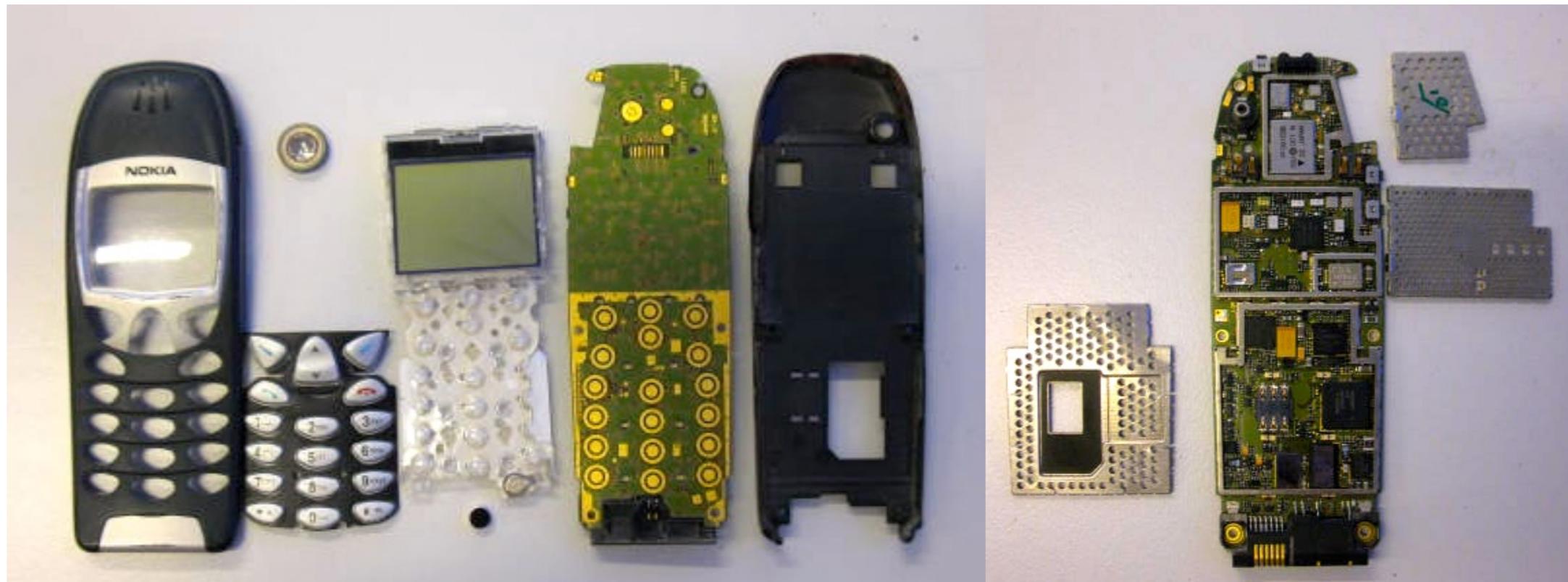


Was ist drin im Handy und Notebook?

VI: Untersuchung des „Innenlebens“ eines Handys / Notebooks

Sortieren von Fraktionen (Kunststoff, Keramik, Metalle)

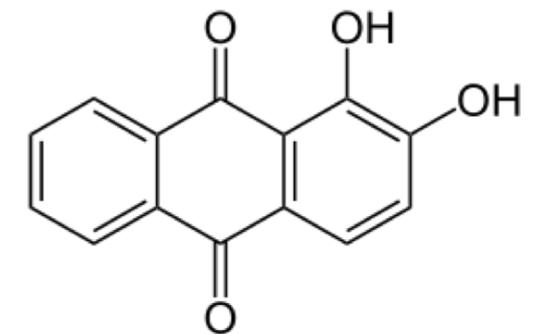
Magnettrennung >> Abtrennung der Nichteisenmetalle



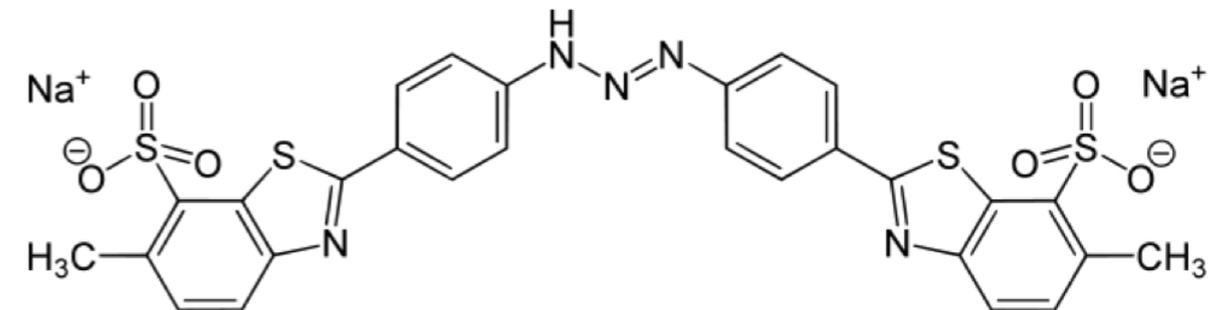
Was ist drin im Handy und Notebook?

V2: Qualitative Analyse ausgewählter Metalle über ihre Ionen

- Lösen der Metallfraktionen in verdünnter/konz. Schwefelsäure bzw. Königswasser
- Nachweis von Al^{3+} -Ionen mit Alizarin S



- Nachweis von Mg^{2+} -Ionen mit Titangelb (Thiazolgelb)



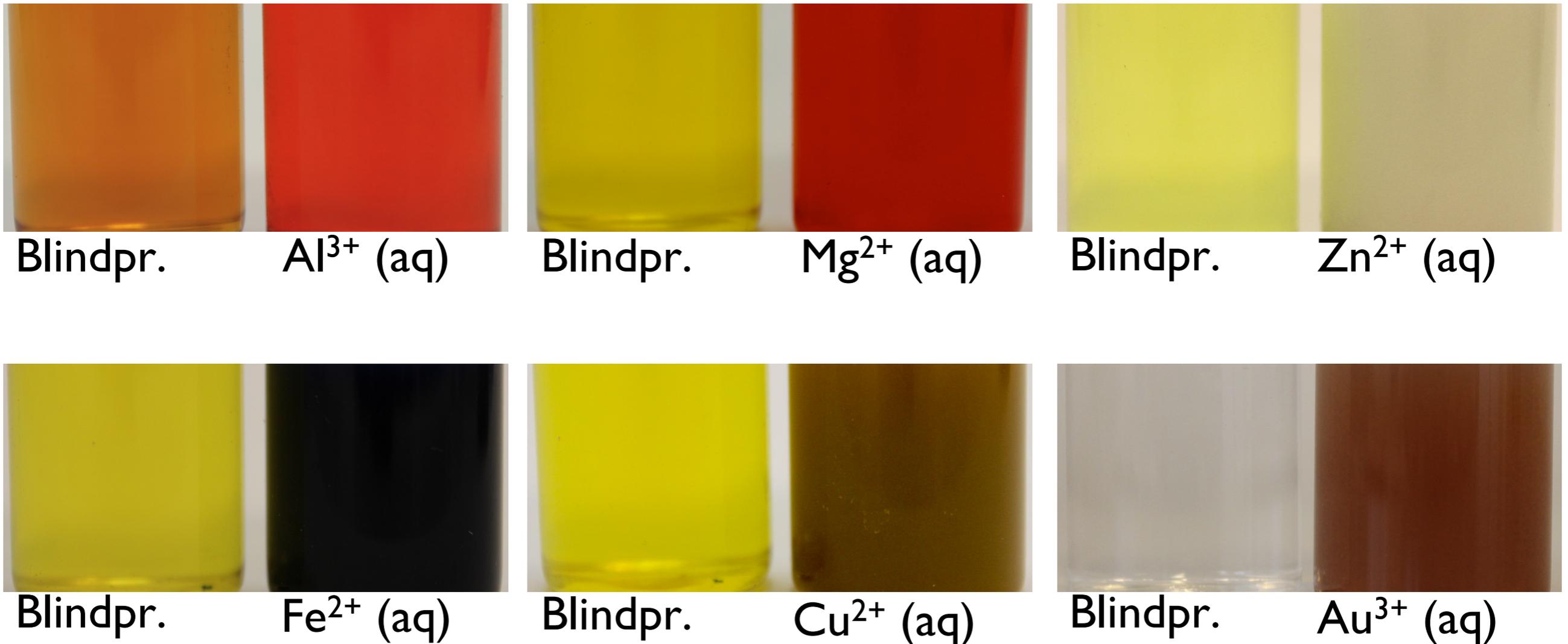
- Nachweis von Zn^{2+} -Ionen mit Kaliumhexacyanidoferrat(II)
- Nachweis von Fe^{2+} - / Cu^{2+} -Ionen mit Kaliumhexacyanidoferrat(III)
- Nachweis von Au^{3+} -Ionen mit SnCl_2 als Cassiusscher Goldpurpur



Was ist drin im Handy und Notebook?

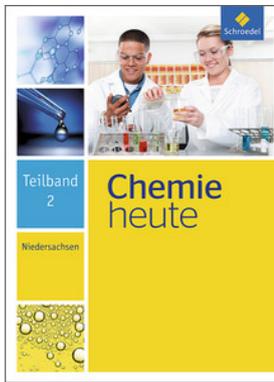
V2: Qualitative Analyse ausgewählter Metalle über ihre Ionen

Blind- und Vergleichsproben:



Was ist drin im Handy und Notebook?

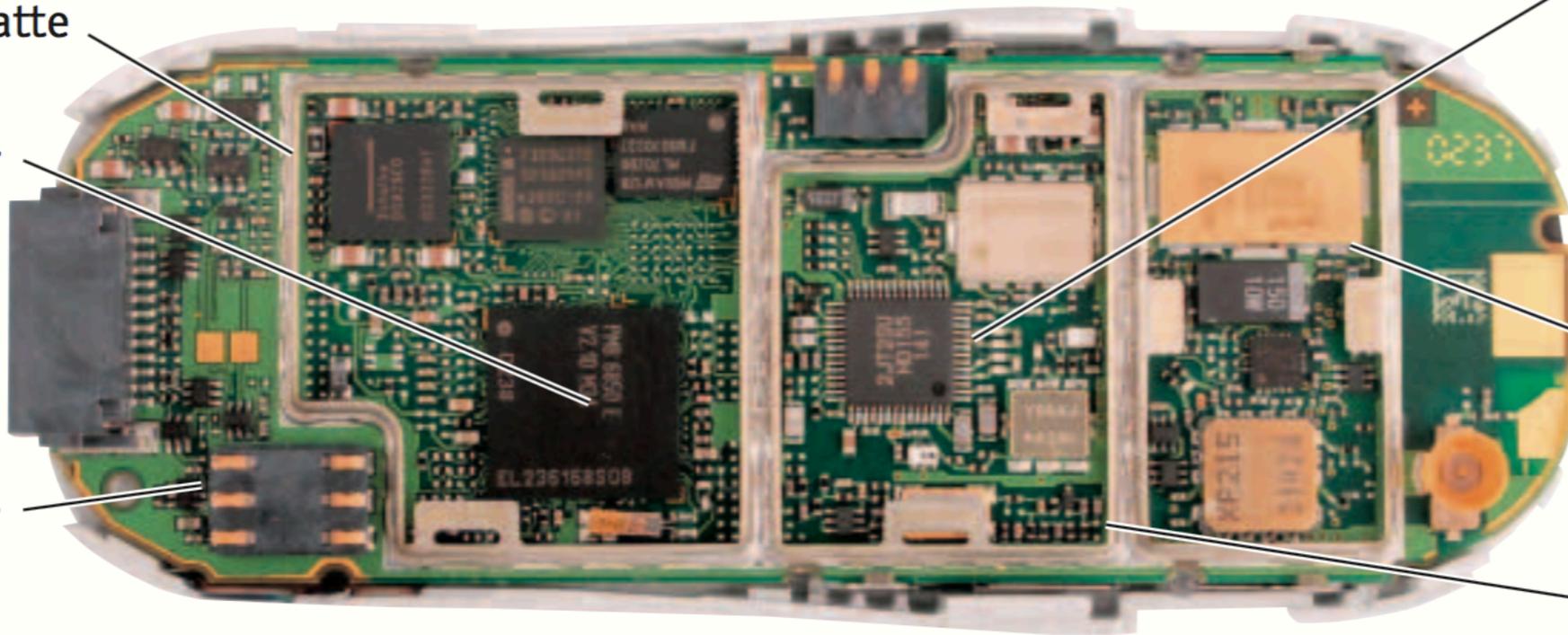
- Erweiterung / Sicherung:



Kupfer: Kontakte auf der Leiterplatte

Silicium: Mikrochips; im Glas des Displays

Silber: Kontaktbahnen auf der Leiterplatte



Gold: elektrische Kontakte auf der Leiterplatte

Platin: elektrische Hochleistungskontakte

Tantal: Mikro-kondensatoren

(Chemie heute SI Rheinland-Pfalz, 2015)



Was ist drin im Handy und Notebook?

- Recherche zu den Mengen an High-Tech-Metallen in Handys
- Berechnung der Massen an Wertstoffen und des Geldwertes

■ In einem Mobiltelefon enthaltene Elemente

H																		He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe
Cs	Ba	La-Lu		Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub							Uuq



Was ist drin im Handy und Notebook?

- Recherche zu den Mengen an High-Tech-Metallen in Handys
- Berechnung der Massen an Wertstoffen und des Geldwertes

Element	Massenanteil [%]	Element	Massenanteil [%]
Kupfer (Cu)	15	Silber (Ag)	~ 0,5
Silicium (Si)	8 (Handy) 15 (Smartphone)	Gold (Au)	~ 0,1
Aluminium (Al)	~ 6	Beryllium (Be)	0,016
Cobalt (Co)	4	Tantal (Ta)	0,004
Lithium (Li)	3,5	Platin (Pt)	0,004
Eisen (Fe)	3	Indium (In)	0,002
		Gallium (Ga)	0,0013

(Sieve 2014, nach VDI-Nachrichten 2012)



Was ist drin im Handy und Notebook?

915 t Kupfer
41 Mio. €

17 t Silber
7 Mio. €

2,46 t Gold
79 Mio. €

620 kg Platin
17 Mio. €

275 kg Indium
250 000 €



Für die Gewinnung von 1 g Gold sind in etwa 1 t goldhaltige Erze nötig;
die gleiche Menge Gold lässt sich aus 41 Handys zurückgewinnen.

(Deutsche Rohstoffagentur 2015)



„Recycling“ von Elektroschrott

V3 a: Verbrennen von Elektroschrott



„Recycling“ von Elektroschrott

V3 b: Nachweis von Metallionen in der Asche

- Lösen der Asche in konz. Salzsäure
- Nachweis der Metallionen wie gehabt



Recycling von Elektroschrott (Umicore Hanau)



Ausbau von Batterien,
Akkus und Displays



Zerkleinern



Magnetabscheider + Druckluft



Reduktion im integrierten Schmelzer



Kupferraffination

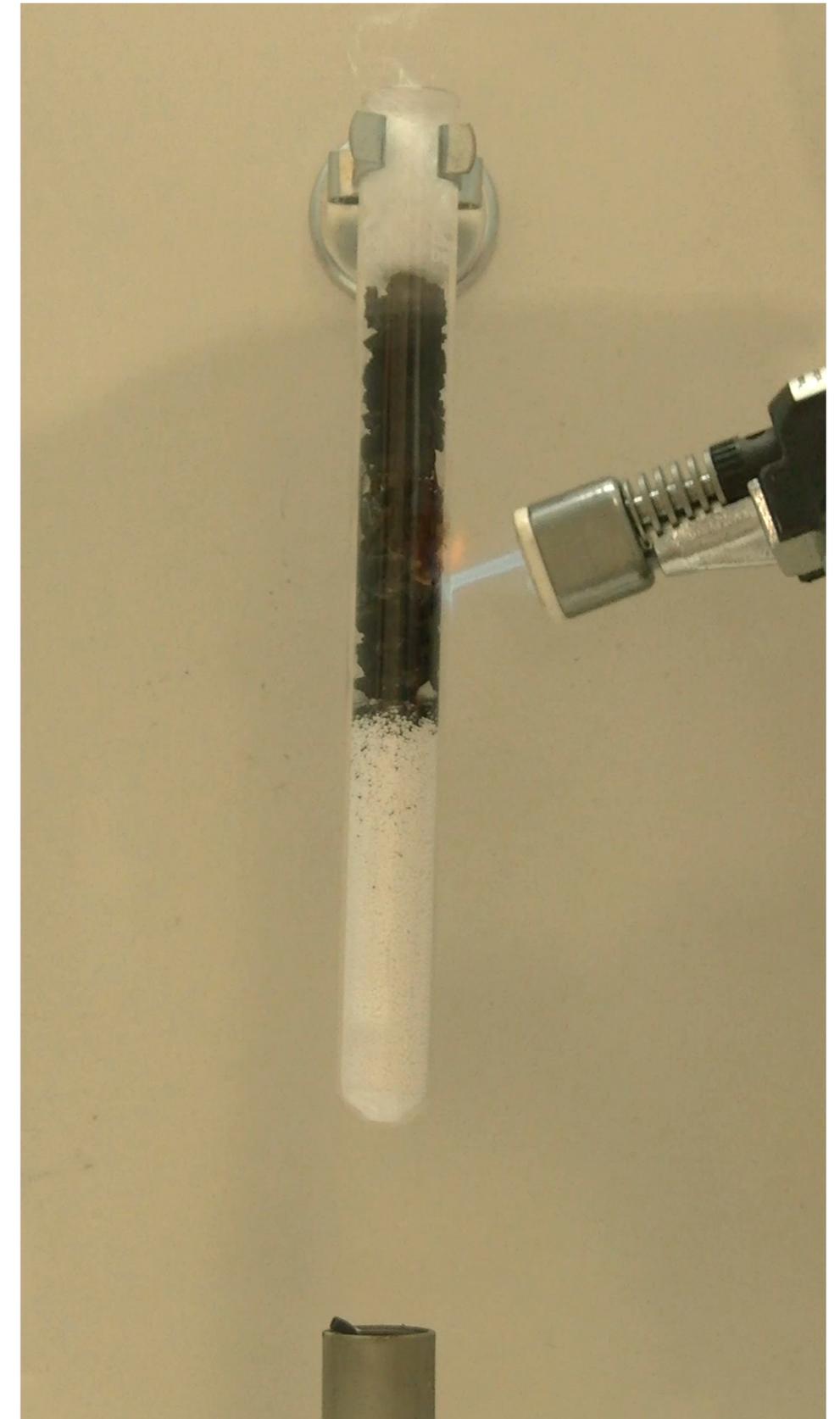
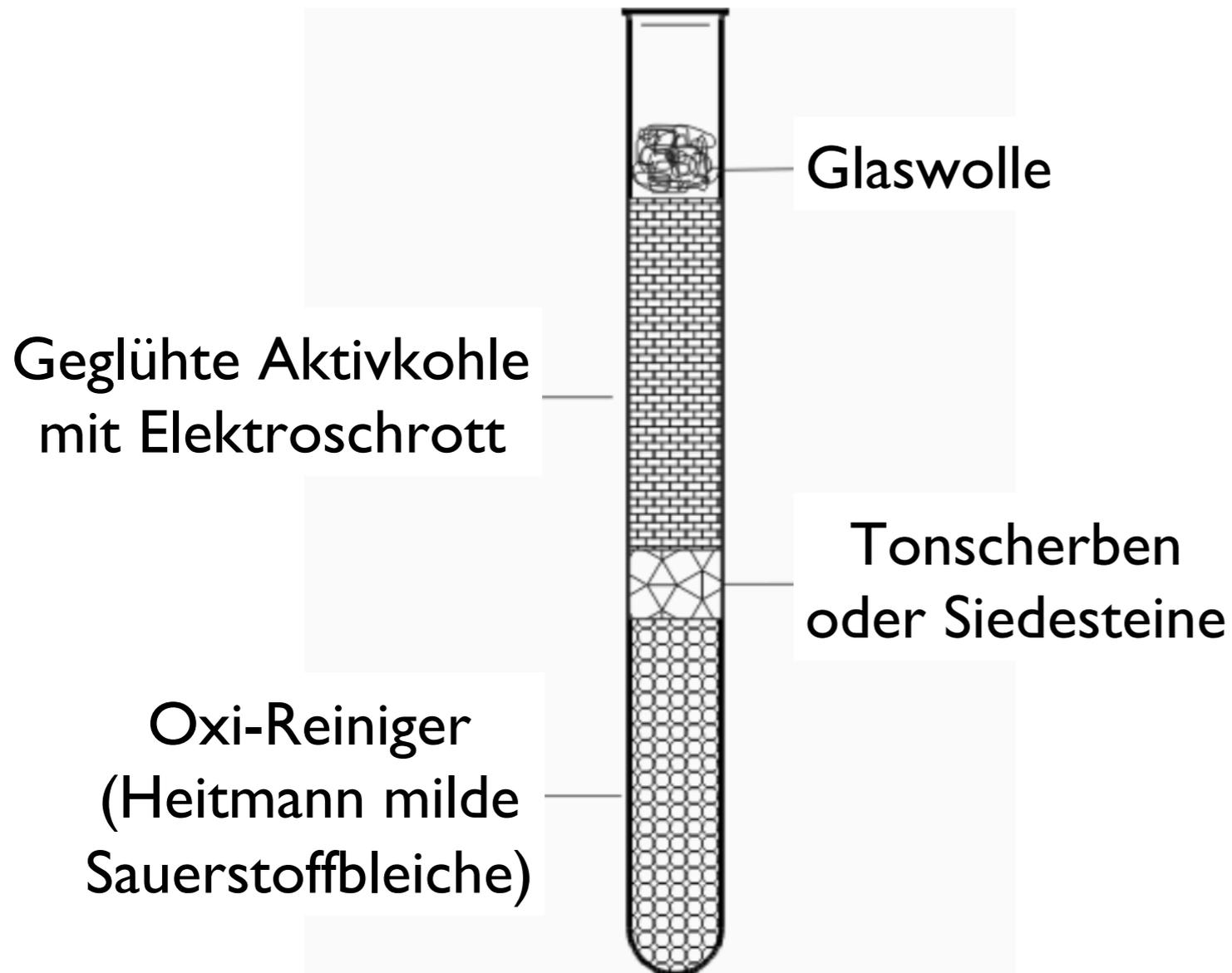
Spezielle Aufarbeitung von Anodenschlamm
(Ag, Au) und des Elektrolyten (Ni)

[https://www.youtube.com/watch?
v=T8rd3PjI6TI](https://www.youtube.com/watch?v=T8rd3PjI6TI)



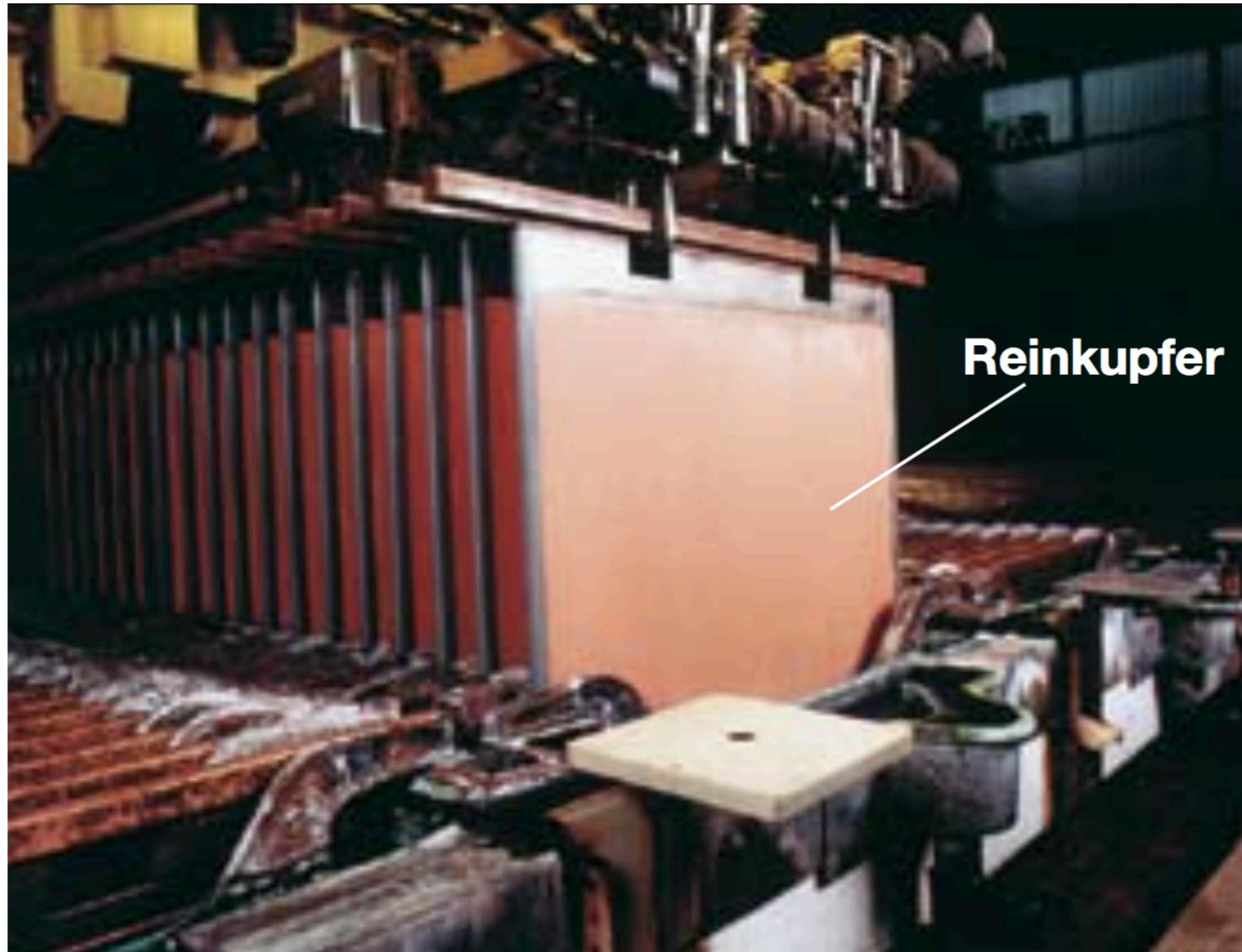
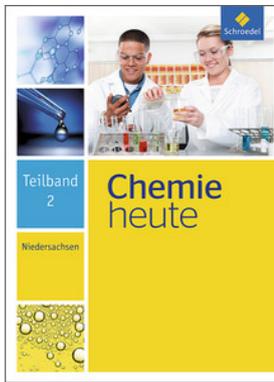
Kupfergewinnung

V4: Gewinnung von Garkupfer (Methode nach Flint & Rossow)



Raffination des Garkupfers

V5: Kupferraffination



(Chemie heute Teilband 2 Niedersachsen, 2015)



Das kommt raus...

Metall	Recycelte Masse [g/Telefon]	Recyclingquote [%]	Preis [€/g]	Geldwert des Metalls [€/Telefon]
Kupfer	14,25	95	0,0047	0,07
Silber	0,47	95	0,41	0,19
Gold	0,027	98	31,51	0,85
Palladium	0,014	95	17,21	0,24
Platin	0,004	98	27,48	0,11
			Summe	1,46

Bei 106 000 000 Althandys sind das 154 000 000 €!



Recycling-Innovation: Fest/Gas-Reaktionen

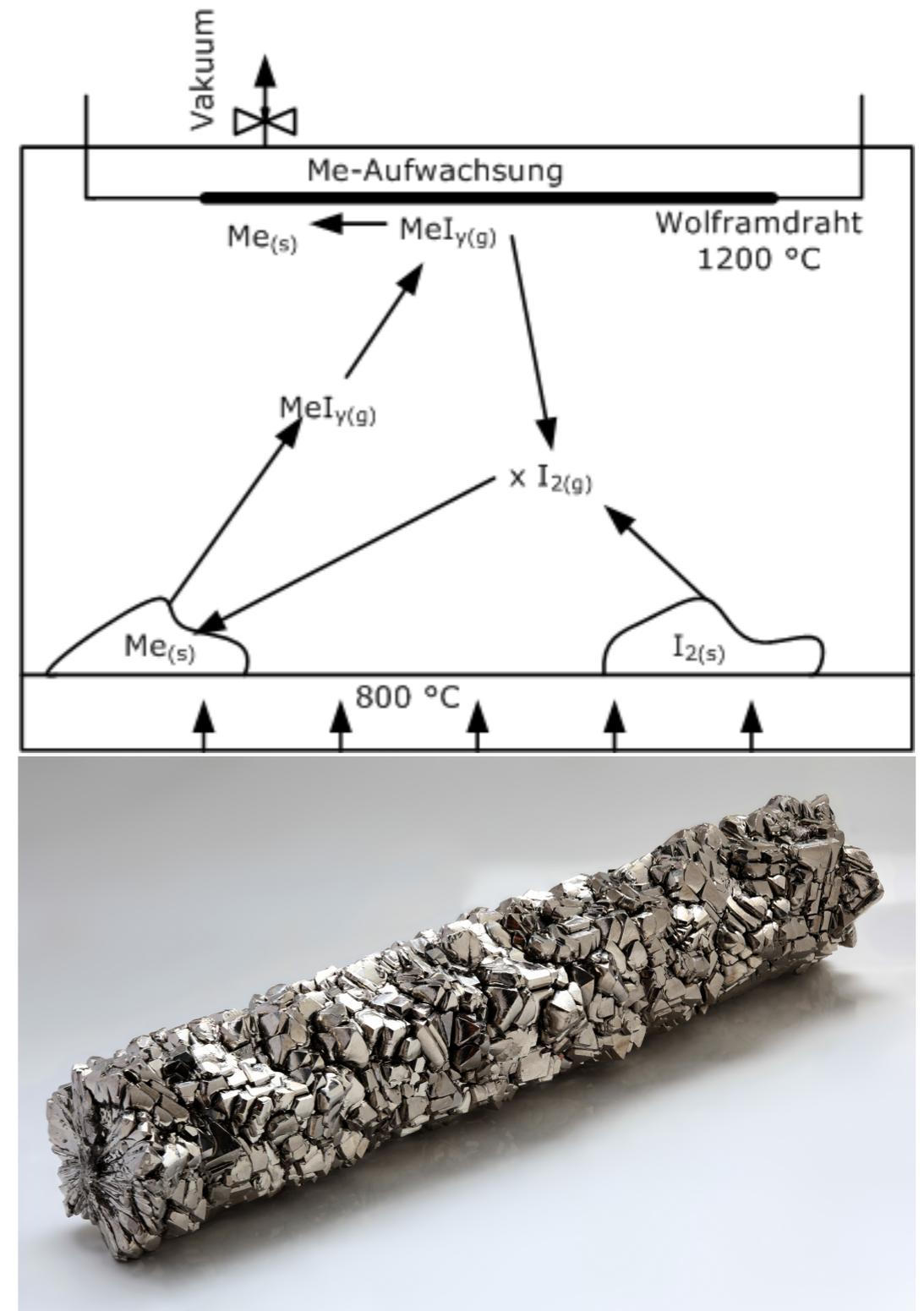
- Problem: Recycling auf (hydro-)metallurgischem Wege ist derzeit für die meisten der strategischen Metalle zu teuer
- Idee: Fest/Gas-Reaktionen (chemische Transportreaktionen)
- Erprobte Anwendung: LCD-Bildschirme, OLED, Photovoltaik-Stacks, Touchscreens enthalten ITO-Glas (Mischoxid aus 90% In_2O_3 und 10% SnO_2)



Das Prinzip

van-Arkel-de-Boer-Verfahren

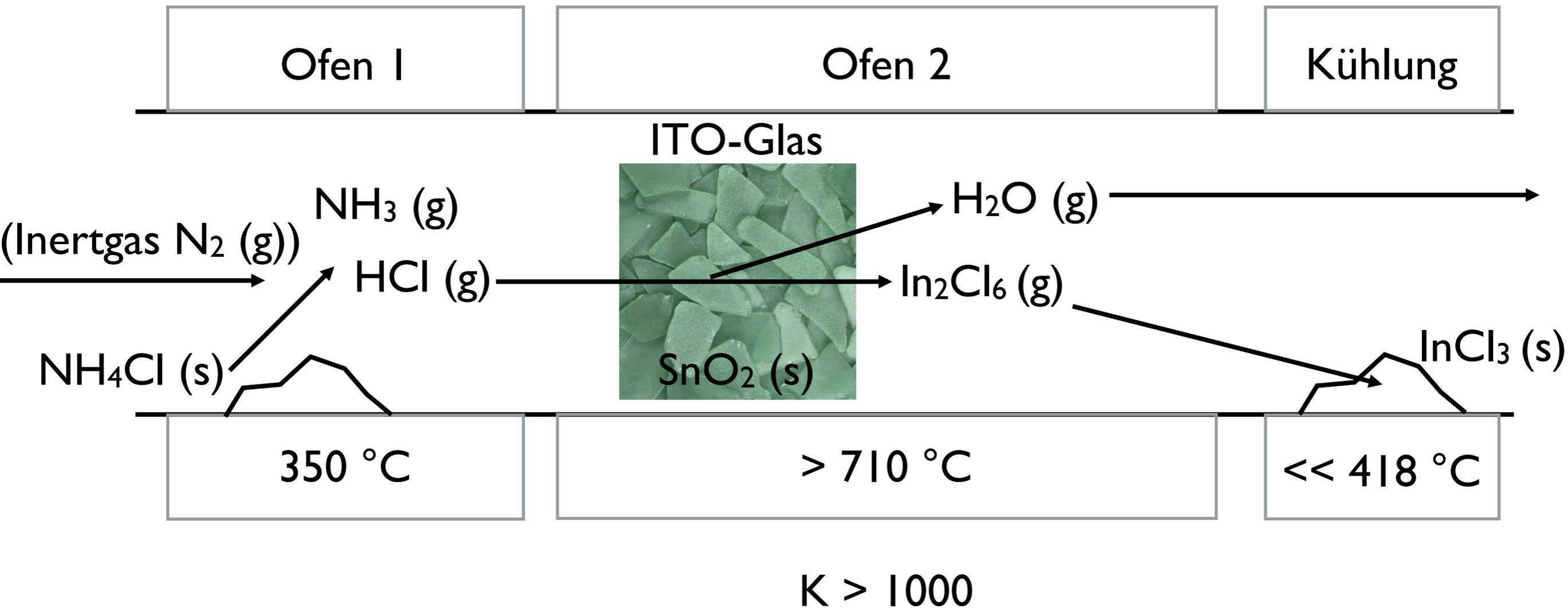
- Reinigung von Ti, Zr, Cr, V...
- Prinzip der Halogenlampe
- temperaturabhängige GG
- LeChatelier



(CC BY-SA: Alchemist-hp)



Das Verfahren



Zusammenfassung

Thema Elektroschrott ist geeignet um:

- Grundlagen der Metallgewinnung, zur Elektrochemie sowie zu analytischen Verfahren zu vermitteln
- eine mehrperspektivische Betrachtung zur Förderung der Bewertungskompetenz zu führen
- Schülerinnen und Schüler für einen bewussten Umgang mit den begrenzten Ressourcen zu sensibilisieren

Fest/Gas-Reaktionen ermöglichen zusätzlich:

- vertiefte Einblicke in Gleichgewichtsbetrachtungen (thermodynamische Aspekte des chem. GG.)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Bernhard F. Sieve

<http://www.chemiedidaktik.uni-hannover.de/lehrer.html>

