

Seltene Metalle und Zukunftstechnologien

Dr. Michael Scharp

Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gGmbH (Berlin)

- Warum sind ist „Seltenheit“ wichtig?
- Was sind seltene Metalle?
- Welche Metalle sind selten?
- Zukunftstechnologien und seltene Metalle



Gallium, Metall ↑
 Gold, gediegen →
 ← Zinkblende
 Quelle: Seilnacht,
www.periodensystem.de



Zu meiner Person: Dr. Michael Scharp

- Wissenschaftler am IZT seit 1995
- Studium der Chemie und Philosophie
- Forschungsfelder: Bauen und Wohnen, Umweltbildung; Ressourcenmanagement, Dienstleistungsforschung
- Projekte: BewareE – Minderung des Energieverbrauchs durch Verhaltensänderungen (EU), Erlebniswelt Erneuerbare Energien: powerado (BMU), Benchmarking nachhaltige Dienstleistungen (EU und BMBF), Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen (BBR), Service Engineering für die Wohnungswirtschaft (BMBF)
- Ressourcenprojekt: Coltan und Ressourcenkonflikte (UBA), Ressourceneffizienz (UBA), MaRess: Seltene Metalle (UBA)

 BewareE

SEWOWI



- **Unabhängiges, gemeinnütziges Forschungsinstitut in Berlin**
- gegründet **1981**, 25 Mitarbeiter in 2008
- **Hauptaufgaben:**
Durchführung von Forschungsprojekten
Entwicklung von Handlungsoptionen
Beratung von Stakeholdern in Politik,
Wirtschaft und Gesellschaft
- **Projektauftragegeber:**
Europäische Kommission, Bundesministerien (Umwelt,
Forschung, Wirtschaft), Bundesbehörden (Umwelt-bundesamt,
Bundesamt für Bauwesen) sowie Unternehmen und
Forschungstiftungen



Warum muss man sich um seltene Metalle Gedanken machen? (1)

- Alle Rohstoffe (Ressourcen) sind erschöpflich, d.h. auch der effizientesten Nutzung sind prinzipielle Grenzen genutzt
- Unser „Wohlstand“ ist (derzeit noch) unabdingbar an Ressourcen gekoppelt (Bsp. Tantalkondensatoren)
- Wir nutzen viele Metalle dergestalt, dass ein Recycling ökologisch und ökonomisch nicht möglich ist (Bsp. Zink mit ca. 50% für die Galvanisierung)
- Metalle, die wir heute „verbrauchen“, können wir in Zukunft auch nicht für wichtige Zwecke nutzen (Bsp. Indium für LCD-Bildschirme und für PV-Zellen)



Warum muss man sich um seltene Metalle Gedanken machen? (2)

- Jedes Metall hat einen „ökologischen Rucksack“, d.h. die Rohstoffgewinnung mit großem Ressourcen- und Energieeinsatz verbunden
- Auch die zukünftigen Generationen wollen nicht nur Probleme, sondern auch Rohstoffe ernten!

IP: Bergematerial	t	851
IP: Energieträger (ca. 1 t fossile Energieträger + Strom aus Atom- und Wasserkraftwerken)	MJ	33
IP: Kupfererz	t	23
IP: Eisenerz/ CaCO_3	t	0,1
IP: Wasser	t	106
IP: Luft	t	10
IP: Luft, $\text{O}_2 + \text{N}_2$	t	0,3
OP: Kupferkabel	t	1
OP: CO_2	t	3
OP: Abwasser	t	66

Quelle: Deutsches Kupferinstitut 2001

Was bedeutet „Seltenheit“ oder „selten“?

- Der Begriff „selten“ ist nicht hinreichend definiert
- „Selten“ sind Dinge, die im Verhältnis zu anderen oder gleichartigen Dingen im geringen Umfange vorkommen.
- „Selten“ verweist somit auf Relationen zwischen Dingen
- diese Relativierung muss für spezifische Sachverhalte unterschiedlich gehandhabt werden
- Definition von Selten nach Brockhaus:
„nicht häufig, ungewöhnlich, außerordentlich; etwas das man nicht oft trifft; spärliches Vorkommen“
- Fazit: „Seltenheit“ muss definiert werden.

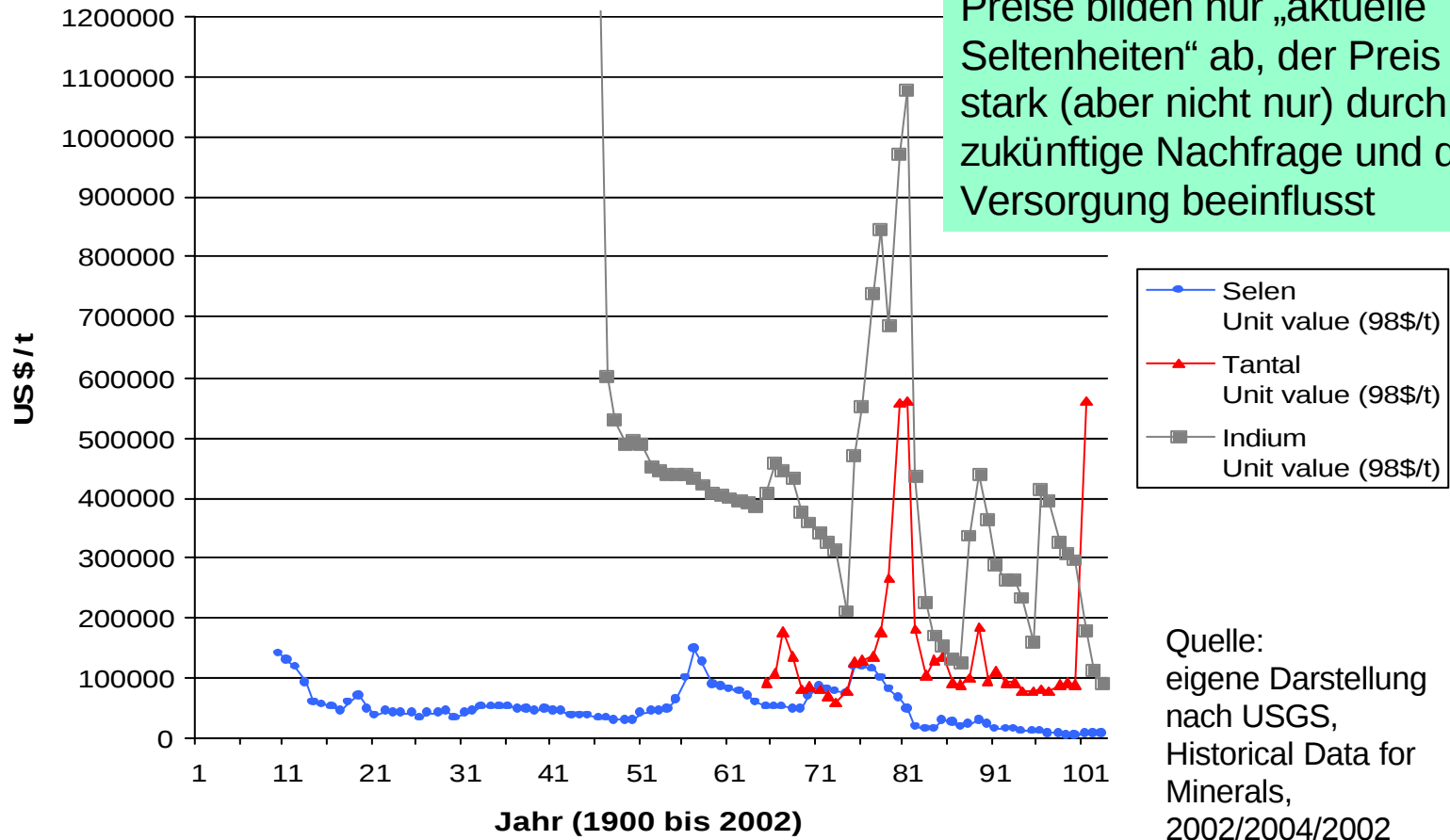
Um „Seltenheit zu definieren, sollte man verschiedene Möglichkeiten prüfen

- Kriterium 1 – geringer Anteil der Elemente in der Erdkruste
- Kriterium 2 – hohe oder stark gestiegene Preise
- Kriterium 3 – geringe Reserven
- Kriterium 4 – geringe statische (dynamische) Reichweite
- Kriterium 5 – Nutzung im geringen Umfange
- Kriterium 6 – Abbau oder Herstellung nur in wenigen Länder
- Kriterium 7– Reserven nur in wenigen Länder
- Kriterium 8- dissipative Verwendung
- Kriterium 9 – hoher Anteil dissipativer Nutzungen

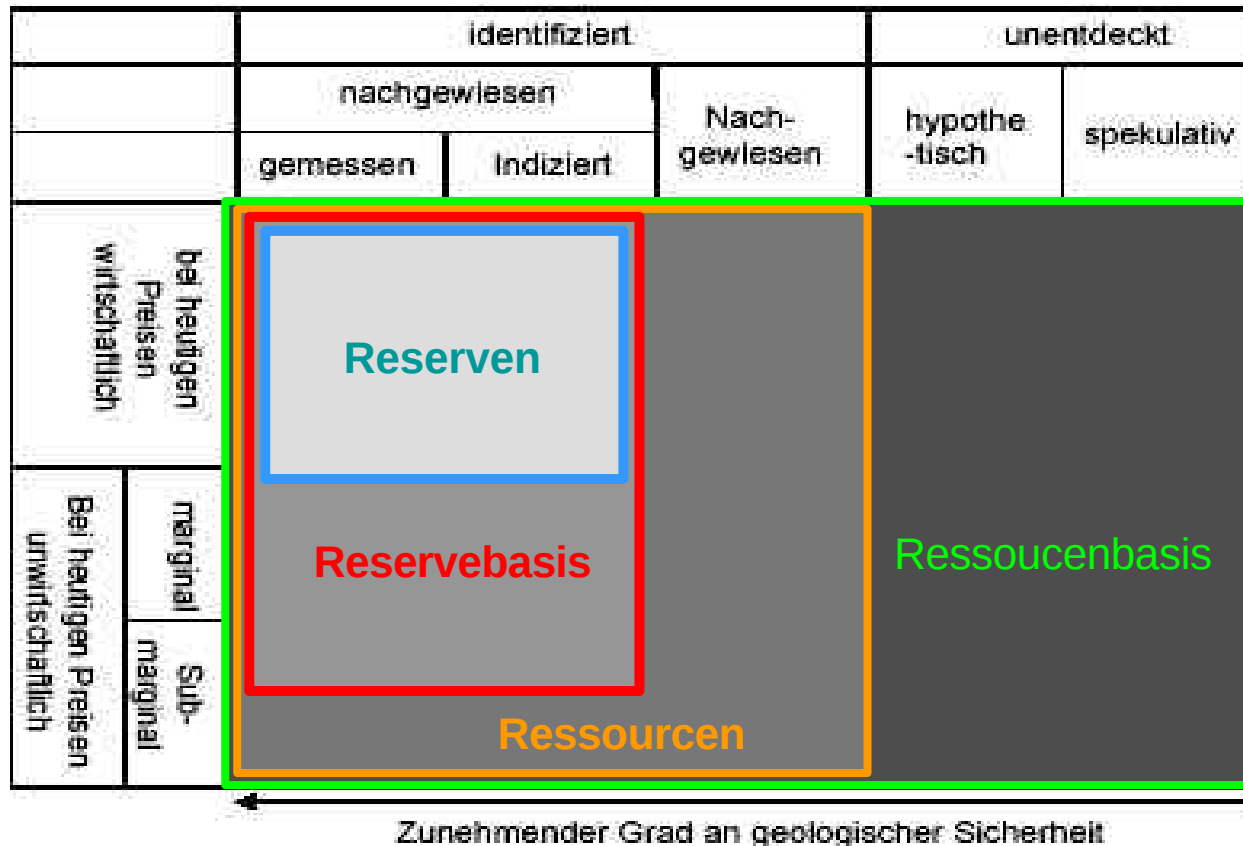
Zinn, Tantal und Europium sind gleich „selten“, obwohl Sn ein Massenmetall und Tantal ein häufiges Industriemetall ist. Pb und Sc sind gleichhäufig, aber Sc ist kaum verfügbar

„Seltenheit“ ist eine Frage der geologischen Bedingungen

Preisentwicklung von Selen, Tantal, und Indium von 1990 bis 2002



Reserven und Ressourcen



Reserven:

Derzeit ökonomisch abbaubar

Ressourcen:

prinzipiell ökonomisch abbaubar

Ressourcen

Seltene Metalle = geringe statische Reichweite?

Li	Be	< 10a (äußerst selten) < 25a (sehr selten) < 50a (selten)	<100a (häufiger) <200a (häufig) >200a (Massenm.)	B	C	O	N								
Na	Mg			Al	Si	S	P								
> Reichweite (2006): Reserven / Verbrauch															
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
Cs	Ba	Lan- thani. s.u.	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
Fr	Ra	Actin- iden s.u.	Zahlreiche wichtige Metalle haben eine geringe Reichweite [a]: Ag 13, Zn 17, Au 17, Sb 16, In 23, Pb 23, Cr 24												

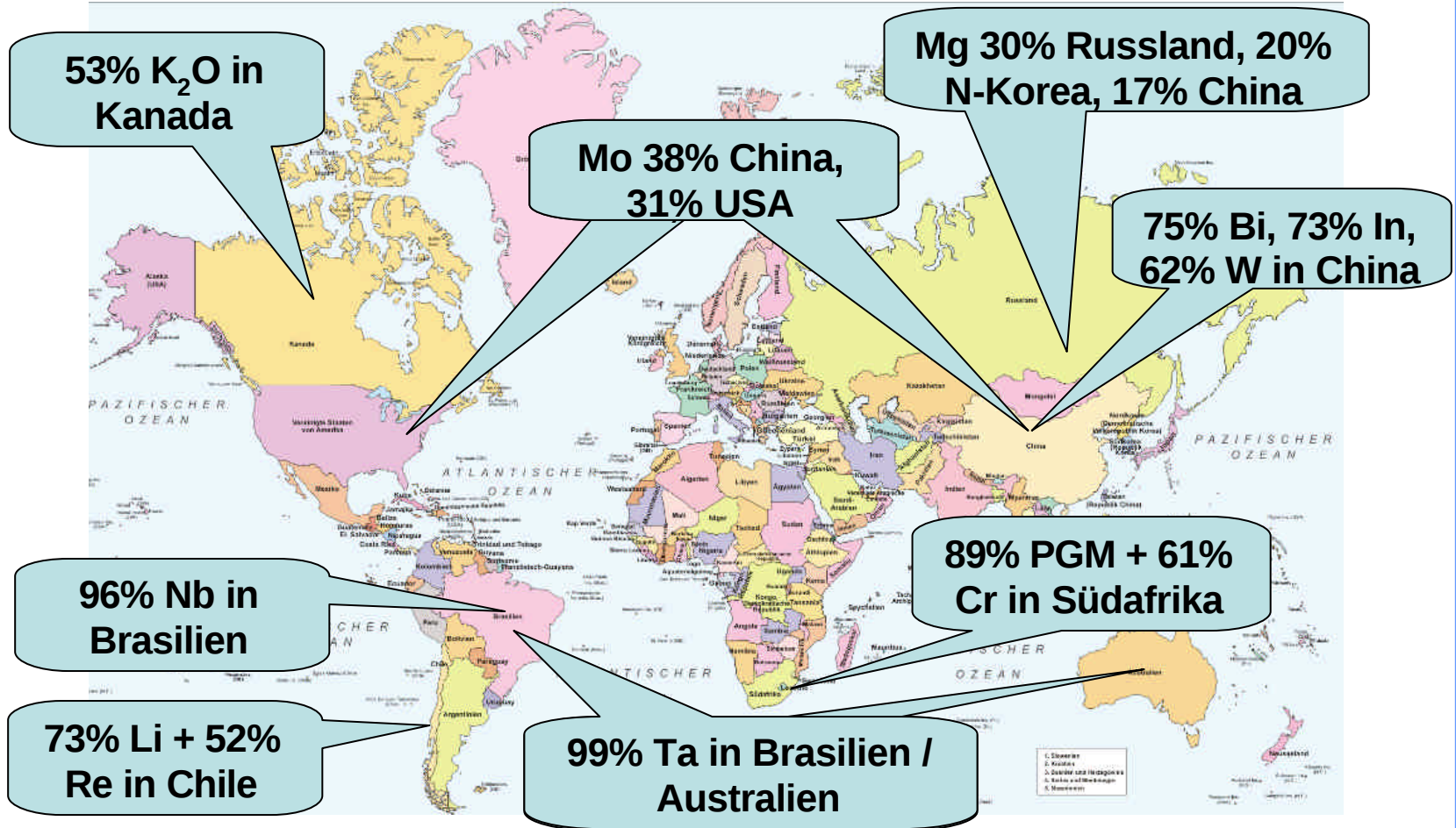
Zahlreiche wichtige Metalle haben eine geringe Reichweite [a]:
Ag 13, Zn 17, Au 17, Sb 16, In 22, Pb 22, Cr 24
Aber: Es gibt auch Entwicklungen (z.B. In 2007 = 6; 2008 = 22a)

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Nb, Ir, Pt, Au und Bi haben sehr hohe Reservenkonzentrationen
Li, V, Ta und Cr haben hohe Reservenkonzentrationen
K, W und i sind sehr konzentriert in wenige Lagerstätten

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Konzentration der Reserven wichtiger Industriemetalle



Dissipative Nutzungen und Verwendungen

- Eine dissipative Nutzung eines Metalls bewirkt, dass
 - das Metall entweder in die Biosphäre eingetragen wird
 - oder es so genutzt wird, dass wir es „kaum“ noch rückgewinnen können.
- Kupfer: Kupferfarben (Schiffsanstrich), Kupfersulfat als Dünger oder zur Schädlingsbekämpfung
- Zink: Verzinkung (Rostschutz), Zinkfarben
- Cadmium: aufladbare Batterien, elektrische Schalter der Bahntechnik, Pigmente, Kunststoff-Stabilisierer
- Rhodium: sehr geringe Mengen in KFZ-Katalysatoren, Spiegel, Scheinwerfer, Zündkerzen, Nylonscheren, Schweißgeräte, Heizungsbrennelemente

Beispiele dissipativer Verwendungen ausgewählter Metalle

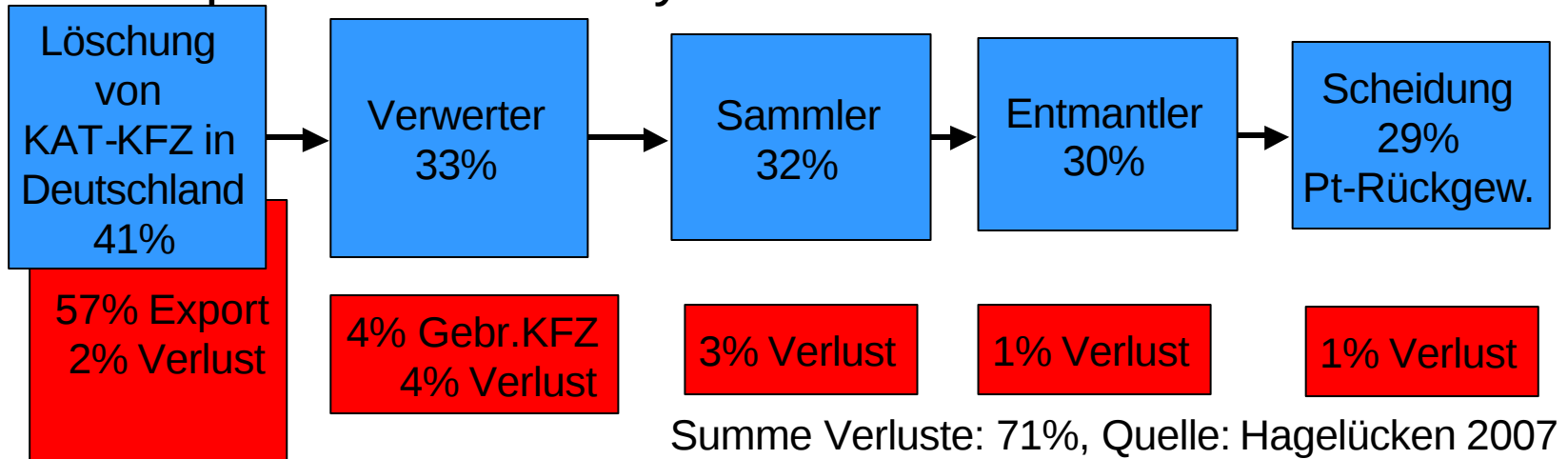
Antimon 134.000 t	USA: 40% für feuerhemmende Mittel, 14% für Chemikalien und 11% für Keramik und Glas; weltweit: 75% für Flamschutzmittel (diss. ca. 100.000 t)
Bismut 5.400 t	USA: 47% Stahladditive; 34% schmelzbare Legierungen, Lötmetalle und Munition; 18% Chemie und Pharmazie (ca.
Selen	Weltweit: 35% Glasherstellung; 20% Chemikalien/Pigmente; 12% Elektronik und Kopiertechnik; 33% sonstiges (diss.: fast alles)
Strontium 600.000 t	USA: 43% Pyrotechnik; 26% Eisenoxid-Keramik-Magnete; 10% Legierungen; 7% Pigmente und Füllstoffe; 6% Zinkherstellung; 8% sonstiges (dis. Mindestens 350.000 t)
Yttrium 7.000 t	84% Lampen, Bildröhren, 7% Elektronik, 7% Keramik, 2% metallurgische Verwendung (diss.: fast alles)

Eine Vielzahl von Metallen wird deutlich dissipativ verwendet

20090227/Wildbad Kreuth

Können seltene Metalle recycelt werden?

- Im Prinzip ja: Technologie ist vorhanden (Verhüttung), aber Wirtschaftskreisläufe und Gesetzgebung verhindern es
- ElektroG: führt dazu, dass mengenmäßig vorkommende Stoffe recycelt wird (kg Plastik, Glas, Eisen, Aluminium statt seltener Metalle)
- Beispiel Pt/KFZ-Katalysatoren: Verluste in der Kette



Massenrecycling vor Wertstoffrecycling

Produkt	Plastik	Fe	Al	Cu	Ag	Au	Pd
TV-Elektronik [% / ppm]	28	28	10	10	280	20	10
PC-Elektronik [% / ppm]	23	7	5	20	1.000	250	110
Handy [% / ppm]	56	5	2	13	3.500	340	130
Audio, tragbar [% / ppm]	47	23	1	21	150	10	4
DVD-Player [% / ppm]	27	62	2	5	115	15	4
Taschenrechner [% / ppm]	61	4	5	3	260	50	5
Wertanteil [%]	PGM	Fe	Al	Cu	Ag	Au	Pd
TV-Elektronik	36	4	10	50	7	22	7
PC-Elektronik	81	0	1	18	5	61	15
Handy	91	0	0	9	13	64	14
Audio, tragbar	15	2	0	82	3	10	2
DVD-Player	42	13	3	42	5	32	5
Taschenrechner	80	0	5	14	7	69	4

- Bewertung der Metalle nach den Kategorien:
 - Kriterium 1 – geringer Anteil der Elemente in der Erdkruste
 - Kriterium 2 – hohe oder stark gestiegene Preise
 - Kriterium 3 – geringe Reserven
 - Kriterium 4 – geringe statische (dynamische) Reichweite
 - Kriterium 5 – Nutzung im geringen Umfange
 - Kriterium 6 – Abbau oder Herstellung nur in wenigen Länder
 - Kriterium 7 – Reserven nur in wenigen Länder
 - Kriterium 8- dissipative Verwendung
 - Kriterium 9 – hoher Anteil dissipativer Nutzungen
 - Kriterium 10 – kumulierter Energieaufwand (KEA)
 - Kriterium 11 – kumulierter Ressourcenaufwand (KRA)
- Ranking mit Punkten (äußerst selten = 3, sehr selten = 2, selten 1)

Kategorien von "selten"

	Reserven [t]	Reich- weiten	Produk- tion [t]	Produktions- konzentration	Reserven- konzentration
äußerst seltene Metalle	< 10.000	< 10 a	< 100	> 75% in 1 Land	> 75% in 1 Land
sehr seltene Metalle	< 100.000	< 25 a	< 1.000	> 90% in 2-3 Ländern	> 90% in 2-3 Ländern
seltene Metalle	< 1.000.000	< 50 a	< 10.000	> 50% in 1 Land	> 50% in 1 Land
Häufigere Metalle	< 10.000.000	< 100 a	< 100.000	> 50% in 2 Ländern	> 50% in 2 Ländern
häufige Metalle	< 100.000.000	< 200 a	< 1.000.000	> 50% in 3 Ländern	> 50% in 3 Ländern
Massen- metalle	> 100.000.000	> 200 a	> 1.000.000		

Zusammenfassung: Welche Metalle sind selten? [Daten]

Betrachtet man verschiedene Kriterien und summiert über ein Punktsystem, dann sind Sb, Cd, In, Sr, Zn und Zn äußerst seltene Metalle. Aufgrund von Datenlücken könnten auch Ga, Ge, Rh, Er, Ir, Pd, Ce, Rb und Sc dazugehören.

Metall	Ranking Punkte	Ranking Pt. Pot.	Reserven 2007	Stat. Reichw. (a)	Produktion	Konzentration Produktion	Konzentration der Reserven	Dis.
Antimon	5	5	2.100.000	16	135.000	> 75% in 1 Land	> 50% in 2 Ländern	ja
Cadmium	5	5	490.000	25	19.900	keine Besonderheit	keine Besonderheit	ja
Indium	5	5	11.000	22	510	> 50% in 2 Ländern	> 50% in 1 Land	ja
Strontium	5	8	6.800.000	11	600.000	> 50% in 2 Ländern	?	ja
Zink	5	5	180.000.000	17	10.500.000	> 50% in 3 Ländern	> 50% in 3 Ländern	ja
Zinn	5	5	6.100.000	20	300.000	> 50% in 2 Ländern	> 50% in 3 Ländern	ja
Arsen	4	7	885.000	15	59.000	> 50% in 1 Land	?	Ja?
Barium	4	4	112.100.000	24	4.720.000	> 50% in 1 Land	> 50% in 2 Ländern	Ja?
Wolfram	4	4	2.900.000	32	89.600	> 75% in 1 Land	> 50% in 1 Land	ja
Gallium	3	9	15.000	188	80	?	?	ja
Germanium	3	15	?	?	90	?	?	ja
Rhodium	3	9	3.000	188	16	?	?	ja
Erbium	2	14	?	?	500	?	?	(ja)
Iridium	2	14	?	?	3	?	?	(ja)
Palladium	2	11	?	?	232	> 90% in 2-3 Ländern	?	(ja)
Cer	2	14	?	?	20.000	?	?	ja?
Rubidium	2	14	groß	?	?	?	?	Ja?
Scandium	0	12	?	?	50	?	?	?

Zusammenfassung: Welche Metalle sind selten? [Bewertung]

Metall	Ranking Punkte	Ranking Pt. Pot.	Reserven (Katg.)	Reichweite (Katg.)	Produktion (Katg.)	Konzentration Produktion (Katg.)	Konzentration Reserven (Katg.)	Dissipativ
Antimon	5	5		sehr sel.		äußerst sel.	häufigere	ja
Cadmium	5	5	selten	sehr sel.		Massenmet.	Massenmet.	ja
Indium	5	5	sehr sel.	sehr sel.	sehr sel.		selten	ja
Strontium	5	8		sehr sel.				ja
Zink	5	5	Massenmet.	sehr sel.	Massenmet.			ja
Zinn	5	5		sehr sel.				ja
Arsen	4	7	selten	sehr sel.		selten		Ja?
Barium	4	4		sehr sel.	Massenmet.	selten	häufigere	Ja?
Wolfram	4	4		selten		äußerst sel.	selten	ja
Cer	2	14						ja?
Erbium	2	14			sehr sel.			(ja)
Gallium	3	9	sehr sel.		äußerst sel.			ja
Germanium	3	15			äußerst sel.			ja
Iridium	2	14			äußerst sel.			(ja)
Palladium	2	11			sehr sel.	sehr sel.		(ja)
Rhodium	3	9	äußerst sel.		äußerst sel.			ja
Rubidium	2	14						Ja?
Scandium	0	12			äußerst sel.			?

- Definition aus Nachschlagewerken:
- Zukunftstechnologien sind industriell verwertbare technische Fähigkeiten, die revolutionäre Innovationsschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren auslösen und langfristig tiefgreifend die Wirtschaftsstrukturen, das Sozialleben und die Umwelt verändern.
- Ausprägungen
 - (a) Revolutionäre einzeltechnische Innovationsschübe:
RFID, OLED, Farbstoffsolarzellen, BtL, Brennstoffzellen, ...
 - (b) Revolutionäre anwendungstechnische (systemische) Innovationsschübe: Hybridfahrzeuge, RO Meerwasserentsalzung, Sauerstoff-verzehrkatode (ODC) bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse, ...

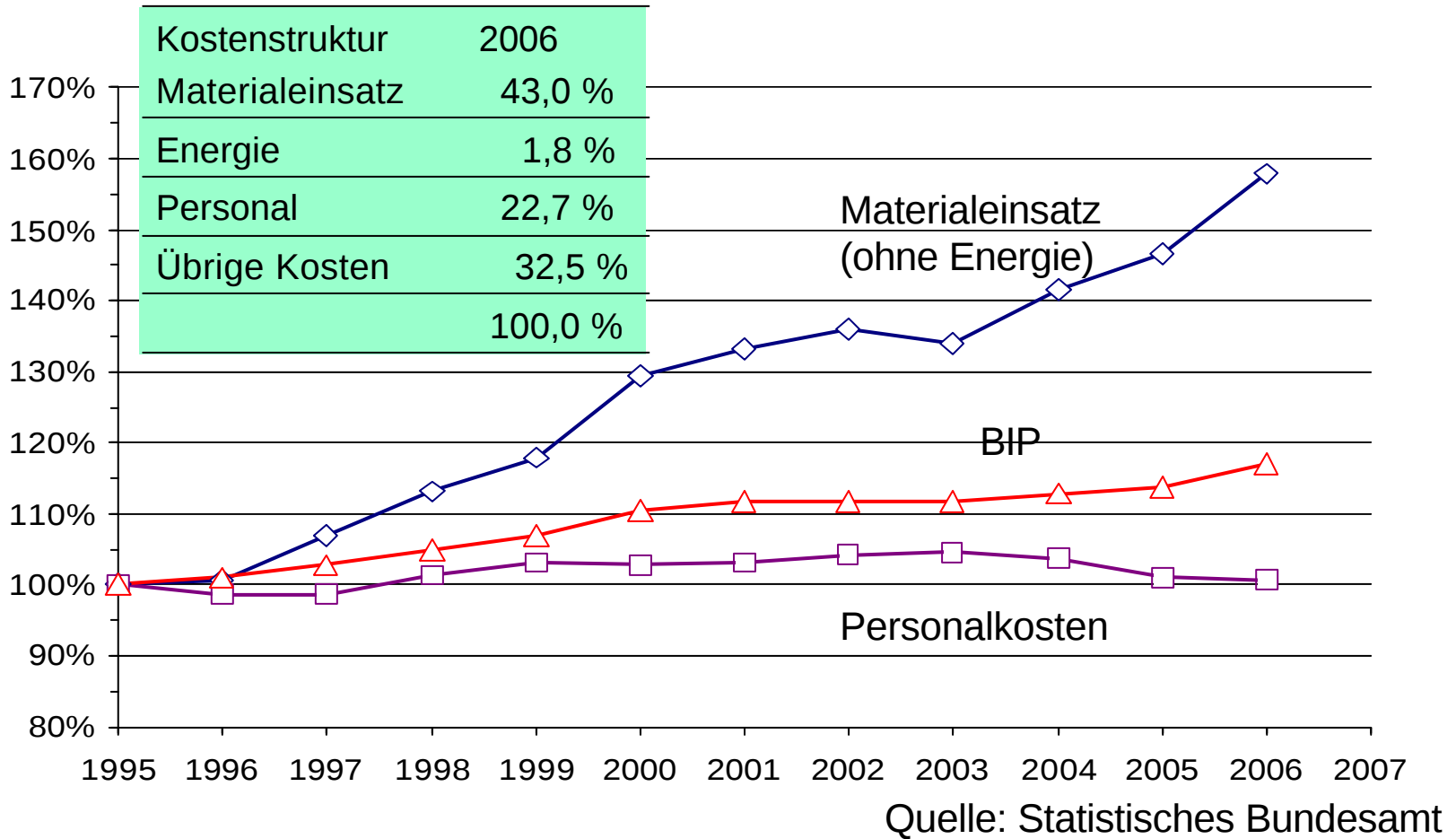
- Elektrische Traktionsmotoren (Hybrid- und Elektro-KFZ, Nd)
- Brennstoffzellen (stationär und KFZ, PGM, Sc, Y, Zr)
- Airframe-Leichtbau (Flugzeuge, Sc)
- weiße LED (In, Ga)
- Glasfaserkabel (Ge)
- Mikrokondensatoren (Ta, Nb, Ag, Pd)
- Thermoelektrische Generatoren (Wärme $\leftrightarrow$ Strom, Te, Ge)
- Farbstoffsolarzellen (Ag, Pt, Ru)
- BTL Biomass to Liquid (Co)
- Dünnschicht-PV (In, Se, Ga, As, Ge, Te, Cd)
- Solarkraftwerke (Ag)
- Li-Ionen-Batterien (Co)
- Meerwasserentsalzung (Pd-Leg.)
- Laser (Nd, Y, REO)
- Nanosilber (biozide Keramik und Kleindung, Ag)
- Computer-Tomographen (Gd)
- Hochtemperatur-Supraleiter (Th, Y)

Warum sind zukünftige Rohstoffbedarfe so wichtig?

- Deutschland ist ein Technologieführer und bei den Metallen beinahe vollständig auf Importe angewiesen.
- Die Rohstoffmärkte sind seit 2003 Turbulenzen unterworfen, für die es keine historische Parallele gibt.
- Foresight Analyse: künftigen Technologienutzung und des Rohstoffbedarfs der Technologie
- Der Kostenfaktor Material hat in den zurückliegenden Jahren die Produktion in beängstigender Weise verteuert.

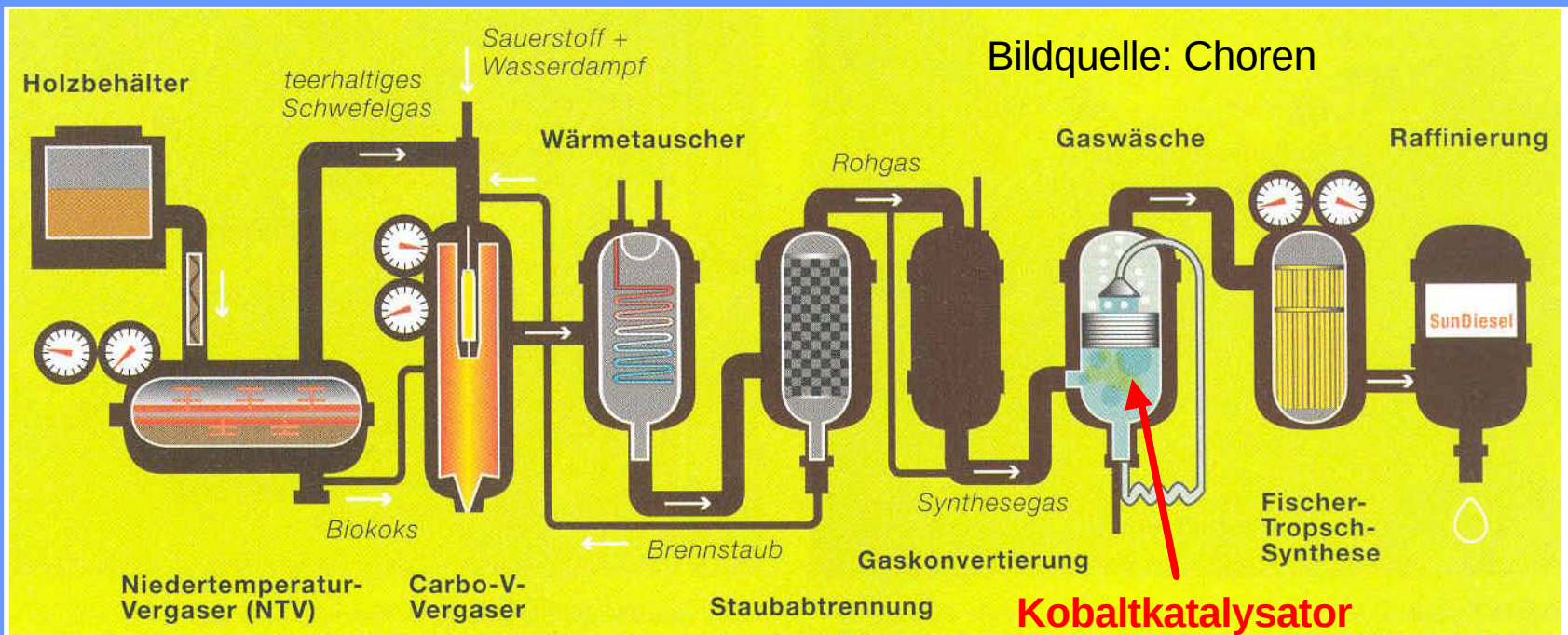
Rohstoffbedarf	Weltwirtschafts-
2006/2030	entwicklung
$\frac{B_{2030}}{B_{2006}} = \frac{b_{2030}}{b_{2006}} \cdot (1 + r)^{24}$	
Spez. technologischer Rohstoffbedarf	

Materialkosten haben einen erhebliche Kostenwirkung





Biomass-to-Liquid (BtL): Kobalt-Bedarfe für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe



- XtL-Technologien sind ein bedeutsames Verwendungssegment für **Kobalt**.
- GtL (**Erdgas**) / CtL (**Kohle**) Kraftstoff-Produktion in (SA, Malaysia, Katar)
- ab 2009 erste **BtL-Pilotanlage** bei Choren in Freiberg (Diesel, 15.000 t/a).
- Es handelt sich um eine **Schlüsseltechnologie** der Biomasse Veredelung.

Biomass-to-Liquid (BtL): Cobalt-Bedarfe für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe

- Annahme: Steigerung des globalen Kraftstoffbedarfs von 56 Mio. auf 78 Mio. Barrel per day (2005-2030, 1,3%p.a.)
- Annahme: **XtL-Anteil 25%** in 2030 (19,5 Mio. bpd);
- Kobaltbedarf pro 1 Mio. bpd 5.000 t;
- **Kobalدينventar** für 19,5 Mio bpd = 97.500 t
- d.h. von 2006 bis 2030 müssen pro Jahr 4.060 t Kobalt pro Jahr bereitgestellt werden, um in 2030 die Anlagenkapazität zu erreichen (7% der Weltjahresproduktion)

Kobaltproduktion 2006	XtL-Anteil 2030	25 %	50 %	75 %	100 %
62.300 t [USGS 2008]	Co-Bedarf 2030	4.060 t/a	8.130 t/a	12.170 t/a	16.230 t/a
Kobaltinventar		97.500 t	195.000 t	292.000 t	389.000 t

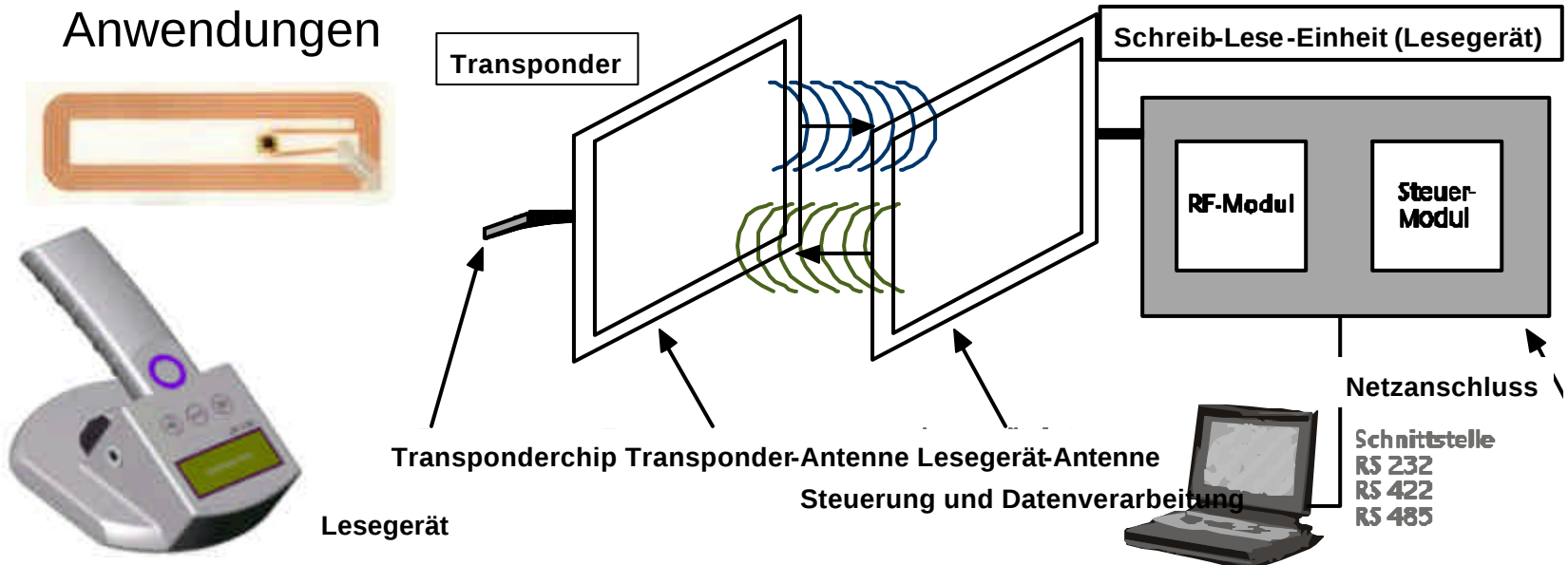
- Fazit: Co-Bedarf ist aufgrund dieser Technologie nicht besonders kritisch, da Recycling der Katalysatoren möglich ist.

Cobalt-Bedarfe: Konkurrenzen mit anderen Zukunftstechnologien

- Es wird Konkurrenzen zwischen Zukunftstechnologien geben

Kobaltverwendung	Anteil 2006	Bedarf 2030	Kommentar
Batterien (Li-Ionen, Ni-Metallhydrid)	13.700 t	22.550 t/a	Batterien: 20.400 t
Superlegierungen (Gasturbinen, Implantate)	13.700 t	20.400 t	Implantate 2.400 t
Katalysatoren	6.800 t	11.050 t	Xtl: 4.060 t
Hartmetalle (Schneidwerkzeuge)	6.800 t	8.650 t	1% Wachstum
Pigmente	5.600 t	7.100 t	1% Wachstum
Stähle (u.a. Turbinen)	5.000 t	6.350 t	1% Wachstum
Magnetlegierungen	4.400 t	5.600 t	1% Wachstum
Sonstiges (Chemikalien, Magnetbänder etc.)	6.300 t	8.000 t	1% Wachstum
Summe [USGS 2008/eig.Ber.]	62.300 t	89.650 t	

- **RFID:** Kennzeichnung von Produkten zur Identifizierung mit kleiner „Funkchips“
- RFID-Anwendungen: Logistik – Tracking und Tracing; Supply Chain und Inventory Management; Produkt-Authentifizierung und Diebstahl-sicherung; produktbezogene oder personenbezogene Anwendungen

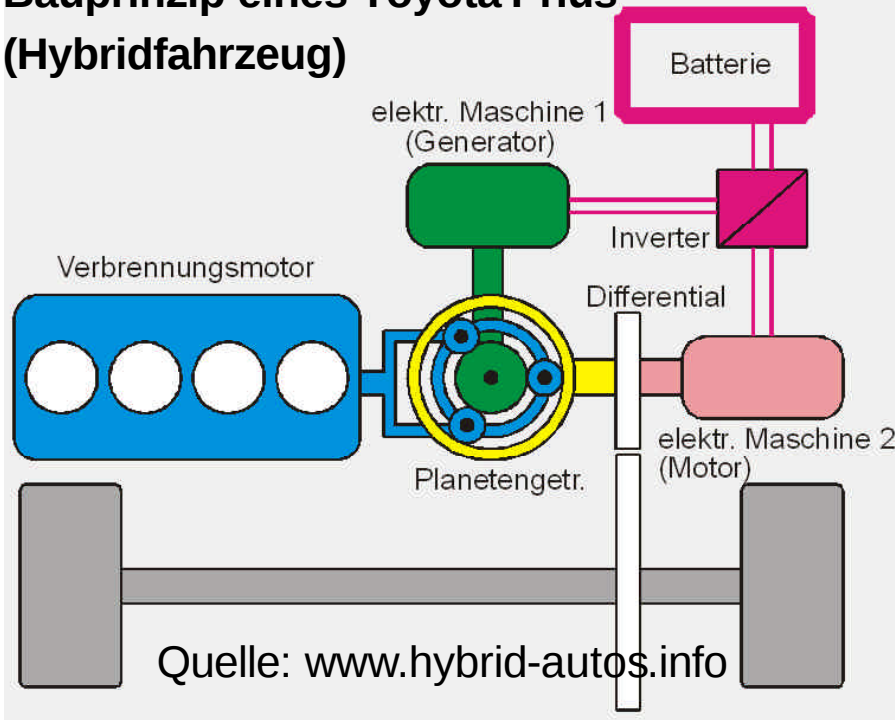


- Auf Einzelverpackungsebene sind derzeit nur **gedruckte Antennen** möglich (**silberbasierte Leitpasten**).
- Der **Miniaturisierung** der Antenne sind aufgrund der erforderlichen elektromagnetischen Eigenschaften enge Grenzen gesetzt.
- **Materialannahmen: 1 Mrd. Tags in 2006 / 87 Mrd. Tags in 2030, (mittlere Tags 15*97 mm anstelle 15*148mm), Antennentypen 2006: 50%Cu v 40%Al v 10%Ag, Typverteilung 2030: 10/30/60, Massen 2006: 290 mg Cu v 200 mg Al v 200 mg Ag**
- RFID ist im Hinblick auf Silber möglicherweise rohstoffintensiv (Silberverfügbarkeit ist ein limitierender Faktor für die RFID).

Rohstoff	Metallprod. 2006	Verbrauch für RFID 2006	Bedarf 2030 (aus RFID)
Silber	20.200 t	1 t	Ca. 5.700 t
Kupfer	15.100.000 t	50 t	Ca. 9.100 t
Aluminium	33.700.000 t	6 t	Ca. 3.900 t

Neodym und Elektro-Traktionsmotoren

Bauprinzip eines Toyota Prius (Hybridfahrzeug)



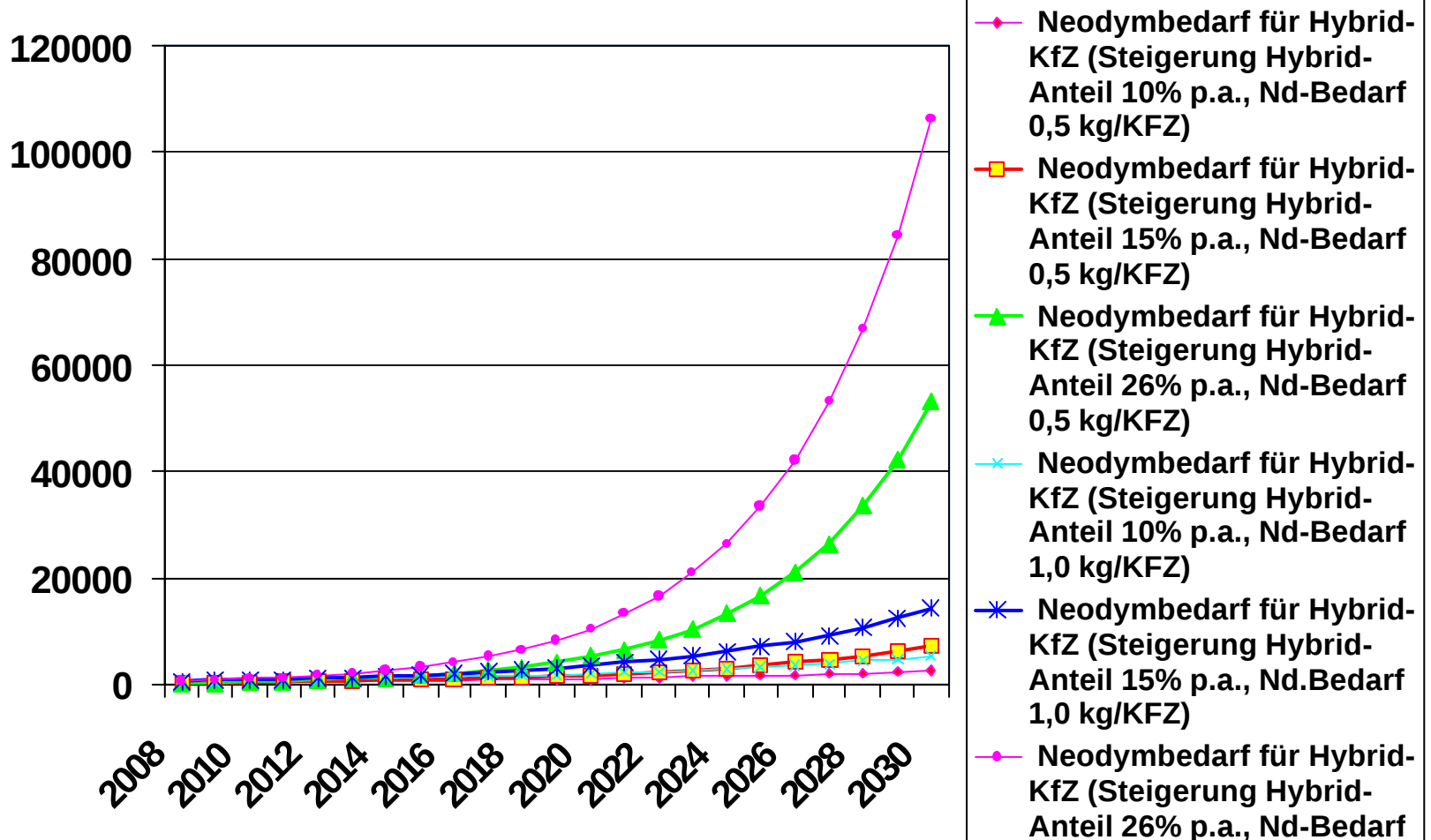
- Der absehbare Mangel an Treibstoffen erfordert sparsamere Motoren und/oder neue Energieträger (Strom, Biotreibstoffe)

Hybridmotoren haben einen geringeren Verbrauch (Toyota: 4,3 statt 7,2 l)

Permanentmagneten werden für alle Traktionsmotoren gebraucht: Hybrid-, Elektro-, Brennstoffzellenfahrzeuge

Nd-Fe-B-Magnete werden aufgrund der Stärke und der Temperaturstabilität benötigt

Neodym und Elektro-Traktionsmotoren



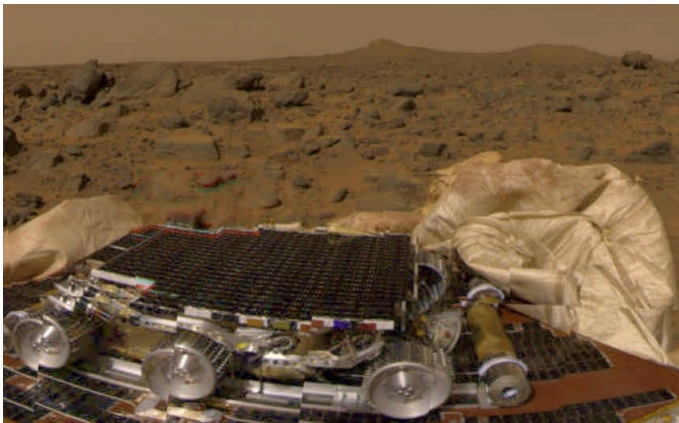
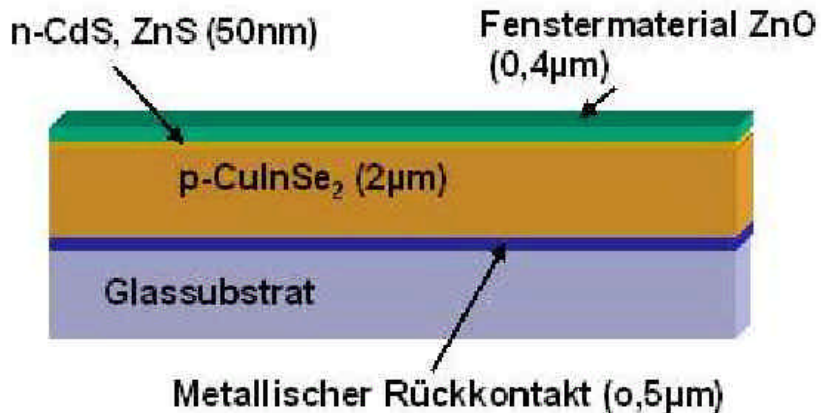
Neodym und Elektro-Traktionsmotoren

- Die tatsächlichen Kupfer- und Neodymgehalte in Elektrofahrzeugen sind nur grob bekannt.
- Annahmen: Hybridanteil 2008 ca. 1,2%, 560 Mio. PKW 2007, 1.125 Mio. KFZ weltweit in 2030 (VDI 2008)
- a) Steigerungsrate 15% p.a., 0,5 kg Nd pro KFZ
- b) Steigerungsrate 15% p.a., 1 kg Nd pro KFZ
- c) 26% p.a. (d.h. bis 2030: ausschließliche Produktion von Hybridfahrzeugen, ca. 100 Mio. Stück in 2030, Welt-PKW-Flotte besteht ausschließlich aus Hybridfahrzeugen, 0,5 kg Nd pro KFZ)
- Fazit: Elektro-Traktionsmotoren sind im Hinblick auf Neodym vermutlich sehr rohstoffsensitiv.

Rohstoff	Metallprod. 2006	Verbrauch für Hybrid-KFZ	Bedarf 2030 für Hybrid-KFZ
Neodym	7.300 t	ca. 300 t (2006)	7.100/14.200/53.000 t
Kupfer	15.100.000 t	ca. 9.000 t	212.500-425.000 t

Metalle für CIS- und CdTe-Dünnschichtzellen (Fotovoltaik)

CIS-Zelle (Cadmium-Indium-Diselenid)



- Fotovoltaik wird zukünftig eine sehr wichtige Quelle der dezentralen Stromerzeugung sein
- Derzeit gibt es noch die **Konkurrenz der Systeme**: Dickschichtzellen (monokristallines und multikristallines Silizium) und Dünnschichtzellen (amorphes Silizium, CIS / Cadmium-Indium-Selenid-Zellen, CdTe-Zellen und andere Halbleitervarianten)
- In Dünnschichtzellen wird die Halbleitereigenschaft verschiedener Metalle ausgenutzt (In/Se, Cd/Te)

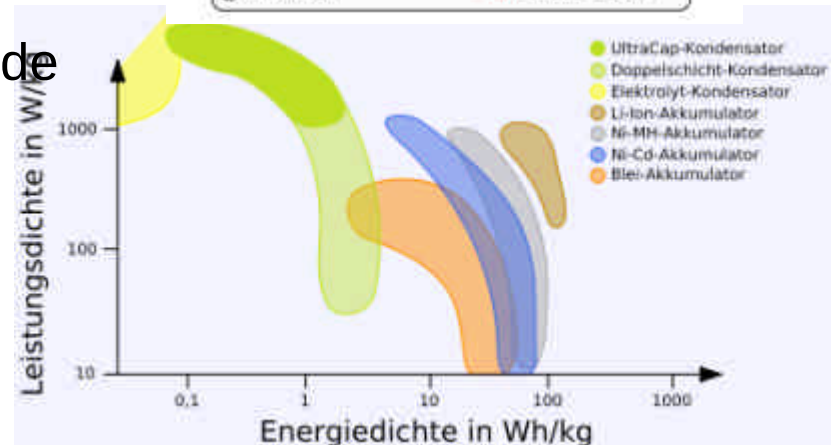
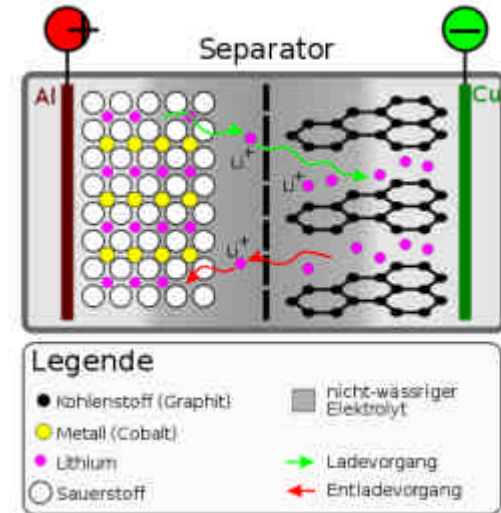
Metalle für CIS- und CdTe-Dünnschichtzellen (Fotovoltaik)

- Annahmen: Wachstum SZ-Produktion bis 2010 ca. 40% (0,22 Gwp/a), bis 2020 ca. 19% (0,3 GWp/a), bis 2030 ca. 14% (1,6 GWp/a), bis 2040 ca. 6% (8,1 GWp/a), bis 2050 ca. 4% (13,7 GWp/a; Angerer et al. 2008: 148), CIS-Metalle: 50 g/kWp In, 26 g Se; GaAs-Zelle 44 g Ga , 40 g As; CdTe-Zelle 31 g Te, 100 g Cd
- Fazit: Es wird vermutlich Rohstoffengpässe bei Indium, Gallium, Tellur und Silber (Dickschicht-PV mit Silberelektroden) geben.

Rohstoff	Metallprod. 2006	Verbrauch für CIS/CdTe 2006	Bedarf 2030 (pa)
Indium	580 t	1 t (CIS)	285 t
Selen	1.540 t	1 t (CIS)	165 t
Gallium	103 t	1 t (GaAs)	250 t
Cadmium	19.300 t	20 t (CIS(CdTe))	690 t
Tellur	130 t	10 t (CdTe)	150 t

Metalle für Lithium-Ionen Hochleistungs-Stromspeicher

- Neue Formen der Energieerzeugung erfordern neue Speichertechnologien
- Li-Ionen-Akkus haben derzeit die beste Speicherfähigkeiten
- Li-Ionen Akkus werden nahezu überall eingesetzt und verdrängen Bleibatterien
- Höchste Kapazität mit Co-Kathode



Lithium-Ionen Hochleistungs-Stromspeicher

- Von 1995 bis 2000 stieg der Co-Bedarf für Batterien (Ni-Cd, Ni-MH, Li-Ionen) von 700 t/a auf 5.000 t/a, in 2007 waren es 12.000 t/a (25% des Weltkobaltverbrauchs)
- Annahmen: Entwicklung der Nutzung von Hybridfahrzeugen 16. Mio. Fahrzeuge/a; Entwicklung des Bedarfs einfacher LiO-Akkus (mobile Anwendungen) um den Faktor 3,4
- Fazit: Bedarfe für Hochleistungsstromspeicher werden größere Bedarfe nach Cobalt und Lithium auslösen, aber es gibt auch Kobalt-freie Alternativen der Elektroden

Rohstoff	Metallprod. 2006	Verbrauch 2006	Bedarf 2030 (aus CIS/CdTe)
Cobalt	67.500 t	12.000 t	20.400-40.800 t
Lithium	21.100 t	2.600 t	7.500 t

Fazit (1): Seltene Metalle

- Die Analyse zeigt, dass der **technische Wandel** dominante Bedarfszuwächse nach bestimmten Rohstoffen auslösen kann.
- Das Wachstum der **Weltwirtschaft** verstärkt die Rohstoffnachfrage.
- Der verfügbare **Zeitraum** für den Bergbau, die Produktionskapazität an die Technologien der Rohstoffnutzung anzugleichen, ist ausreichend bis zum Jahre 2030.
- Bei exotischen Funktionsmaterialien (**Scandium im Flugzeugleichtbau**) besteht oft das Dilemma, dass der Ausbau der Produktionskapazitäten unterbleibt aufgrund mangelndem Angebot bzw. Nachfrage
- Eine Vielzahl von wichtigen Metallen wird nur als Nebenprodukt gewonnen (Ge, In, Te, Se, As, Ga.....)

Fazit (2): Kopplung bei der Gewinnung der Buntmetalle

Hauptmetalle:

Fe, Mn, Cr, Ni

Cu, Al, Mg, Ti

Sn, Zn, Pb

Co-Elemente

Cu: Ag, Au, Pb, Zn, Mo

Fe: Zn, Pb

Sn: Ag

Ni: Ag, Au, Cu

Pb/Zn: Ag, Au

Nebenprodukte:

In, Pt, Sa, Ir,	Bi
-----------------	----

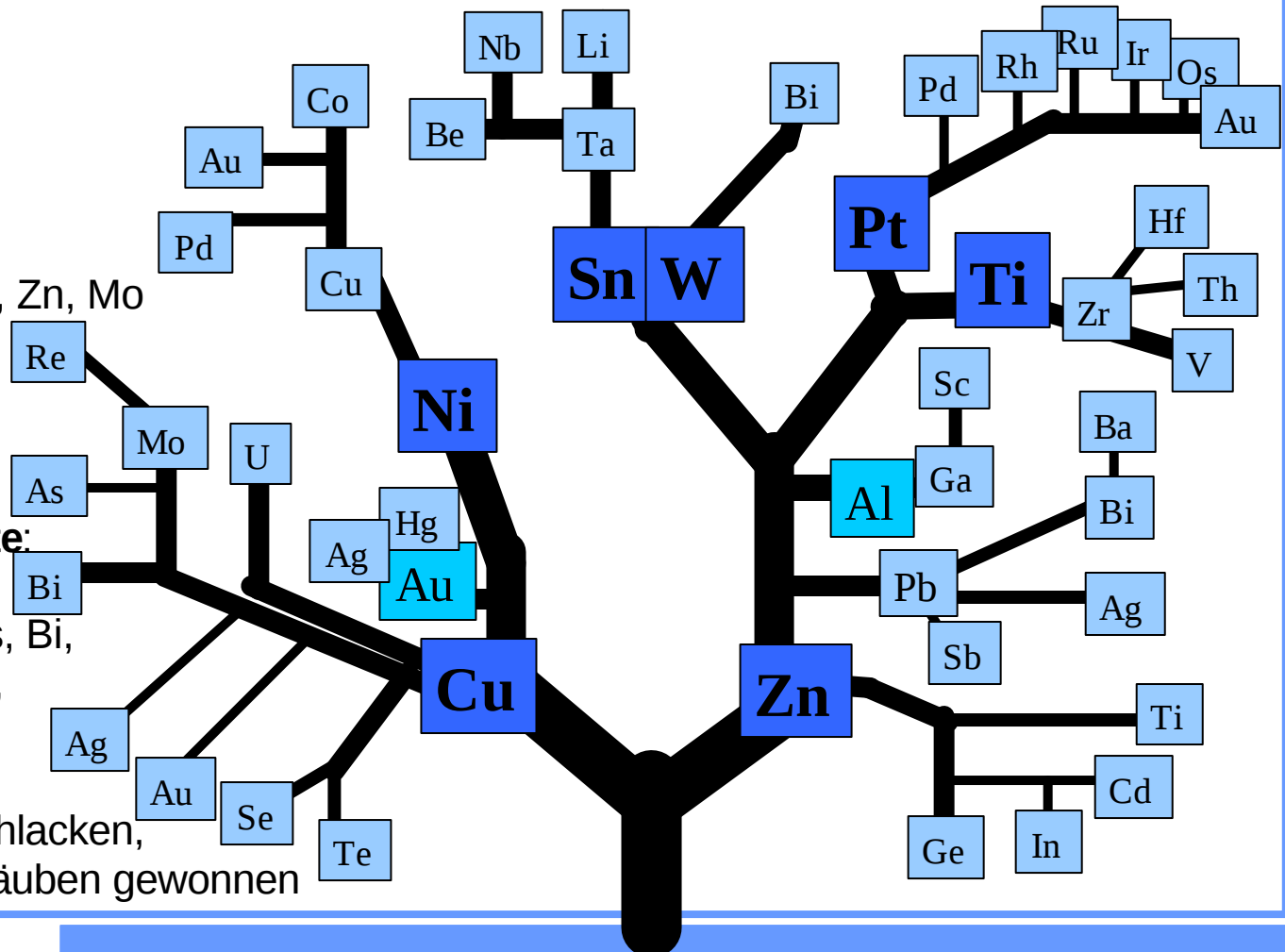
Ru, Rh, Co, Os, Bi,

Se, Te, As, Cd,

Ge, Ga

Viele Metalle

werden aus Schlacken, Aschen und Stäuben gewonnen



Fazit (3): Technologischer Rohstoffverbrauch 2006/2030

Ga	31% / 663%	<u>Dünnschicht-Photovoltaik, IC, WLED</u>
Nd	59% / 479%	<u>Permanentmagnete, Traktionsmotoren, Laser</u>
In	40% / 329%	<u>Displays, Dünnschicht-Photovoltaik, WLED</u>
Sc	ger. / 228%	<u>Solid Oxid Fuel Cell (SOFC)</u>
Ge	22% / 176%	<u>Glasfaserkabel</u>
Pt	ger. / 156%	<u>Brennstoffzellen, Farbstoffsolarzellen</u>
Ta	39% / 101%	<u>Mikrokondensatoren</u>
Ag	36% / 78%	<u>RFID, bleifreie Lote, Mikrokondensatoren, Nanosilber, CSP-Solarkraftwerke</u>
Sn	62% / 77 %	<u>Bleifreie Weichlote, Mikrokondensatoren, Farbstoff-SZ</u>
Co	19% / 40 %	<u>Li-Ionen-Akku, XtL, orthopädische Implantate</u>
Pd	10% / 34 %	<u>Meerwasserentsalzung, Mikrokondensatoren</u>
Ti	8% / 29 %	<u>Meerwasserentsalzung, Implantate, Mikrokondensatoren</u>
Cu	9% / 26 %	<u>Elektromotoren, RFID, Supraleitung, bleifreie Weichlote</u>

Rohstoffverbrauch einiger Zukunftstechnologien 2030 - Anteil an der gesamten heutigen Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs (2006)