Seltene Metalle – Anwendungen, Kritikalitäten, Handlungsoptionen

Patrick Wäger

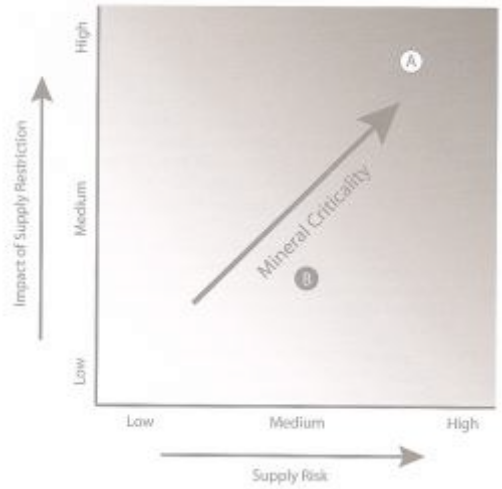
Abteilung Technologie & Gesellschaft

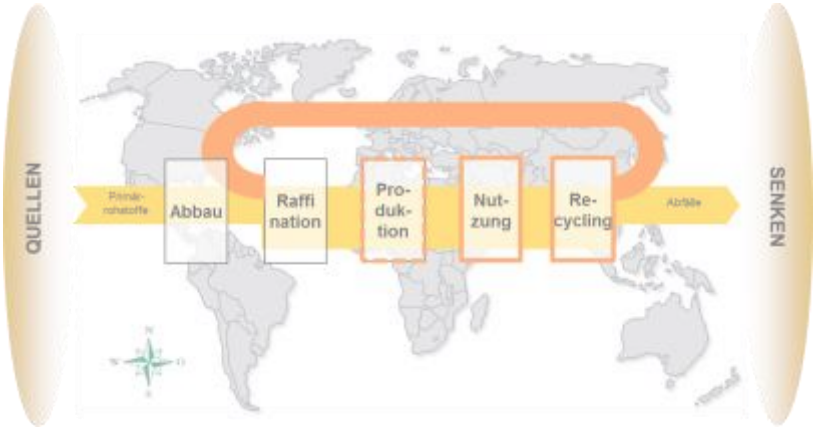
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)

Lerchenfeldstrasse 5, CH-9014 St. Gallen

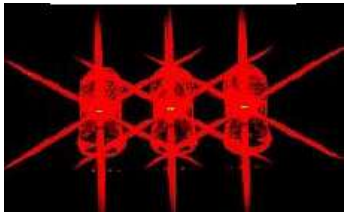
EMPA
Materials Science & Technology

- Wozu brauchen wir Seltene Metalle?
- Welche seltenen Metalle sind 'kritisch'?
- Was können wir tun?





Wozu brauchen wir seltene Metalle?

Element	Nachfrage	Reichweite*
		Reserve(basis)/ Jahresproduktion:
		6 (13) Jahre
		(Behrendt et al. 2007)
		seit 2009: keine Angaben mehr durch USGS …

EMPA Materials Science & Technology

Seltene Metalle

(durchschnittliche Konzentration in Erdkruste <0.01%)

	Haupt-		Nebengruppen										-gruppen					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Ia																	VIIIa
1 (K)	□ 1H 1.00794	IIa											IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	□ 2He 4.002602
2 (L)	■ 3Li 6.941	■ 4Be 9.012182											▣ 5B 10.811	□ 6C 12.0107	□ 7N 14.00674	□ 8O 15.9994	□ 9F 18.9984	□ 10Ne 20.1797
3 (M)	■ 11Na 22.98977	■ 12Mg 24.305	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb		VIII		Ib	IIb	■ 13Al 26.98154	▣ 14Si 28.0855	□ 15P 30.97376	□ 16S 32.066	□ 17Cl 35.4527	□ 18Ar 39.948
4 (N)	■ 19K 39.0983	■ 20Ca 40.078	■ 21Sc 44.95591	■ 22Ti 47.867	■ 23V 50.9415	■ 24Cr 51.9961	■ 25Mn 54.93805	■ 26Fe 55.845	■ 27Co 58.9332	■ 28Ni 58.6934	■ 29Cu 63.546	■ 30Zn 65.409	■ 31Ga 69.723	▣ 32Ge 72.61	▣ 33As 74.9216	□ 34Se 78.96	□ 35Br 79.904	□ 36Kr 83.8
5 (O)	■ 37Rb 85.4678	■ 38Sr 87.62	■ 39Y 88.90585	■ 40Zr 91.224	■ 41Nb 92.90638	■ 42Mo 95.94	α ■ 43Tc [98]	■ 44Ru 101.07	■ 45Rh 102.9055	■ 46Pd 106.42	■ 47Ag 107.8682	■ 48Cd 112.411	■ 49In 114.818	■ 50Sn 118.71	▣ 51Sb 121.76	▣ 52Te 127.6	□ 53I 126.9045	□ 54Xe 131.29
6 (P)	■ 55Cs 132.9055	■ 56Ba 137.327	■ 57La 138.9055	■ 72Hf 178.49	■ 73Ta 180.9479	■ 74W 183.84	■ 75Re 186.207	■ 76Os 190.23	■ 77Ir 192.217	■ 78Pt 195.078	■ 79Au 196.9666	■ 80Hg 200.59	■ 81Tl 204.3833	■ 82Pb 207.2	■ 83Bi 208.9804	α ■ 84Po [209]	α ▣ 85At [210]	α □ 86Rn [222]
Lanthanoide				■ 58Ce 140.116	■ 59Pr 140.9077	■ 60Nd 144.24	α ■ 61Pm [145]	■ 62Sm 150.36	■ 63Eu 151.964	■ 64Gd 157.25	■ 65Tb 158.9253	■ 66Dy 162.5	■ 67Ho 164.9303	■ 68Er 167.26	■ 69Tm 168.9342	■ 70Yb 173.04	■ 71Lu 174.967	

'Edelmetalle'

'Seltene Erden'

Skinner (1976

Wozu brauchen wir seltene Metalle?

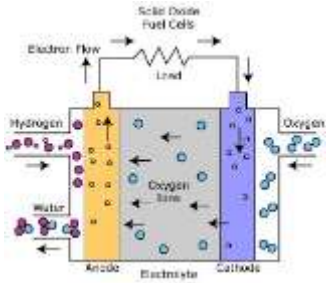
EMPA Materials Science & Technology

Energie-, Elektro- und Antriebstechnologien

Ag, Cd, Cu,
Ga, Ge, In, Sn, Te

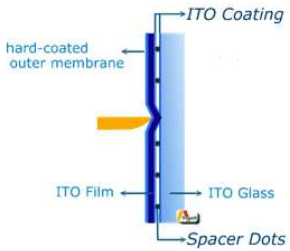
Ag, In, Pt,
Ru, Sn

Dy, Nd, Pr



Ce, Ga, Gd, La,
Pt, Ru, Sc, Sm, Y

Informations- und Kommunikations-technologien, Mikrotechnologien



In, Sn

Nb, Ta /
Ag, Pd, Ti

Seltene Metalle & Zukunftstechnologien

As, Ga, Ge, Te

Ag, Cu, Bi, Sn /
Ag, Re / Au

Optische/optoelektronische Technologien

As, Ga, In, Ru, Sn

Er, Ge

Ge, La, Li, Nb, Sc, Ta

s. u.a. Angerer et al. (2009)

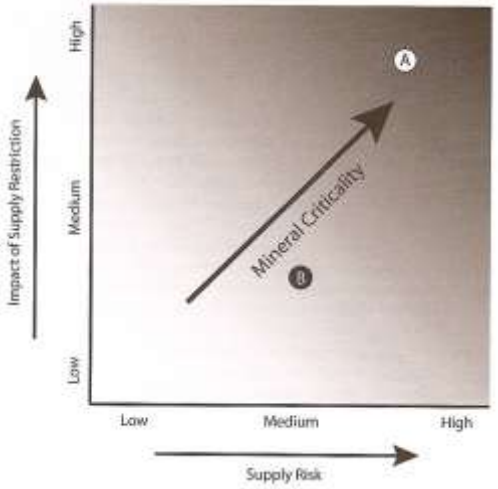
Ausblick: Nachfrage durch Zukunftstechnologien

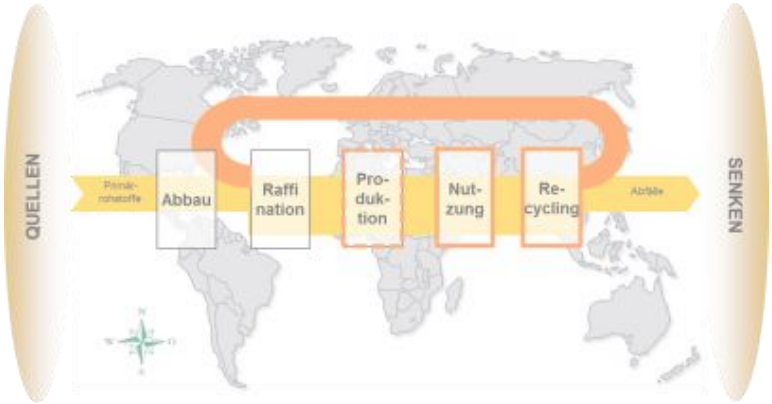
	Globale Nachfrage 2006		Global Nachfrage 2030	
Gallium	28 t (0.18)	x 22 →	603 t (3.97)	Dünnschichtphotovoltaik, Hochleistungs-Mikrochips, WLED
Indium	234 t (0.40)	x 8 →	1911 t (3.29)	Displays, Dünnschichtphotovoltaik
Neodym	4’000 t (0.23)	x 7 →	27’800 t (1.66)	Permanentmagnete, Lasertechnologie
Tantal	551 t (0.40)	x 3 →	1410 t (1.02)	Mikroelektronische Kondensatoren, Medizintechnik

Angerer et al. (2009); Eisler et al. (2010)

in Klammern: Verhältnis Nachfrage/Weltproduktion 2006

- Wozu brauchen wir Seltene Metalle?
- Welche seltenen Metalle sind 'kritisch'?
- Was können wir tun?

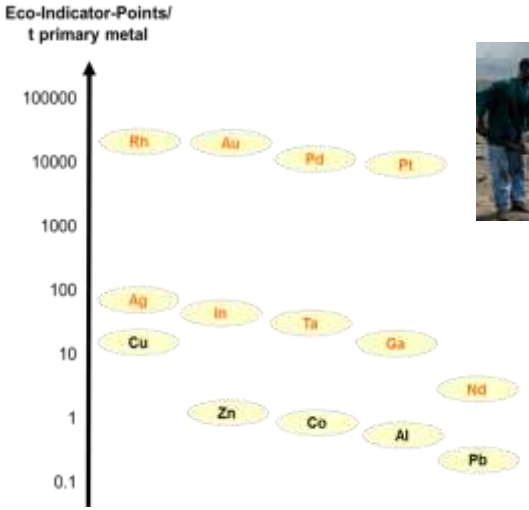




Welche seltenen Metalle sind 'kritisch'?

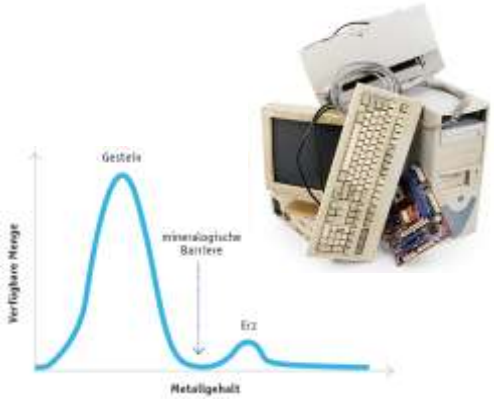
EMPA Materials Science & Technology

Ökologische Faktoren



Soziale Faktoren

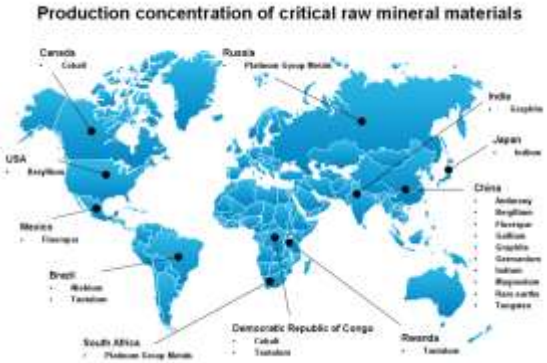
'Geologische' Faktoren



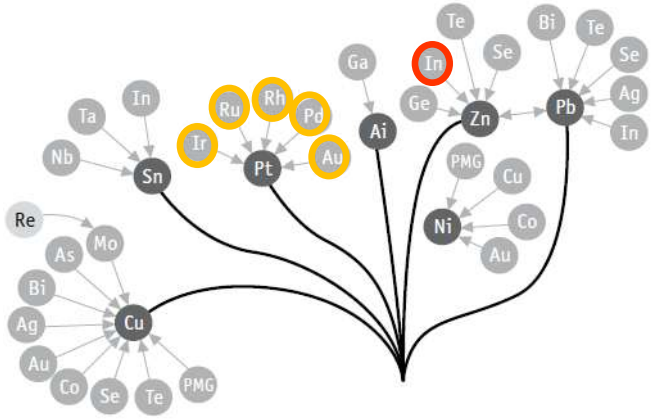
Versorgung mit Seltenen Metallen

Ökonomische Faktoren

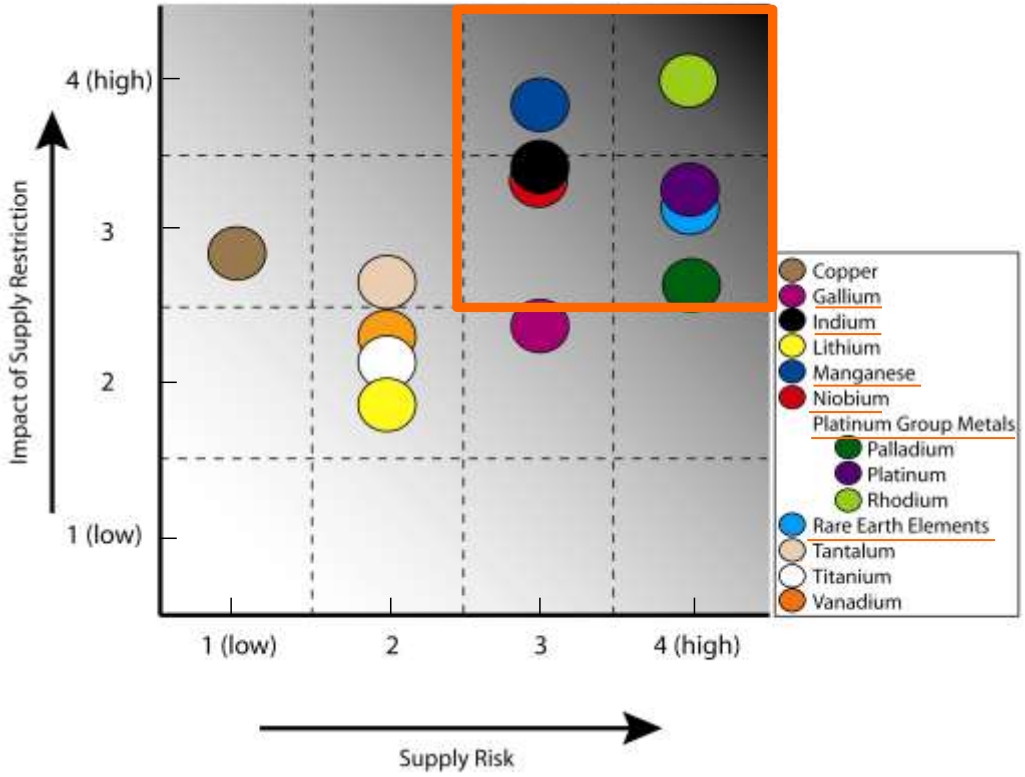
Geopolitische Faktoren



Technologische Faktoren

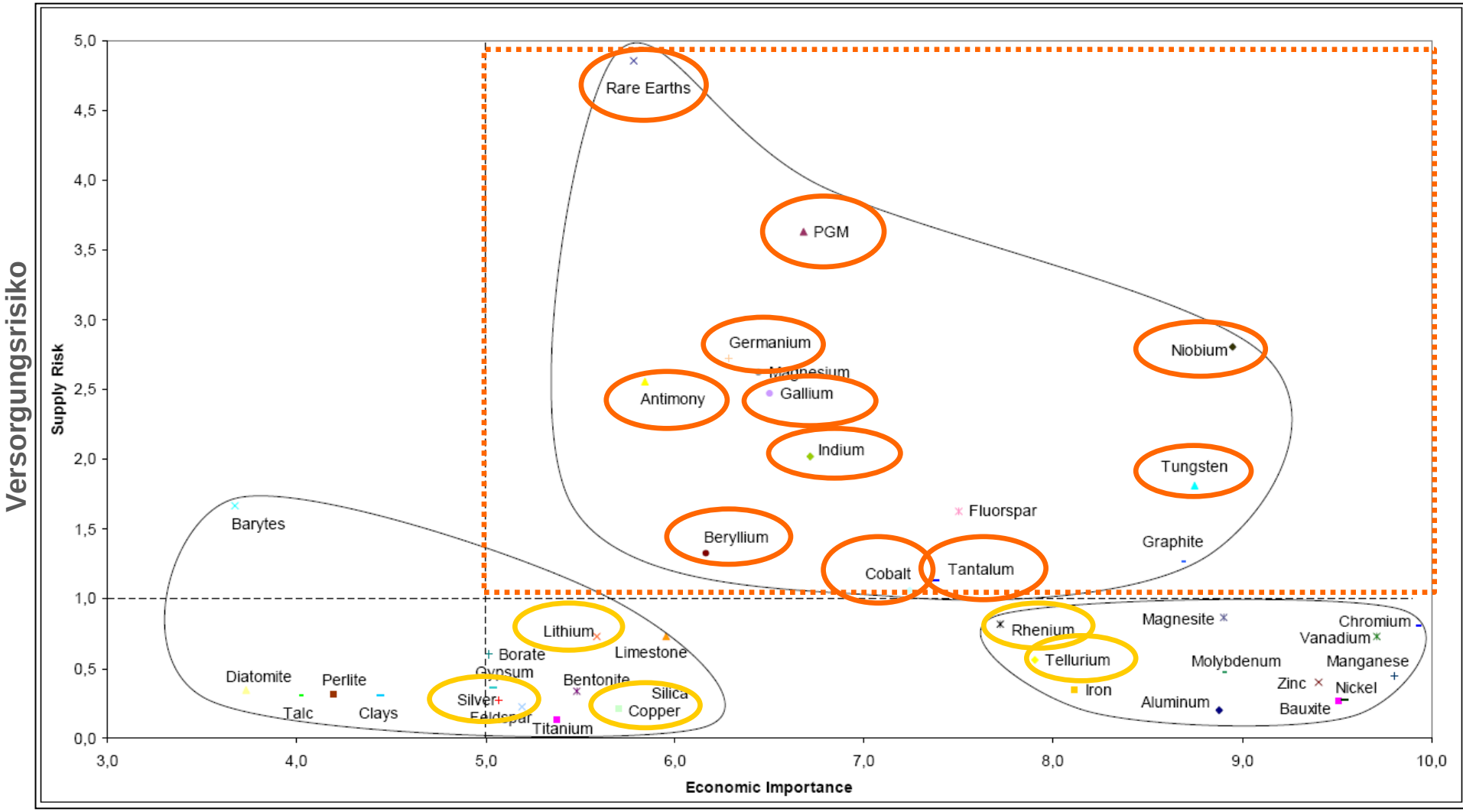


Kritische Rohstoffe im Kontext USA



NRC (2008) Minerals, Critical Minerals and the U.S. Economy

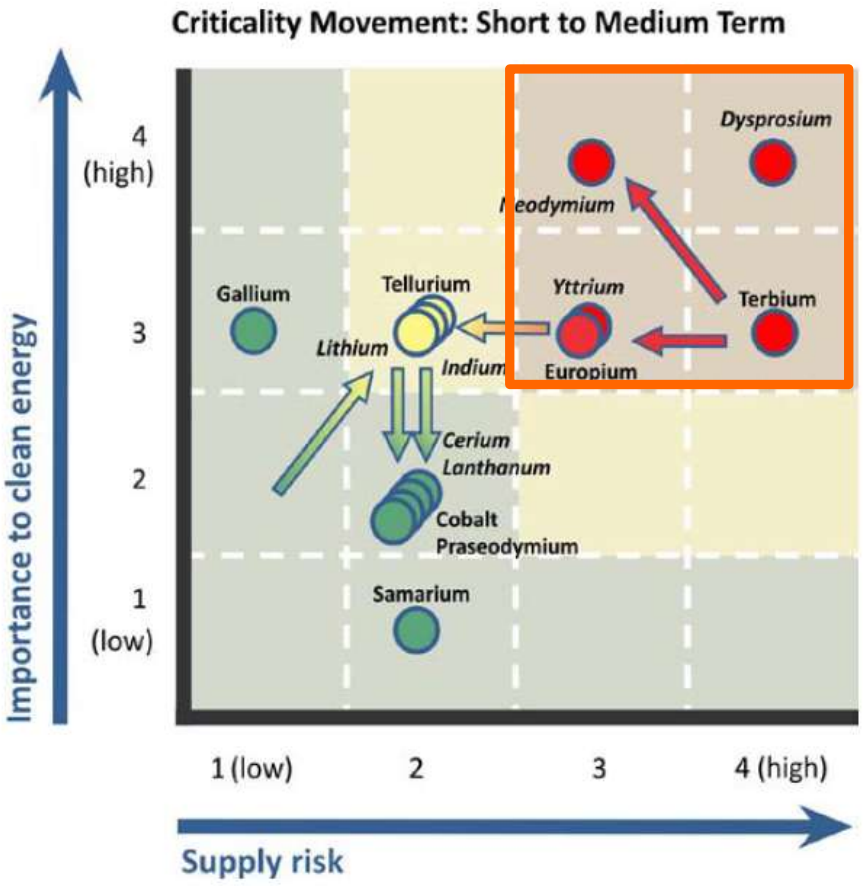
Kritische Rohstoffe im Kontext EU



EC (2010) Critical raw materials for the EU

Kritische Rohstoffe für 'Clean Energy' Technologien'

- Dünnschichtphotovoltaik
- Permanentmagnete (Windturbinen, Fahrzeuge)
- Batterien (Fahrzeuge)
- Leuchtstoffe (Leuchtstofflampen)



Bauer et al. (2010) Critical Materials Strategy

EMPA Materials Science & Technology

Erwartete Produktionsüberschüsse bzw. – defizite für Seltene Erden

		2010e	2011p	2012p	2013p	2014p	2015p	2016p	2017p
	La_2O_3	O	O	O	✔	✔✔	✔✔	✔✔✔	✔✔✔
	CeO_2	O	O	O	✔	✔✔	✔✔✔	✔✔✔	✔✔✔
5.	Nd_2O_3	✘	✘	✘	O	O	✔	✔✔	✔✔✔
4.	Eu_2O_3	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	✘	O	✔✔	✔✔
3.	Tb_4O_7	✘	✘	✘	✘	✘	O	✔✔	✔✔✔
1.	Dy_2O_3	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	O	✔
2.	Y_2O_3	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	✘✘	✘	✔	✔✔
	CREO	✘	✘	✘	✘	✘	✔	✔✔	✔✔✔

Supply as % demand: ✘✘ = 50-74% : ✘ = 75-94% : O = 95-105% : ✔ = 106-125% : ✔✔ = 126-150% : ✔✔✔ ≥ 151%

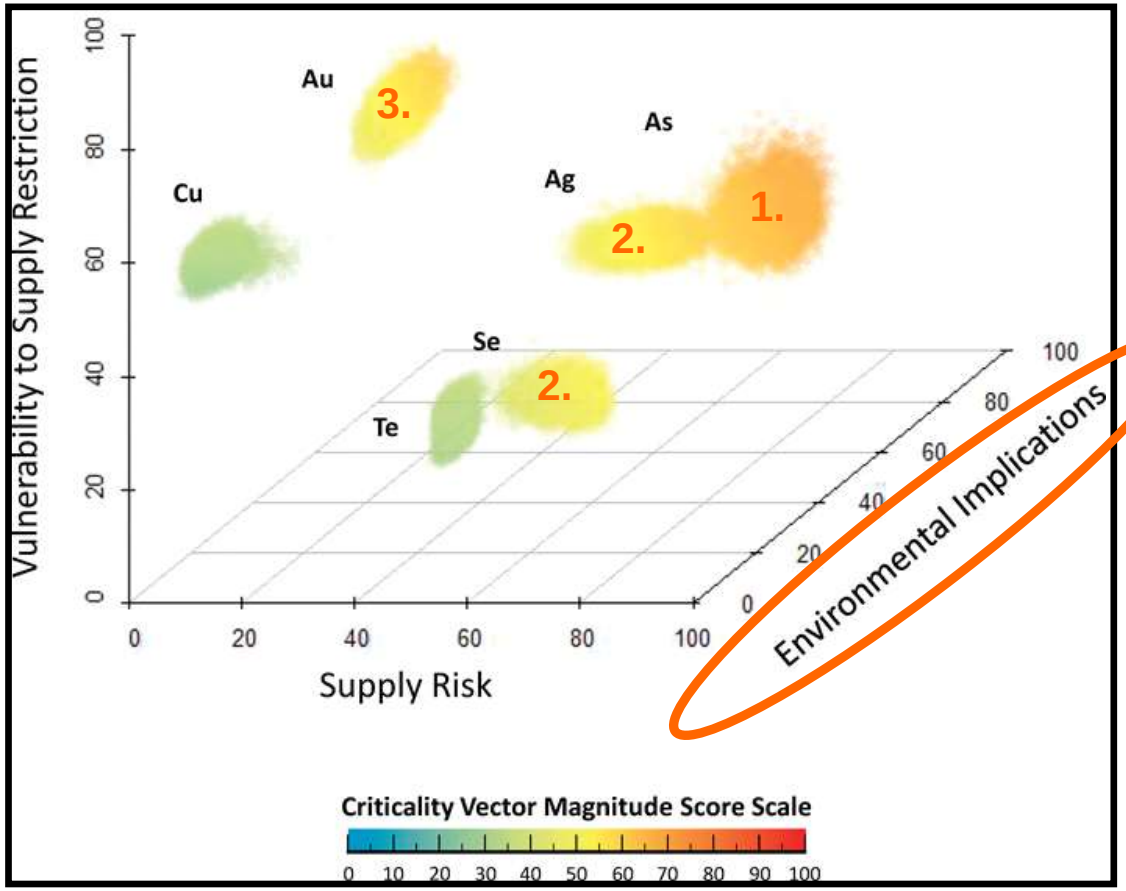
CREO = oxides of Nd, Eu, Tb, Dy & Y

Source: TMR estimates / projections

Hatch G.P. (2011) Critical Rare Earths Global supply & demand projections and the leading contenders for new sources of supply. Technology Metals Research.

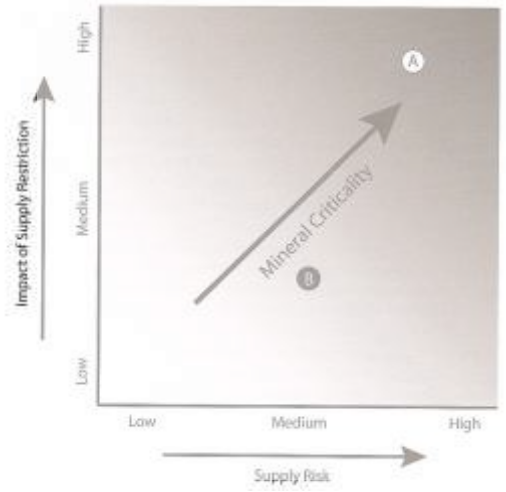
Die Kupferfamilie im 'Kritikalitätsraum' (globale Ebene)

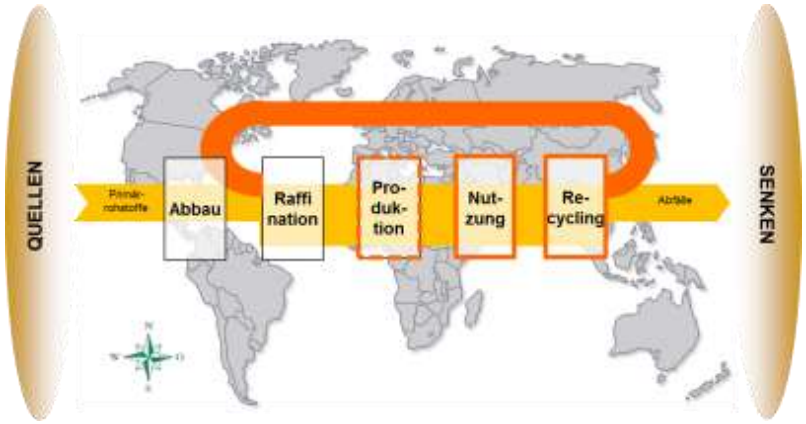
- **Supply Risk (SR)**: geological, technological, and economic (GTE), social and regulatory (S&R), geopolitical (GP)
- **Vulnerability to Supply Restriction (VSR):** importance (I), substitutability (S)
- **Environmental implications (EI):** cradle to-gate environmental impacts



Nassar et al.. (2011) Criticality of the Geological Copper Family. Environmental Science & Technology, doi.org/10.1021/es203535w

- Wozu brauchen wir Seltene Metalle?
- Welche seltenen Metalle sind 'kritisch'?
- Was können wir tun?



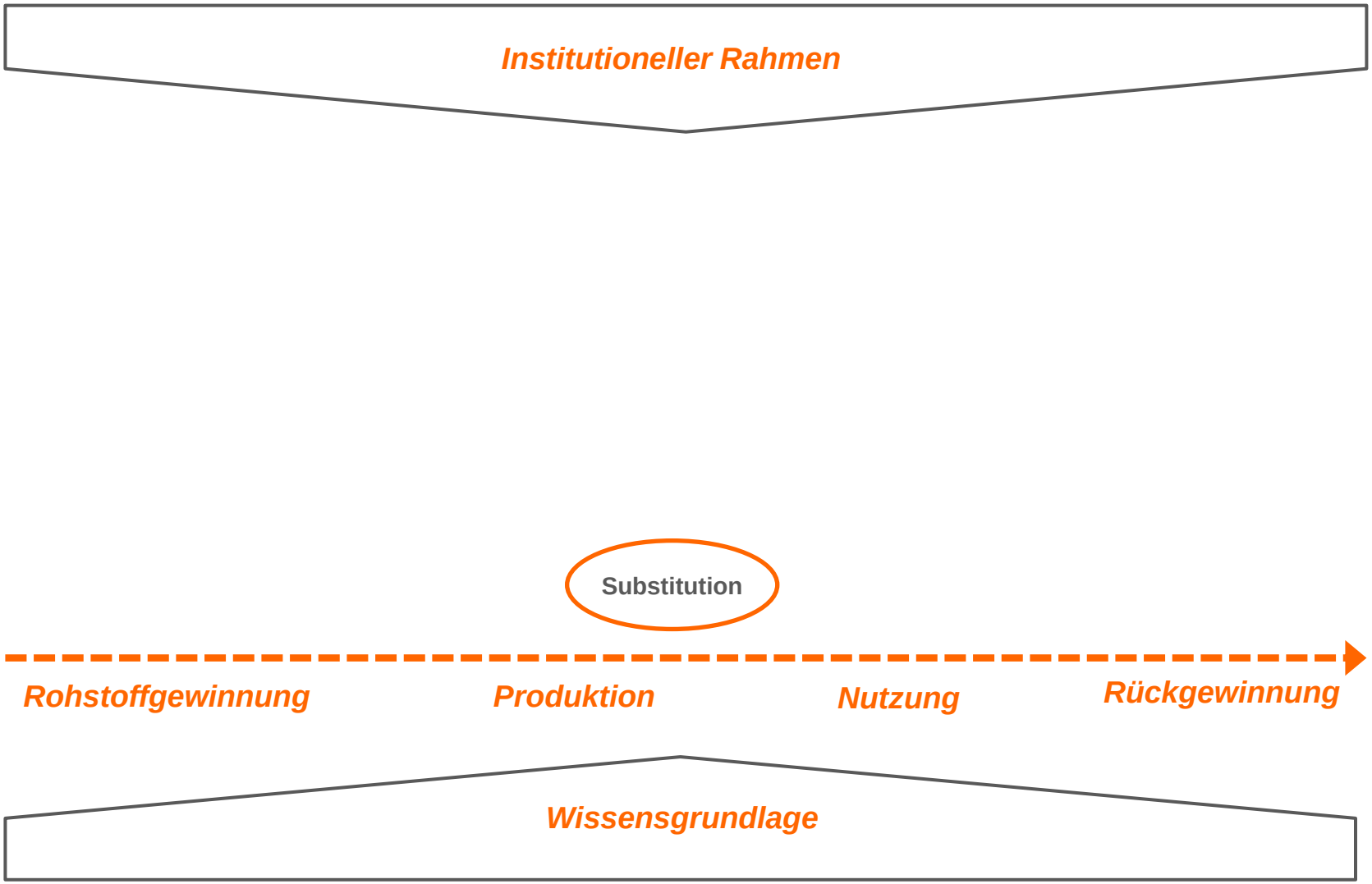


Nachhaltiger(er) Umgang mit seltenen Metallen

Wir erben die Erde nicht von unseren Vorfahren,
wir leihen sie von unseren Kindern aus

- Ausreichende Versorgung mit Rohstoffen;
- Schonung von Primärressourcen;
- Vermeidung von Wert- und Schadstoffdissipation;
- Minimale ökologische und soziale Belastungen bei der Rohstoff(rück-)gewinnung.

Was können wir tun?



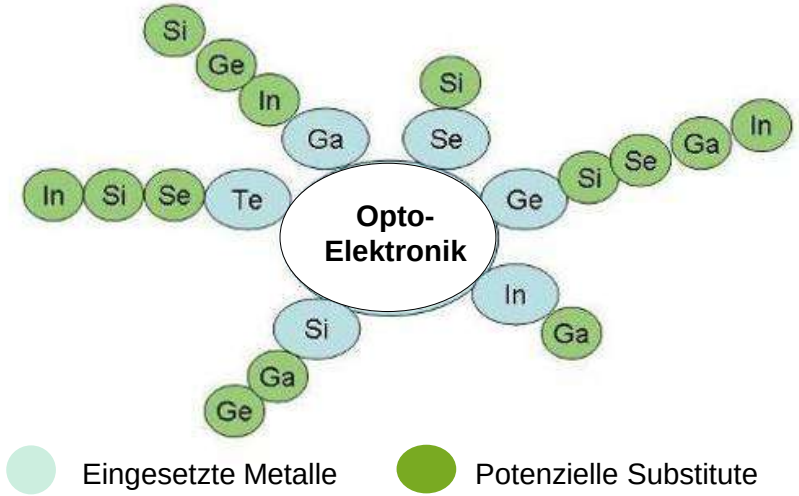
Wäger et al. (2011)

Substitution

- Leistungsverlust
- Substitution durch andere kritische Metalle

Ta → Nb

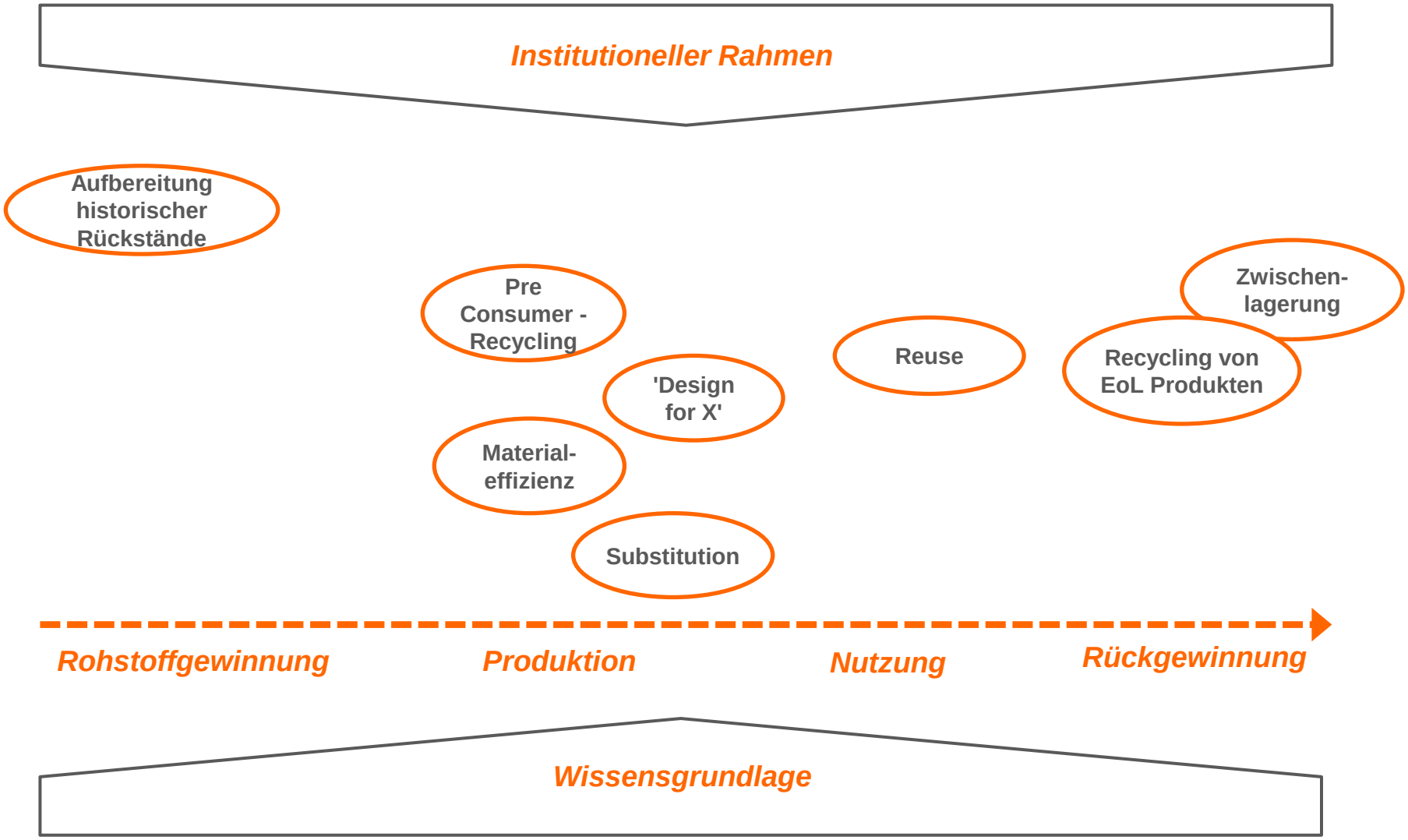
ITO → *ATO*



Hagelüken und Meskers (2010)

- Substitution durch andere potentiell problematischen Verbindungen

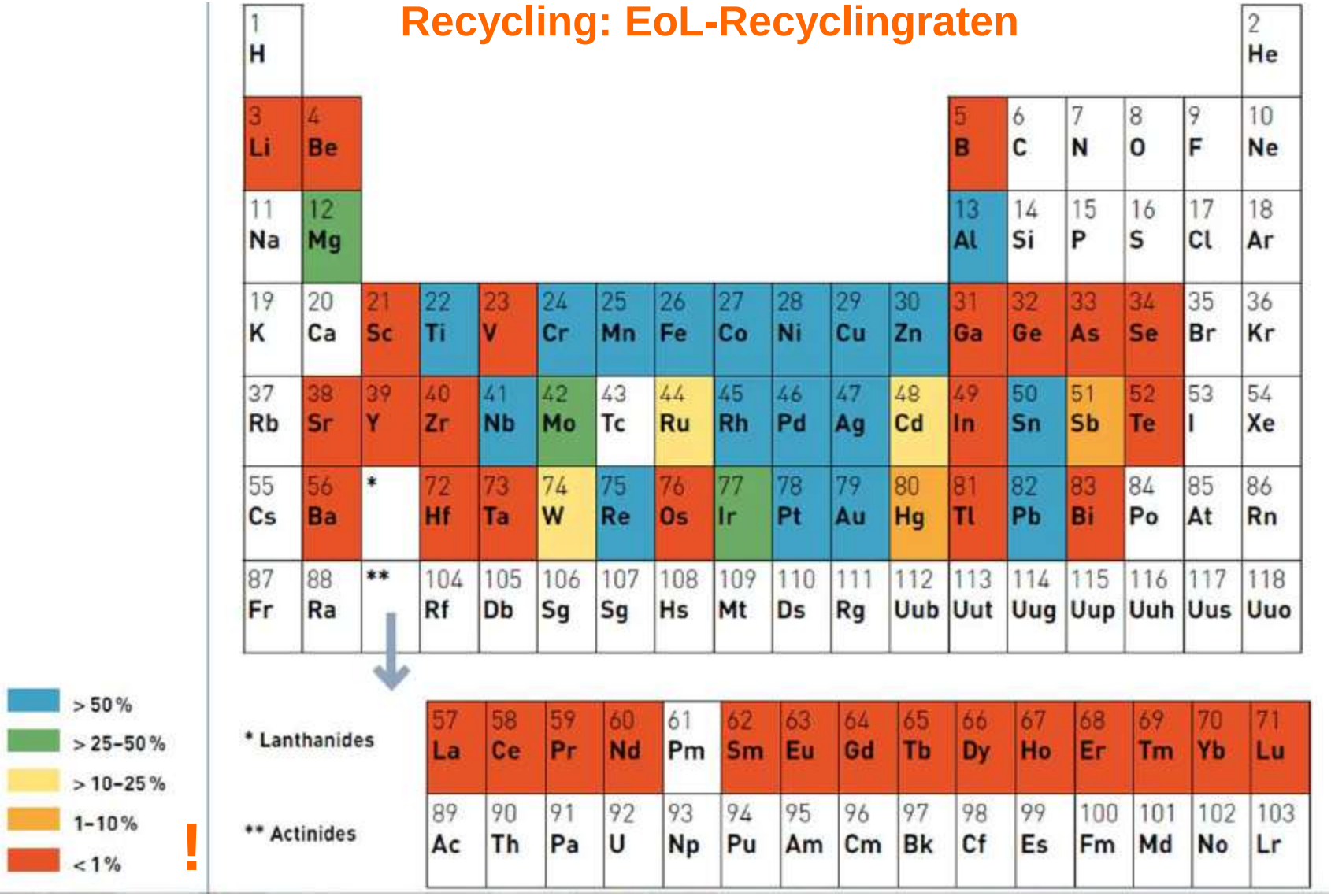
Was können wir tun?



Wäger et al. (2011)

Was können wir tun?

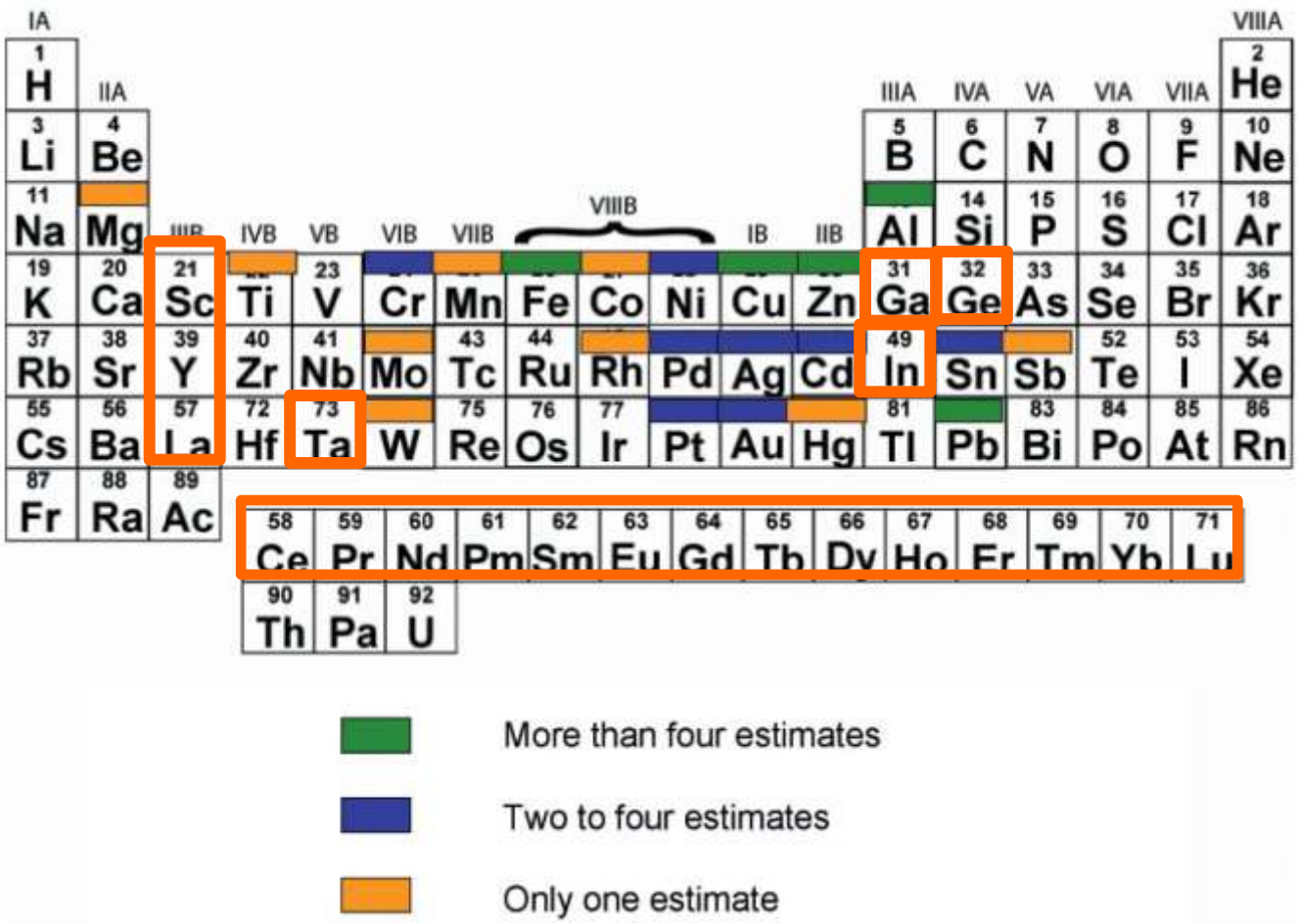
Recycling: EoL-Recyclingraten



Quelle: UNEP (2011) Metal recycling rates

EMPA Materials Science & Technology

Recycling: Anthropogene Rohstofflager



UNEP (2010) Metals Stocks in Society

Recycling: Effizienz

Effektive Ausbeuten für WEEE:
- Gold **26%**
- Palladium **26%**
- Silber **12%**

(Chancerel et al., 2009)

Sammlung → **Sortierung/ Zerlegung** → **Aufbereitung** → **Rückge-winnung** → **Seltene Metalle**

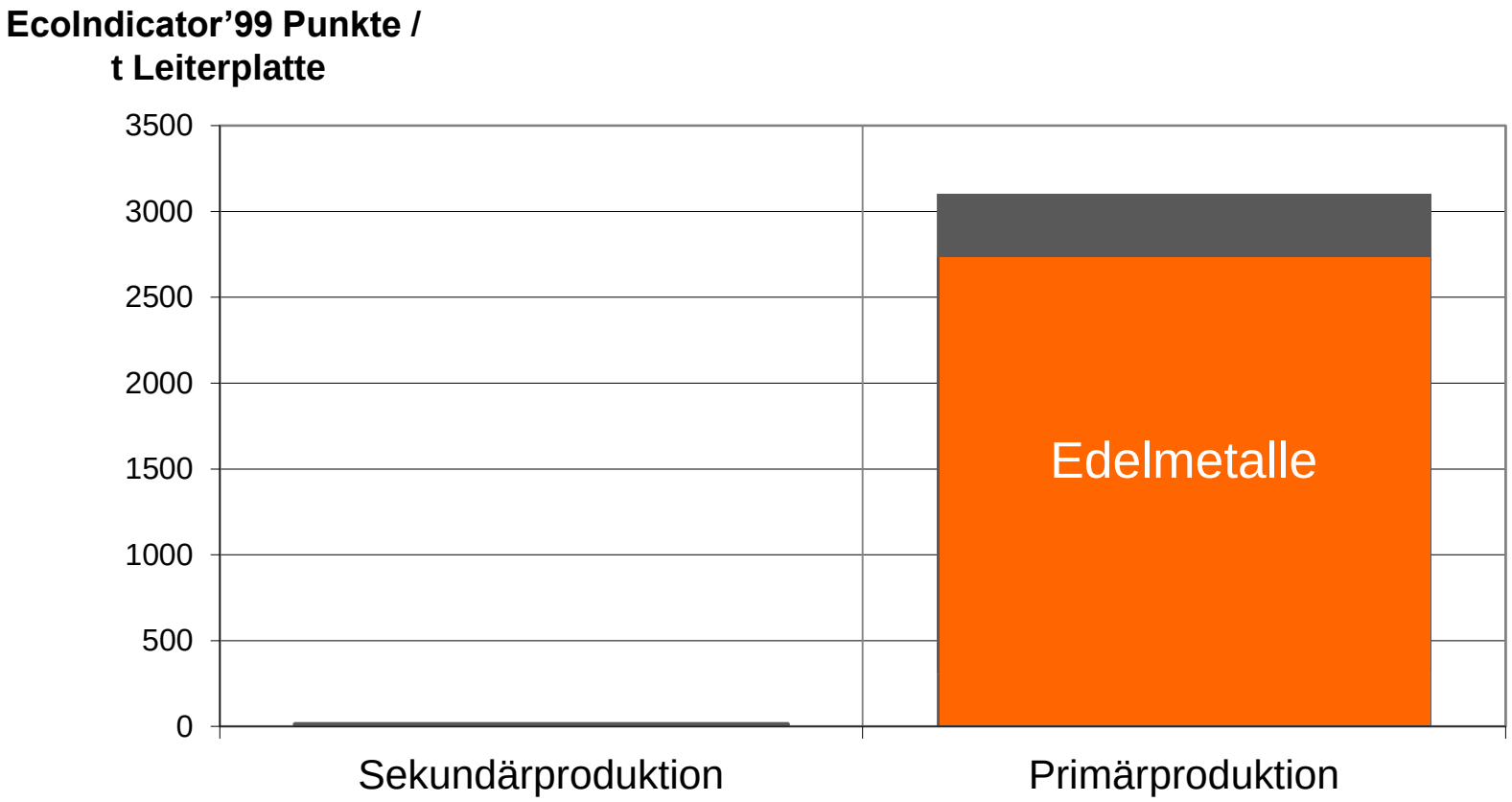
abgetrennte Komponenten / Fraktionen / Elemente

z.B. 50% x 90% x ~~80%~~ x 95% = ~~34%~~

s.Auch Hagelüken (2009))

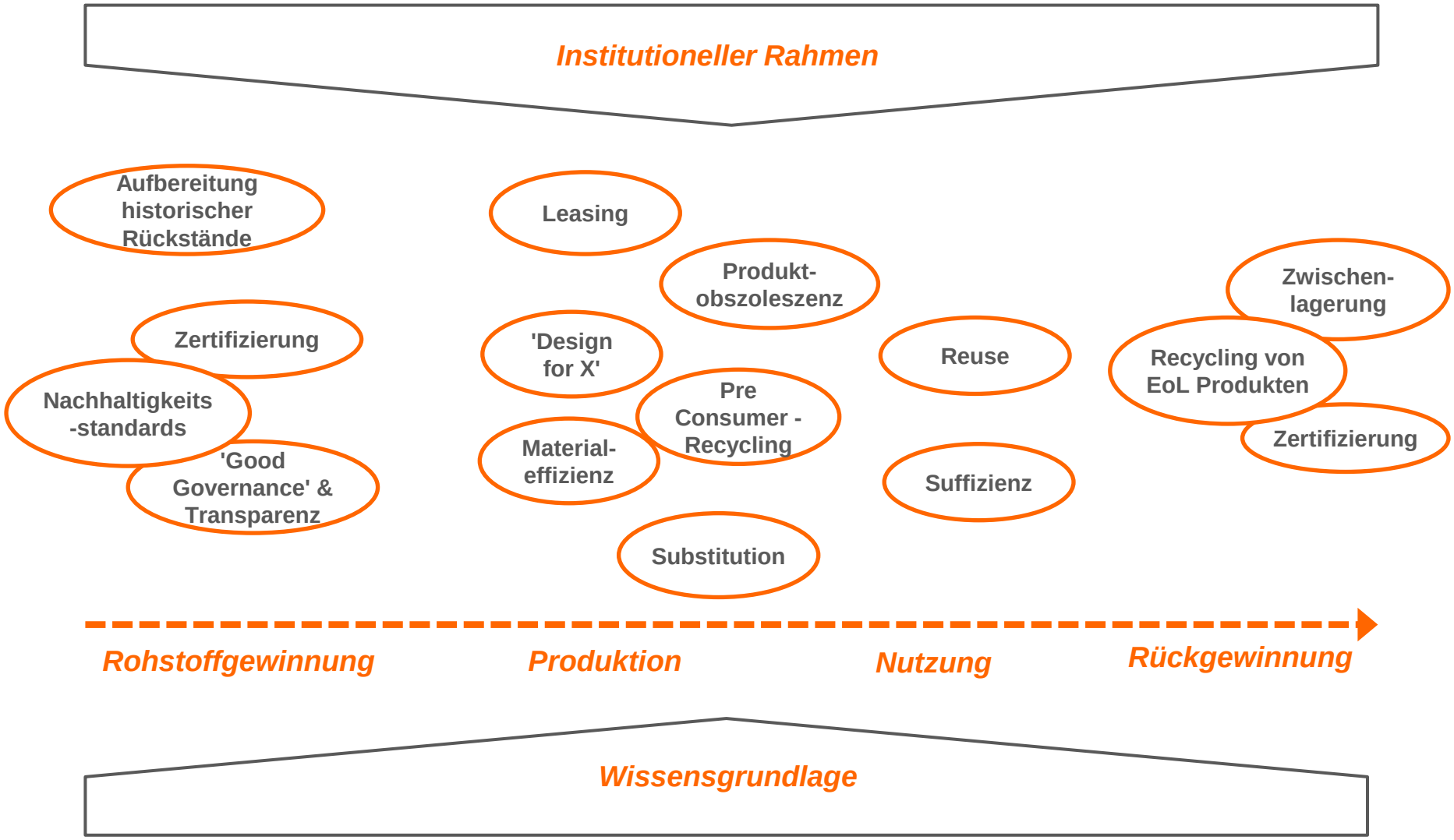
Recycling: Vergleich mit Primärproduktion

Metalle aus Leiterplatten



Wager et al. (2011) Environmental Impacts of the Swiss Collection and Recycling Systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Was können wir tun?



Wäger et al. (2011)

Fazit

- Seltene Metalle sind (aus heutiger Sicht) essentiell für eine Reihe von Zukunfts-technologien;
- Als speziell 'kritisch' sind derzeit folgende Technologiemetalle einzustufen: Antimon, Beryllium, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Niob, Platinmetalle, Seltene Erden, Tantal und Wolfram.
- Die Ursachen der 'Kritikalität' liegen insbesondere in der Konzentration des Abbaus und der Raffination der Rohstoffe auf wenige Länder, in fehlenden Substitutionsmöglichkeiten und in geringen Recyclingraten.
- Im Hinblick auf einen nachhaltigeren Umgang mit Technologiemetallen sind verstärkte (Forschungs-)Aktivitäten insbesondere in den Bereichen der Substitution, des effizienten Einsatzes und der Rückgewinnung von Technologiemetallen erforderlich.

Vielen Dank für Ihre Aufmersamkeit!

patrick.waeger@empa.ch