



Kritikalität von Rohstoffen - wann platzt die Bombe?

Ein nicht nuklearer Blick auf das Ende der Welt

Wer ist der Typ da vorne eigentlich?

Wer ist das?

Martin Hillenbrand

- Wirtschaftsingenieur
- Student
- Podcaster

- Podcast Ressourcen.fm über Material- und Energierohstoffe
- Forschung zu Ressourcen und Rohstoffhandel

Was macht der?



Weitere Infos, Videos, usw.:
Ressourcen.fm/36c3

Worum geht es heute?



Zinnerz, Coltan (Columbit-Tantalit Mineral), Golderz, Wolframit



Grundlagen



3TG

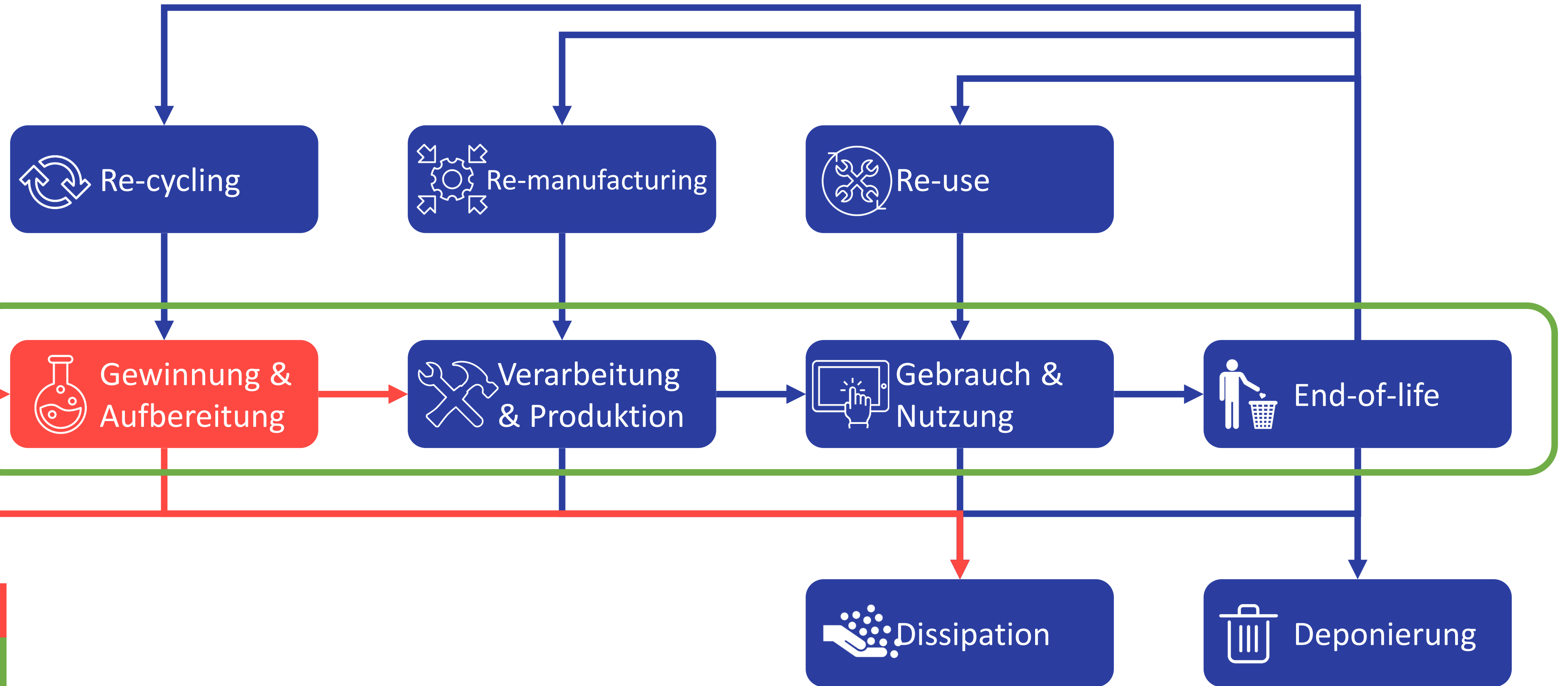
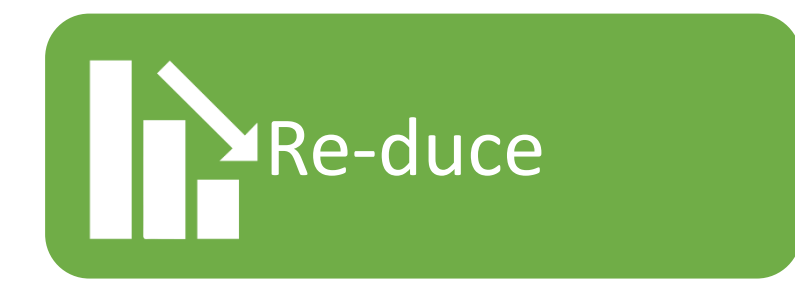


Kritikalität



Zukunft

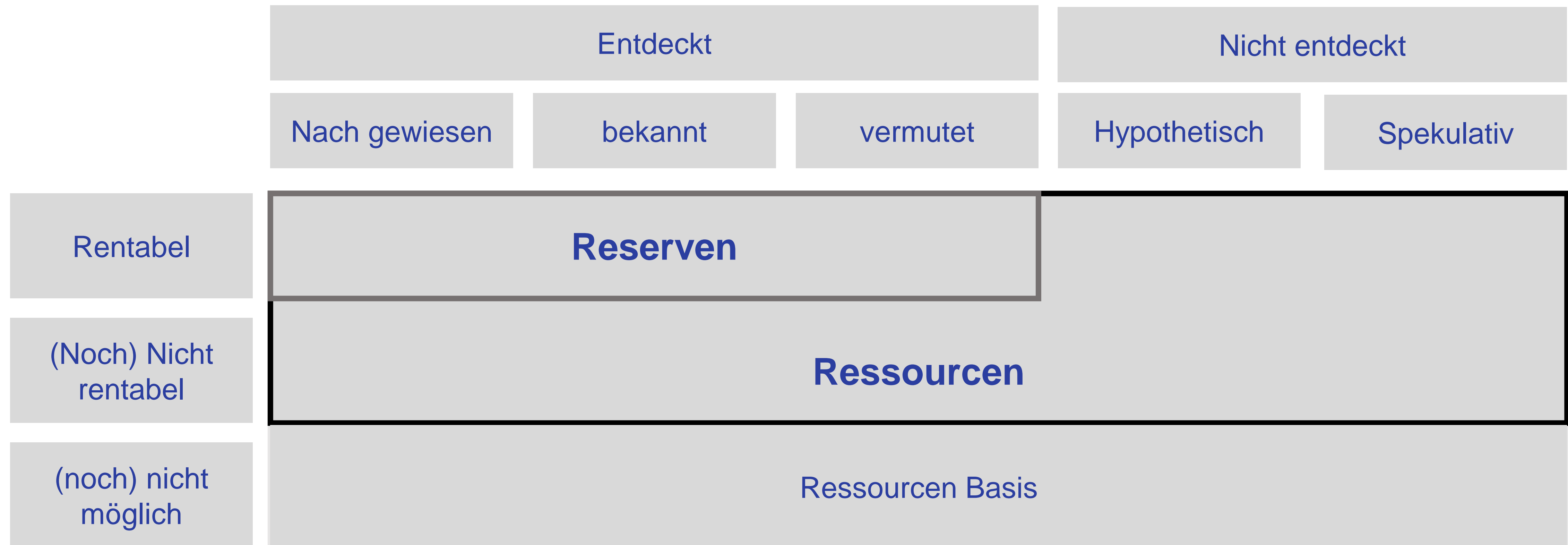
Von der Wiege bis zur Bahre



- Materialbezogen
- Prozessbezogen
- Produktbezogen

➔ Materialfluss

McKelvey Diagramm



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Was sind 3TG?



Zinnerz, Coltan (Columbit-Tantalit Mineral), Golderz, Wolframit

3TG = Tin, Tungsten, Tantalum, Gold
(Zinn, Wolfram, Tantal, Gold)

Abb.: Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0, <https://bdi.eu/artikel/news/rohstoffabbau-in-konfliktregionen/>

Grundlagen



3TG

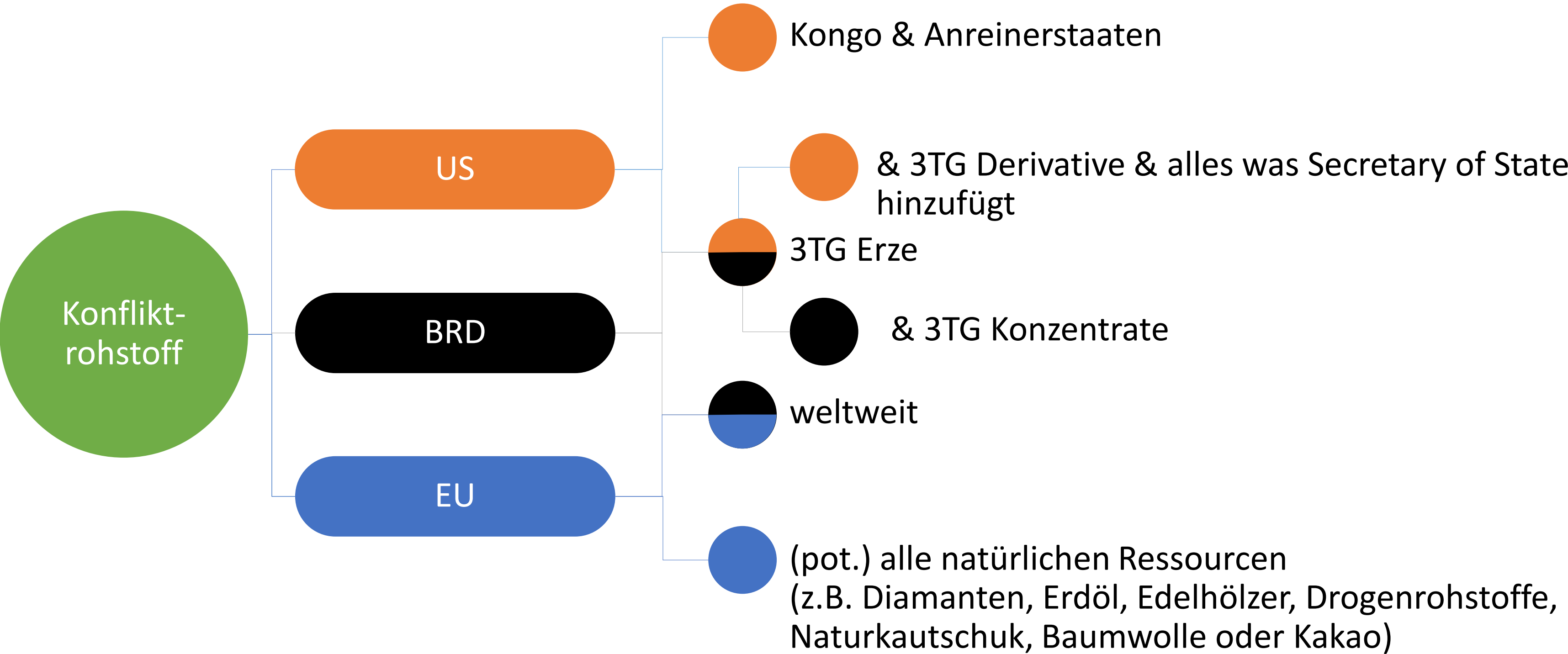


Kritikalität



Zukunft

Definition Konfliktrohstoffe



Artisanal and Small-Scale Mining (ASM)



Abb.: Mining in Kailo, Julien Harneis from Goma, Democratic Republic of Congo



Goldnugget
Gold



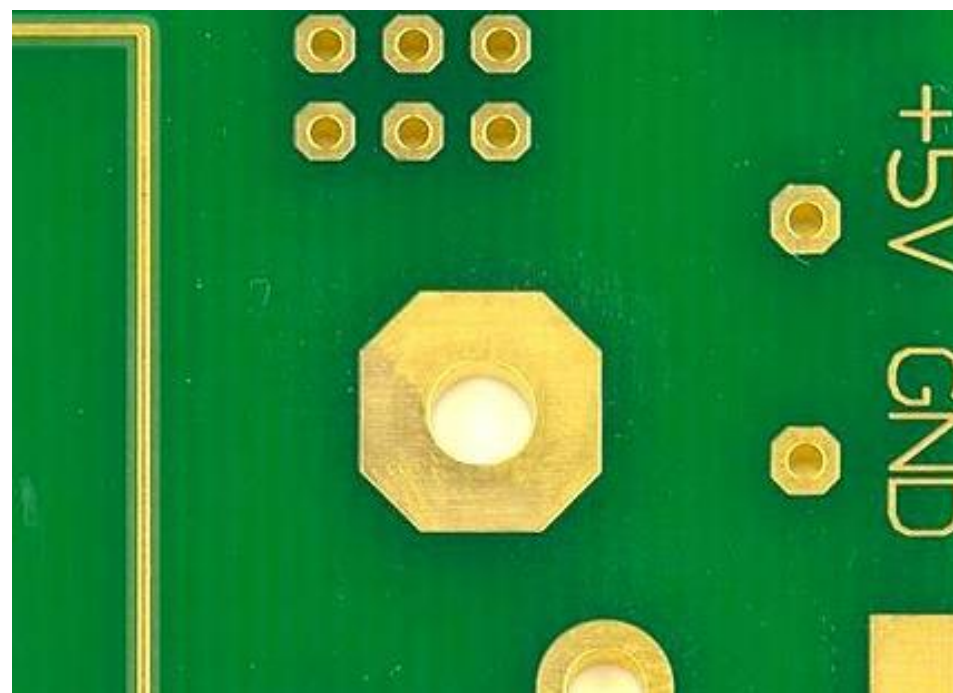
Wolframit
Wolframerz



Coltan
Tantalerz



Kassirit
Zinnerz



Gold
Goldkontakte



Wolfram
Glühdraht



Tantal
Einkristall



Zinn
Lötzinn

Abb.: Gold: Goldkontakt, gemeinfrei;
Goldnugget: Gold gemeinfrei;
Tantal: Einkristall, Alchemist-hp, CC-BY-NC-ND-3.0
Coltan: Rob Lavinsky, iRocks.com, CC-BY-SA-3.0

Wolfram: Glühwendel, gemeinfrei;
Wolframit: Wolfram Erz, Alchemist-hp (www.pse-mendeleejew.de), CC BY-SA 2.0 de;
Zinn: Lötzinn, gemeinfrei;
Kassiterit: Zinn Erz, Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0

Afrikanische Region der Großen Seen

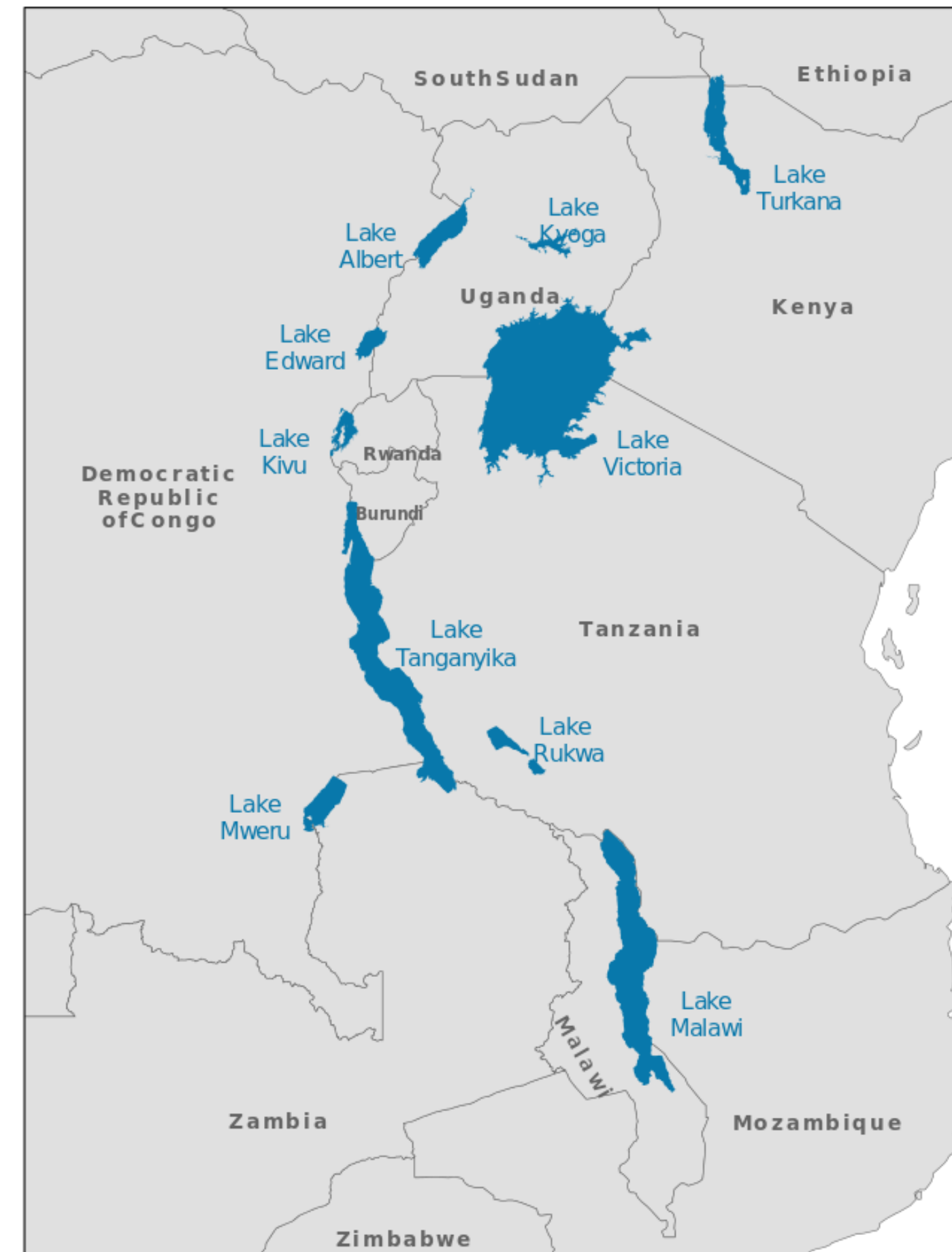
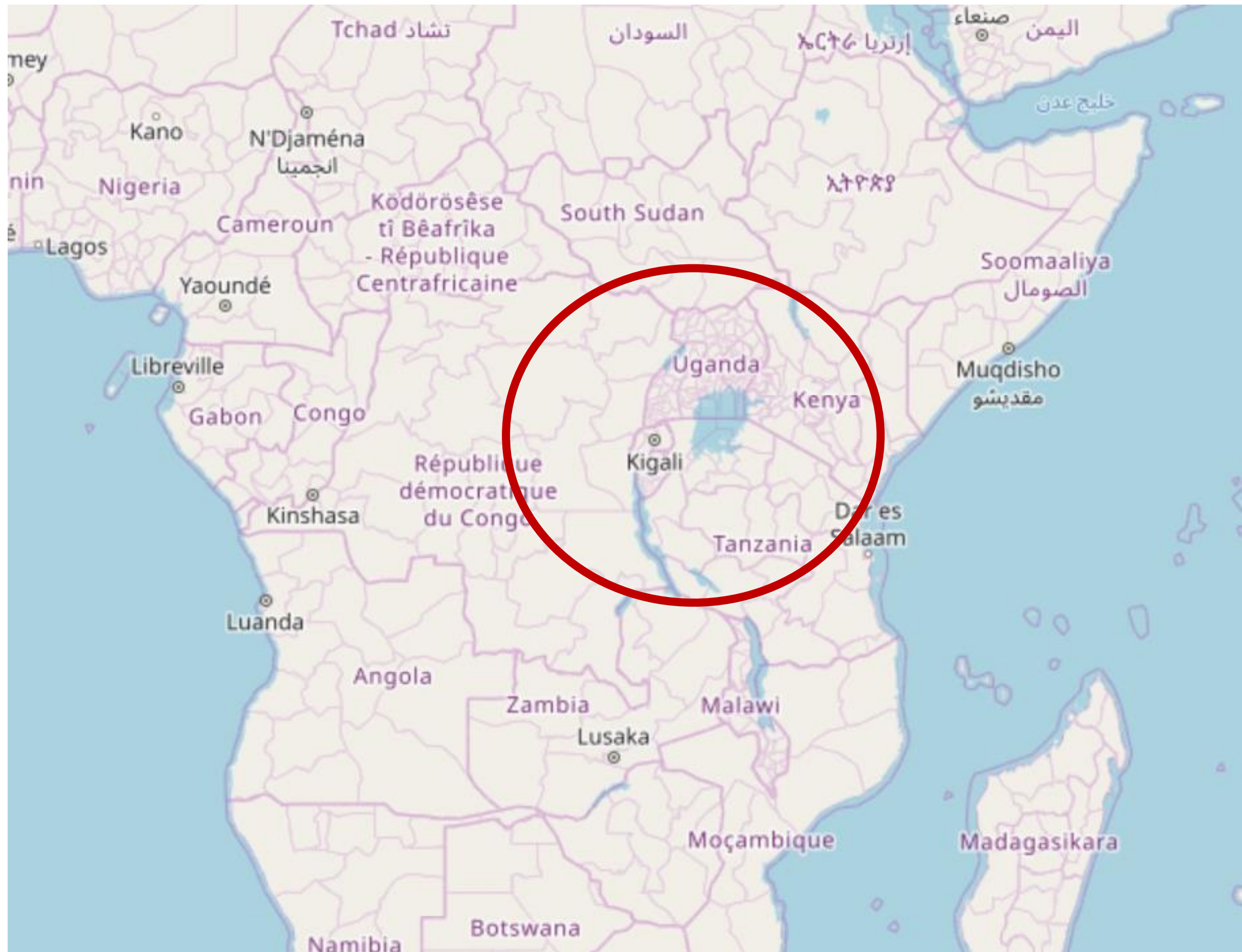
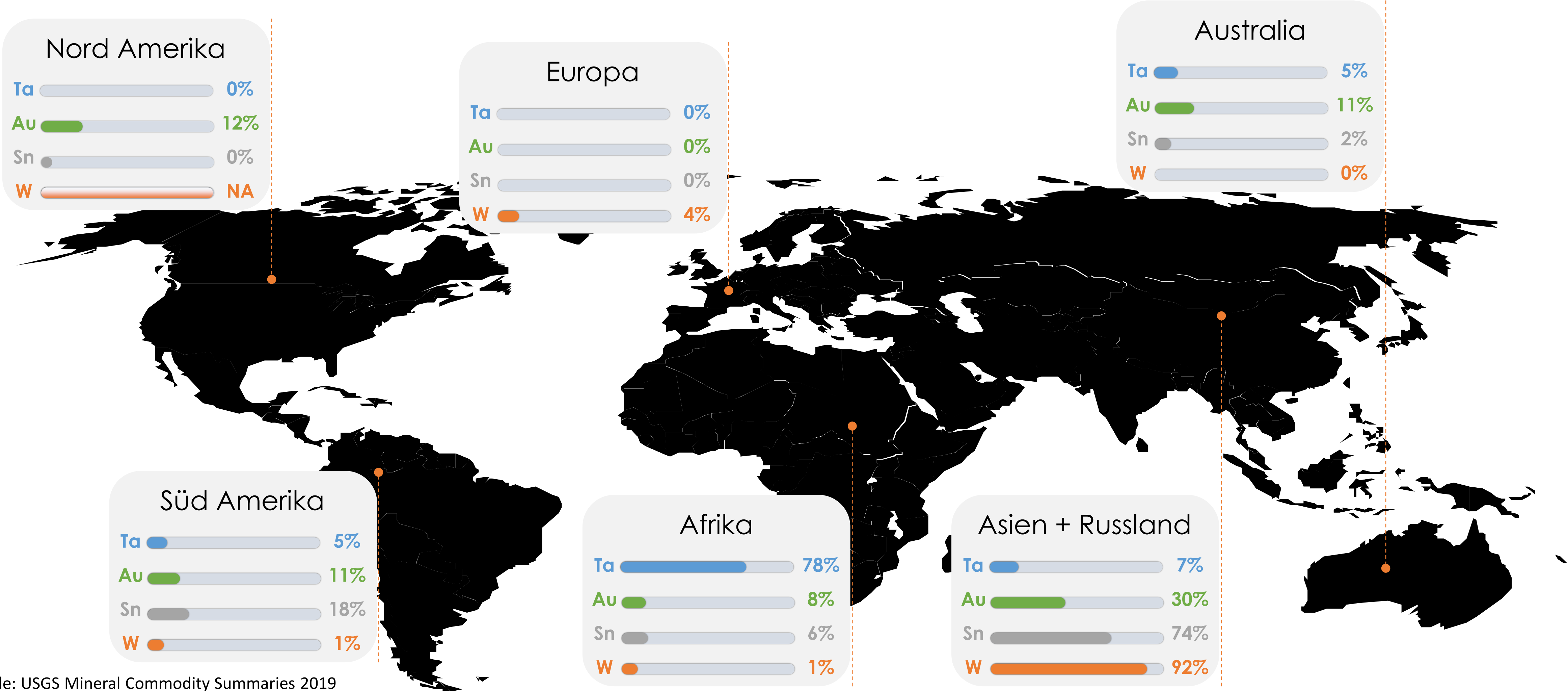


Abb.: Karte links, Openstreetmap.org, ODbL & CC-BY-SA-2.0; Karte rechts, MellonDor, CC-BY-SA-4.0

Weltproduktion



Quelle: USGS Mineral Commodity Summaries 2019

Grundlagen



3TG

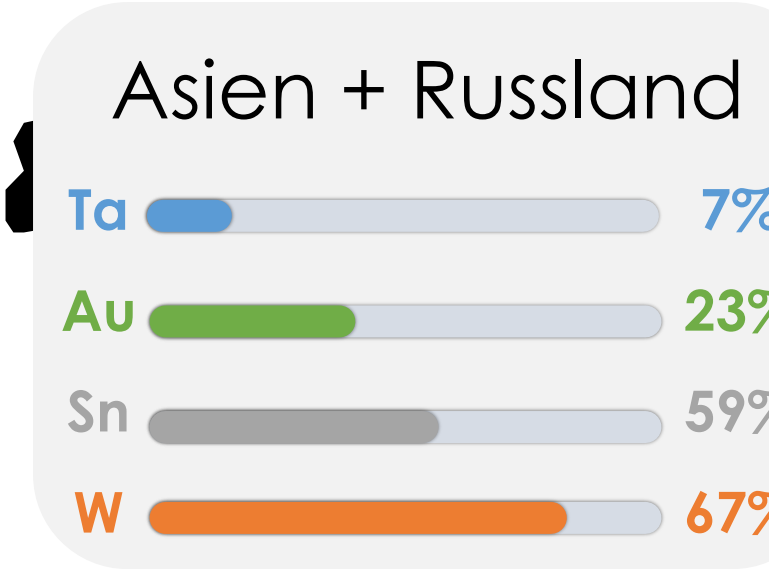
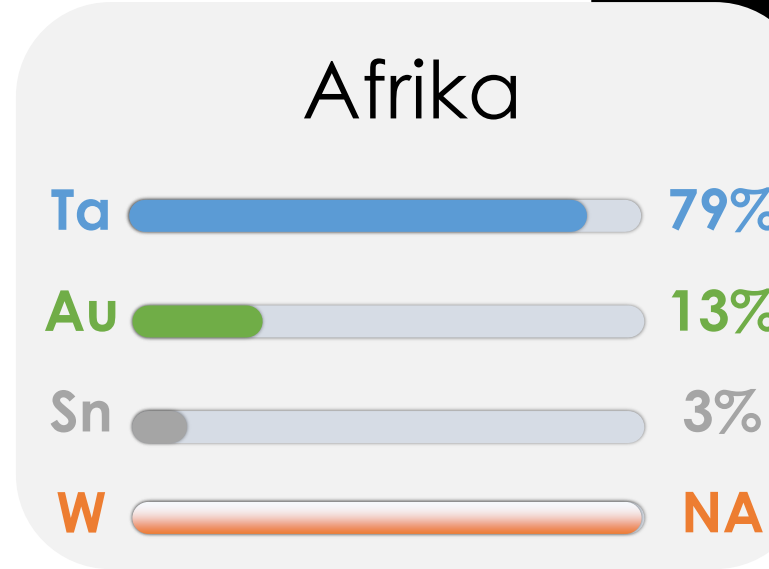
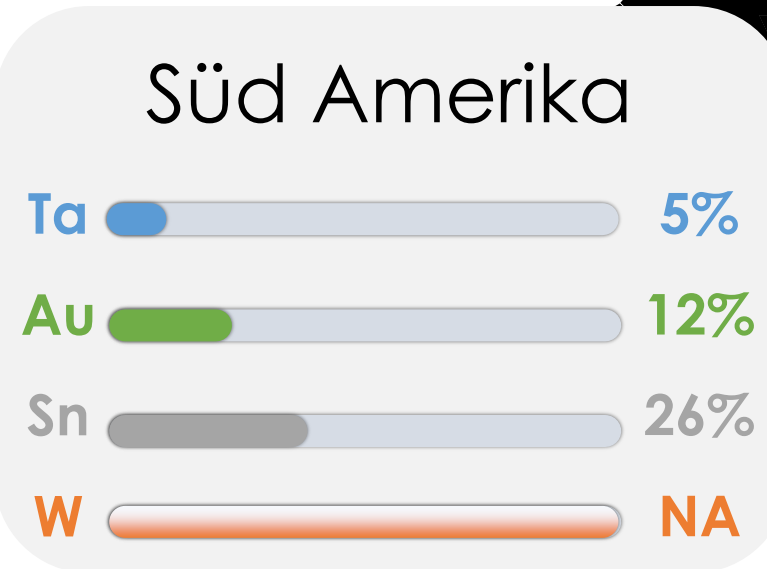
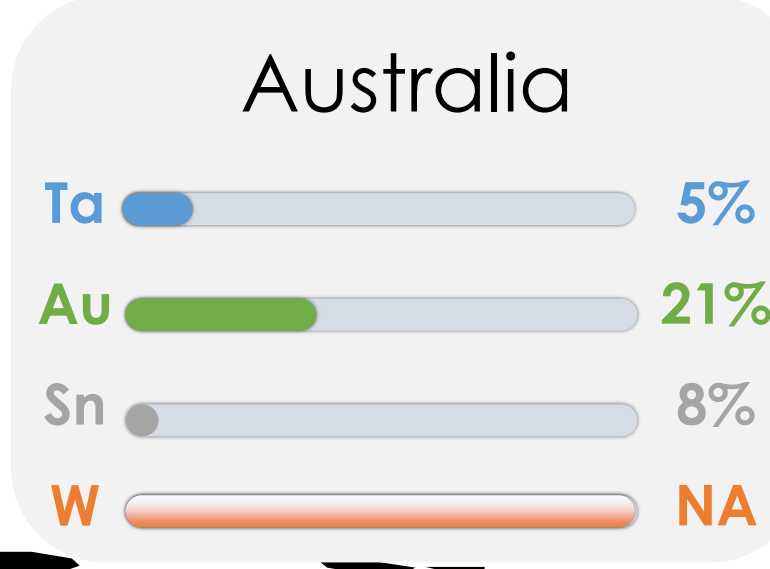
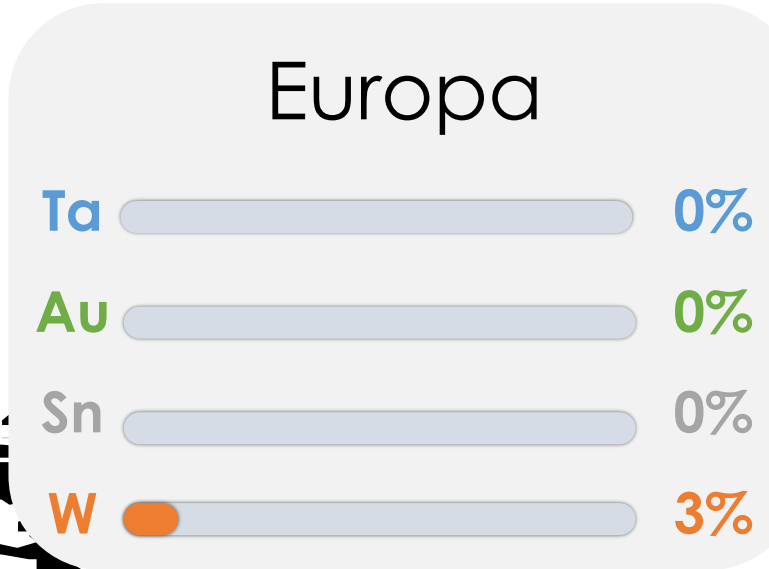
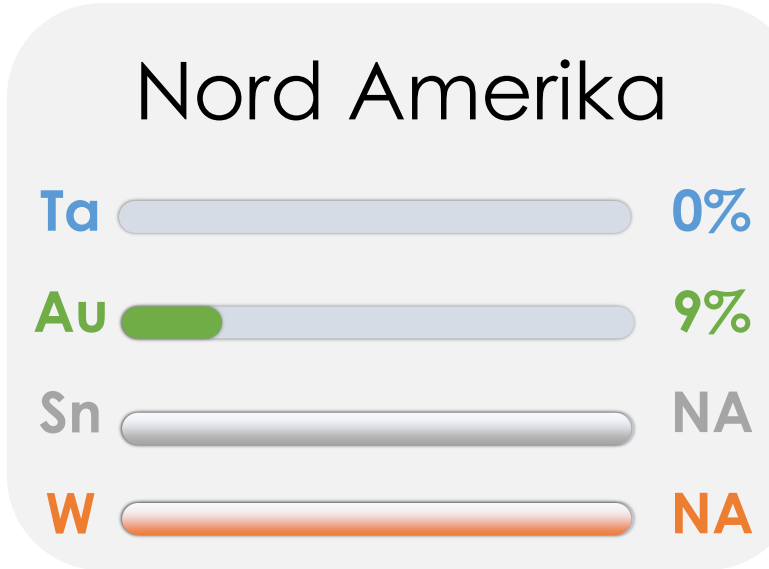


Kritikalität



Zukunft

Weltreserven



Quelle: USGS Mineral Commodity Summaries 2019

Grundlagen



3TG

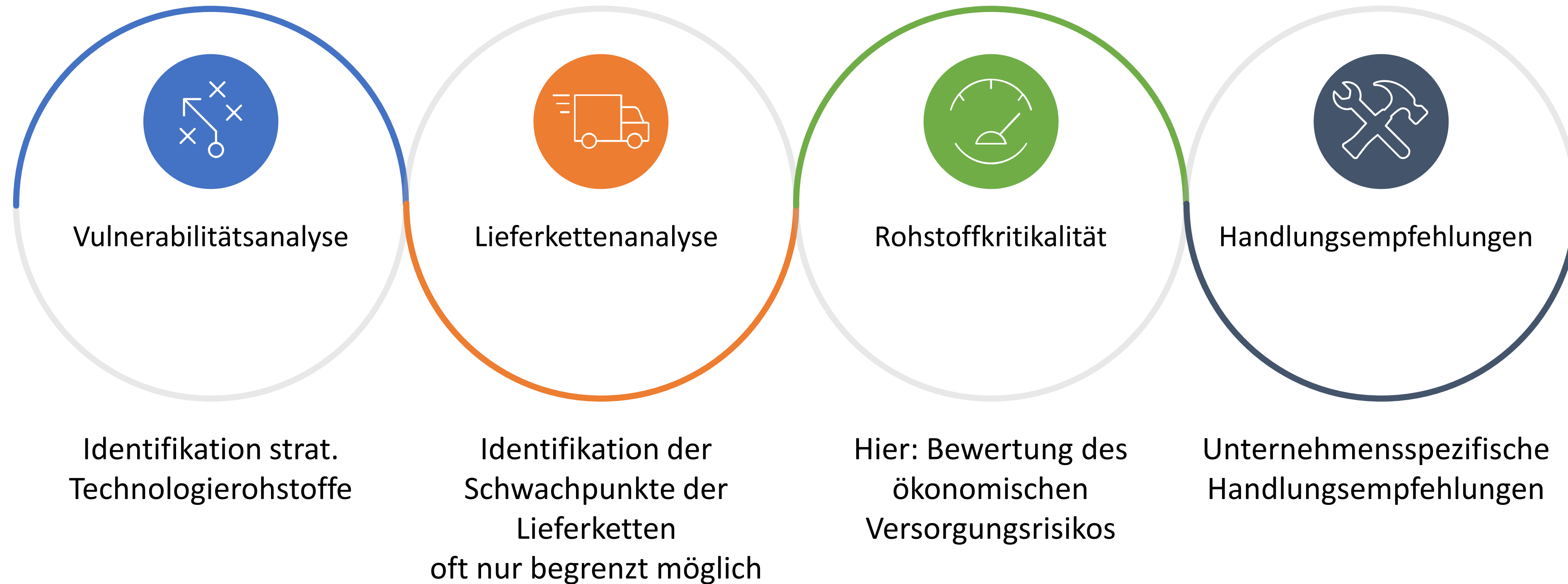


Kritikalität



Zukunft

Risikobewertung



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Risikobewertung



Grundlagen



3TG

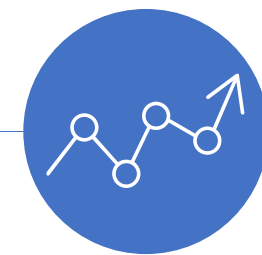
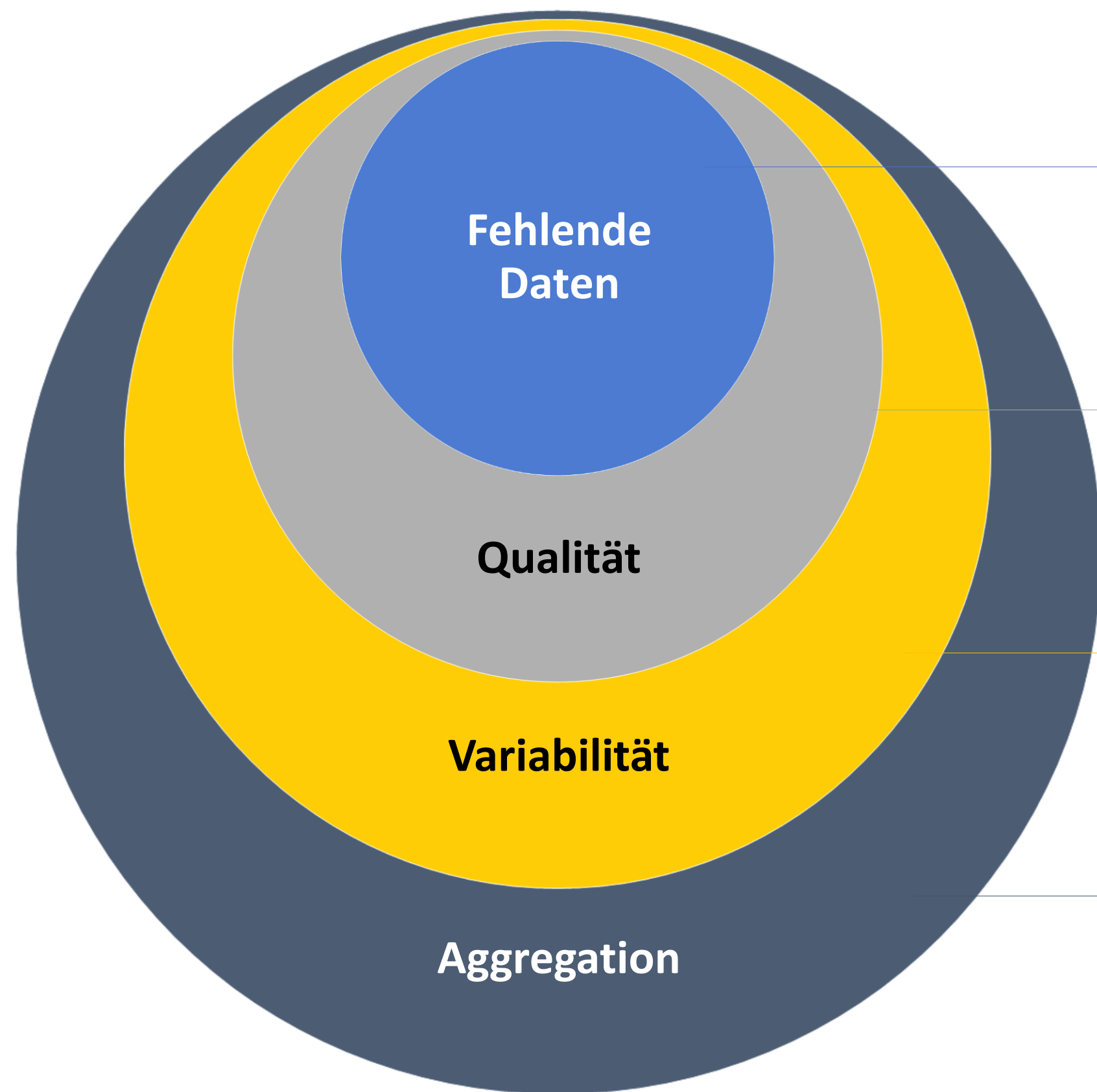


Kritikalität



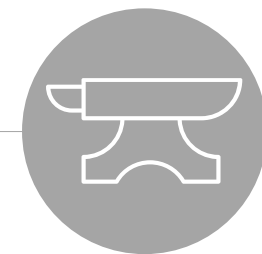
Zukunft

Vorgehen & Probleme



Schätzung

Pedegree Matrix, Approximation über Verteilungsfunktionen



Monte Carlo Simulation

10.000 simulierte Werte pro Datenpunkt



Normierung

Normierung auf Wert zwischen 0 (gut) und 100 (schlecht)



Gewichtung

Analytical Hierarchie Process (AHP) aus Tuma et al. 2014



Grundlagen



3TG

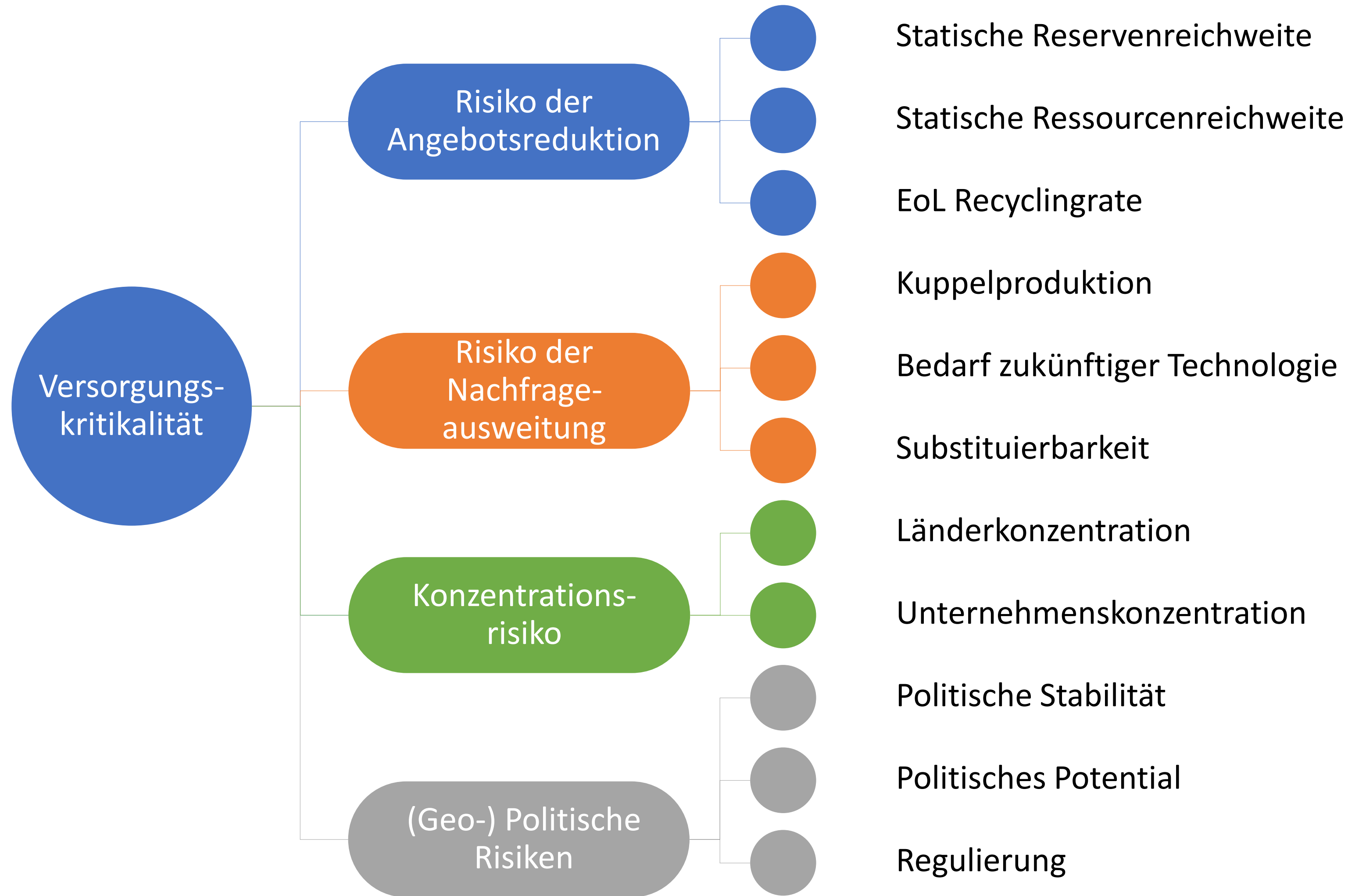


Kritikalität



Zukunft

Unser Vorgehen Kritikalitätsanalyse



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Risiko der Angebotsreduktion

Statische Reservenreichweite

$$SR(a) = \frac{\text{Reserven } (t)}{\text{Produktionsrate } \left(\frac{t}{a}\right)}$$

Datenquellen: United States Geological Survey: Mineral Commodity Summaries & Mineral Yearbook (2017, 2016), Reichl et al. (2017)

Einheit: Jahre

Min: 0 Jahre **Max:** ∞ Jahre

Normierung: $100 - 0,2 SR - 0,008 SR^2$

Statische Ressourcenreichweite

$$RR(a) = \frac{\text{Ressourcen } (t)}{\text{Produktionsrate } \left(\frac{t}{a}\right)}$$

Datenquellen: United States Geological Survey: Mineral Commodity Summaries & Mineral Yearbook (2004), AEA Technology and Defra (2010), Erdmann et al. (2011), Australian Government (2012), Reichl et al. (2017)

Einheit: Jahre

Min: 0 Jahre **Max:** ∞ Jahre

Normierung: $100 - 0,1 RR - 0,002 RR^2$

EoL Recyclingrate

EOL = *Literaturwert*

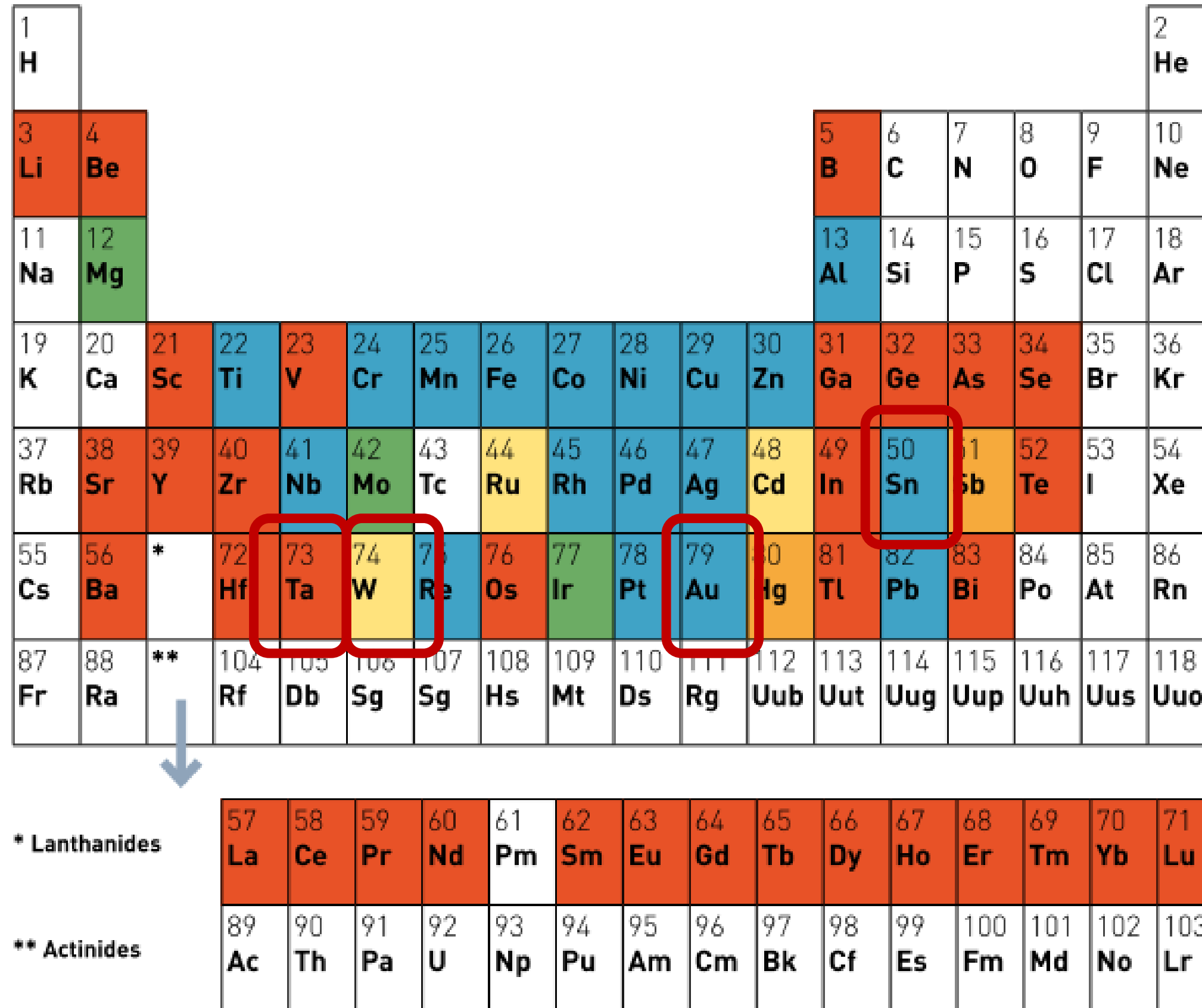
Datenquellen: Graedel et al. 2011a, Chapman et al. 2013, Goe und Gaustad 2014

Einheit: Prozent

Min: 0 % **Max:** 100 %

Normierung: $100 - \text{EoL}$

Recyclingrate & Reichweiten



(Jahre)	Ta	Sn	W	Au
Stat. Reservenreichweite (Basis: 2017)	78,9	16,1	33,8	18,4
Stat. Ressourcenreichweite (Basis: 2004)	103,3	16,9	17,8	32,5
EoL-Recyclingrate	13,2%	39,3%	24%	24%

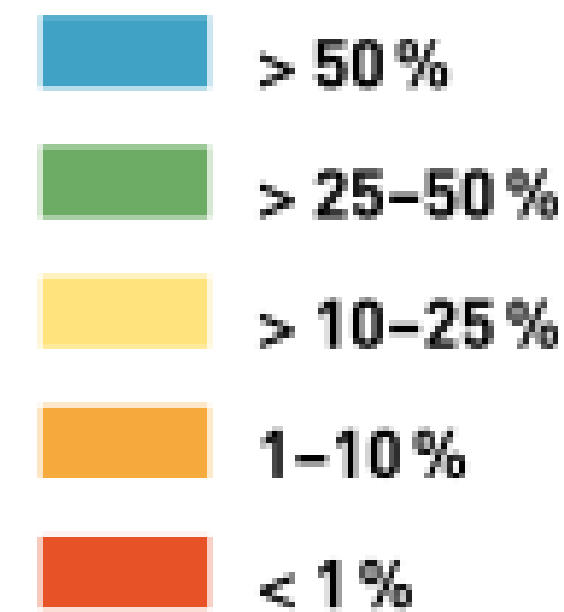
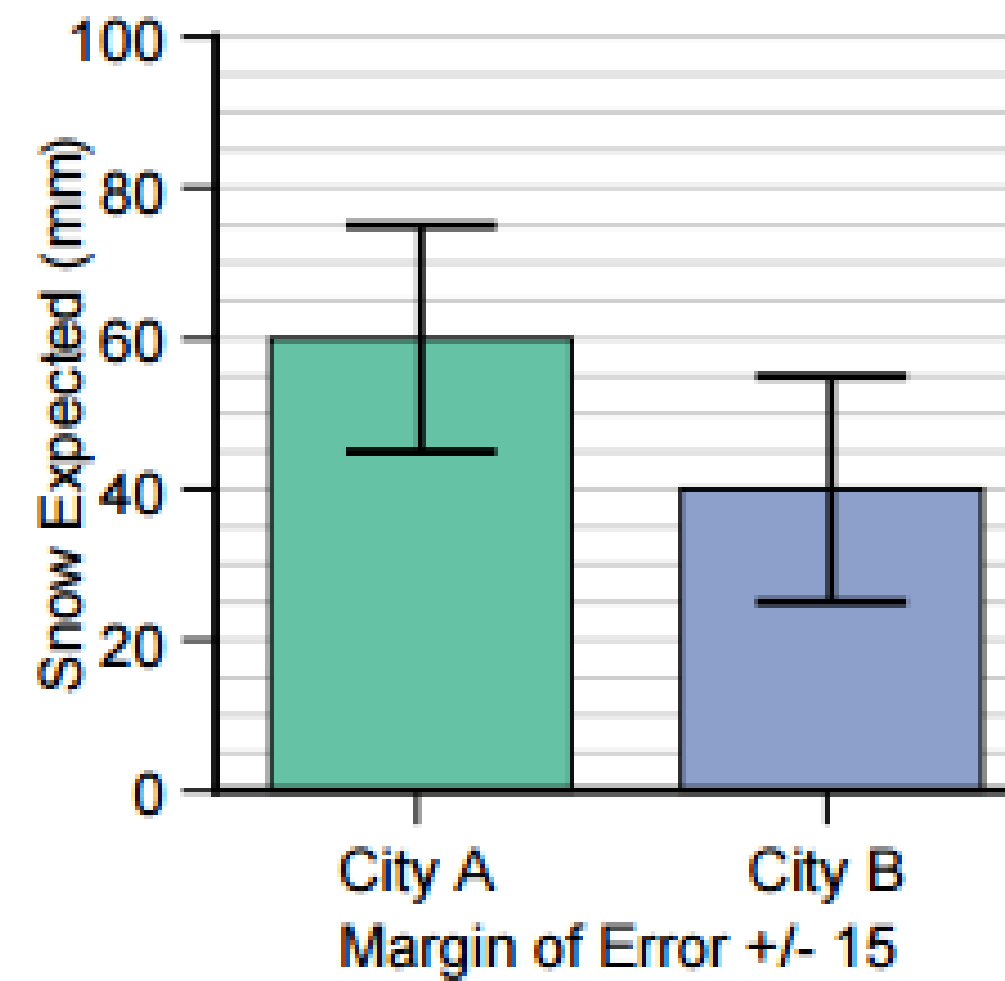


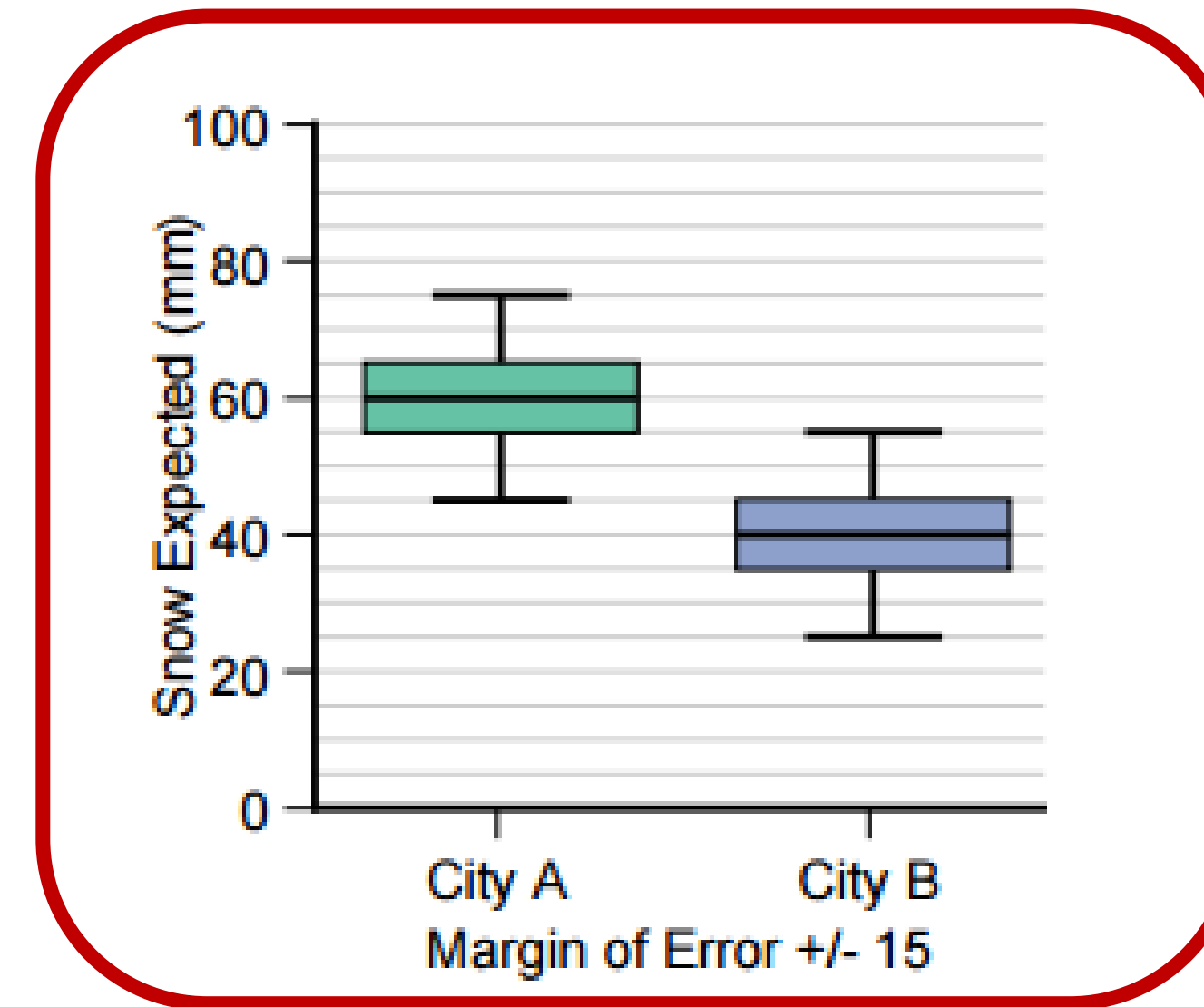
Abb.: UNEP (2011), End-of-Life Recycling rates of 60 metals



Exkurs: Box Plot Diagramme



(a) **Bar chart** with error bars: the height of the bars encodes the sample mean, and the whiskers encode a 95% t-confidence interval.



(b) **Modified box plot**: The whiskers are the 95% t-confidence interval, the box is a 50% t-confidence interval.

Abb.: Corell & Gleicher (2014)

Grundlagen



3TG

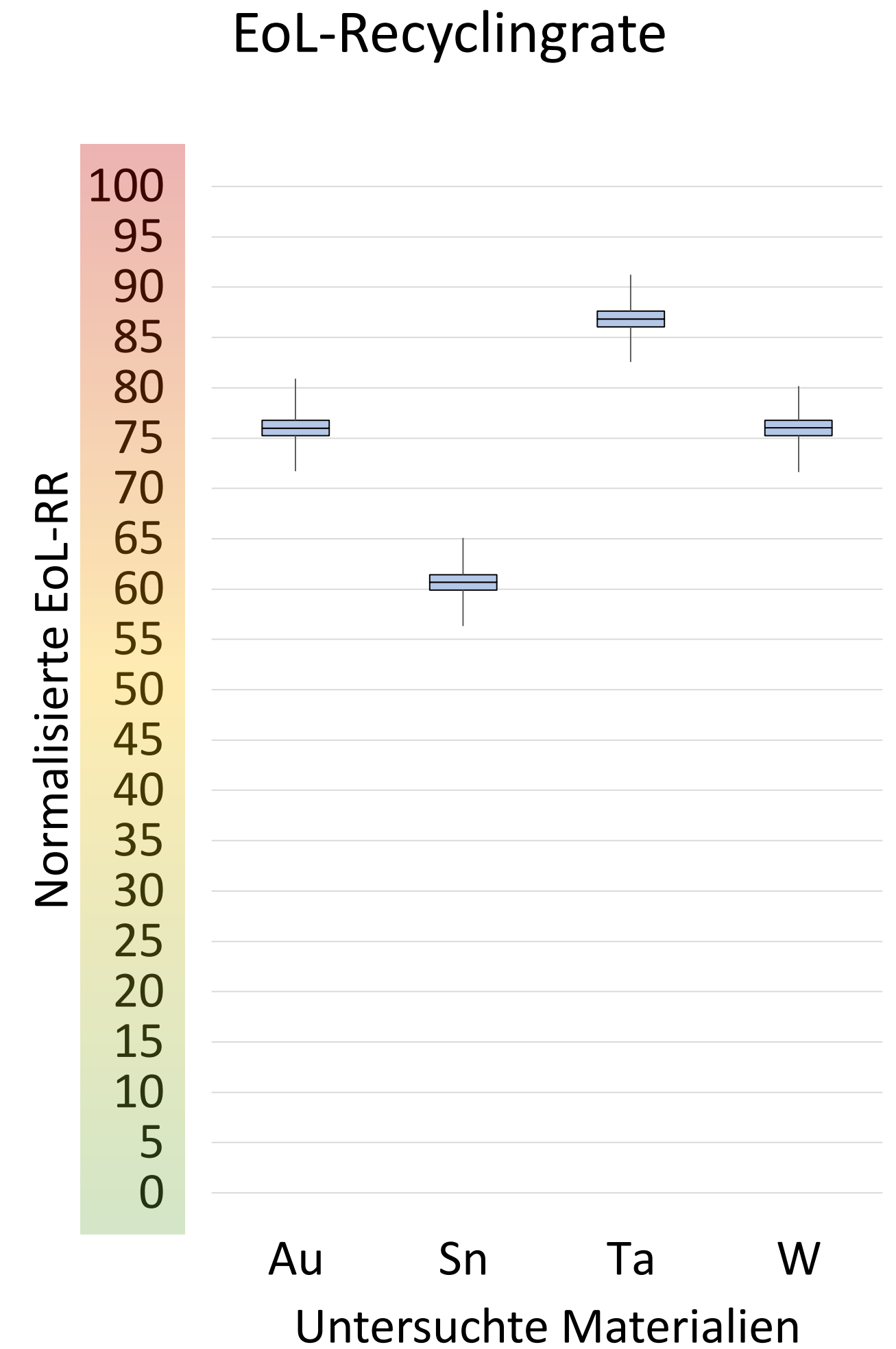
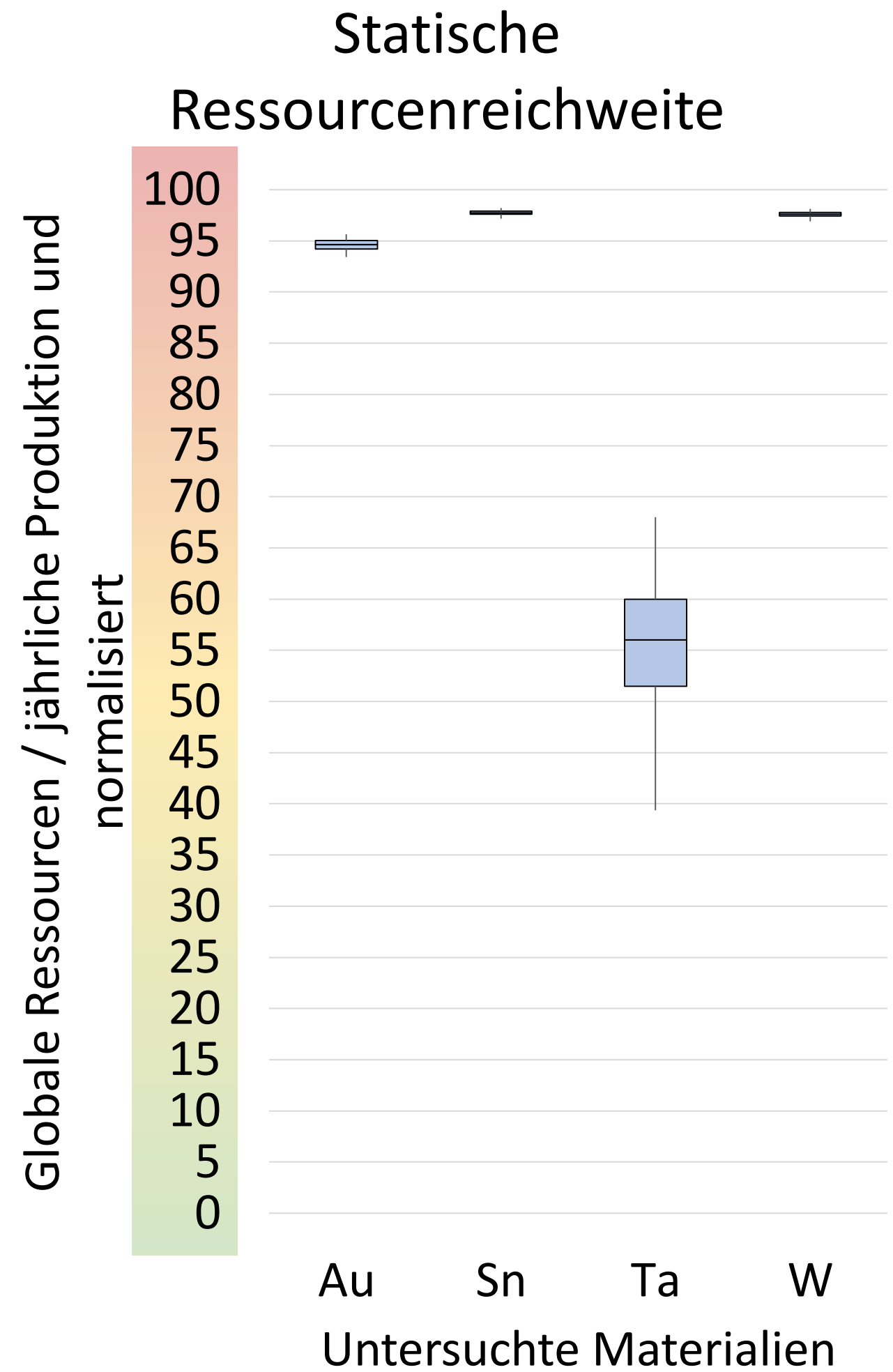
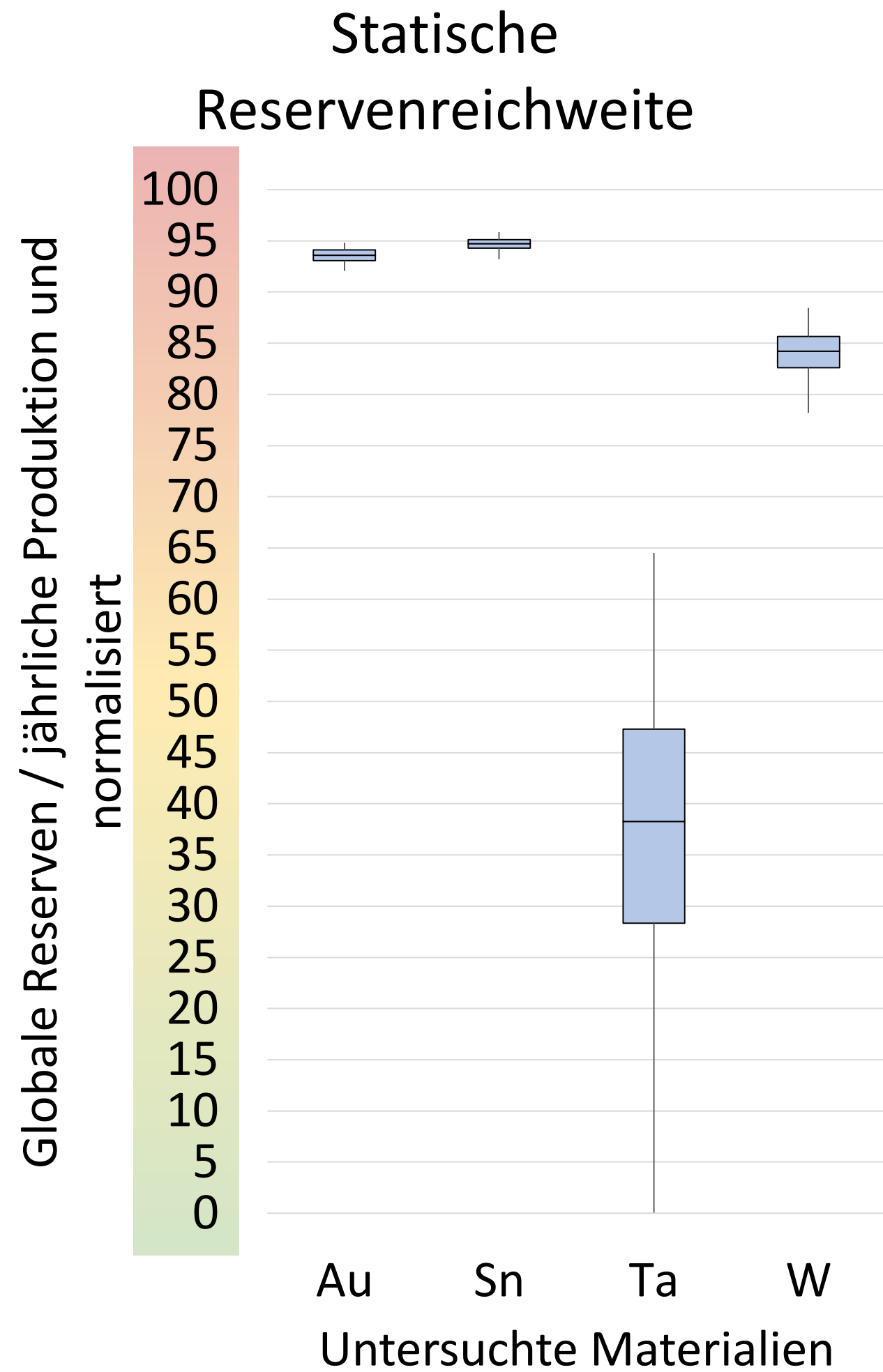


Kritikalität



Zukunft

Risiko Angebotsreduktion



Risiko der Nachfrageausweitung

Kuppelproduktion

$$KP\left(\frac{t}{a}\right) = \frac{\text{Kuppelproduktionsrate}\left(\frac{t}{a}\right)}{\text{Produktionsrate}\left(\frac{t}{a}\right)}$$

Datenquellen: Nassar et al. 2015, Reichl et al. 2017

Einheit: Prozent

Min: 0 %

Max: 100 %

Normierung: KP

Bedarf zukünftiger Technologie

$$ZB\left(\frac{t}{a}\right) = \frac{\text{Nachfrage 2030}\left(\frac{t}{a}\right)}{\text{Produktionsrate}\left(\frac{t}{a}\right)}$$

Datenquellen: Moss et al. 2013, Reichl et al. 2017

Einheit: Prozent

Min: 0 %

Max: ∞ %

Normierung: $\left(\left(\sqrt[t]{1 + ZB}\right) - 1\right) * 1000$
t=24 years

Substituierbarkeit

$$SB\left(\frac{t}{a}\right) = \text{Expertenschätzung}$$

Datenquellen: Graedel et al. 2015, Erdmann et al. 2011, Chapman et al. 2013

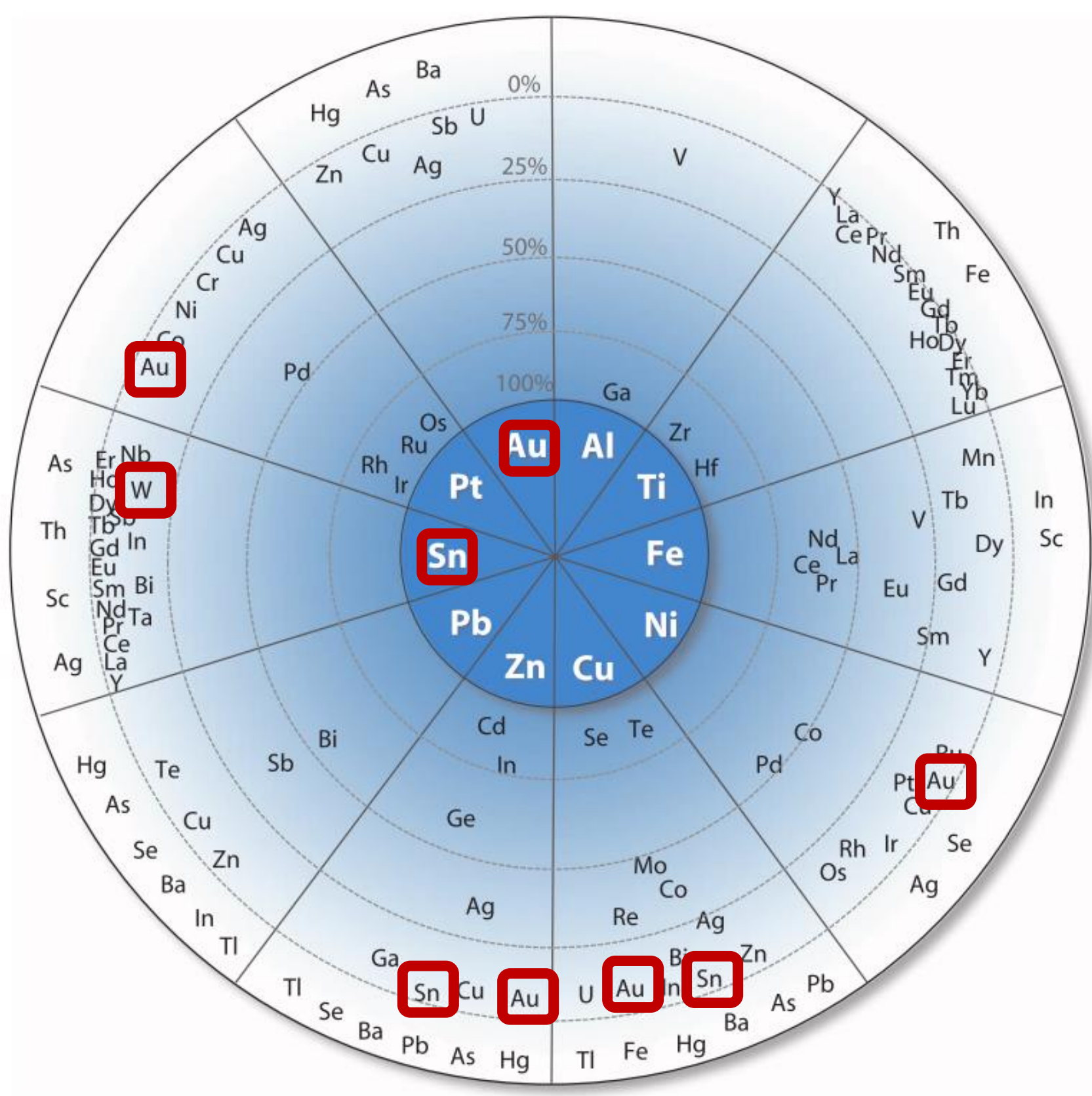
Einheit: Dimensionslos

Min: 0

Max: 100

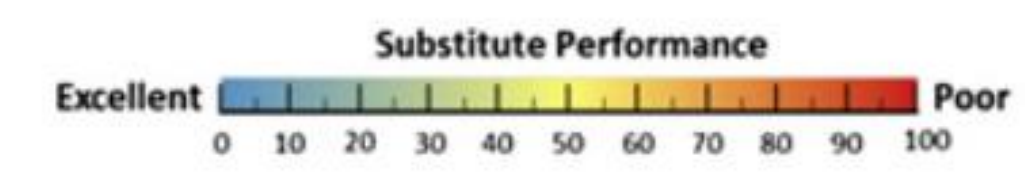
Normierung: 100 - SB

Kuppelproduktion, Substituierbarkeit & Nachfrageanstieg



H																	He
Li 41	Be 63											B 41	C	N	O	F	Ne
Na	Mg 94											Al 44	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc 65	Ti 63	V 63	Cr 76	Mn 96	Fe 57	Co 54	Ni 62	Cu 70	Zn 38	Ga 38	Ge 44	As 38	Se 47	Br	Kr
Rb	Sr 78	Y 95	Zr 66	Nb 42	Mo 70	Tc	Ru 63	Rh 96	Pd 39	Ag 44	Cd 38	In 60	Sn 36	Sb 57	Te 38	I	Xe
Cs	Ba 63	*	Hf 38	Ta 41	W 53	Re 90	Os 38	Ir 69	Pt 66	Au 40	Hg 45	Tl 100	Pb 100	Bi 46	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Ru	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

* Lanthanides	La 75	Ce 60	Pr 41	Nd 41	Pm	Sm 38	Eu 100	Gd 63	Tb 63	Dy 100	Ho 63	Er 63	Tm 88	Yb 88	Lu 63
** Actinides	Ac	Th 35	Pa	U 63	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

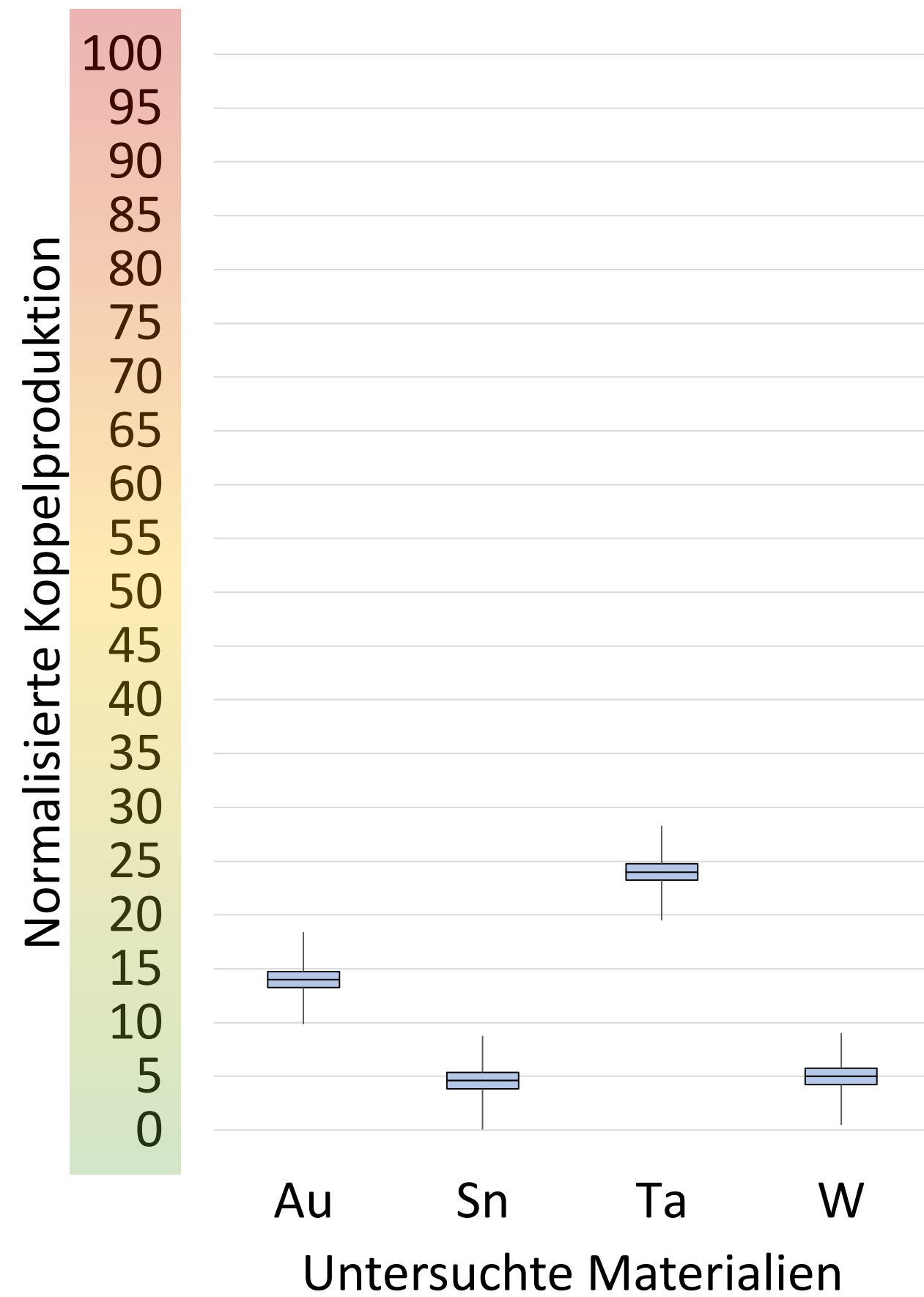


(%)	Ta	Sn	W	Au
Nachfrageanstieg bis 2030	143%	134%	205%	231%

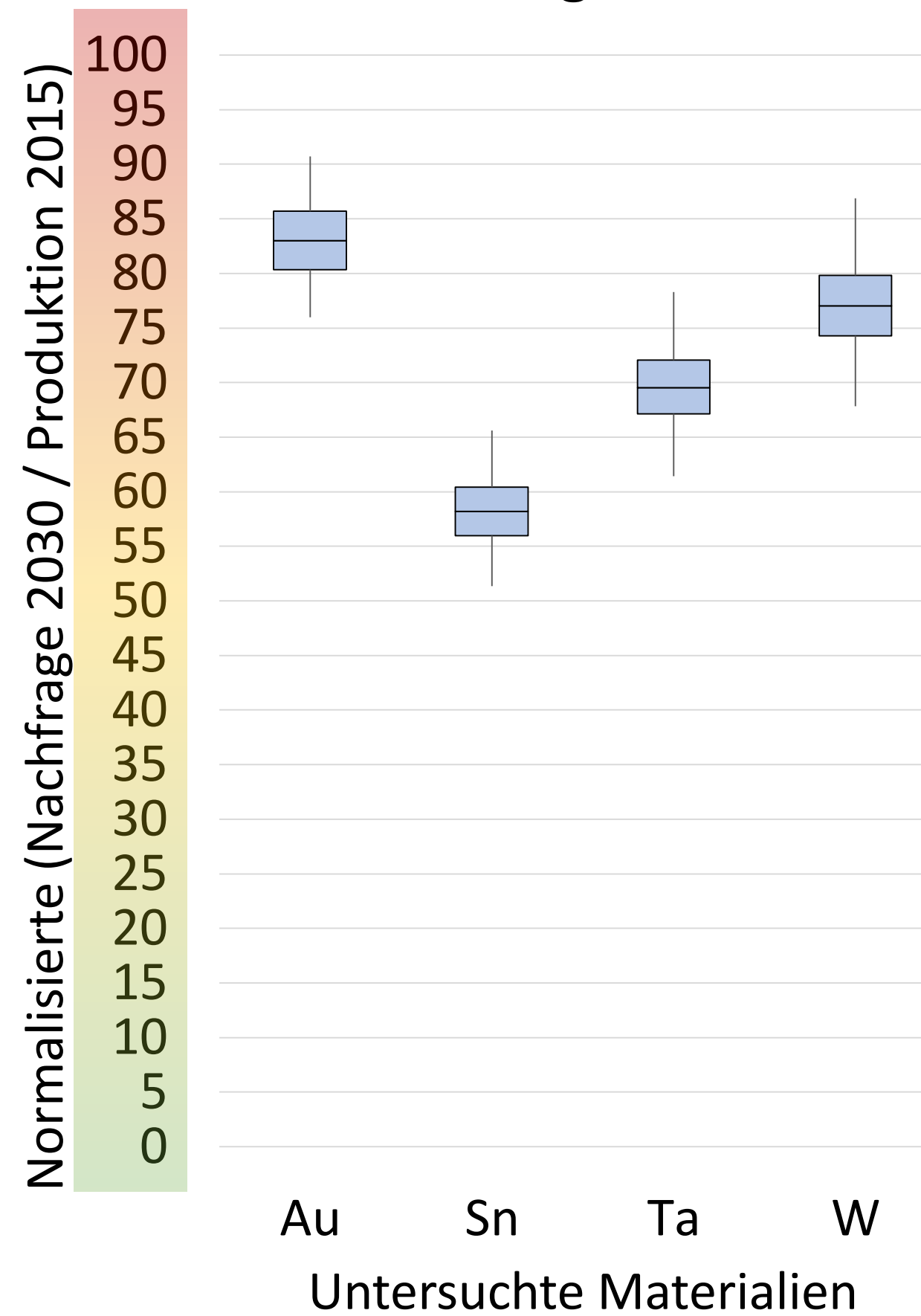
Abb.: Nassar et al. (2015), Graedel et al. (2015)

Risiko Nachfrageausweitung

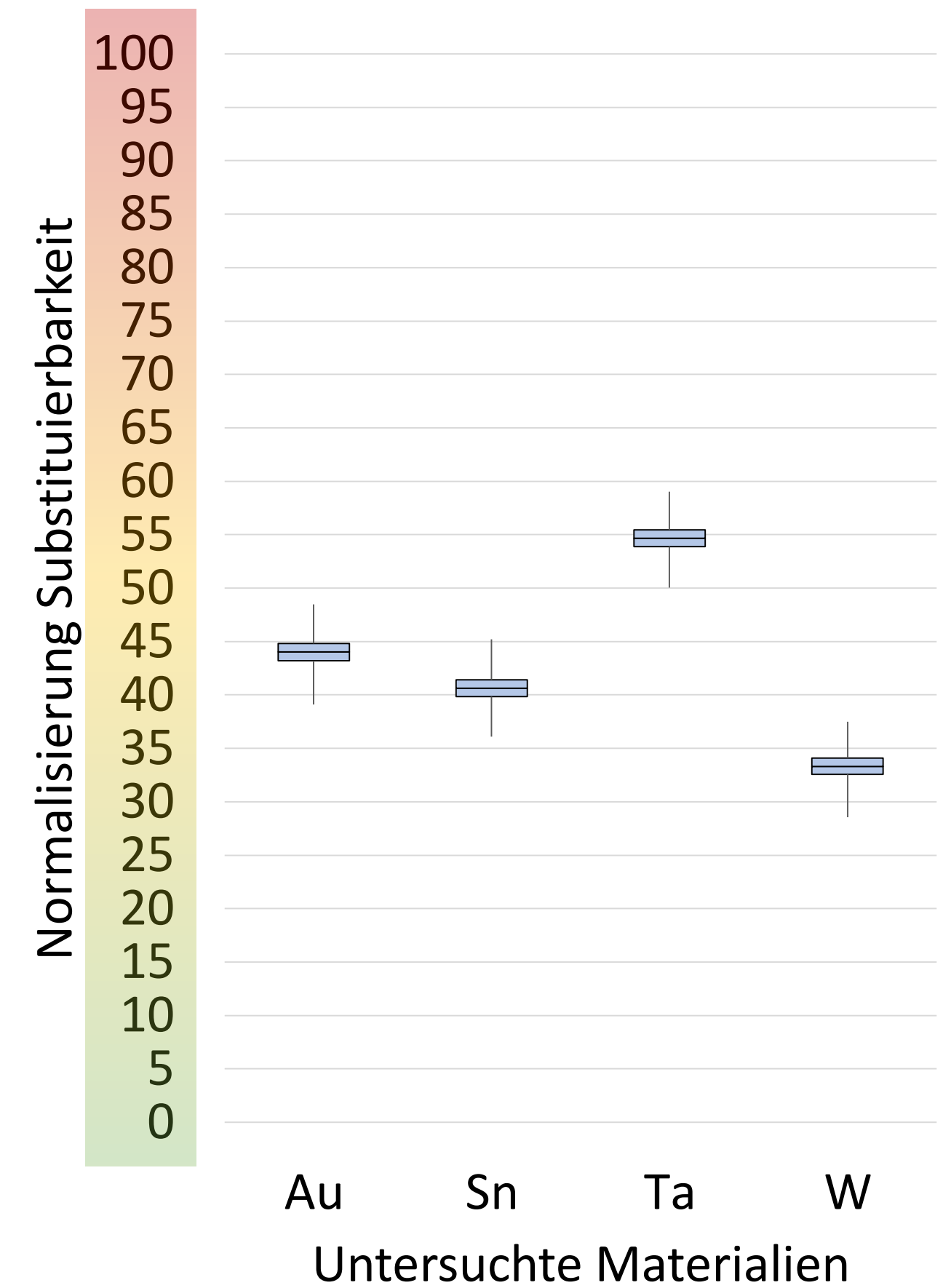
Kuppelproduktion



Bedarf zukünftiger Technologie



Substituierbarkeit



Konzentrationsrisiko

Länderkonzentration

$$LK = \sum Prod. Anteil_{Land}^2$$

Datenquellen: Reichl et al. (2017)

Einheit: Herfindahl-Hirschmann-Index

Min: 0

Max: 10.000

Normierung: $21.64 \ln(LK) - 99.31$

Unternehmenskonzentration

UK=Literaturwerte

Datenquellen: Chapman et al. 2013

Einheit: Herfindahl-Hirschmann-Index

Min: 0

Max: 10.000

Normierung: $15.81 \ln(UK) - 45.62$



Konzentrationsrisiko

(HHI)	Ta	Sn	W	Au
Länderkonzentration	2.997	2.459	6.659	574
Unternehmenskonzentration	3.259	2.883	6.921	1.917

Erklärung & Interpretation:

Herfindahl-Hirschman-Index Interpretation der EU Kommission:

- unter 1000 = niedrig
- von 1000 bis 1800 = mittelmäßig
- **über 1800** = stark

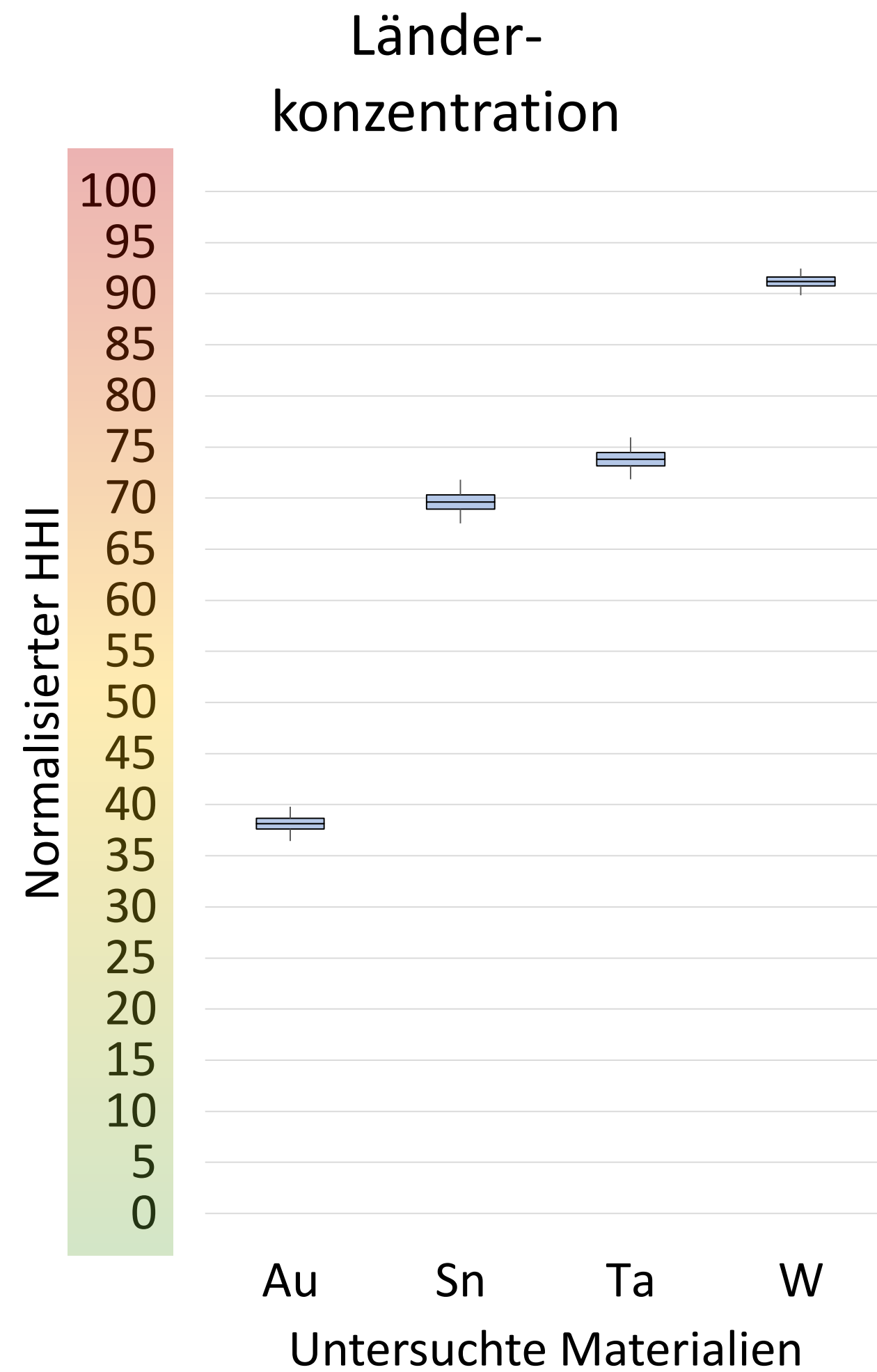
(EK, Glossar der Wettbewerbspolitik der EU (2004), S.25)

Prinzipiell ist ein HHI von **über 2.500** als kritisch und der entsprechende Markt als sehr konzentriert anzusehen.

(U.S. Department of Justice 2010)



Konzentrationsrisiko



(Geo-) Politische Risiken

Politische Stabilität

$$WGI = \sum Prod.Anteil_{Land} * WGI PV_{Land}$$

Datenquellen: Reichl et al. 2017, Kaufmann und Kraay 2017

Einheit: Political Stability and Absence of Violence/Terrorism

Min: -2,5 **Max:** 2,5

Normierung: $20 * (2.5 - WGI)$

Politisches Potential

$$PPI = \sum Prod.Anteil_{Land} * PPI_{Land}$$

Datenquellen: Fraser Institute (2016), Reichl et al. 2017

Einheit: Policy Perception Index

Min: 0 **Max:** 100

Normierung: $100 - PPI$

Regulierung

$$HDI = \sum Prod.Anteil_{Land} * HDI_{Land}$$

Datenquellen: Reichl et al. 2017, UNDP 2016

Einheit: Human Development Index

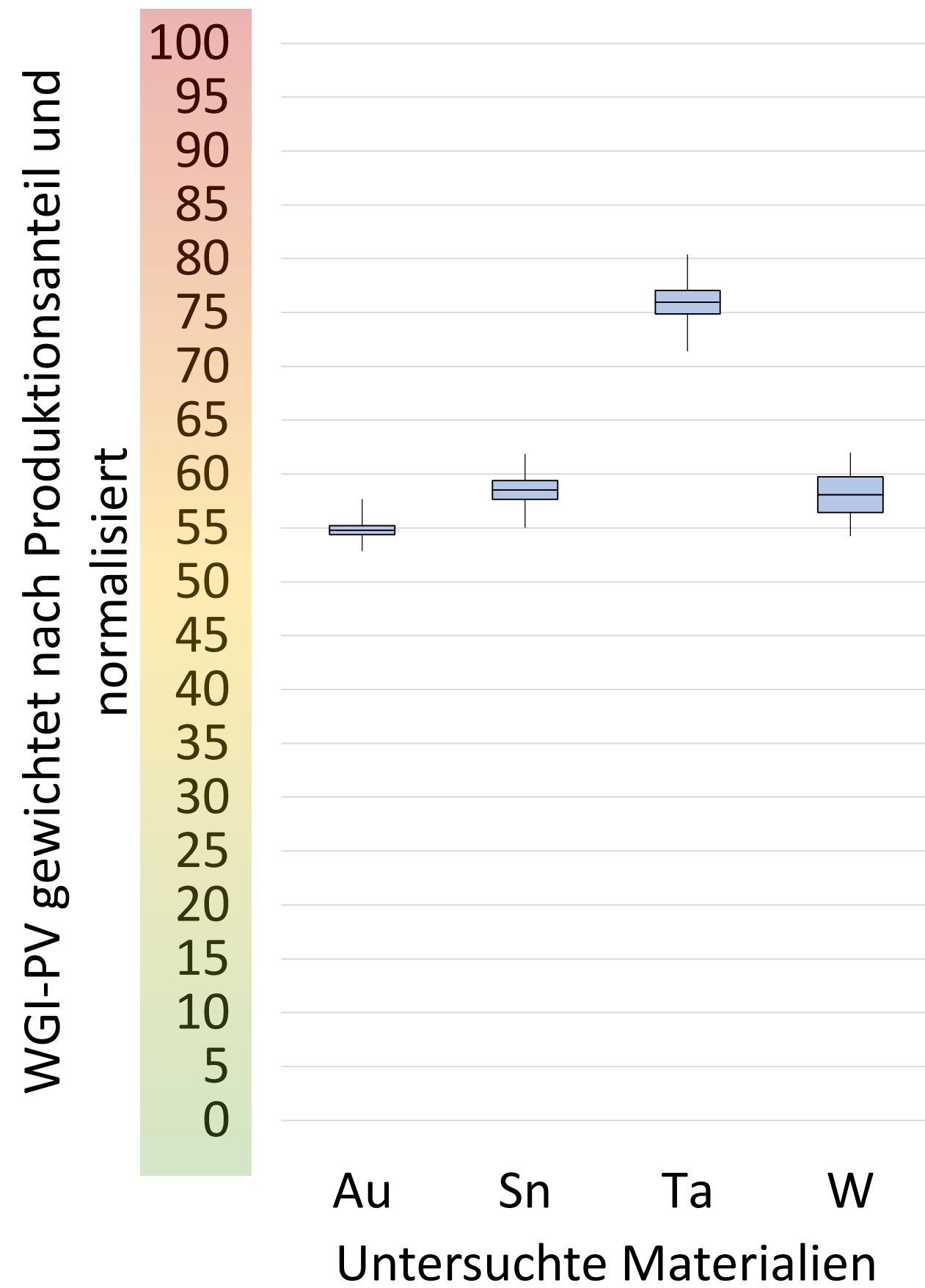
Min: 0 **Max:** 1

Normierung: $100 * HDI$

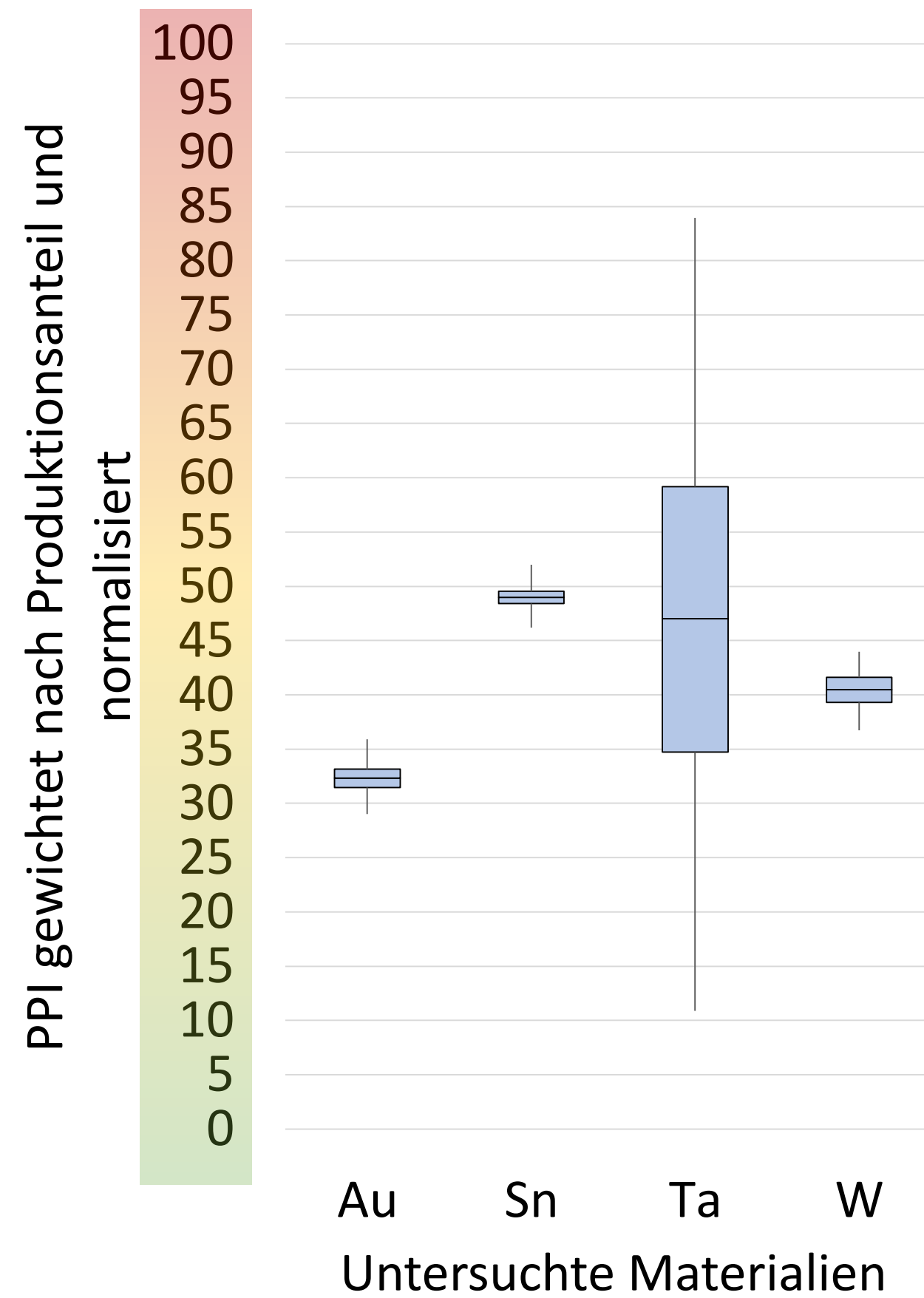


(Geo-) Politisches Risiko

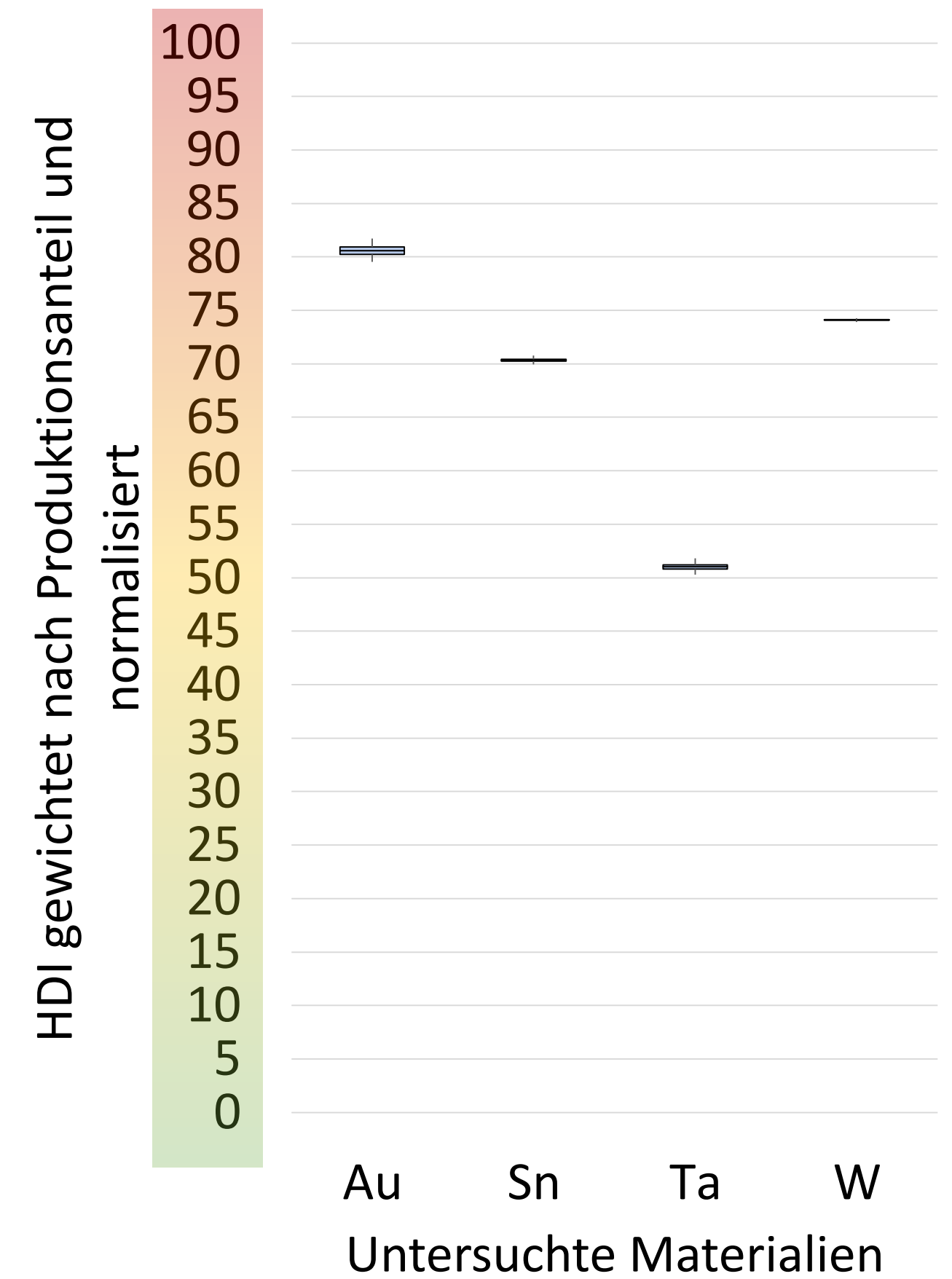
Politische Stabilität



Politisches Potential



Regulierung



Supply Risk Bewertung

Merkmale Indikatoren	Einheit	Indikatorwert				Gewichtung AHP	Gewichteter Wert			
		Au	Sn	Ta	W		Au	Sn	Ta	W
Risiko der Konzentration										
Länderkonzentration	HHI	38,133	69,624	73,751	91,206	0,208	7,932	14,482	15,340	18,971
Unternehmenskonzentration	HHI	73,840	80,291	82,251	94,172	0,151	11,150	12,124	12,420	14,220
Politisches Risiko										
Länderrisiko Politische Stabilität	WGI-PS	54,795	58,534	75,968	58,098	0,088	4,822	5,151	6,685	5,113
Länderrisiko Policy Potential	PPI	32,315	49,001	47,005	40,467	0,044	1,422	2,156	2,068	1,781
Länderrisiko Regulation	HDI	80,572	70,340	51,015	74,103	0,051	4,109	3,587	2,602	3,779
Risiko der Angebotsreduktion										
Statische Reichweite Reserven	Jahre	93,613	94,732	7,444	84,236	0,062	5,804	5,873	0,462	5,223
Statische Reichweite Ressourcen	Jahre	94,646	97,748	55,999	97,604	0,034	3,218	3,323	1,904	3,319
EOL-Recyclingrate	%	75,997	60,667	86,846	76,010	0,061	4,636	3,701	5,298	4,637
Risiko des Nachfrageanstiegs										
Koppelproduktion	%	14,011	3,004	23,994	5,000	0,061	0,855	0,183	1,464	0,305
Nachfrageanstieg 2030	%	83,008	58,189	69,517	77,008	0,106	8,799	6,168	7,369	8,163
Substituierbarkeit	dimlos	44,010	40,636	54,662	33,328	0,135	5,941	5,486	7,379	4,499
Gesamtwert (geringer ist besser)							58,687	62,235	62,990	70,008



Grundlagen



3TG

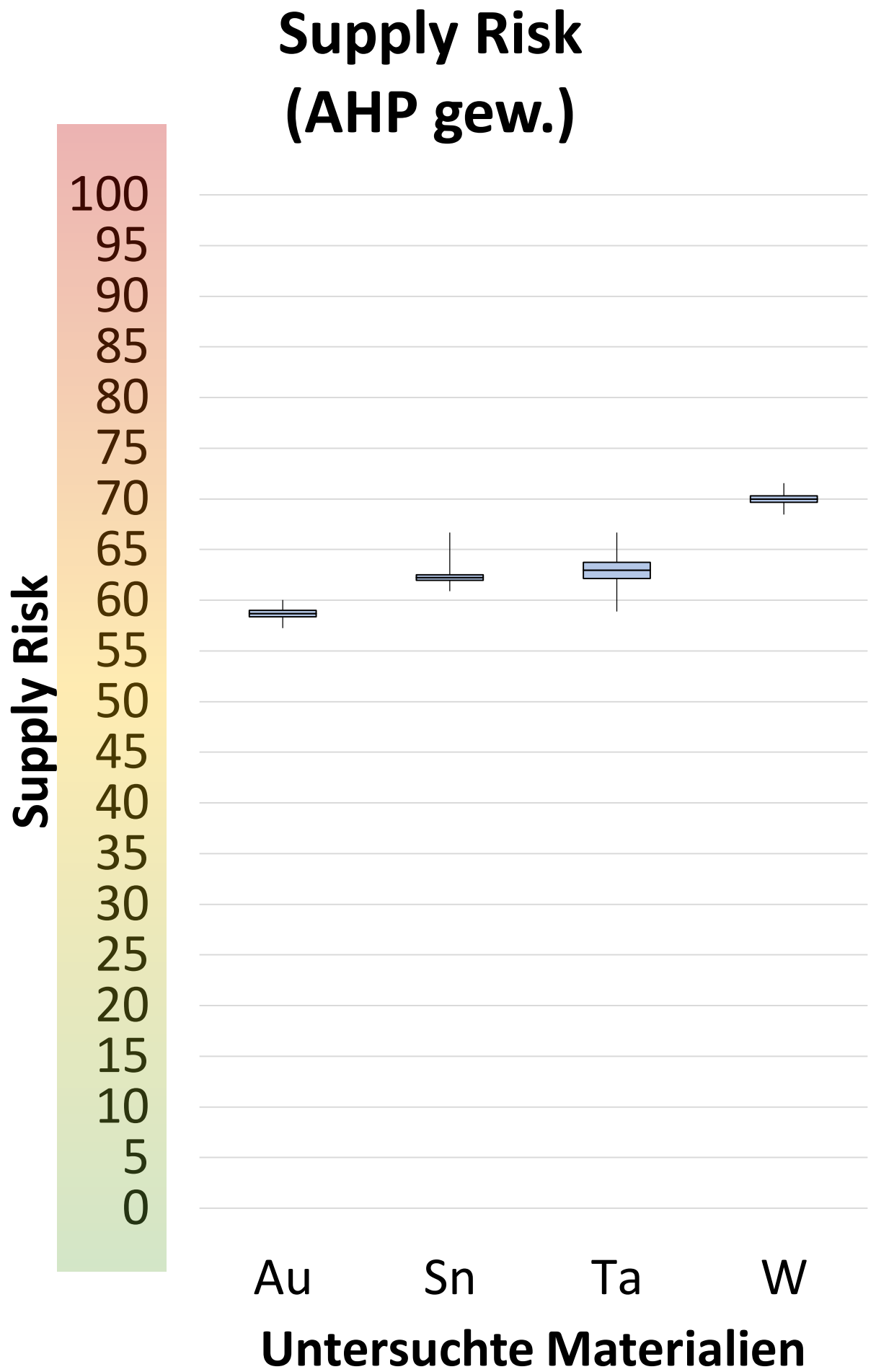


Kritikalität

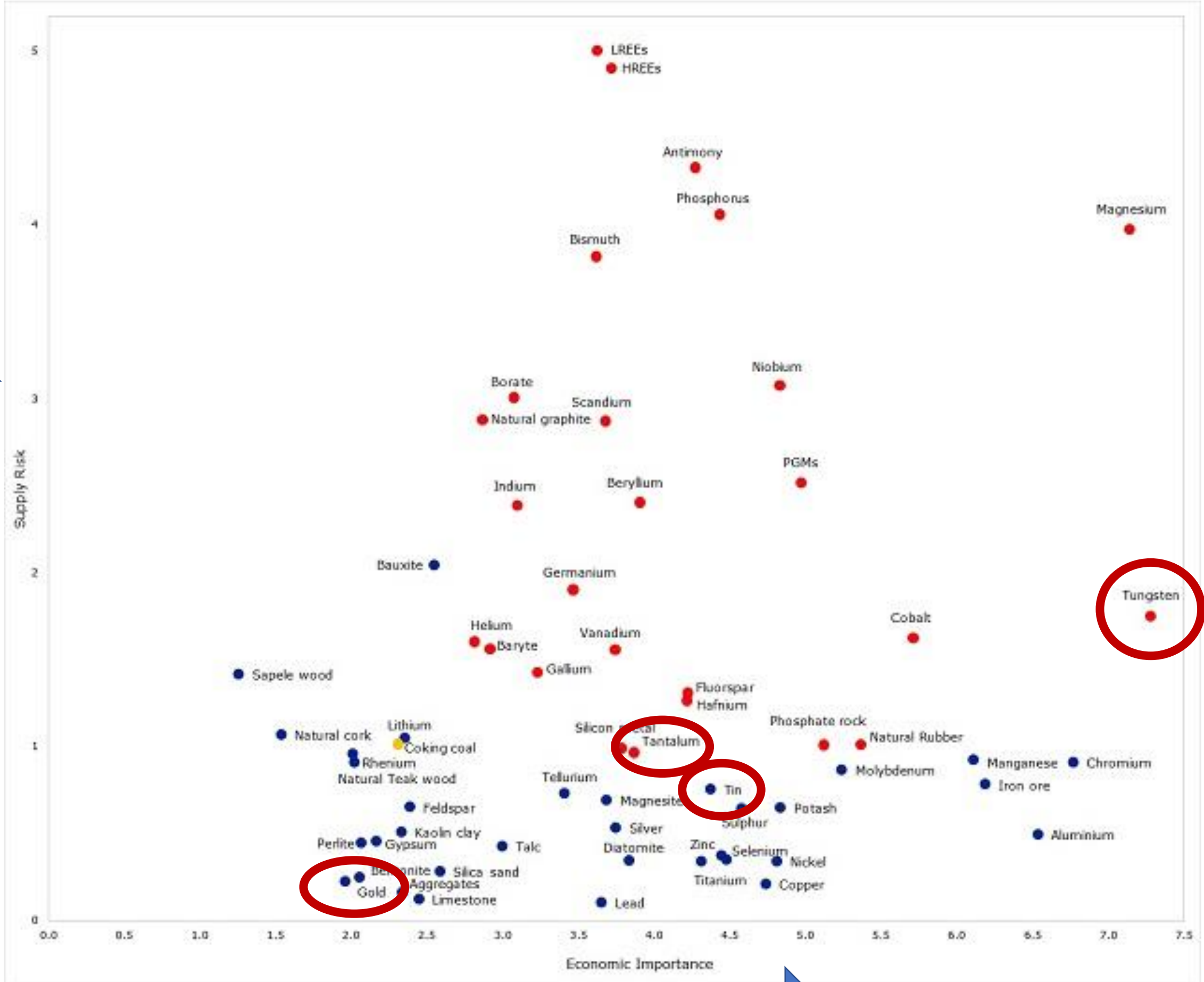


Zukunft

Zusammenfassung & Andere Bewertungen



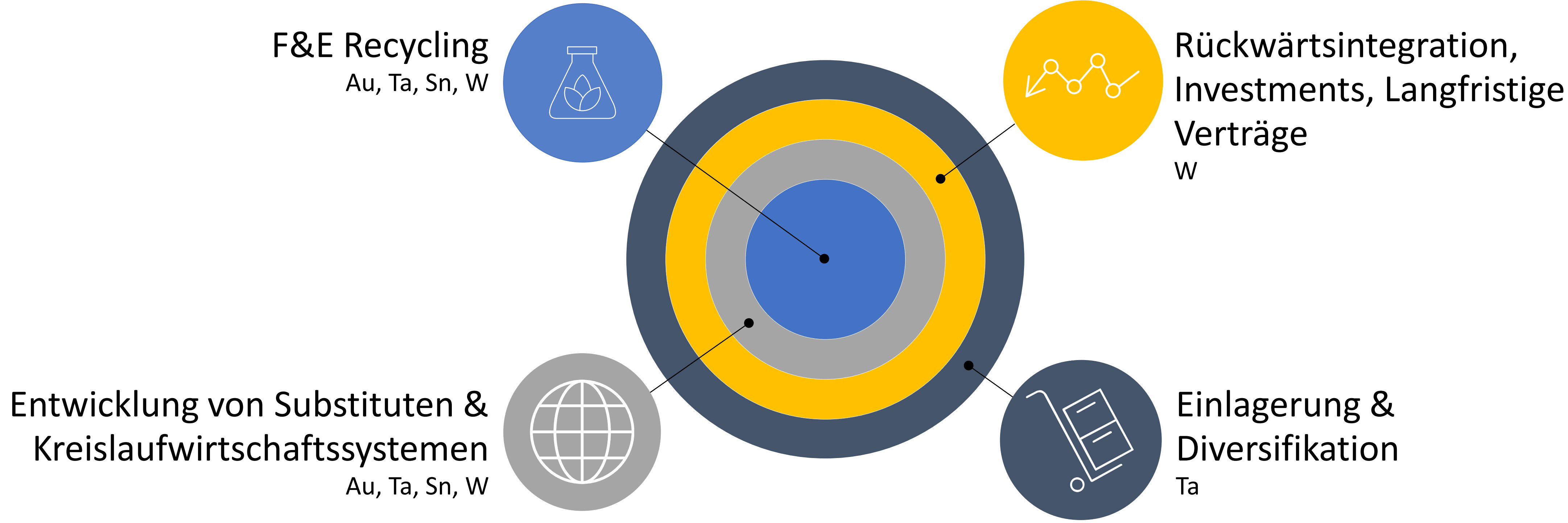
Supply Risk



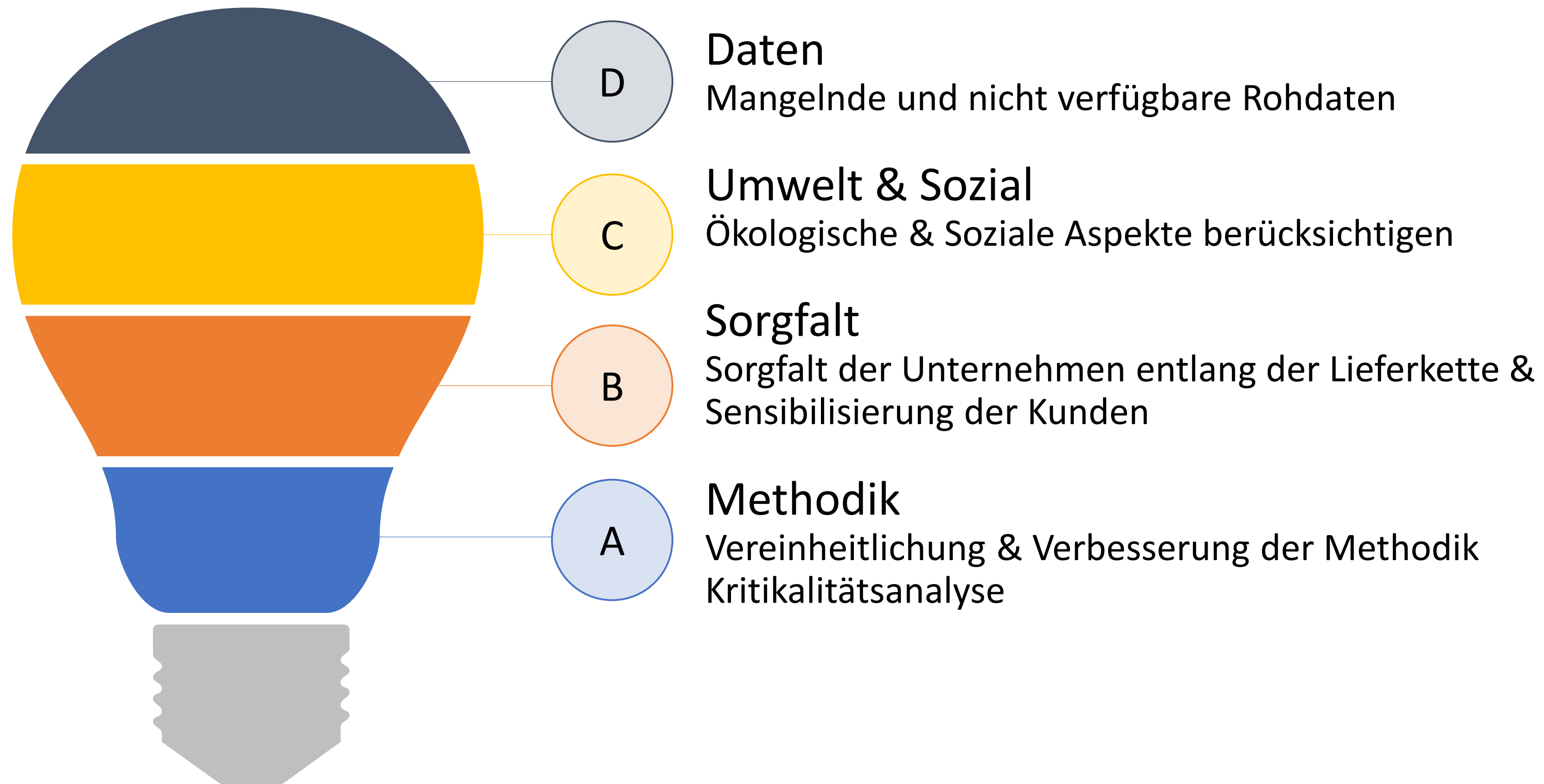
Economic importance

Abb.: Grafik rechts, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

Handlungsempfehlungen



Zukunft der Methodik



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Ende

(Zum Glück das Ende des Vortrags und nicht der Welt)

Her mit euren
Fragen!

Feedback &
Anmerkungen
auch gerne
über den
Fahrplan

I want YOU for
Podcasting!

Weitere Infos:
Ressourcen.fm/36c3

Danke an Ingrid
Liewehr, Marie
Mehrens & Justin
Scholz für die
Unterstützung im
Vorfeld

Mehr Wissen über
Material- und
Energierohstoffe
gefällig?

Abonniert
Ressourcen.FM !



Appendix

Seriously? Ihr seid noch nicht müde?

Regulative Anforderungen für „Konfliktminerale“

OECD Leitsätze zur Sorgfaltspflicht in Lieferketten

Regionaler Regionaler Zertifizierungsmechanismus (ICGLR)

Chinesische Leitlinien der Sorgfaltspflicht (CCCMC)

EU-Verordnung zur Sorgfaltspflicht (EU) 2017/821

Nationaler Aktionsplan Menschenrechte

US Dodd-Frank Act § 1502

Konfliktmineral-Verordnungsgesetz

SEC Umsetzung d. Dodd-Frank Act

Anpassung Bundesberggesetz

Erste Debatten

- Responsible Minerals Assurance Process (RMAP, vorher CFSP)
- ITRI Tin Supply Chain Initiative (ITSCI) program
- ICGLR Regional Initiative against the Illegal Exploitation of Natural Resources (RINR)

... weitere Industrieinitiativen

2000

...

2010

2011

...

2015

...

2017

...

2019+

Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Approximativ mechanistisch / physikalisches Modell - ICT

physical description tungsten in vibration motor

quantity × weight number of metal layers × volume of tungsten layers * tungsten density

equation

$$W(g) = (N \times w) + (L \times R_H \times T_L \times S \times \rho_W) \sum_{n=1}^x A_n \quad (1)$$

Vibrator

physical description tin in solder

volume of solder applied per component × solder tin content × tin density

equation

$$Sn(g) = (T_S \times \zeta \times \rho_{Sn}) \sum_{n=1}^c A_{cn} \quad (2)$$

Lötmittel

physical description tantalum in capacitors

relative volumetric efficiency wire volume × tantalum density

equation

$$Ta_{caps}(g) = \sum_{n=1}^t \frac{C_{tn} \times V_{tn}}{E} + \pi \times \rho_{Ta} (f_w \times w_{tn})^2 \times (f_l \times l_{tn}) \quad (3)$$

physical description tantalum in ICs

number of metal layers × volume of layers × tantalum density

equation

$$Ta_{film} = (R_H \times L \times T_F \times \rho_{Ta}) \sum_{n=1}^x A_n \quad (4)$$

Kondensator & Metallschicht

physical description gold in connectors

number of contacts × volume of contacts × gold density

equation

$$Au_{connectors} = \rho_{Au} \sum_{n=1}^s N_n \times A_{sn} \times T_{sn} \quad (5)$$

physical description gold in bonding wire

volume of bonding wire × number of pins × density of gold

equation

$$Au_{wire} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \rho_{Au} \sum_{n=1}^x \left[N_{In} \times \left(\frac{L_{In} - \sqrt{A \times R_H}}{2} \right) \right] \quad (6)$$

Kontakt & Bonddraht

Quelle: Fitzpatrick et al. 2015

Grundlagen



3TG

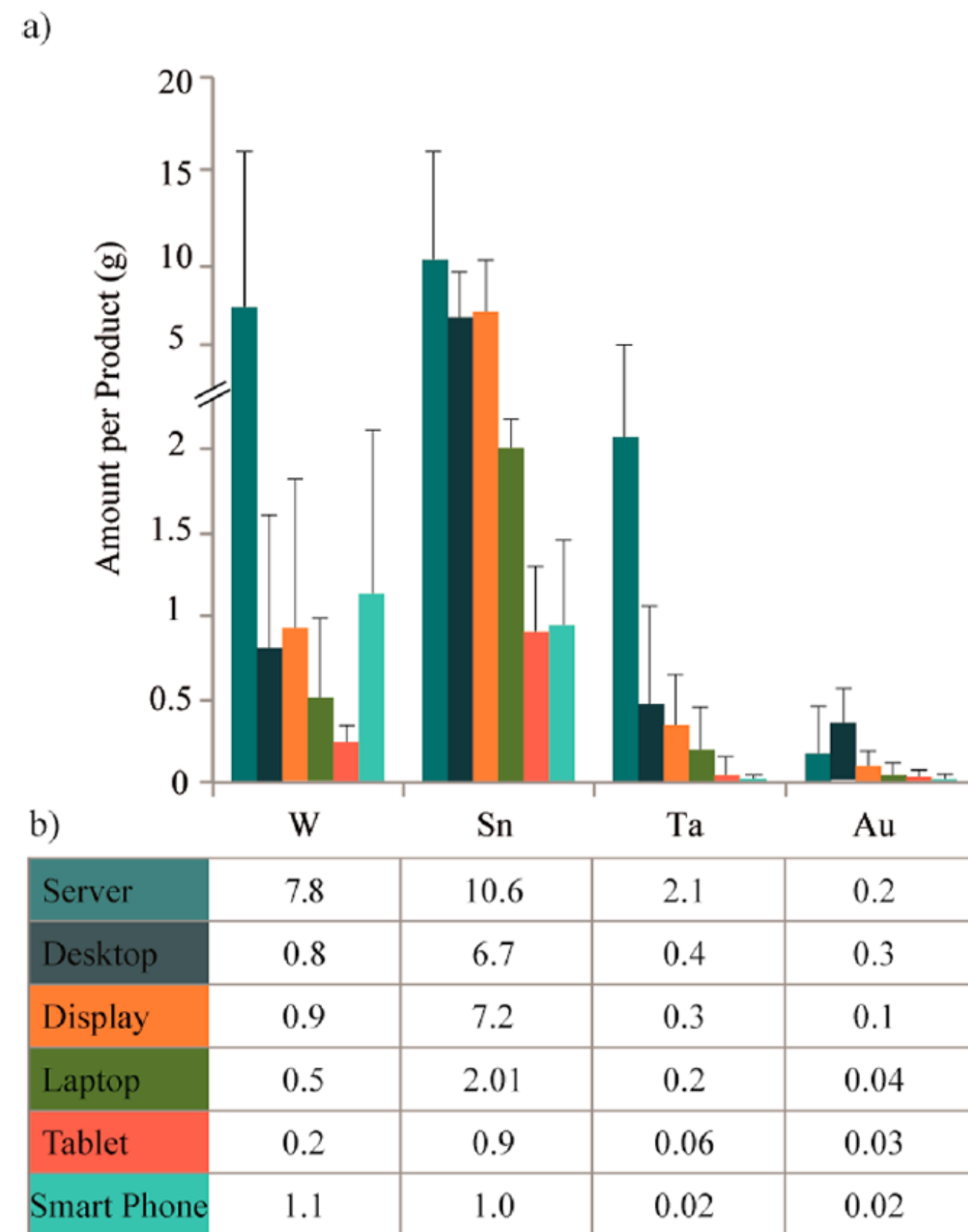


Kritikalität



Zukunft

Schätzung & Skalierung Materialeinsatz



	2013				
	global shipments (millions)	product total W (tons)	product total Sn (tons)	product total Ta (tons)	product total Au (tons)
server ⁶⁰	9	70	95	19	2
desktop ⁶¹	130	100	870	57	40
display ⁵⁸	450	400	3240	120	50
laptop ⁶¹	180	90	360	35	8
tablet ⁵⁹	195	30	170	12	6
smart phone ⁵⁸	910	1040	870	18	14
total mass for evaluated products (tons)		1730	5600	260	120
total metal consumption (tons) ^{45,50,54,55}		95 000	359 500	1750	4362
estimated percent of material consumption used by IT products based on global shipments (2013)		2%	0.1%	15%	3%
estimated percent of material consumption used by IT products based on forecasted shipments(2018)		4%	0.3%	27%	5%

Quelle: Fitzpatrick et al. 2015

Verteilungsparameter Monte Carlo Simulation

Daten	Angenommene Verteilung für Monte Carlo Simulation	Standardabweichung
Produktionsdaten (nach Ländern)	Lognormal	$GSD^2 = 1,228$
Reserven (global)	Lognormal	$GSD^2 = 1,237$
Ressourcen (global)	Lognormal	$GSD^2 = 1,237$
Nachfrage 2030	Lognormal	$GSD^2 = 1,228$
Länderkonzentration (HHI)	Aus den Produktionsdaten berechnet	-
Unternehmenskonzentration (HHI)	Lognormal	$GSD^2 = 1,228$
WGI-PS (nach Ländern)	Normal	Aus Quelle
PPI (nach Ländern)	PPI vorhanden: keine Datenunsicherheit;	-
	PPI nicht vorhanden: Gleichverteilung	Min. 0 – Max. 100
HDI (nach Ländern)	Keine Datenunsicherheit	-
EoL-Recyclingrate	Pedigree-Matrix	$GSD^2 = 1,150$
Substituierbarkeit		Gold: $GSD^2 = 1,174$ Andere: $GSD^2 = 1,150$
Kuppelproduktion		$GSD^2 = 1,130$

GSD = geometric standard deviation

(Helbig et al., 2017)

Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Einsatzgebiete

Gold

- Schmuck und Kunstgegenstände
- Investmentanlage
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Zahnprothesen

Gute Leitfähigkeit

Tantal

- Stahlindustrie
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Maschinen- und Anlagenbau
- Luftfahrt
- Energieerzeugung
- Chemische Industrie
- Medizintechnik
- Optische Industrie

Säurebeständig

Wolfram

- Legierungen
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Militärische Geräte
- Maschinenbau

Hohe Dichte & hoher Schmelzpunkt

Zinn

- Lote
- Weißblech
- Chemikalien
- Bronze und Messing, Lagermetalle
- Verzinnen
- Glas
- Elektro- und Elektronikindustrie

Niedriger Schmelzpunkt



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Einsatzgebiete

Konfliktrohstoff	Einsatzgebiet	Technologie und Beispiele
Wolfram (W)	Legierungen	Hartmetalle (Wolframcarbide), Stähle & Legierungen, auch als Beschichtung
	Elektro- und Elektronik-industrie	Glühdrähte, elektrische Kontakte, Elektroden-material, Vibrationsmotoren (Smartphone, Tablet)
	Militärische Geräte	Panzerbrechende Munition, Panzerung
	Maschinenbau	Hochtemperaturbauteile für superkritische Kohle-kraftwerke, Turbinen, Brennstoffzellen, Hoch-temperaturöfen
Tantal (Ta)	Stahlindustrie	Hochfeste Stähle, Korrosionsschutzüberzug
	Elektro- und Elektronik-industrie	Kondensatoren (Pulver & Draht; v. a. für KFZ, PC, GPS-Systeme, digitale Kameras, Smartphones, sowie kleinste elektronische Geräte); Sensoren, Elektro-keramik
	Maschinen- und Anlagenbau	Carbide zur Stahlbearbeitung (Schneidwerkzeuge), korrosionsfeste Verbindungselemente (Schrauben, Bolzen) sowie spezifische Anwendungen z. B. Spinn-düsen und Hochvakuumtechnik)
	Luftfahrt	Flugzeugturbinen, Strahltriebwerke
	Energieerzeugung	Turbinen (v. a. Schaufeln)
	Chemische Industrie	Hochtemperaturanwendungen und korrosionsfeste Apparaturen
	Medizintechnik	Operationsbestecke, Bionetrale Implantate, elektrische Applikationen und Implantate (Hörgeräte, Herzschrittmacher)
	Optische Industrie	Kameralinsen, Röntgenfilme
	Sonstige Anwendungen	Sputtering Targets

Konfliktrohstoff	Einsatzgebiet	Technologie und Beispiele
Zinn (Sn)	Lote	Bleilote und bleifreie Weichlote (SnAgCu)
	Weißblech	Dosenblech
	Chemikalien	PVC-Stabilisatoren, Pigmente, Katalysatoren, Biozide
	Bronze und Messing, Lager-metalle	Armaturen
	Verzinnen	Kupferlitzen, Karosseriebau, Dachspenglerei, Kupfer-geschirr
	Glas	Flachglasherstellung und Beschichtung, Hohlglas-beschichtung
Gold (Au)	Elektro- und Elektronik-industrie	Elektroden (Indium-Zinn-Oxid), Supraleiter
	Sonstige Anwendungen	Dental-legierungen, Bremsbelag
	Schmuck und Kunst-gegenstände	Blattgold, Ringe etc.
	Investment- anlage	Barren, Münzen
	Elektro- und Elektronik-industrie	elektrische Kontakte, Brennstoffzellen
	Technologie	Zahnprothesen



Vielfalt an Kritikalitätsanalysen

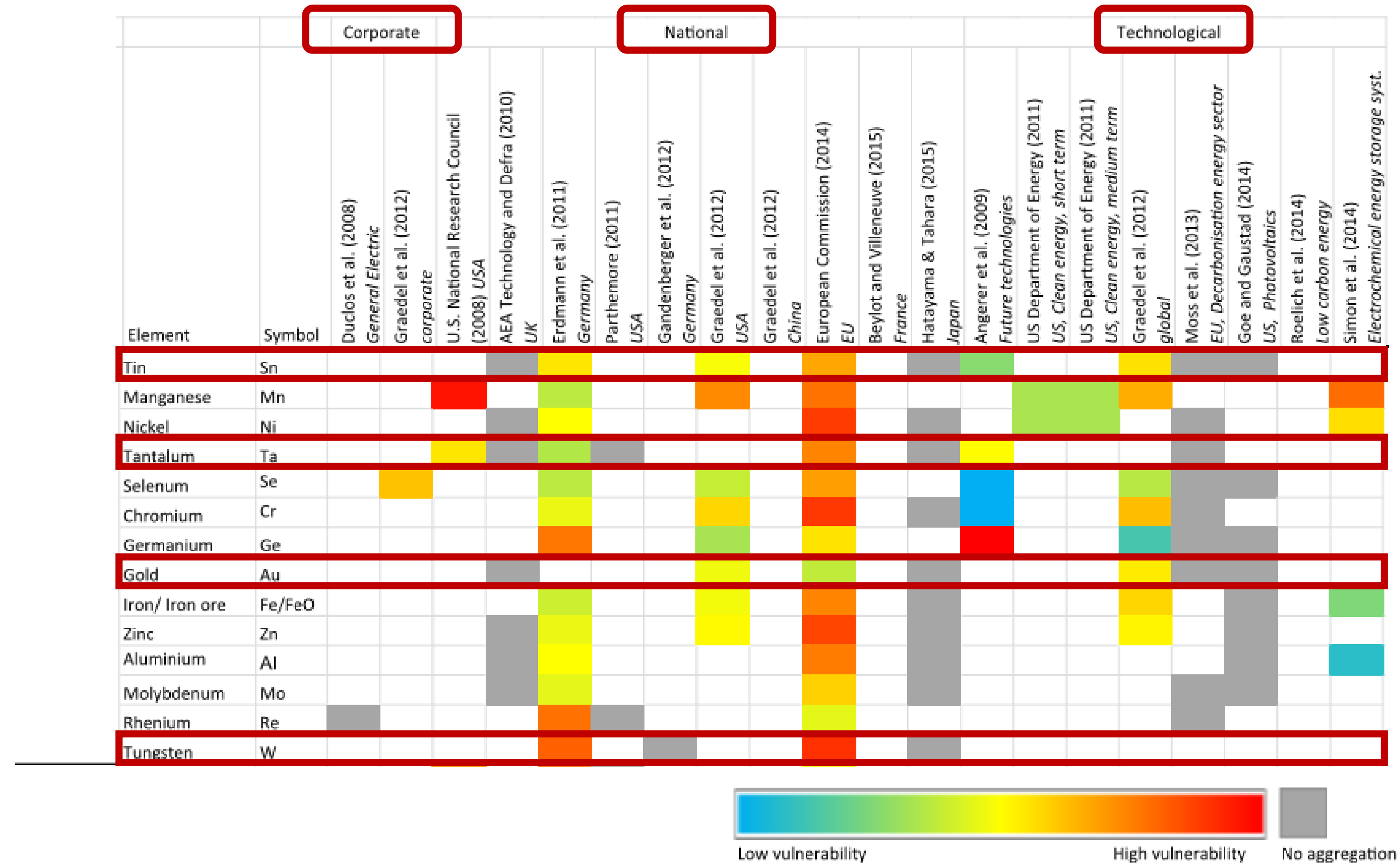


Abb.: Helbig, Christoph; Wietschel, Lars; Thorenz, Andrea; Tuma, Axel (2016): How to evaluate raw material vulnerability - An overview. In: Resources Policy 48, S. 21. DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.02.00

Ökologische Dimension

Kriterium	Indikator	Kurzbeschreibung Indikator (und Messung)	Quelle
Human Health	Climate Change	Gibt über Endpoints ($\text{Einheit} \frac{\text{endpoints}}{\text{Kilogramm}}$) an, wie stark die Auswirkungen der Förderung eines Kilogramms eines bestimmten Rohstoffs auf die menschliche Gesundheit sind. Hierfür werden die Werte der sechs aufgeführten Einzelindikatoren nach der ReCiPe-Methode berechnet ($\text{Einheit} \frac{\text{midpoints}}{\text{Kilogramm}}$) und aufsummiert.	Ecoinvent Datenbank
	Human Toxicity		
	Ionising Radiation		
	Ozone Depletion		
	Particulate Matter Formation		
	Photochemical Oxidant Formation		
Ecosystem Quality	Agricultural Land Occupation	Gibt über Endpoints ($\text{Einheit} \frac{\text{endpoints}}{\text{Kilogramm}}$) an, wie stark die Auswirkungen der Förderung eines Kilogramms eines bestimmten Rohstoffs auf die Qualität der Umwelt sind. Hierfür werden die Werte der neun aufgeführten Einzelindikatoren nach der ReCiPe-Methode berechnet ($\text{Einheit} \frac{\text{midpoints}}{\text{Kilogramm}}$) und aufsummiert.	
	Climate Chance		
	Freshwater Ecotoxicity		
	Freshwater Eutrophication		
	Marine Ecotoxicity		
	Natural Land Transformation		
	Terrestrial Acidification		
	Terrestrial Ecotoxicity		
	Urban Land Occupation		

Abb.: Tuma et al. 2014



Soziale Dimension

Indikator	Kurzbeschreibung Indikator	Messung	Quelle
Risiko von Kinderarbeit	Das Risiko, dass Kinderarbeit bei Rohstoffförderung eingesetzt wird	$\sum \text{Prod. anteil}_{\text{Land}} \times \text{Risiko Kinderarbeit}_{\text{Land}}$	UNICEF
Kontrolle von Korruption	Die Kontrolle von Korruption in den produzierenden Ländern	$\sum \text{Prod. anteil}_{\text{Land}} \times \text{WGI-CC}_{\text{Land}}$	World Bank
Recht auf Meinungsfreiheit	Die Möglichkeit das Recht auf eigene Meinungsfreiheit wahrzunehmen	$\sum \text{Prod. anteil}_{\text{Land}} \times \text{WGI-VA}_{\text{Land}}$	World Bank

Soziale Dimension

Abb.: Tuma et al. 2014

Grundlagen



3TG

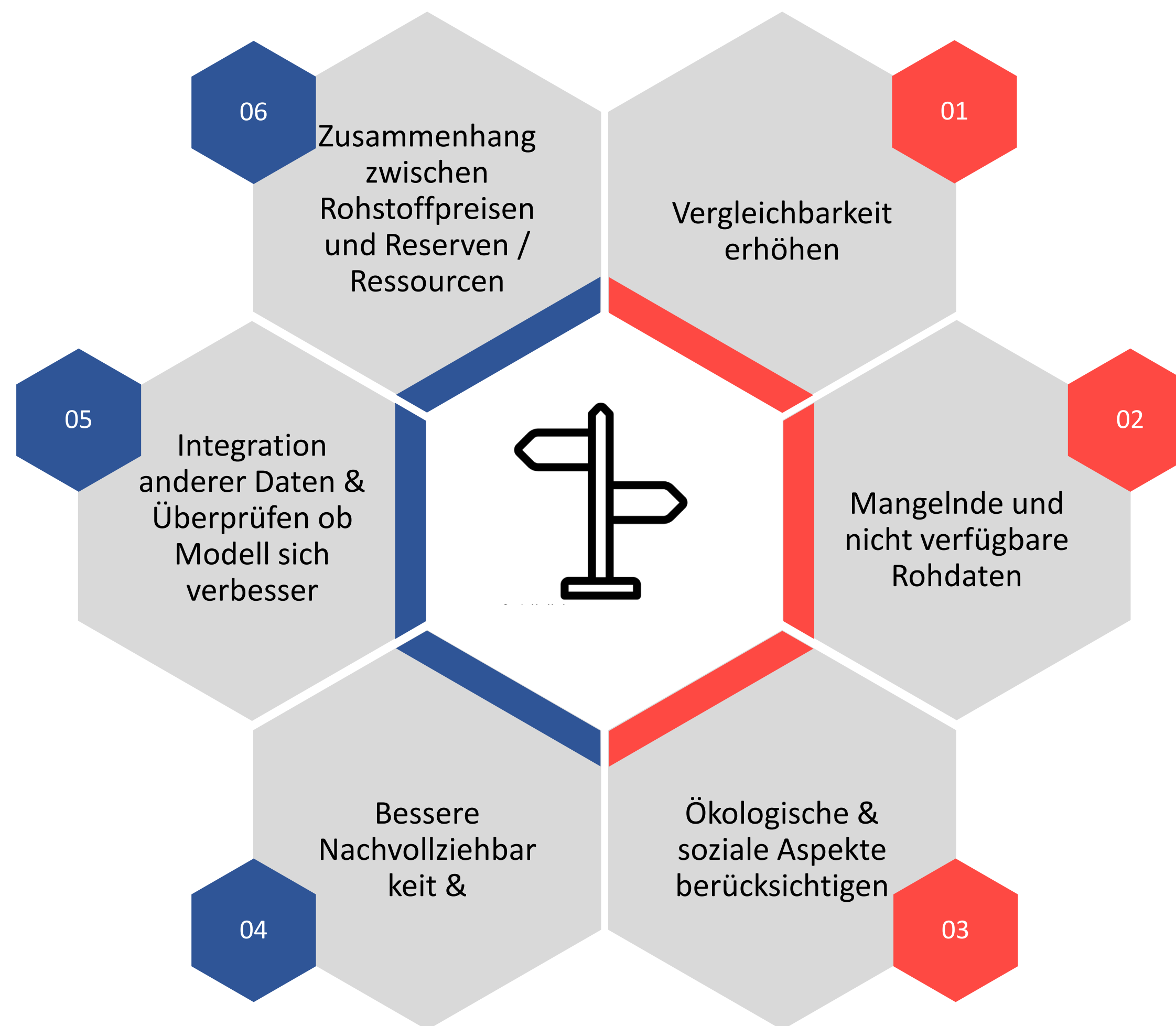


Kritikalität

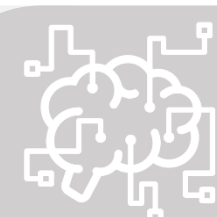


Zukunft

Zukunft der Methodik



Grundlagen



3TG



Kritikalität



Zukunft

Pedigree Matrix

Reliability (U₁)	Verified data published in peer-reviewed manuscript or equivalent	Non-verified data reported by governmental, non-governmental agencies, scientific working group, commercial entities or equivalent	Non-verified and/or unpublished results including personal communications, expert estimates, and interpolations
	1.05	1.10	1.20
Completeness (U₂)	Data are comprehensive in terms of scope as well as geographical and temporal considerations	Some data are or may have been excluded with respect to one of the aforementioned considerations	A notable exclusion with respect to one or more of the aforementioned considerations is known to exist or the completeness is not known
	1.00	1.05	1.20
Relevance (U₃)	Data are directly relevant in terms of subject, scope, as well as geographical and temporal considerations	Data may not be directly relevant in one of the aforementioned considerations	Data are not directly relevant in more than one of the aforementioned considerations
	1.00	1.05	1.20
Precision (U₄)	At least three significant digits	Two significant digits	One significant digit
	1.00	1.02	1.15
Corroboration (U₅)	Multiple independent sources indicating data are in strong agreement	At least two independent sources indicating data are in moderately strong agreement	Single source or independent sources indicating results are only in fair agreement
	1.00	1.10	1.20

Mittels der Pedigree Matrix, die in Tabelle 10 zu sehen ist, wurden die quadrierten geometrischen Standardabweichungen für die drei Indikatoren EoL-Recyclingrate (RR), Koppelproduktion (CP) und Substituierbarkeit (Sub) aller Materialien abgeschätzt. Die quadrierte geometrische Standardabweichung wird mit folgender Formel berechnet, die aus Graedel et al. (2011b; S. S56) entnommen wird:

$$\sigma_g^2 = e^{\sqrt{\ln(U_1)^2 + \ln(U_2)^2 + \ln(U_3)^2 + \ln(U_4)^2 + \ln(U_5)^2}}$$

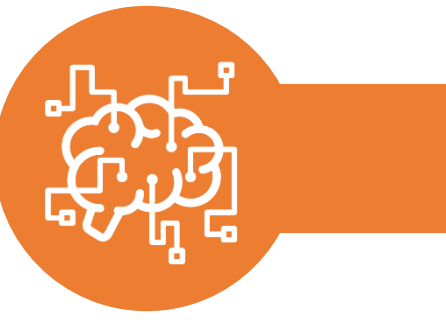
In den Tabellen 11 - 14 sind die entsprechenden Annahmen zusammengefasst.

Handlungsempfehlung

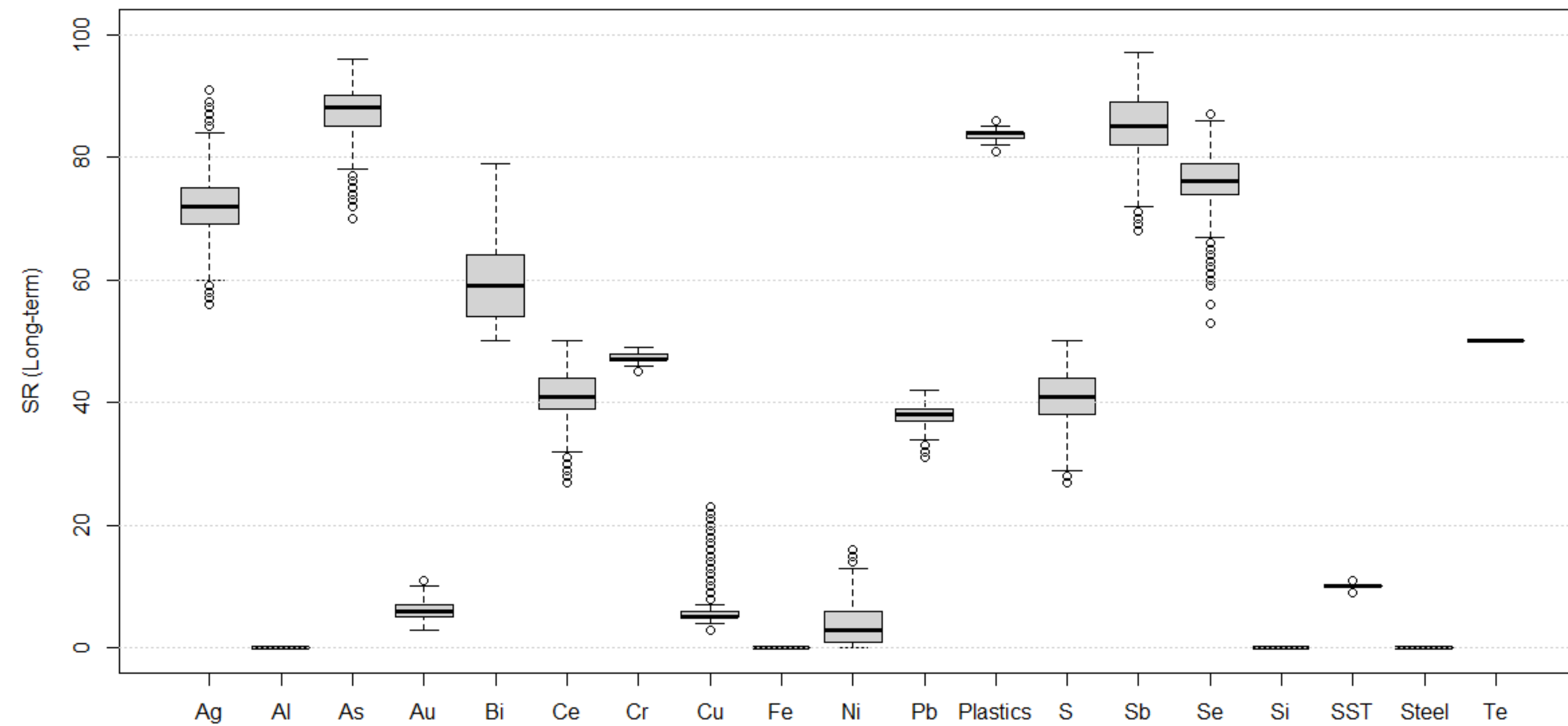
Exemplarische Zuordnung möglicher Maßnahmen zu möglichen Risiken			Risiken		
			Geologische Risiken / Unsichere Verfügbarkeit	Langfristiger Preisanstieg durch Verknappung	Politische Instabilität
Maßnahmen	Unternehmen im Markt	Unternehmensinternes Informationsmanagement	o	o	o
		Forschung & Entwicklung & Substitution	+	+	+
		Lagerung	o	o	+
	Zuliefernetzwerk	Diversifikation	o	o	+
		Langfristige Lieferverträge	+	+	o
		Investition in Zulieferer	+	+	o
		Beschaffungskooperation	o	o	o
		Unternehmensübergreifendes Informationsmanagement	o	o	+
	Kundennetzwerk	Langfristige Lieferverträge	o	o	o
	Finanzmarkt & Rohstoffbörse	Financial Hedging	o	-	o
	Politik & Rechtliche Rahmenbedingungen	Organisation in Interessengemeinschaften	-	-	o
	Kreislaufwirtschaft	Recycling, Reuse, Remanufacturing	+	+	o

Legende:

- + Kann im Allgemeinen zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden
- o Kann in gewissen Fällen zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden
- Kann im Allgemeinen nicht zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden

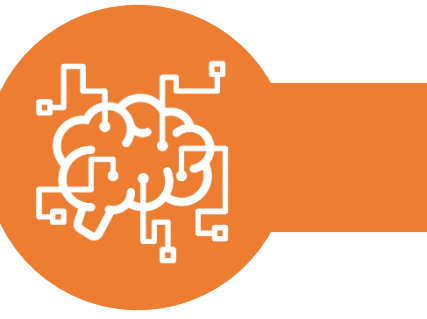


Monte Carlo Simulation - Grafische Darstellung

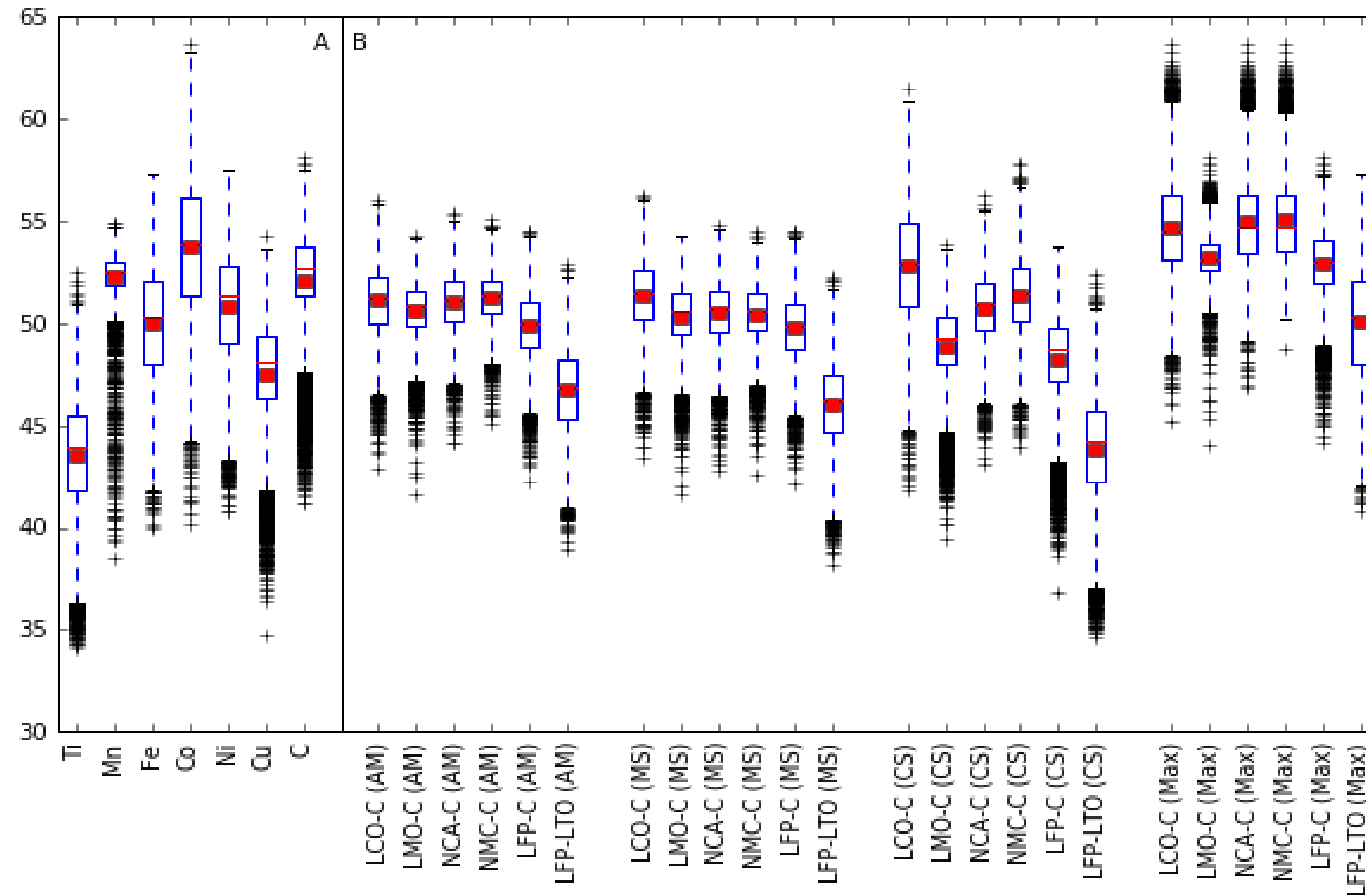


Schritt 3: Darstellung der Ergebnisse (z.B. mit Boxplots)

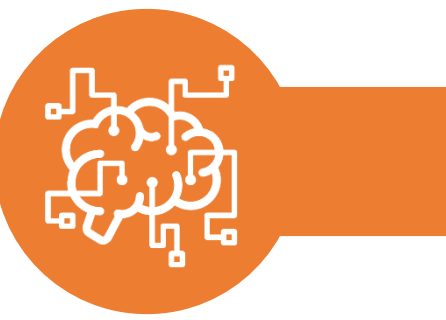
- fette Linie: Median
- Box: 50% Konfidenzintervall
- Antenne/Whisler: Vielfache der Interquartilrange (IQR) oder 90%-Konfidenzintervall
- Ausreißer einzeln dargestellt



Monte Carlo Simulation - Grafische Darstellung

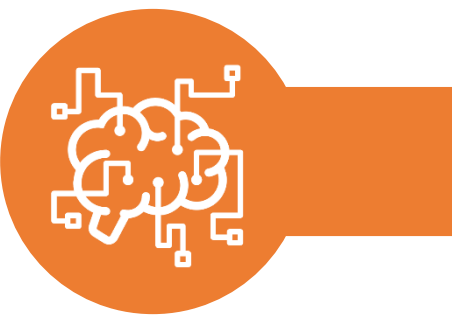


(Helbig et al., 2017)



Berechnungsvorschriften für die Normalisierung

	Indicator	Unit	Min	Max	Threshold	Calculation
Risk of Supply Reduction	Static Reach Reserves	years	0 years	infinite (∞ years)	Wenn S.R.Res. > 100; S ₁ =0	$S_1 = 100 - 0.2SR - 0.008SR^2$
	Static Reach Resources	years	0 years	infinite (∞ years)	Wenn S.R.Resources > 200; S ₂ =0	$S_2 = 100 - 0.1RR - 0.002RR^2$
	EoL-Recycling Rate	%	0%	100%	-	$S_3 = 100 - \text{EoL} - \text{RR}$
Risk of Demand Increase	By-Product Dependence	%	0%	100%	-	$S_4 = \text{BPD}$
	Future Technology Demand	%	0%	infinite (∞ %)	-	$S_5 = \left(\left(\sqrt[t]{1 + \text{FTD}} \right) - 1 \right) * 1000$ t=24 years
	Substitutability	dimension -less	0	100	-	$S_6 = 100 - \text{Substitutability}$



Berechnungsvorschriften für die Normalisierung

	Indicator	Unit	Min	Max	Calculation
Concentration Risk	Country Concentration	Herfindahl-Hirschman-Index	0	10000	$S_7 = 21.64 \ln(\text{HHI}) - 99.31$
	Company Concentration	Herfindahl-Hirschman-Index	0	10000	$S_8 = 15.81 \ln(\text{HHI}) - 45.62$
Political Risk	Country Risk Political Stability	Worldwide Governance Indicator – Political Stability and Absence of Violence/Terrorism	-2.5	2.5	$S_9 = 20 * (2.5 - \text{WGI})$
	Country Risk Policy Perception	Policy Perception Index	0	100	$S_{10} = 100 - \text{PPI}$
	Country Risk Regulation	Human Development Index	0	1	$S_{11} = 100 * \text{HDI}$