

Rohstoffe für die Energiesysteme der Zukunft

Jens Gutzmer

Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e.V. – Jahrestagung 2017
Radebeul, 06 Oktober 2017

Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology



Das HIF

Vision

The institute will become the national (European) center for researching & developing technologies designed to enable a steady supply of mineral & metalliferous raw materials for the German (and European) economy.

AUG 2011

Founding of HIF

DEC 2014



SEP 2015



OCT 2016



JAN 2014

PoF III Evaluation

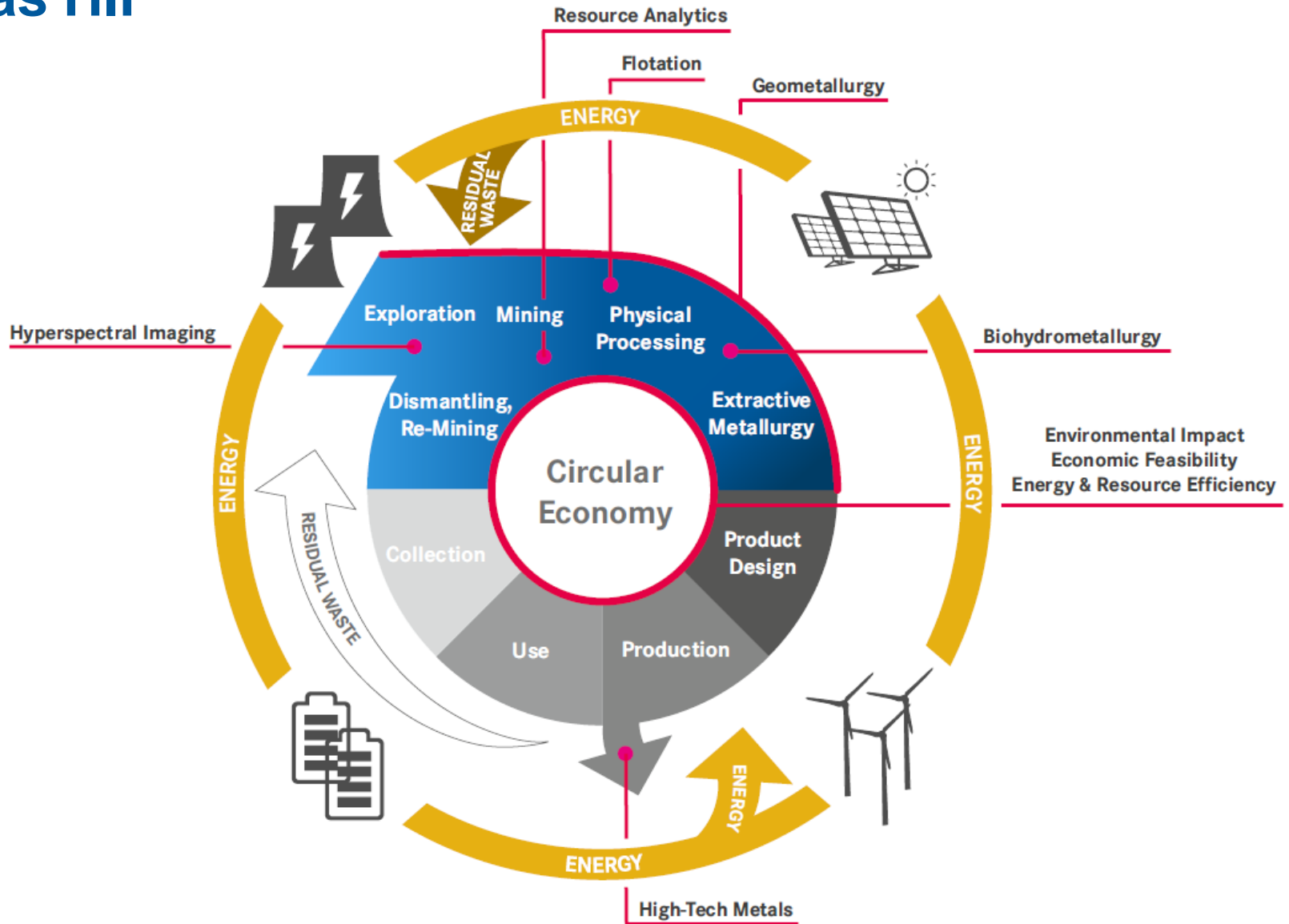
JAN 2015



JUN 2016



Das HIF



Inhalt

- Das Akademienprojekt “Energiesysteme der Zukunft”
- Die Ausgangsposition
- Metalle und Minerale für die Energiewende
- Handlungsoptionen
- Fazit

„...energy production and the recovery of metals and minerals are inseparable issues that need to be addressed in one comprehensive framework.“

(Vidal, Goffé and Arndt, Nature Geoscience, 2013)

Das Akademienprojekt “Energiesysteme der Zukunft”

Ziele und Aufgaben

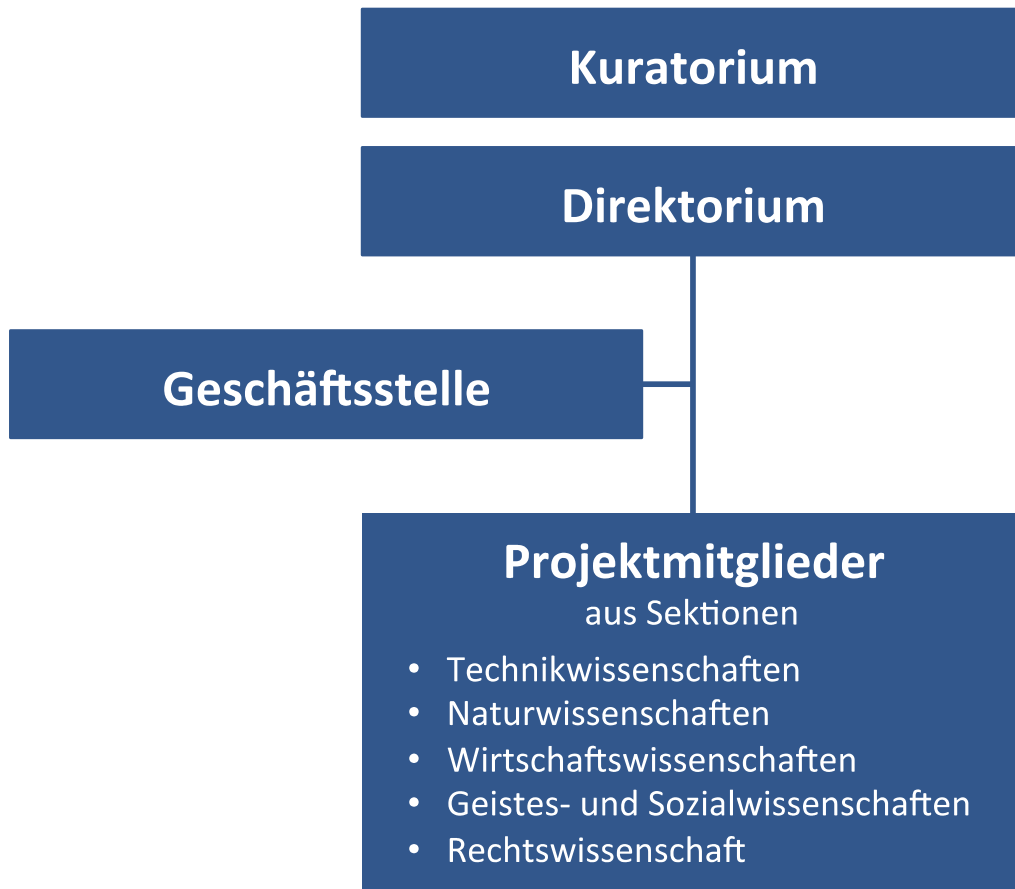
- Das Projekt ESYS bündelt Expertise aus der Energieforschung in Deutschland unter dem Dach der Wissenschaftsakademien.
- In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten rund 80 Expertinnen und Experten Handlungsoptionen für den Weg zu einer umweltverträglichen, sicheren und bezahlbaren Energieversorgung.
- Zeithorizont ist 2050.
- In verschiedenen Dialogformaten werden die Positionen von Akteuren aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft erhoben und anschließend wissenschaftlich ausgewertet.
- Projektlaufzeit:
 - Phase I 2013-2016 (Förderer: BMBF, Robert Bosch Stiftung)
 - Phase II 2016-2019 (Förderer: BMBF)



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

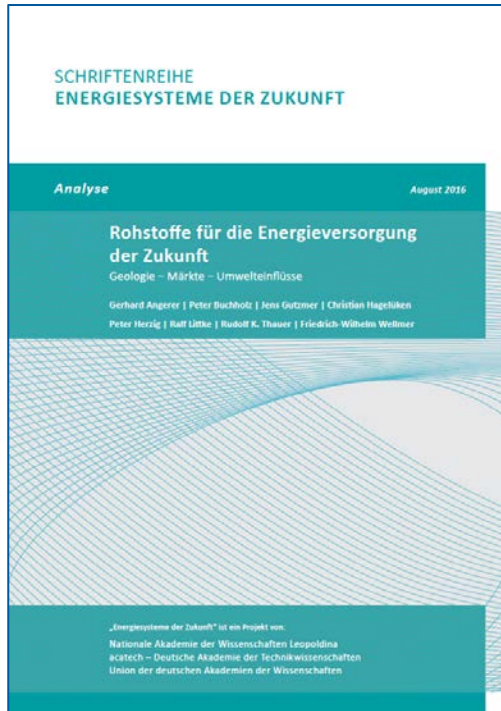


Aufbau des Akademienprojekts



- Das Kuratorium trägt die Gesamtverantwortung.
- Das Direktorium hat die inhaltlich-strategische Leitung.
- Die Geschäftsstelle unterstützt die Projektarbeit.
- Die Projektmitglieder erarbeiten energiepolitische Handlungsoptionen.
- AG Ressourcen hat sich der Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Energiewende gewidmet:
 - **Minerale und Metalle**
 - Fossile KW
 - Biomasse

Die AG Ressourcen



August 2016

Download von:
<http://www.acatech.de/>

Februar 2017



AG Ressourcen

Mitglieder

- Prof. F.W. Wellmer
- Prof. R.K. Thauer
- Prof. R. Littke
- Prof. P. Herzig (Vorsitz)
- Dr. C. Hagelüken
- Prof. J. Gutzmer
- Prof. P. Buchholz
- Dr. G. Angerer

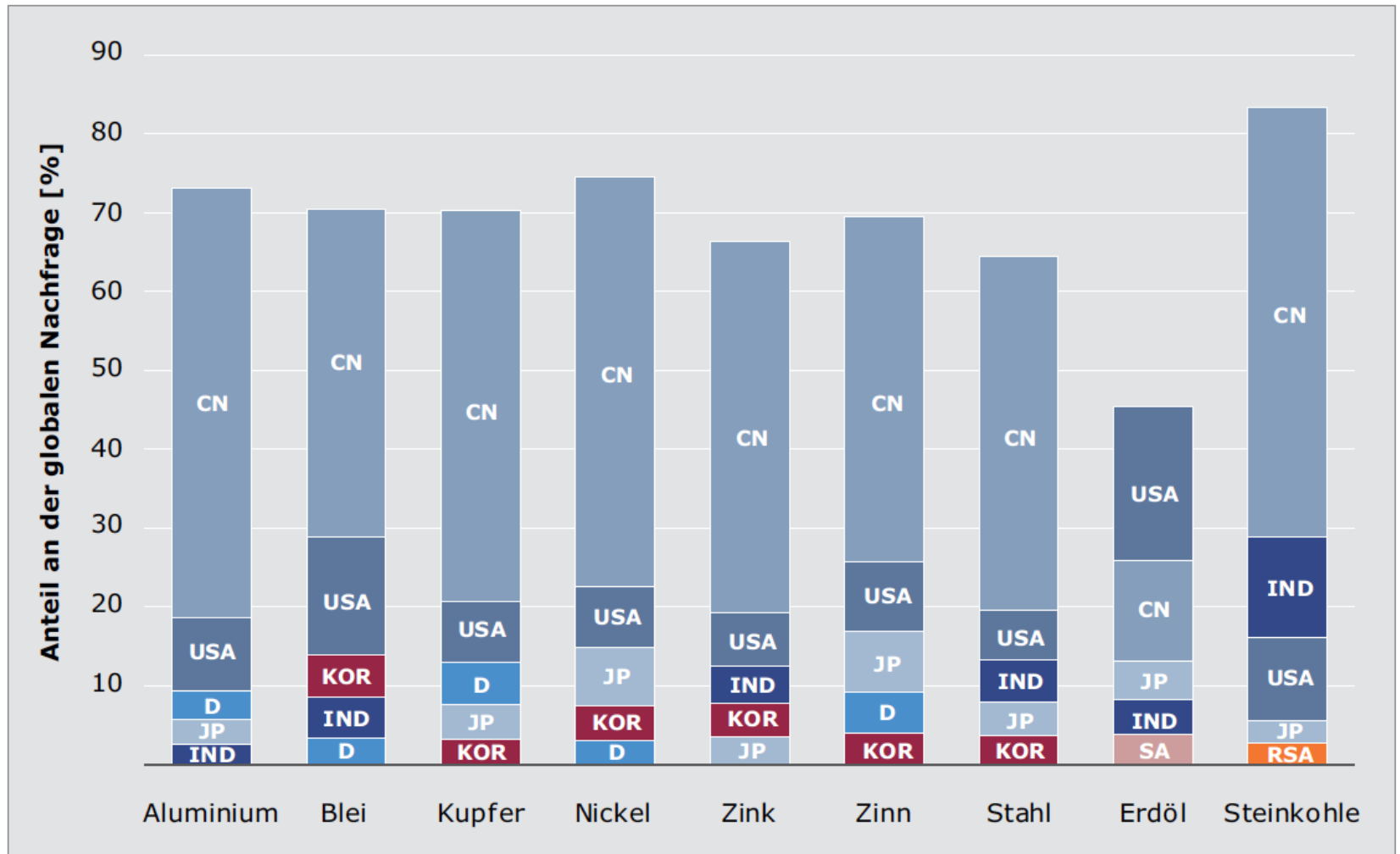
Weitere Mitwirkende

- Dr. S. Fuss
- Prof. J. Haucap
- Prof. P. Posch

Wissenschaftliche Referenten

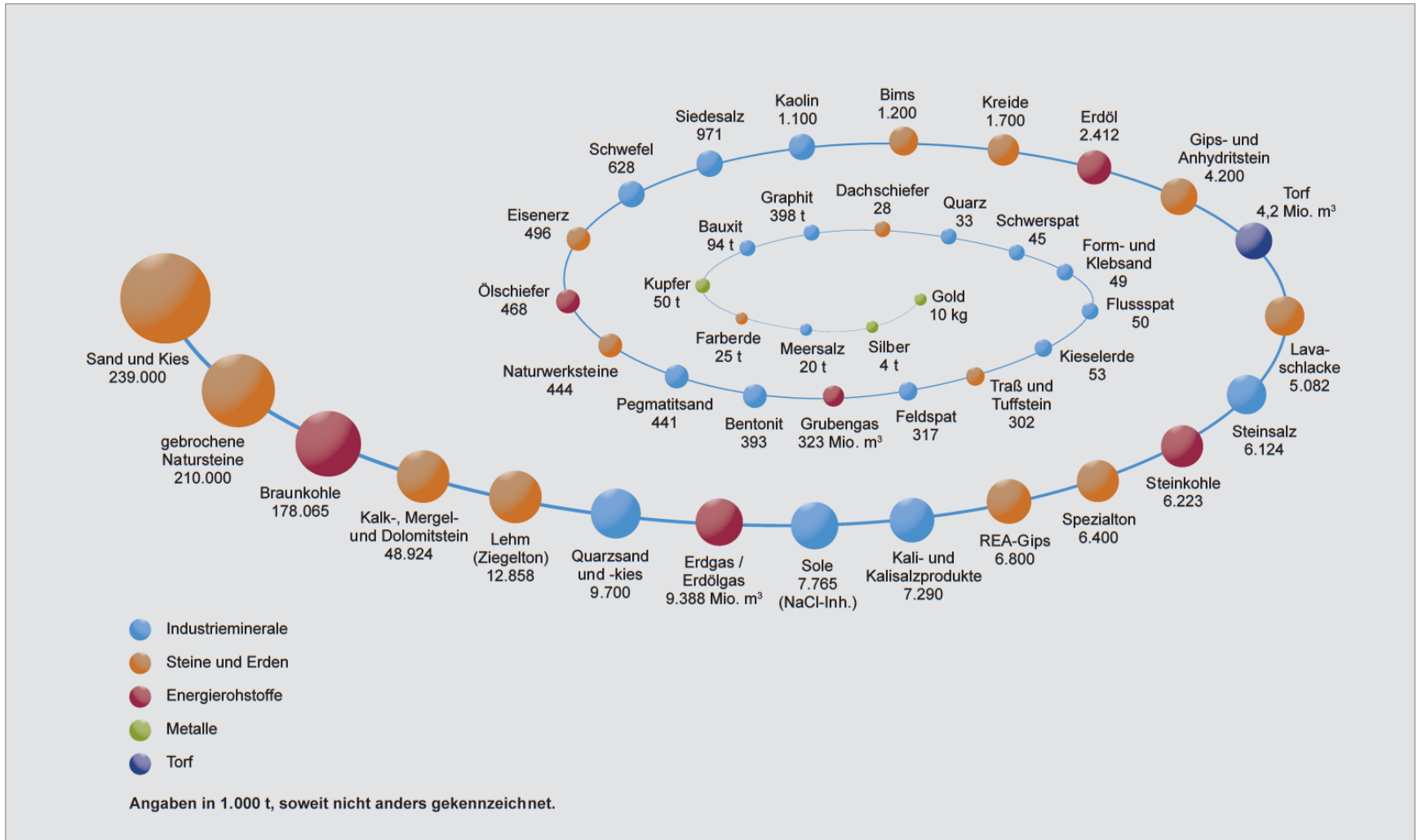
- Dr. B. Erlach
- J. Kullik

Die Ausgangsposition



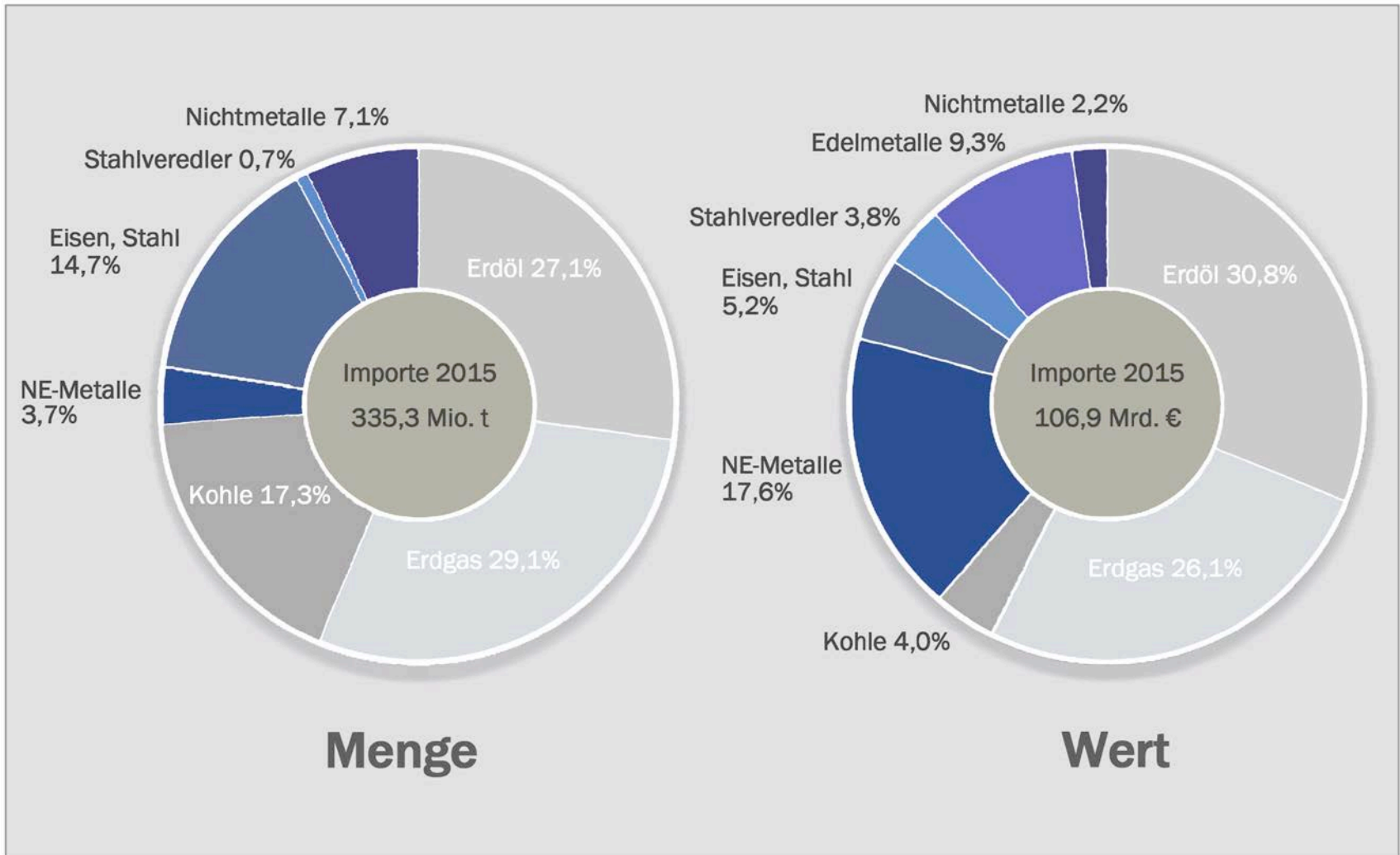
Quelle: BGR (2016)

Ausgangsposition - Eigenmittel



Quelle: BGR (2016)

Ausgangsposition - Importe



Quelle: BGR (2016)

Ausgangsposition – Minerale und Metalle

- Einheimische Primärrohstoffe 7,4 Mrd €
- Einheimische Sekundärrohstoffe ≈ 10 Mrd €*
- Rohstoffimporte 40,9 Mrd €

Importe von Metallrohstoffen:

- Schrotte, Schlacken, Rückstände, etc. 22,3 %
- Erze und Konzentrate 17,1 %
- Zwischen- und Vorprodukte 6,7 %
- Raffinadeprodukte, Legierungen, etc. 53,8 %

Quellen: BGR (2016), *(2015)

Ausgangsposition - Zusammenfassung

- Integration in die globale Rostoffindustrie
- Geringe Beteiligung deutscher Industrie als Rohstoffproduzent
- Abhängigkeit von Rohstoffimporten
 - Zwischenprodukte
 - Sekundäre Rohstoffe
 - Primäre Rohstoffe
- Hohe Vulnerabilität gegenüber
 - Marktversagen
 - Preispeaks
 - Oligo-/Monopolbildung
 - Geopolitische Risiken
- (Un-)bewusste Externalisierung der Folgen für Umwelt und Gesellschaft

Metalle und Minerale für die Energiewende



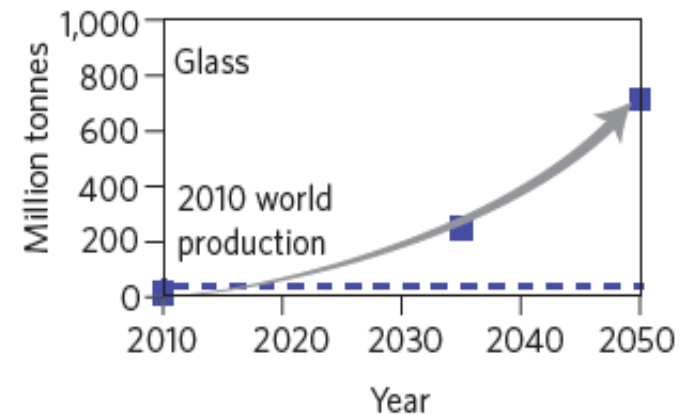
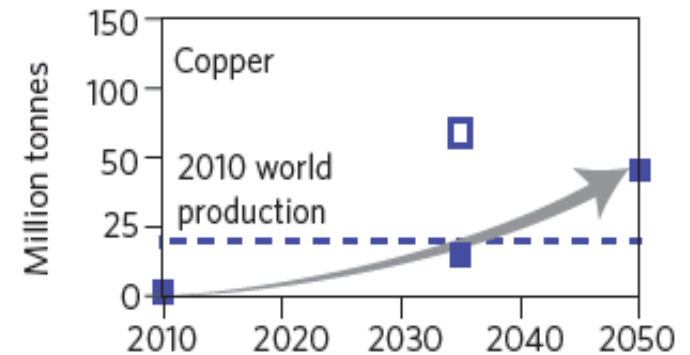
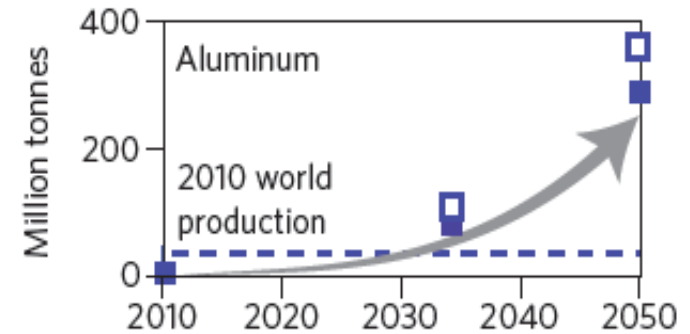
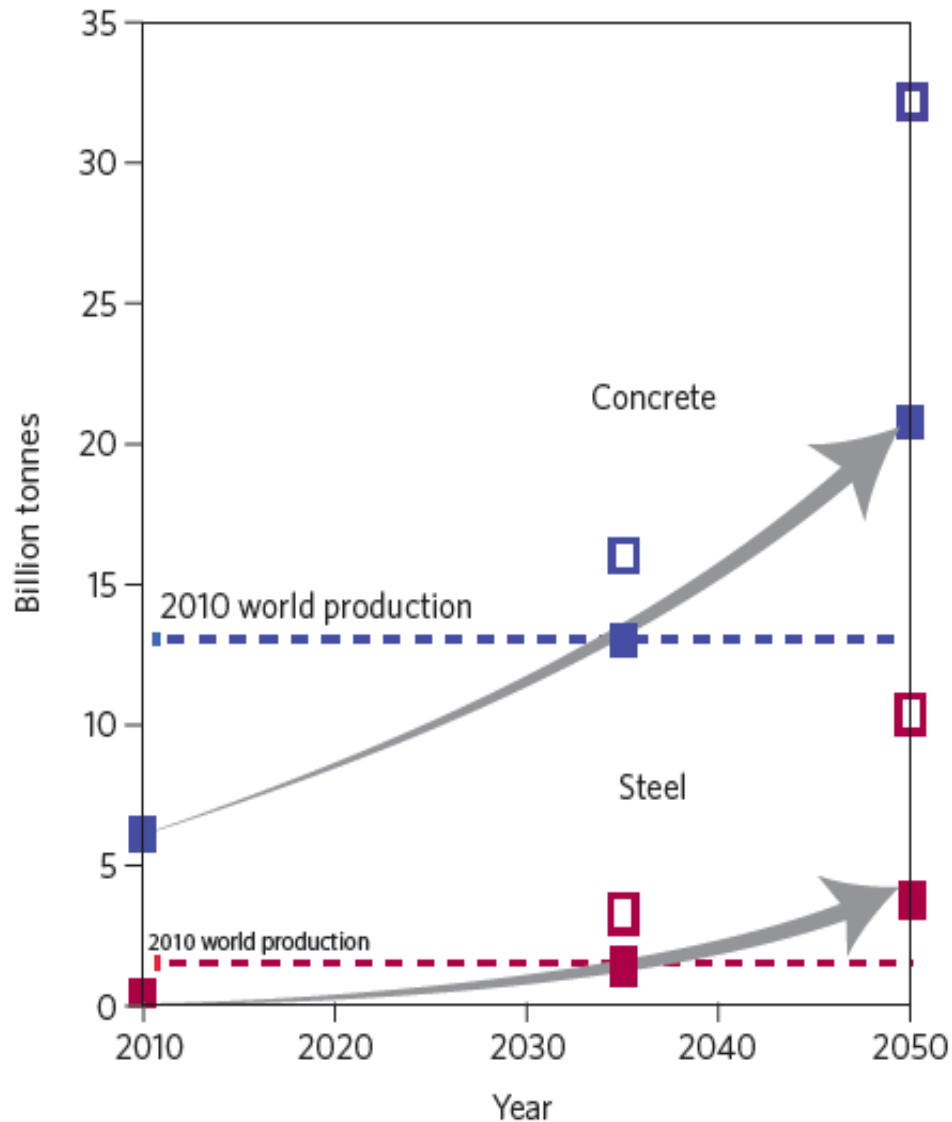
Der Aufbau der Infrastruktur für die Energiewende erfordert eine Primärinvestition in Form von mineralischen und metallischen Rohstoffen.

- Baustoffe
- Glas
- Stahl
- Aluminium
- Kupfer
- Hochtechnologiemetalle

„A shift to renewable energy will replace one non-renewable resource (fossil fuel) by another (metals and minerals).“

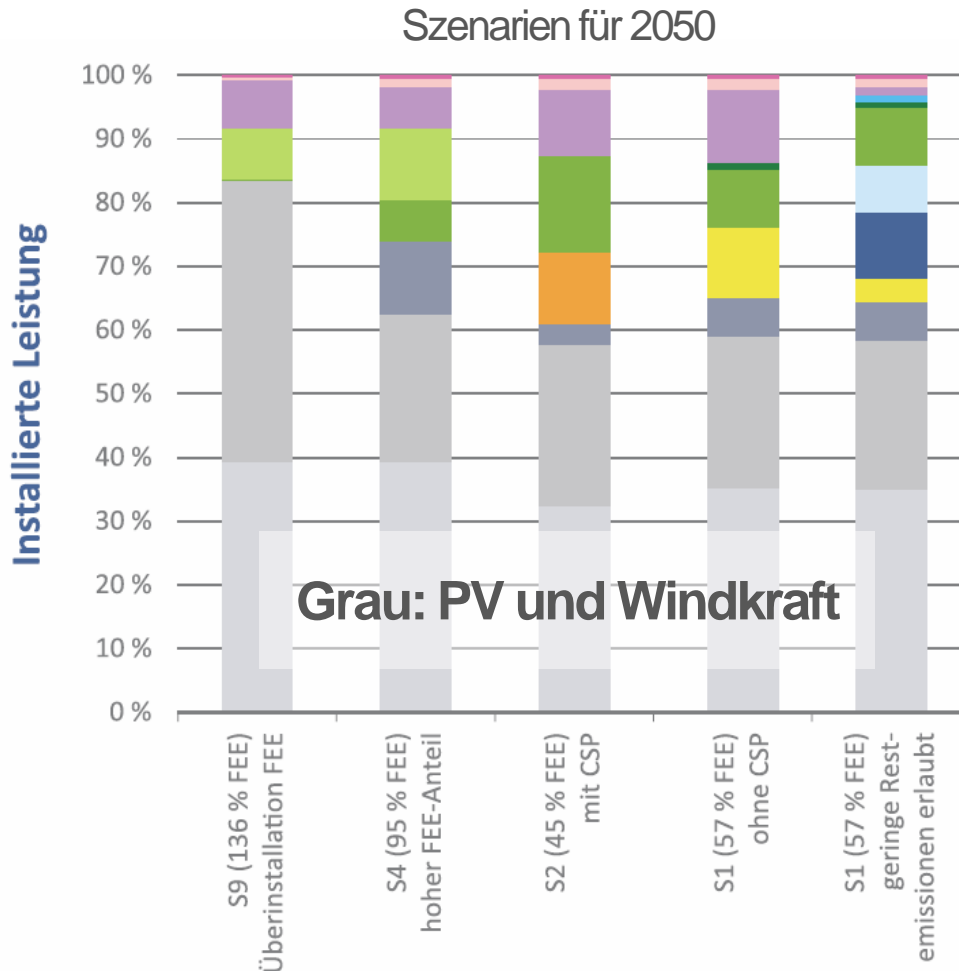
(Vidal, Goffé and Arndt, Nature Geoscience, 2013)

Rohstoffbedarf - Massenrohstoffe



Quelle: Vidal et al., 2013 (Nature Geoscience)

Das deutsche Energiesystem 2050



Installierte Leistung (2016)

Windkraftanlagen: 44,7 GW
Photovoltaik: 39,8 GW

Installierte Leistungen (2050)

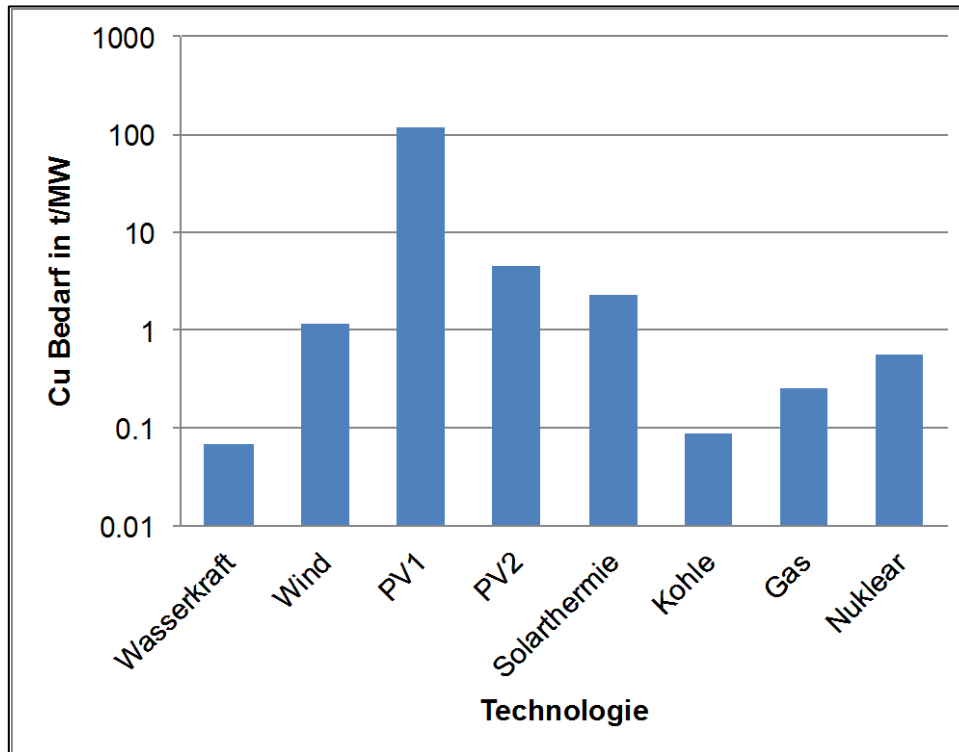
Windkraftanlagen: 65-210 GW
Photovoltaik: 75-185 GW

Δ (2050 – 2016)

Windkraftanlagen: 20-165 GW
Photovoltaik: 35-145 GW

Quellen: AGEE-Stat (2016); acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Hrsg.): Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Stabilität im Zeitalter erneuerbarer Energien (Schriftenreihe zur wissenschafts-basierten Politikberatung), 2015.

Cu Bedarf für das Energiesystem 2050



Δ (2050 – 2016)

Windkraftanlagen: 20-165 GW

Photovoltaik: 35-145 GW

Mehrbedarf an Cu (bis 2050)

Windkraftanlagen: 0,023-0,19 Mt

Photovoltaik: 0,16-0,65 Mt (PV2)

4,2-17,4 Mt (PV1)

Aktueller Bedarf an Cu (2015)

Eigene Produktion: 0,68 Mt
(davon 41 % aus Sekundärrohstoffen)

Verbrauch von Hüttenkupfer: 1,22 Mt

Quellen: Vidal et al. (2013), modifiziert durch Frenzel (oral comm., 2017); BGR (2016)

Cu Recycling – das Potential

EoL Raten

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

<1%
 1-10%
 >10-25%
 >25-50%
 >50%

Quelle: Graedel et al. (2011)

Cu Recycling – die Realität

EoL Rates

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79							
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au							
87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111							
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg							

* Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
** Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm

<1%
 1-10%
 >10-25%

Recycled Content Rates

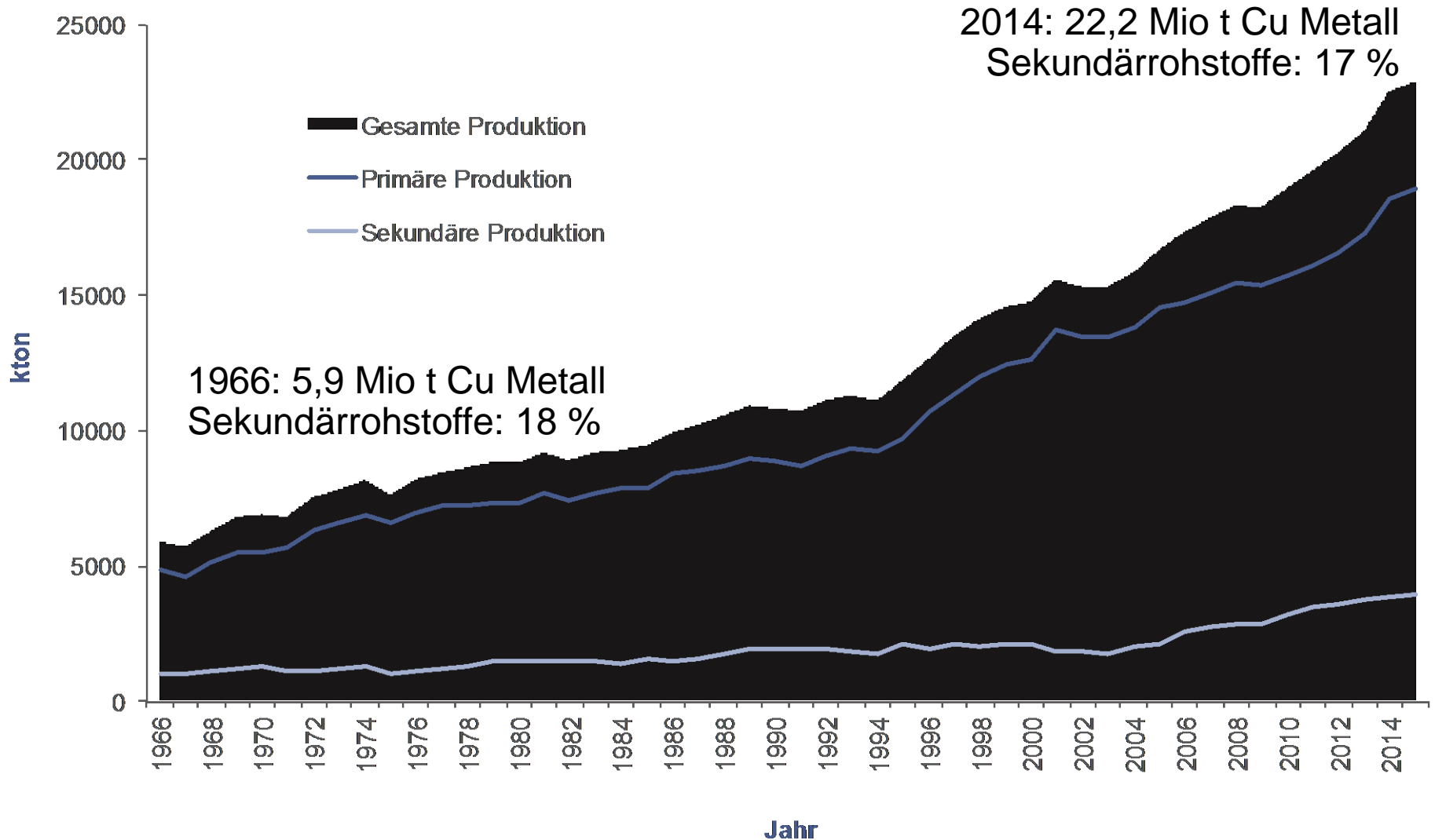
1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	(117)	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	(Uus)	Uuo

* Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
** Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

<1%
 1-10%
 >10-25%
 >25-50%
 >50%

Quelle: Graedel et al. (2011)

Globale Cu Produktion



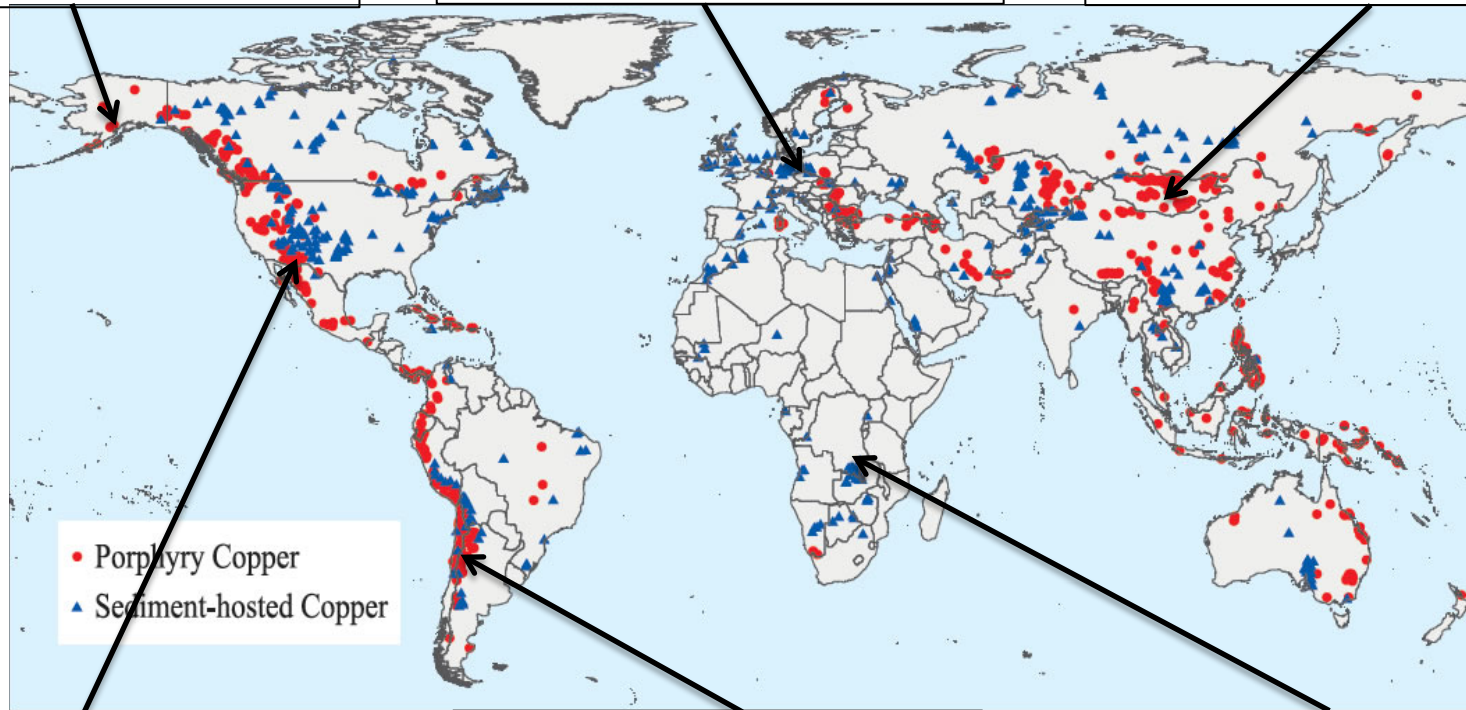
Quelle: ICSG (2017)

Cu – primäre Rohstoffpotentiale

Pebble
Cu Inhalt: 37,8 Mt
Sucht Investor

Spremborg-Graustein
Cu Inhalt: 1,9 Mt Cu
Sucht Investor

Oyu Tolgoi
Cu Inhalt: 44,2 Mt
Expansion



Resolution
Cu Inhalt: 23,9 Mt
Entwicklung (?)

Los Sulfatos
Cu Inhalt: 17,5 Mt
Exploration

Kamoa-Kakula
Cu Inhalt: 33,3 Mt
Exploration, PEA

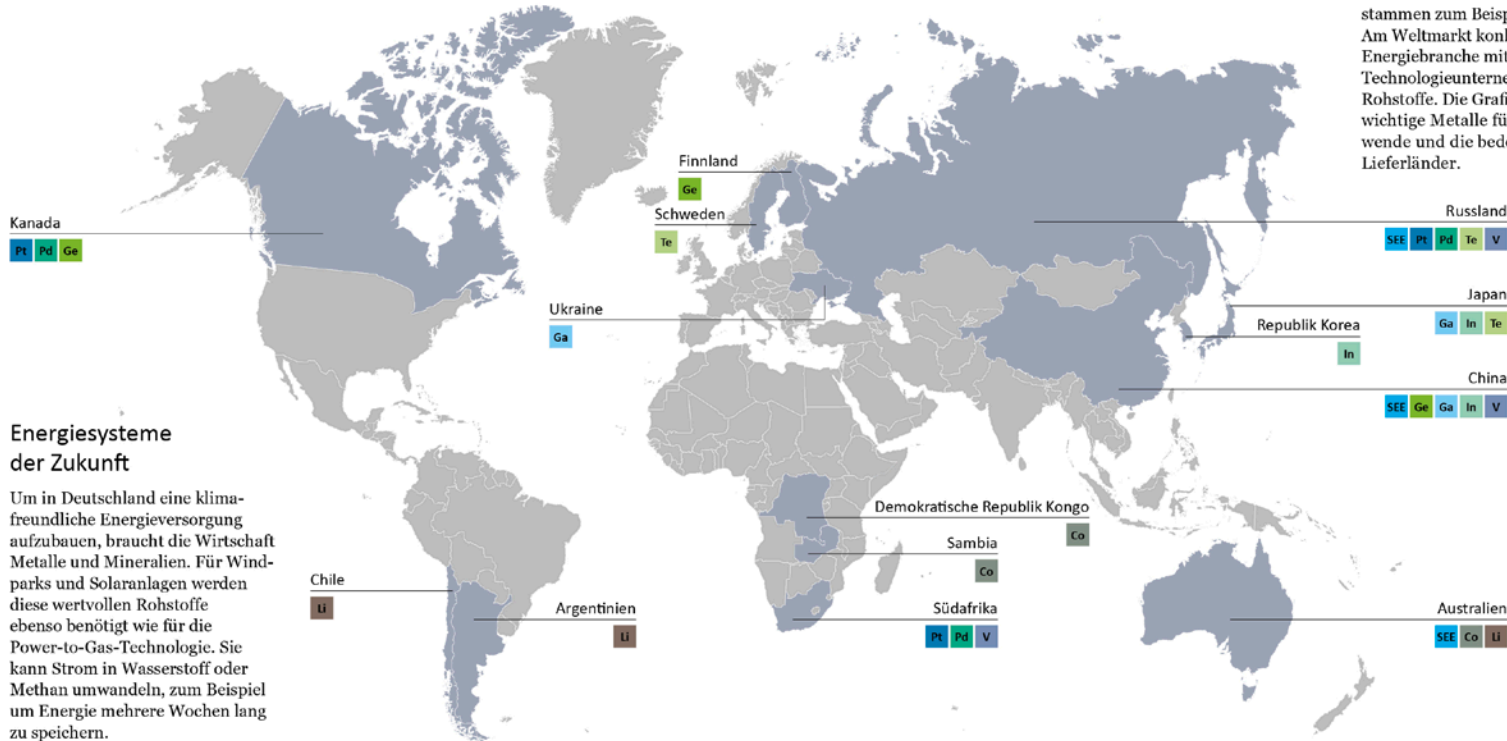
Quellen: Technische Berichte, Firmen-Webseiten (2017), USGS (2014), DERA (2013)

Keine Energiewende ohne Hochtechnologiemetalle



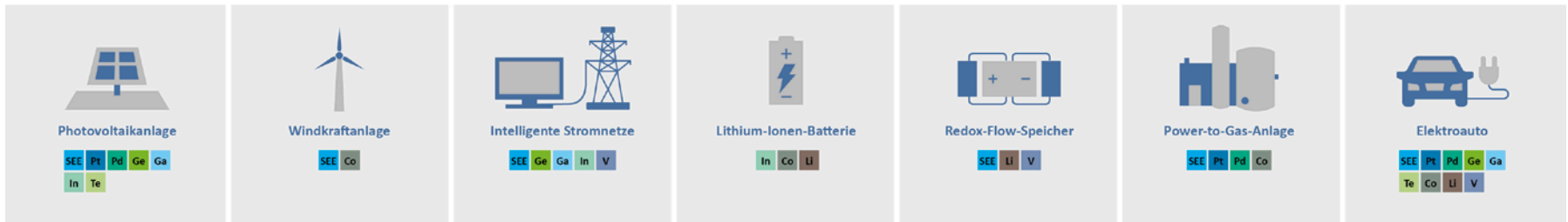
Rohstoffe aus aller Welt

Weltweit gibt es genügend natürliche Metallvorkommen für die Energiewende. Sie sind jedoch sehr ungleich verteilt. Vier Fünftel aller Seltenen Erden stammen zum Beispiel aus China. Am Weltmarkt konkurriert die Energiebranche mit anderen Technologieunternehmen um die Rohstoffe. Die Grafik zeigt einige wichtige Metalle für die Energiewende und die bedeutendsten Lieferländer.



Energiesysteme der Zukunft

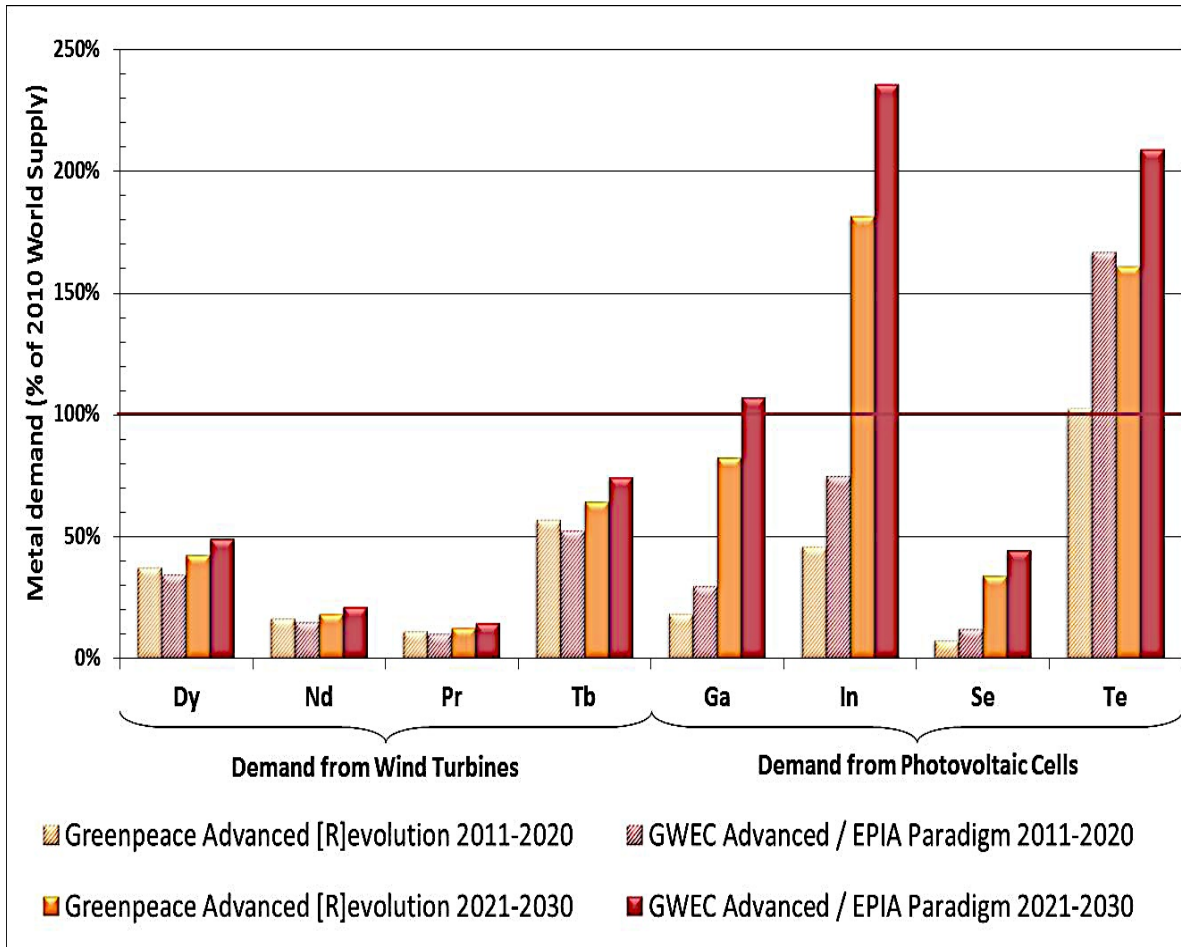
Um in Deutschland eine klimafreundliche Energieversorgung aufzubauen, braucht die Wirtschaft Metalle und Mineralien. Für Windparks und Solaranlagen werden diese wertvollen Rohstoffe ebenso benötigt wie für die Power-to-Gas-Technologie. Sie kann Strom in Wasserstoff oder Methan umwandeln, zum Beispiel um Energie mehrere Wochen lang zu speichern.



Quellen: BGR / DEARA: Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016; U.S. Geological Survey 2017 (www.usgs.gov) © acatech/Leopoldina/Akademienunion, 2017.

Keine Energiewende ohne Hochtechnologiemetalle

„In 2030, global demand for Ga, In, Se, Te, Dy, Nd, Pr and Tb for photovoltaic cells and wind turbines will be 10 to 230% more than the 2010 world supply“



Globale Produktion (2015)

Dy	≈ 1.100 t
Nd	≈ 20.000 t
Pr	≈ 6.000 t
Tb	≈ 300 t
Ga	435 t*
In	755 t
Se	>2340 t**
Te	>120 t**

* Only low-grade primary Ga
** Data incomplete

Quellen: Öhrlund (2011); USGS (2016); BGS (2011)

Hochtechnologiemetalle – Recycling

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

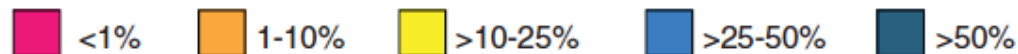


Fig. 1. Global estimates of end-of-life recycling rates for 60 metals and metalloids, circa 2008 [adapted from (6)].

Quelle: Reck and Graedel (2012)

Hochtechnologiemetalle – Primäre Rohstoffe

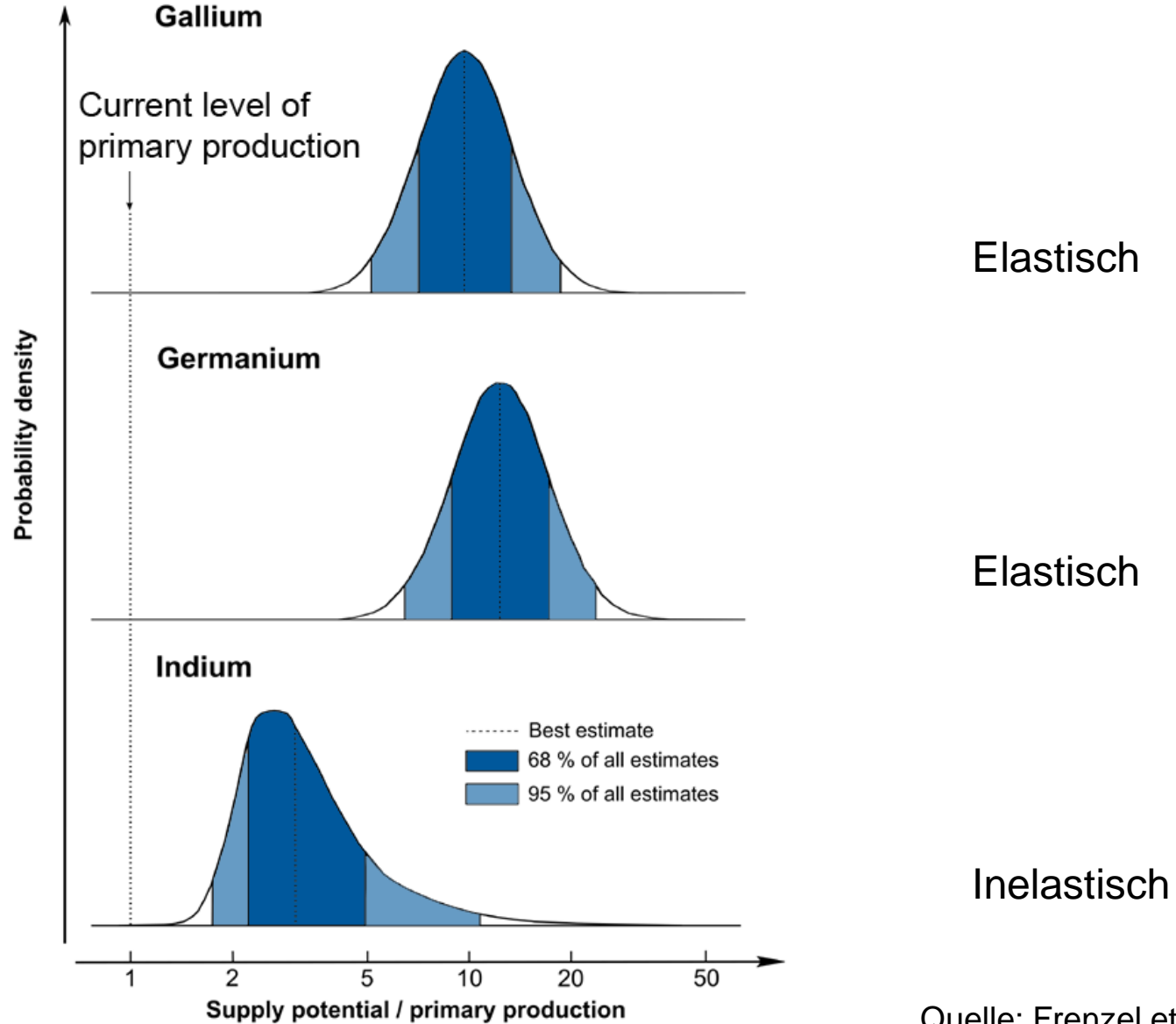
Metalle in eigenständigen Lagerstätten (Hauptprodukte)

- SEE, Li, Nb/Ta, PGE,
- Geringe Marktvolumen; fehlende Verarbeitungskapazitäten
- Ausreichend Ressourcen/Reserven und globales Explorationspotential (Ausnahme: PGE)
- Marktkonzentration als größtes Risiko (z.B. SEE, PGE und Nb)

Metalle als Koppel- oder Beiprodukt

- Co, Ga, Ge, In, Te,...
- Geringe Marktvolumen; fehlende Verarbeitungskapazitäten
- Intransparente Märkte, wenig robuste Daten
- Marktkonzentration und inelastische Märkte als größtes Risiko

Inelastischer Markt als Versorgungsrisiko



Quelle: Frenzel et al. (2017)

Metalle und Minerale für die Energiewende

The background image shows a landscape with renewable energy infrastructure. In the foreground, there is a large array of solar panels tilted towards the sun. In the middle ground, several wind turbines are visible, with their blades partially obscured by the solar panels. The sky is clear and blue.

- Der Aufbau der Infrastruktur für die Energiewende erfordert eine Primärinvestition in Form von mineralischen und metallischen Rohstoffen.
- Der entstehende Bedarf kann nur mit dem Einsatz primärer Rohstoffe gedeckt werden.
- Die Verfügbarkeit von Rohstoffen aus sekundären Quellen muss deutlich verbessert werden.

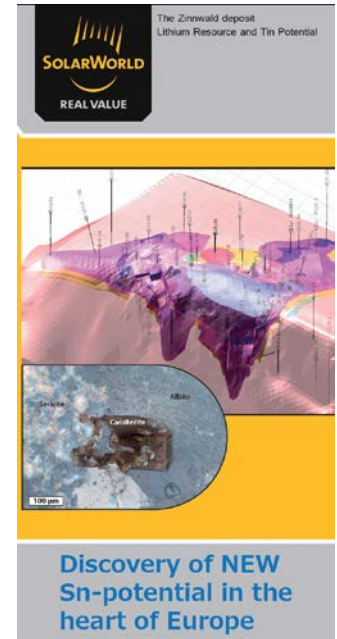
Handlungsoptionen

- **Expertise und Wissenstransfer**
 - Rohstoffexpertise und Wissenstransfer
 - Offenlegung geologischer Daten
 - Internationale Vernetzung
- **Versorgungssicherheit**
 - Recycling
 - Diversifizierte Bezugsquellen
 - Marine Rohstoffe
 - Lagerhaltung
- **Ressourceneffizienz**
 - Ressourcentechnologien
 - Umsetzung in Industrie und Haushalten
- **Internationale Rohstoffpolitik**
 - Globale Ansätze
 - Bilaterale Ansätze
 - Zentrale Ansprechpartner
 - Transparenzmechanismen

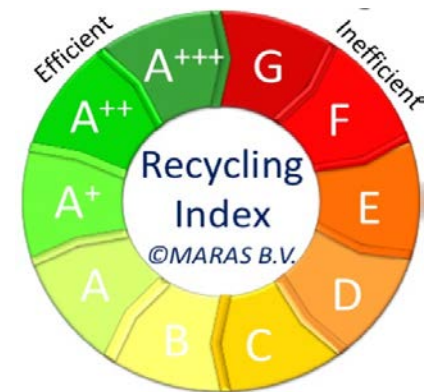


Nutzung heimischer Rohstoffpotentiale

- **Primäre Rohstoffe**
 - Neuerfassung von Rohstoffpotentialen (D und EU)
 - Stärkung der Rohstoffexpertise
 - Entwicklung innovativer Technologien
 - Nutzungskonzepte für marine Rohstoffe
- **Sekundäre Rohstoffe**
 - Anreizsysteme und Leasingkonzepte
 - Vermeidung illegaler Exporte
 - Recyclingfähiges Produktdesign
 - Zertifizierung von Ressourceneffizienz
- **Substitution und Materialeffizienz**
- **Zivilgesellschaft**
 - „Social license to operate“
 - Vermeidung der vollständigen Externalisierung
 - Einführung einer Ressourcensteuer (??)



Solarworld – TUBAF – GEOS
Kooperation



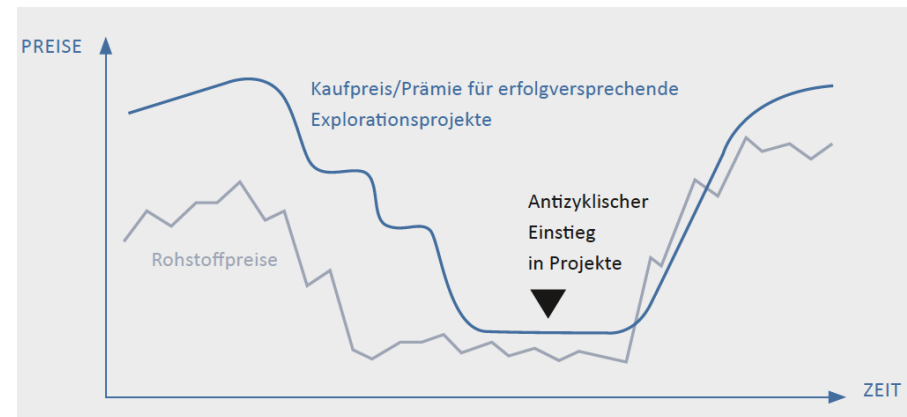
Recycling Index,
Van Schaik und Reuter

Der Staat als Rohstoffunternehmer

Gründung eines international agierenden deutschen (europäischen) Rohstoffunternehmens als Element einer langfristig angelegten Rohstoffpolitik?

■ Vorteile

- Versorgungssicherheit wird aktiv gestärkt (Bsp. JOGMEC)
- Antizyklisches Verhalten
- Vermeiden von Marktversagen
- Beitrag zur Einhaltung von Umwelt- und Sozialstandards



■ Risiken

- Impuls verfehlt das Interesse der Industrie
- Ineffizienz eines Staatsunternehmens
- Finanzielle Risiken

→ Eine umfassende Prüfung der Chancen und Risiken ist bei allen Modellen möglicher staatlicher Beteiligung unbedingt erforderlich.

Fazit

- Die Verfügbarkeit von mineralischen und metallischen Rohstoffen als Voraussetzung für die Energiewende.
- Rohstoffmärkte sind global –aber nicht unbedingt transparent und offen.
- Langfristig angelegte, aktive Rohstoffpolitik auf nationaler, europäischer und globaler Ebene.
- Primäre und sekundäre Rohstoffe sind komplementäre Bestandteile einer sicheren Versorgung.

Energiewende und Ressourceneffizienz koppeln!

