

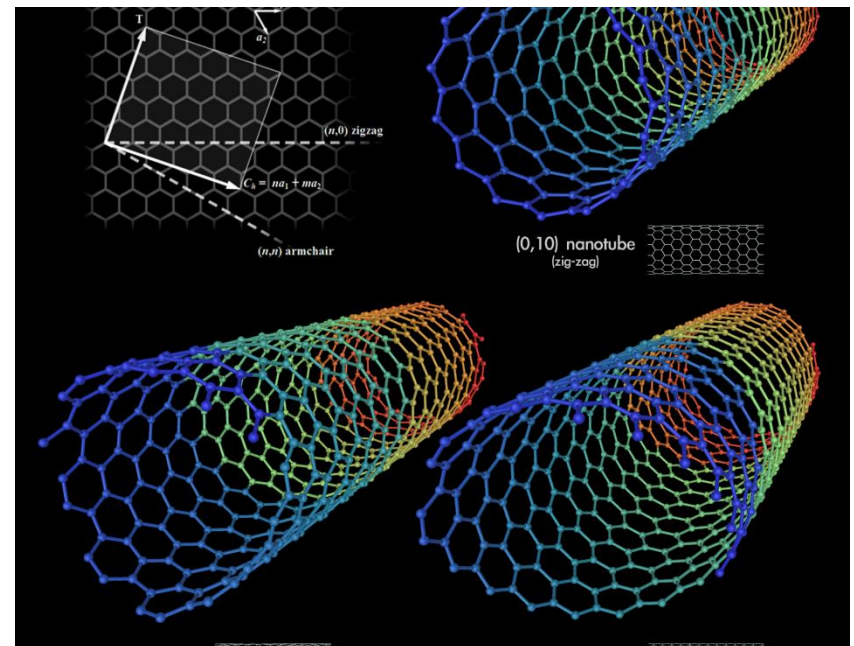
ERGEBNISSE DER STUDIE: „ROHSTOFFE FÜR ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN 2016“

F. Marscheider-Weidemann

S. Langkau, T. Hummen, L. Erdmann, L. Tercero Espinoza, G. Angerer, M. Marwede, S. Benecke



© Bärås, CC BY-SA 3.0



© Michael Ströck, wikimedia, CC BY-SA 3.0

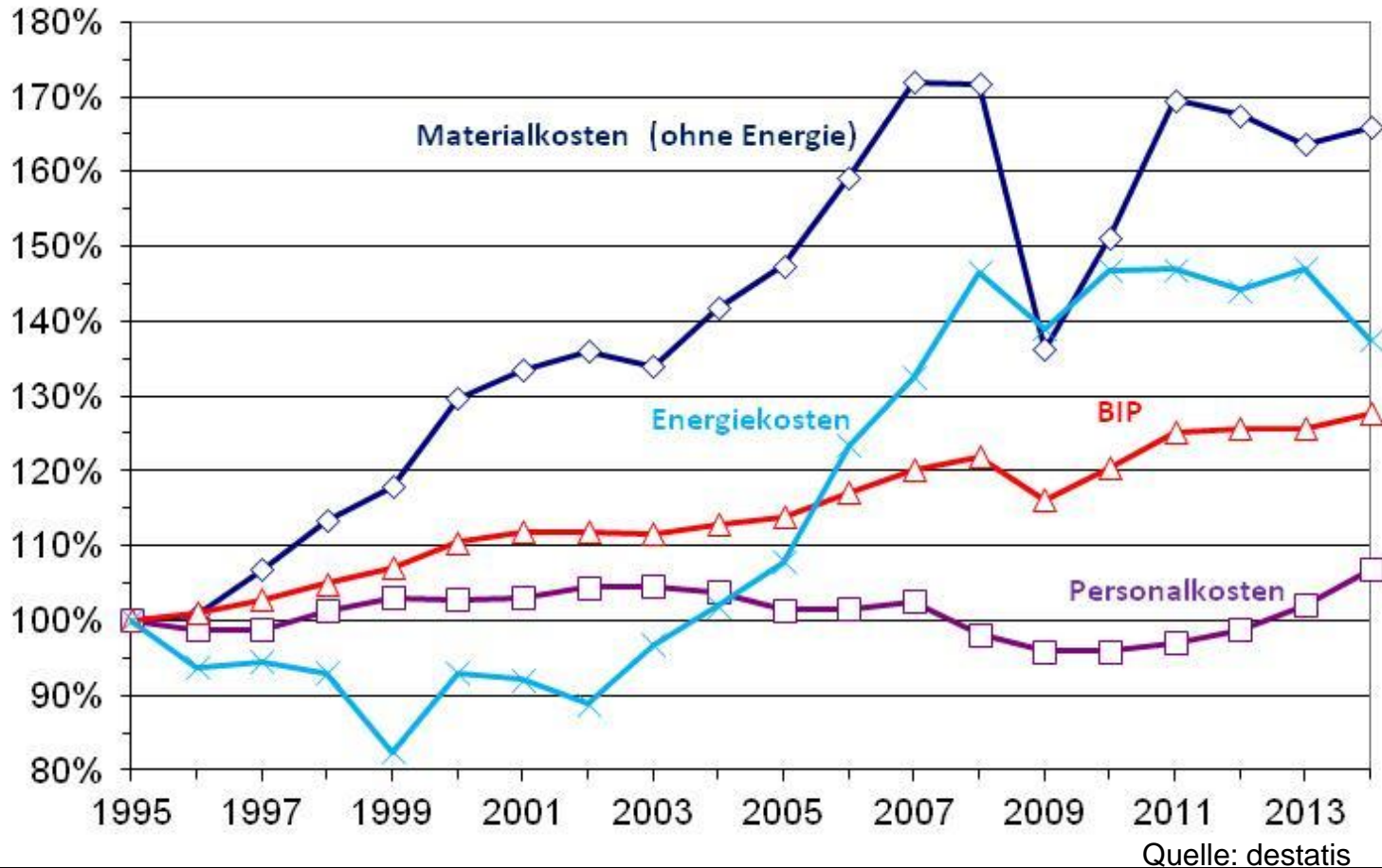
Gliederung

1. Hintergrund und Problemstellung der Studie
2. Methodik
3. Zukunftstechnologien
4. Rohstoffsynopsen
5. Ergebnisse
6. Handlungsempfehlungen

Hintergrund

- Aktualisierung der Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ aus dem Jahre 2009
- Bezugsjahre 2013 und 2035 (2006 und 2030)
- Aktualisierung der vorliegenden 32 Technologiesynopsen
 - „Technologiebeschreibung“, „Rohstoffinhalt“, „Foresight Industrielle Nutzung“ und „Rohstoffbedarf“.
- Erstellung einer aktuellen Liste von Zukunftstechnologien auf Basis der Liste aus dem Vorprojekt
- Erarbeitung von zehn neuen Technologiesynopsen
- Auswahl und Bearbeitung von ca. 15 Rohstoffsynopsen
- Synthese der Synopsen

Hintergrund



Methodik: Schätzung des Rohstoffbedarfs

$$B = b \cdot A$$

B = Rohstoffbedarf einer bestimmten Anwendung in t/a

b = spezifischer Rohstoffbedarf der Anwendung in t/Einheit

A = Aktivitätsrate (Produktionsmenge) der Anwendung in Einheiten/a

spezifischer Rohstoffbedarf

Veränderung des Rohstoffbedarf

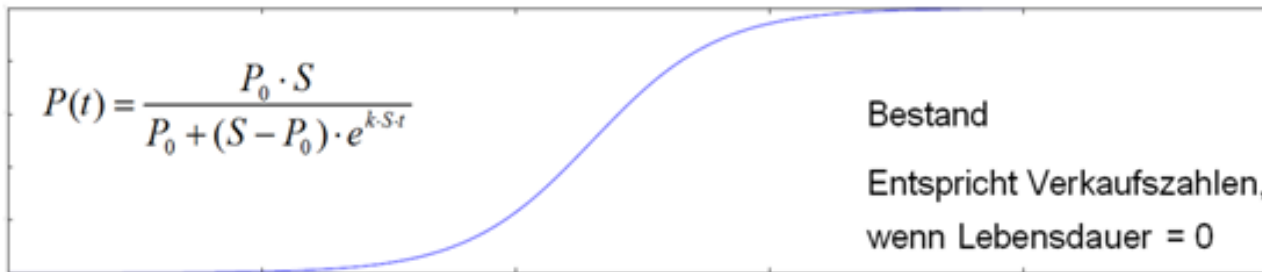
$$\frac{B_{2035}}{B_{2013}} = \frac{b_{2035}}{b_{2013}} \cdot \underbrace{A_{2013} \cdot (1 + r)^{(2035-2013)}}_{\text{Entwicklung des Marktes}}$$

Ergebnisdarstellung

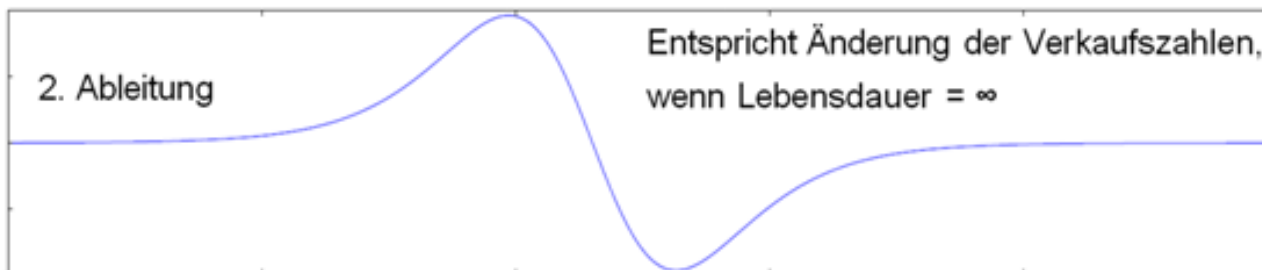
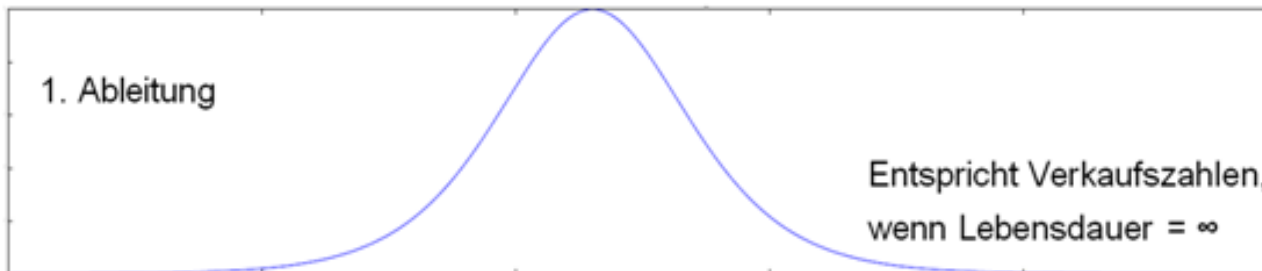
$$\frac{B_{2035}}{C_{2013}}$$

C = Rohstoffproduktion

Methodik: Marktdiffusion



t = Zeit
P = Produkte
 P_0 = Startwert
S = Sättigungswert
k = Wachstums-
konstante



Bei Marktstudien zu
Technologien Angabe
häufig in CAGR
(*Compound Annual
Growth Rate*)

Screening von Zukunftstechnologien

Auswahlkriterien

Zukunftstechnologien sind industriell verwertbare technische Fähigkeiten, die **revolutionäre** Innovationsschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren auslösen.

32 Technologiesynopsen aus der Vorstudie, 10 neue Zukunftstechnologien

Auswahlliste mit ca. 160 Zukunftstechnologien erstellt, Auswahl erfolgte nach

- Marktpotential
- Rohstoffbedarf

Technologien, die keine anorganischen mineralischen Rohstoffe benötigen bleiben unberücksichtigt, z. B. DNA-Synthese, Künstliche Intelligenz, Browsertechnologien

Technologieportfolio

Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Verkehrstechnik

1. Stahlleichtbau mit Tailored Blanks
2. Elektrische Traktionsmotoren für Kraftfahrzeuge
3. PEM-Brennstoffzellen Elektrofahrzeuge
4. Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge
5. Scandium-Legierungen für den Airframe Leichtbau
6. Automatisches Pilotieren von Kraftfahrzeugen
7. Unbemannte Luftfahrzeuge („Drohnen“)

Optische Technologien, IKT, Mikrotechniken

8. Bleifreie Lote
9. RFID – Radio Frequency Identification
10. Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik
11. Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten
12. Weiße LED
13. Glasfaserkabel
14. Mikroelektronische Kondensatoren
15. Hochleistungs-Mikrochips

Energie-, Elektro- und Antriebstechnik

16. Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren
17. Thermoelektrische Generatoren
18. Farbstoffsolarzellen
19. Dünnschicht-Photovoltaik
20. Solarthermisches Kraftwerk
21. SOFC- Stationäre Brennstoffzelle
22. CCS - Carbon Capture and Storage

23. Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher für Pkw
24. Redox-Flow –Speicher
25. Vakuumisolation
26. Induktive Übertragung elektrischer Energie
27. Thermische Speicher
28. Micro-Energy Harvesting aus der Umgebungsenergie
29. Windkraftanlagen

Chemie-, Prozess-, Fertigungs- und Umwelttechnik, Maschinenbau

30. Synthetische Kraftstoffe
31. Meerwasserentsalzung
32. Festkörper-Laser für die industrielle Fertigung
33. Nanosilber

Medizintechnik

34. Orthopädische Implantate
35. Medizinische Tomographie

Werkstofftechnik

36. Superlegierungen
37. Hochtemperatursupraleiter
38. Hochleistungs-Permanentmagnete
39. Industrie 4.0
40. Carbonfaserverstärkter Kunststoffleichtbau
41. CNT (Carbon Nanotubes)
42. Additive Fertigung („3D-Drucker“)

Technologieportfolio

Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Verkehrstechnik

1. Stahlleichtbau mit Tailored Blanks
2. Elektrische Traktionsmotoren für Kraftfahrzeuge
3. PEM-Brennstoffzellen Elektrofahrzeuge
4. Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge
5. Scandium-Legierungen für den Airframe Leichtbau
6. Automatisches Pilotieren von Kraftfahrzeugen
7. Unbemannte Luftfahrzeuge („Drohnen“)

Optische Technologien, IKT, Mikrotechniken

8. Bleifreie Lote
9. RFID – Radio Frequency Identification
- 10. Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik**
11. Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten
12. Weiße LED
13. Glasfaserkabel
14. Mikroelektronische Kondensatoren
15. Hochleistungs-Mikrochips

Energie-, Elektro- und Antriebstechnik

16. Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren
17. Thermoelektrische Generatoren
18. Farbstoffsolarzellen
19. Dünnschicht-Photovoltaik
20. Solarthermisches Kraftwerk
21. SOFC- Stationäre Brennstoffzelle
22. CCS - Carbon Capture and Storage

23. Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher für Pkw

24. Redox-Flow –Speicher
25. Vakuumisolation
26. Induktive Übertragung elektrischer Energie
27. Thermische Speicher
28. Micro-Energy Harvesting aus der Umgebungsenergie

29. Windkraftanlagen

Chemie-, Prozess-, Fertigungs- und Umwelttechnik, Maschinenbau

30. Synthetische Kraftstoffe
31. Meerwasserentsalzung
32. Festkörper-Laser für die industrielle Fertigung
33. Nanosilber

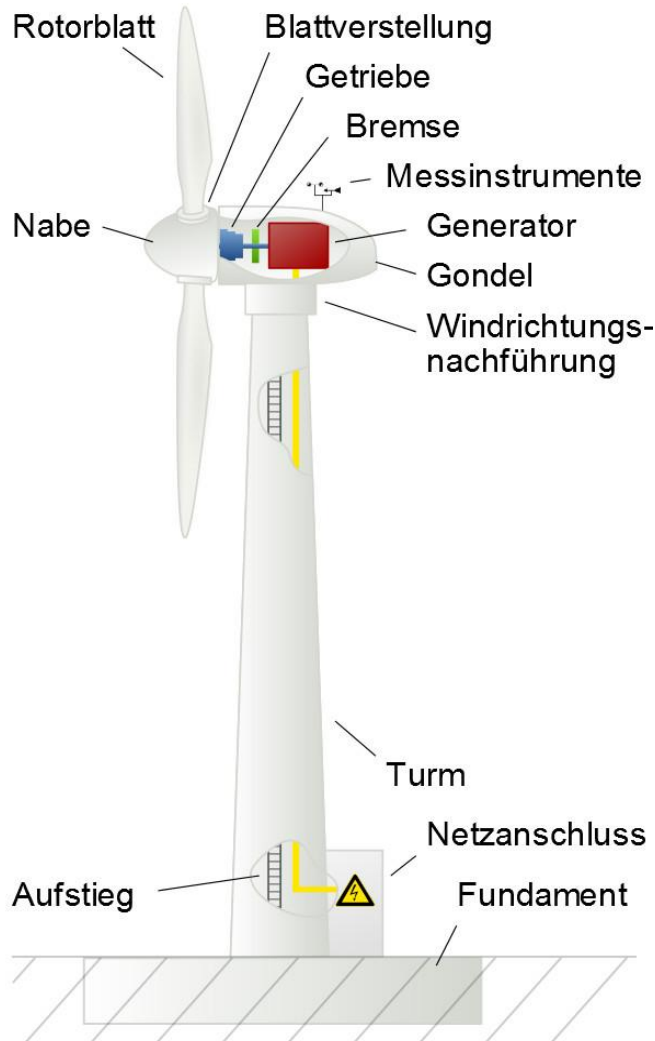
Medizintechnik

34. Orthopädische Implantate
35. Medizinische Tomographie

Werkstofftechnik

36. Superlegierungen
37. Hochtemperatursupraleiter
38. Hochleistungs-Permanentmagnete
39. Industrie 4.0
40. Carbonfaserverstärkter Kunststoffleichtbau
41. CNT (Carbon Nanotubes)
42. Additive Fertigung („3D-Drucker“)

Zukunftstechnologien: Windkraftanlagen



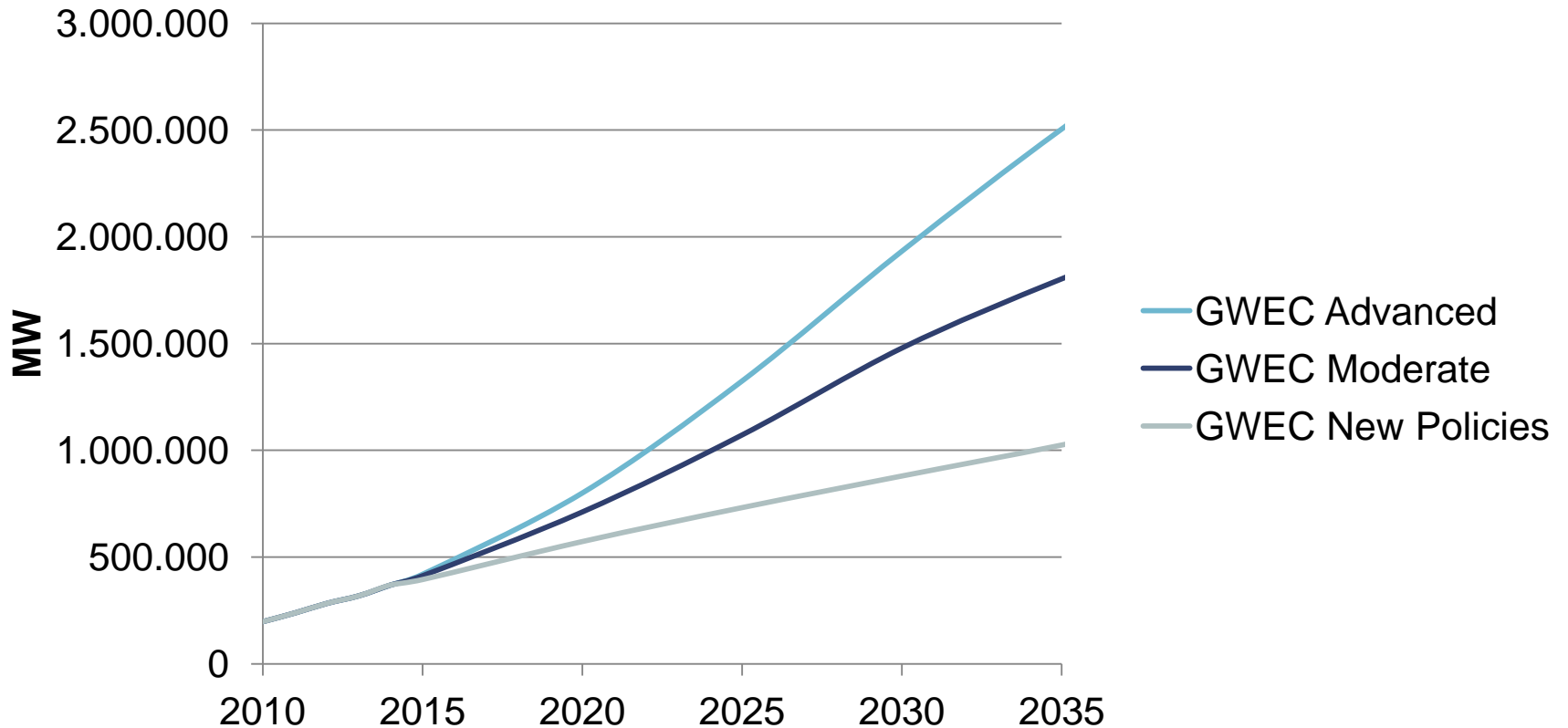
© Arne Nordmann, wikimedia, CC BY-SA 3.0



© KarleHorn, wikimedia, CC BY-SA 3.0

Windkraftanlagen (WKA): Marktentwicklung bis 2035

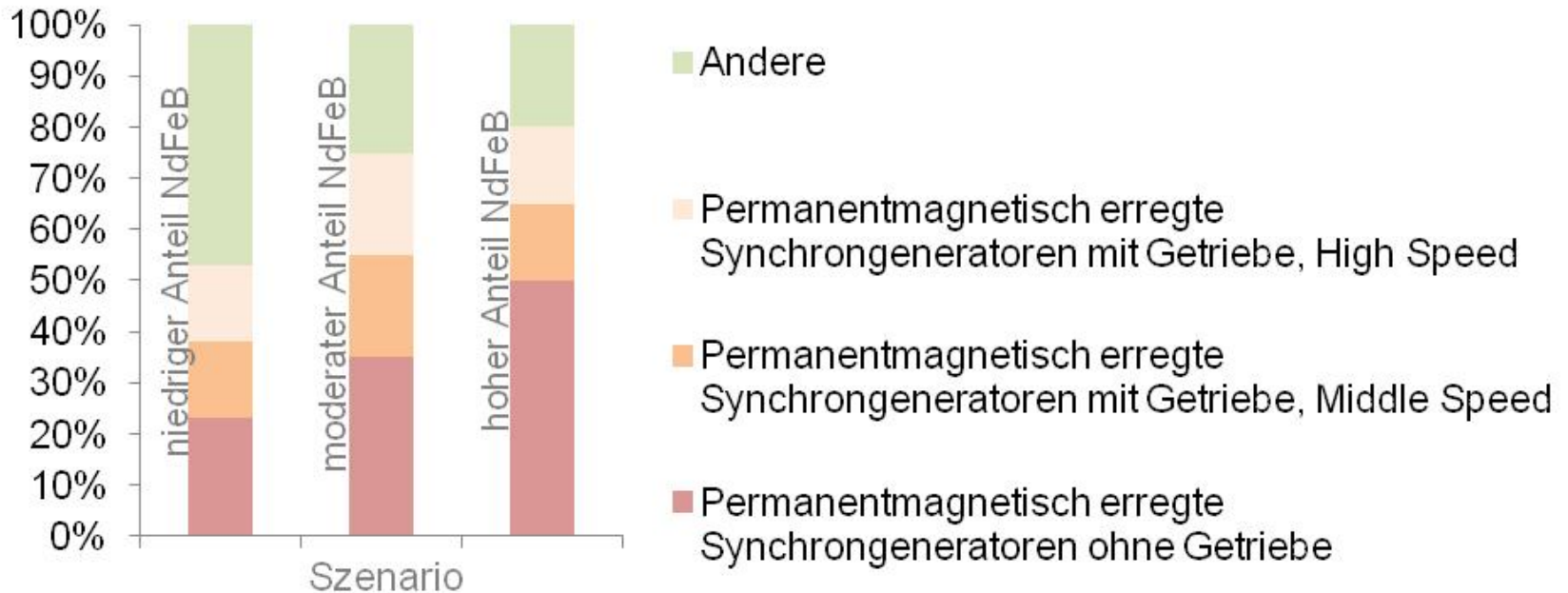
Entwicklung der installierten Gesamtkapazität



Global Wind Energy Outlook (*Global Wind Energy Council & Greenpeace 2014*)

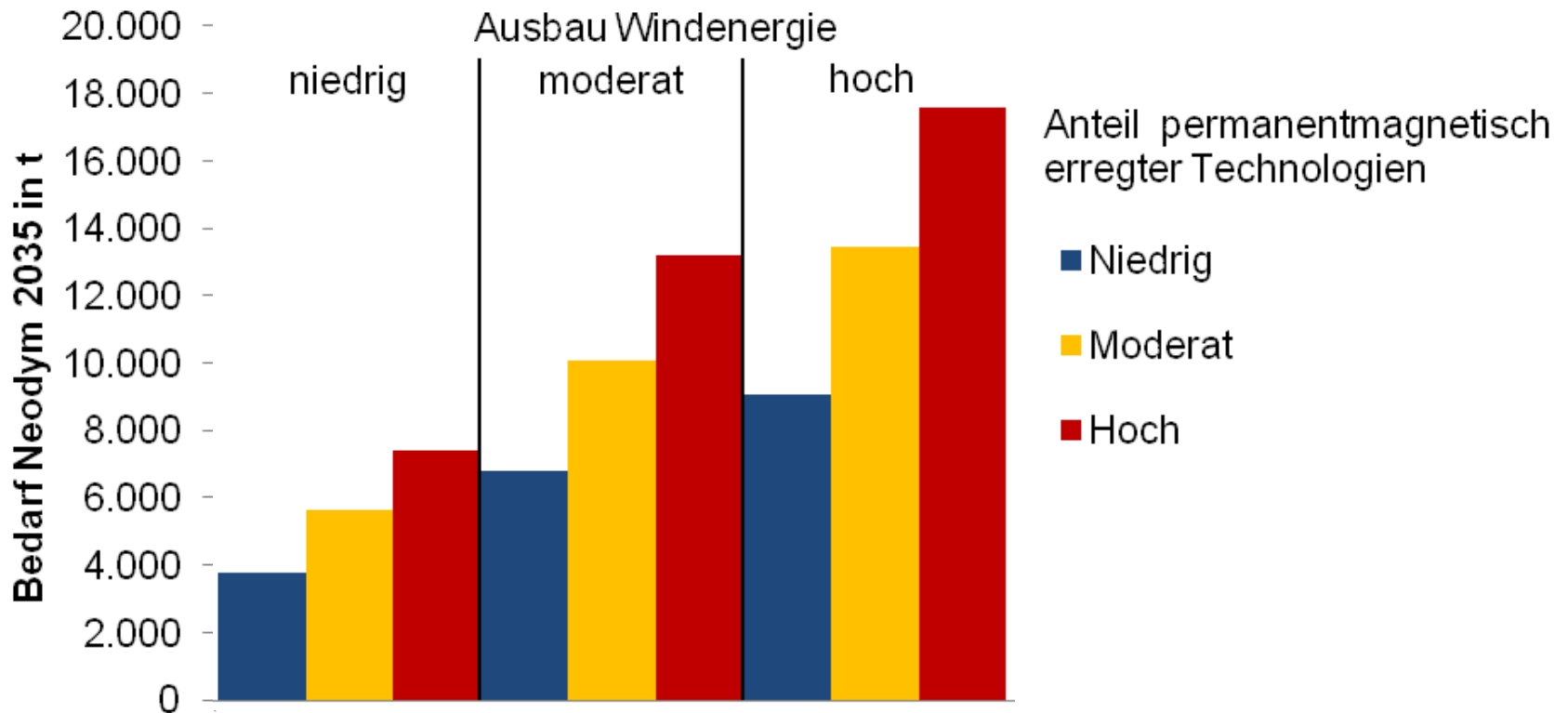
Windkraftanlagen: Marktanteile Generatortechnologien

	Asynchrongeneratoren	Synchrongeneratoren
Elektrisch erregt	Getriebe (High Speed)	Direct Drive
Permanentmagnetisch erregt		Getriebe (High Speed)
		Getriebe (Middle Speed)
		Direct Drive

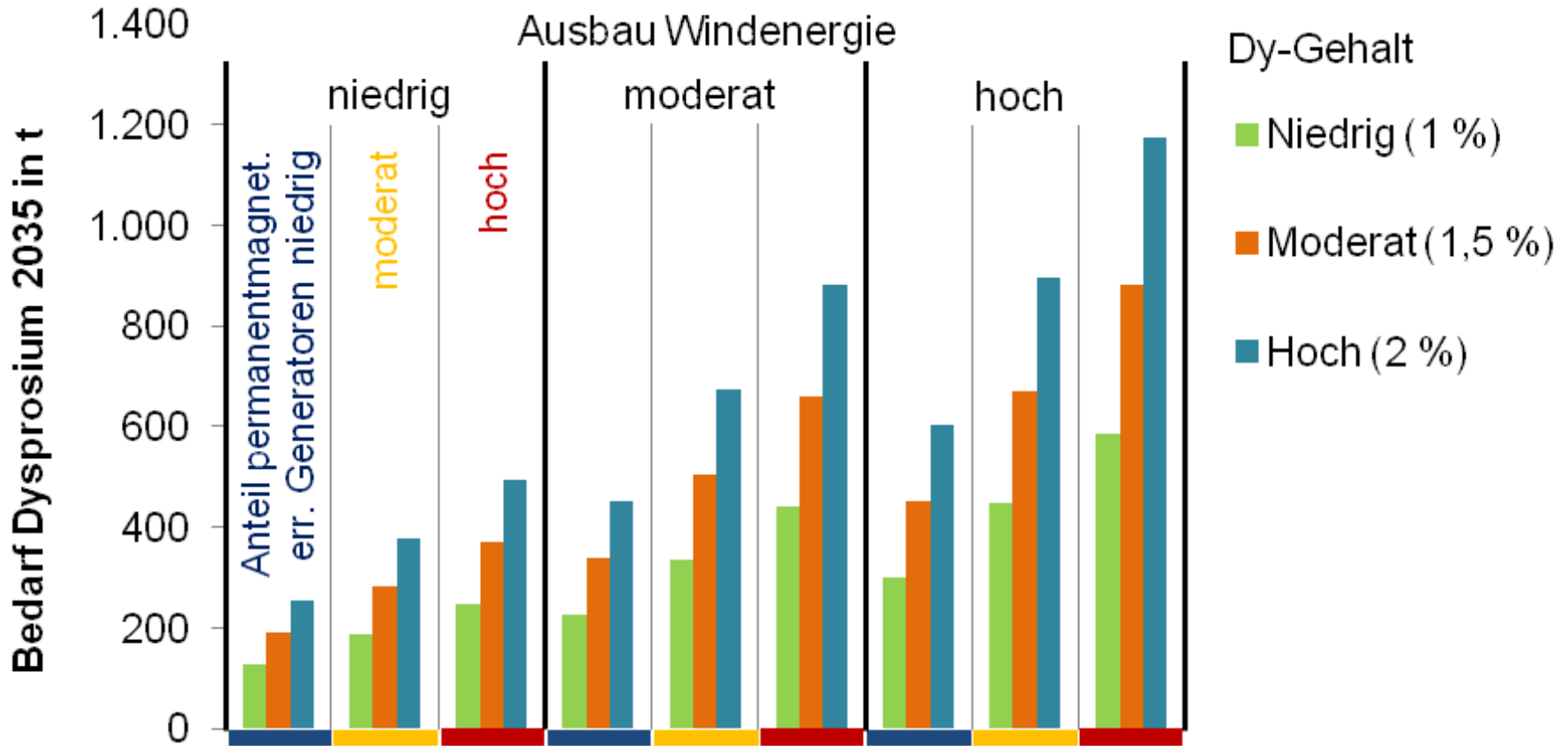


Windkraftanlagen: Globaler Bedarf Neodym, Praseodym 2035

- Spezifischer Bedarf an NdFeB für magnetisch erregte Generatoren: 650 kg/MW (Direct Drive), 160 kg/MW (High-Speed), 80 kg/MW (Middle-Speed) nach *Viebahn et al. 2014, EC 2011*



Windkraftanlagen: Globaler Bedarf Dysprosium, Terbium 2035



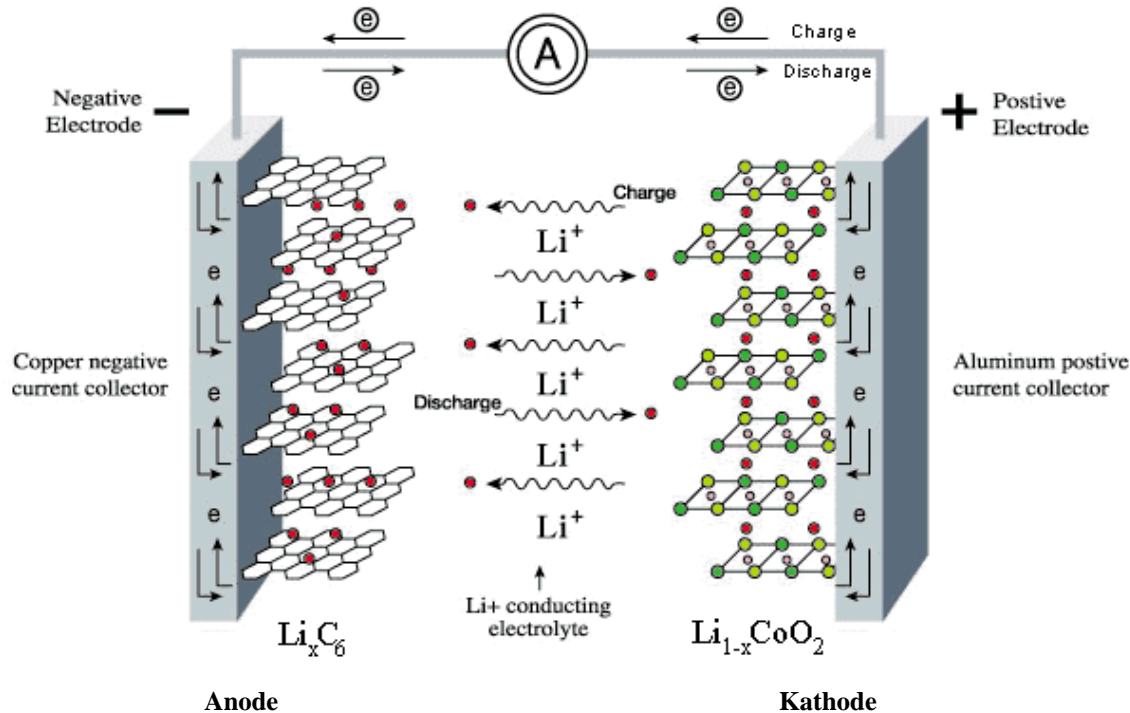
Windkraftanlagen

Rohstoff	Weltproduktion 2013	Verbrauch 2013	Bedarfsvorschau 2035
Neodym & Praseodym	36.600 t	gering	10.100 t (3.800 – 17.600 t)
Dysprosium & Terbium	2.330 t	gering	500 t (130 – 1.170 t)
Kupfer	18.365.341 t (B) 21.446.333 t (R)	103.000 t	244.100 t (136.800 – 325.100 t)
Zinn	289.790 t (B) 362.996 t (R)	8.096 t	19.186 t (10.751 – 25.555 t)

- Seltene Erden Bedarf **stark abhängig von** verschiedenen **Variablen** (Marktentwicklung der WKA, Generator- und Magnettechnologie)
- Vorteil beim Offshore Betrieb: Permanentmagnetisch erregte Direct-Drive-WKA sollen **weniger Wartung** benötigen
- **Kupferbedarf** für den durch Windenergienutzung bedingten **Stromnetzausbau** ca. 20-fach des direkten Bedarfs für WKA betragen
- Recycling von Seltenen Erden sehr lohnend, aber **zur Zeit Export** von ganzen WKA, die durch Repowering ersetzt werden

Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher für Pkw

Aufbau und Funktionsprinzip



Verwendungen

- Hybrid- und Elektrofahrzeuge
- Mobile elektronische Geräte (Laptops)
- Akkuwerkzeuge (Power Tools)

Quelle: Fraunhofer ICT

Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher für Pkw

- Nutzung des Modells GLOMO mit unterschiedlichen Szenarien:
- „Prävalenz konventioneller PKW“: niedrige Akzeptanz und geringe politische Förderung für E-PKW sowie ungelöste Themen Reichweite (BEV) und H2-Infrastruktur (FCEV)
- „Marktdurchdringung E-PKW“ mit gesteigerter Akzeptanz von E-PKW durch Infokampagnen, politische Förderung und technische Verbesserungen
- „Mobilitätskonzepte“ kombiniert Annahmen aus dem Szenario „Marktdurchdringung E-PKW“ mit flexiblen, verknüpften Mobilitätskonzepten aus ÖPNV und Sharing-Angeboten, was Zahl verkaufter PKW 2035 um ca. 20 Mio. reduziert

Zahl der in 2035 weltweit verkauften PKW in Mio. Fahrzeuge			
Antriebsart	Szenario		
	Prävalenz konventioneller PKW	Marktdurchdringung E-PKW	Mobilitätskonzepte
ICE	131,6	87,1	75,2
HEV	15,6	15,6	13,5
PHEV	0,0	24,3	21,0
BEV	0,0	14,0	12,1
FCEV	0,0	6,2	5,3
Summe	147,2	147,2	127,2

Lithium-Ionen-Hochleistungsspeicher für PKW

Rohstoff	Weltproduktion 2013	Verbrauch 2013	Bedarfsvorschau 2035	
			Prävalenz konventioneller PKW	Marktdurchdringung E-PKW
Kobalt	129.736 (B) 85.904 (R)	1.200	3.125	110.000
Nickel	2.601.745 (B) 1.955.132 (R)	>1	6.200	188.000
Mangan	16.900.0001	>1	2.900	194.000
Lithium	29.759 (B)	607	3.510	110.000

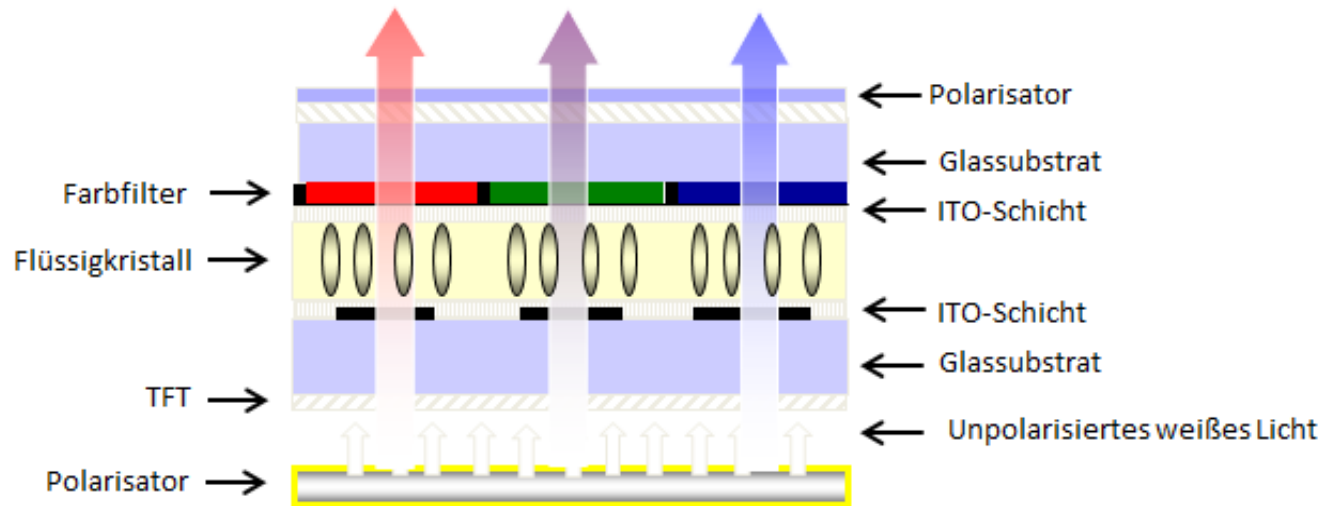
- Die installierte Leistung der Lithium-Ionen Akkus ist von der weltweiten **Entwicklung der Elektromobilität** abhängig (Batteriegröße abhängig vom Fahrzeugkonzept)
- Der Kobalt-, Nickel- und Manganbedarf hängt davon ab, **welche Kathodensysteme** sich durchsetzen. Die Technologieentwicklung ist weltweit stark im Fluss
- In großen Zellen statt der reiner Kobaltkathode (LCO) **Alternativen** : NMC (Lithium Nickel-Mangan-Cobalt), NCA (Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium) oder Lithium-Eisenphosphat (LFP).
- Unterschiedliche regionale** Forschungs- und Förder-**Schwerpunkte**: China: LFP, Japan :NCA, Korea, EU, USA: NMC

Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik

Anwendungen

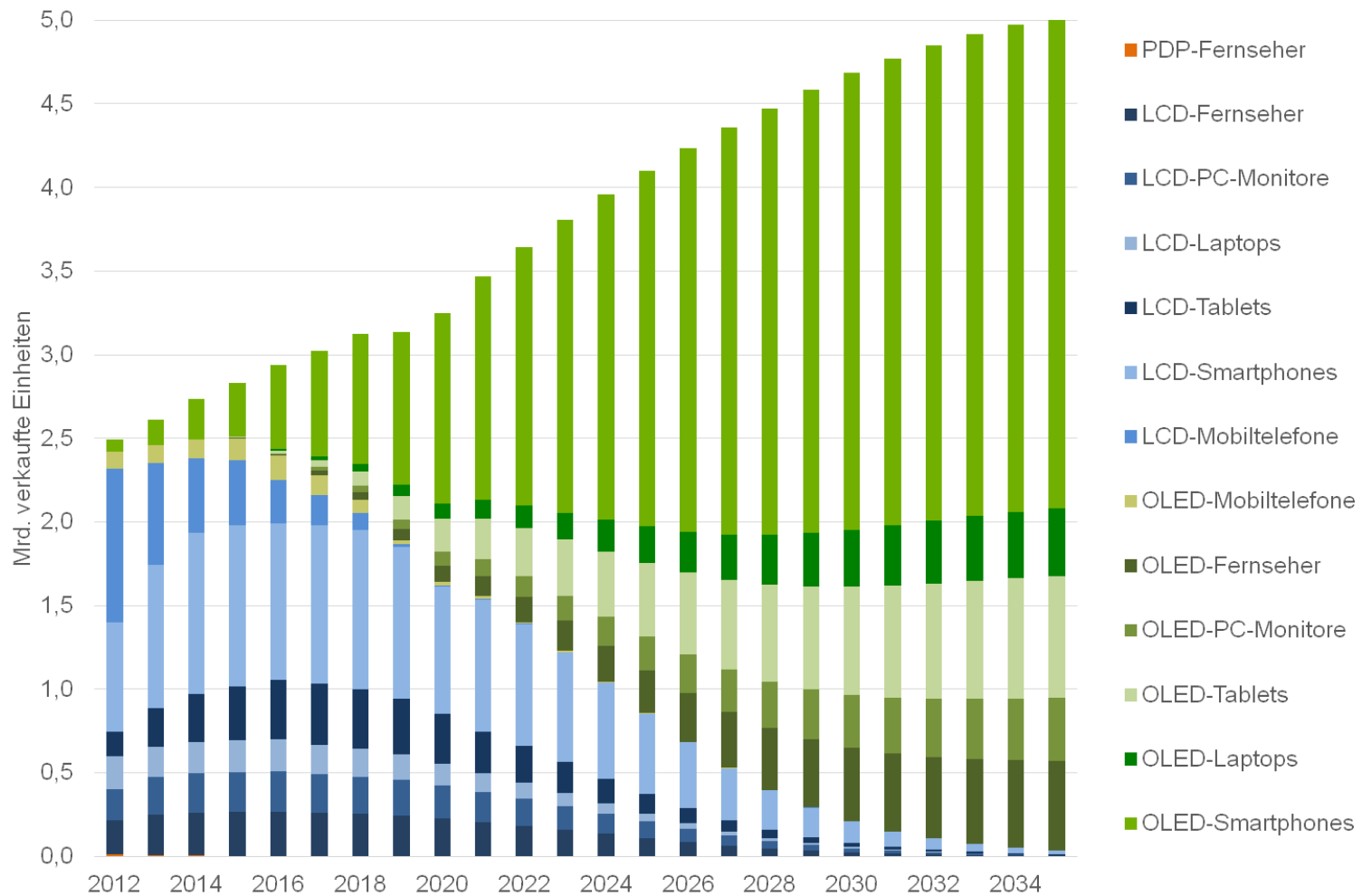
- ITO zur Herstellung der Elektrodenschichten in LCDs (*Liquid Crystal Display*), OLEDs (*Organic Light Emitting Diode Display*), PDPs (*Plasma Display Panel*) und FEDs (*Plasma Display Panel*)

Schematischer Aufbau eines Liquid Crystal Display



Quelle: Eigene Darstellung IZM

Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik



Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik

Rohstoff	Weltproduktion 2013	Verbrauch 2013	Bedarfsvorschau 2035
Indium	790 t	93 (in Produkten), 102 – 130 (in Produktion)	196 (in Produkten), 215 – 274 (in Produktion)

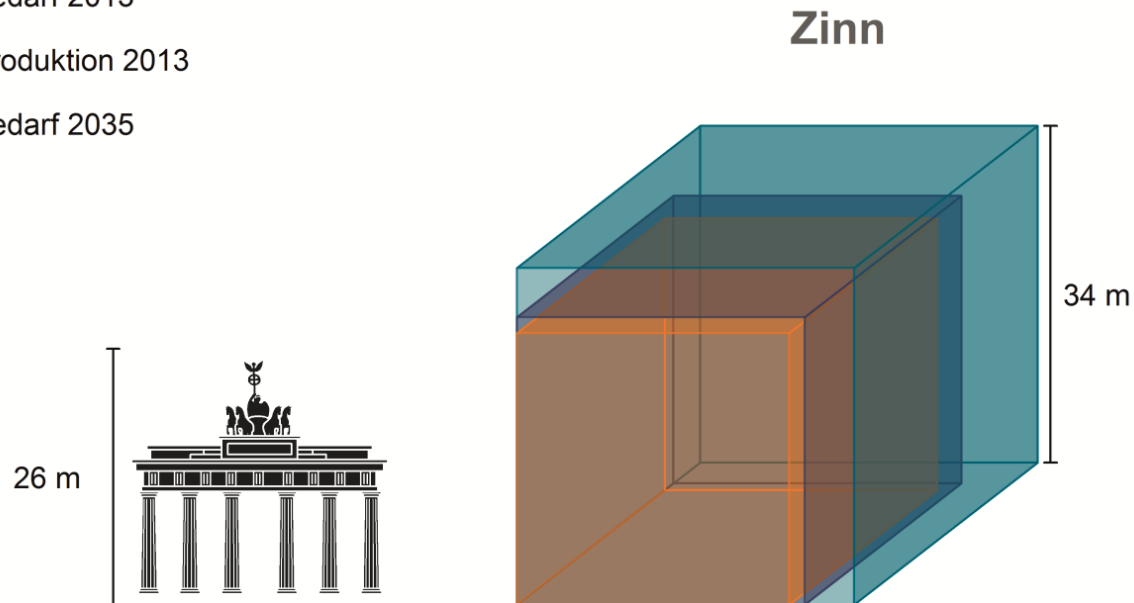
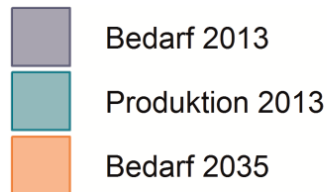
- Die **Abschätzungen** des ITO-Bedarfs für Displays beruhen auf einer Reihe von Annahmen, die eher konservativ sind
- Nach den Szenarien aus Marwede & Reller (2014) gehen **bei der Produktion** (Sputterprozess) inklusive Recycling 10 – 40 % des Indiums „verloren“, d. h. es wird weder recycelt noch landet es in dem Display
- Eine große Unsicherheit sind die zukünftigen **relativen Marktanteile** der Displaytechnologien. Es ist unklar, ob OLED das LCD-Segment auf breiter Front vereinnahmen wird.
- Das **Recycling** von Displays mit anschließender Wiedergewinnung des Indiums ist in der Tabelle nicht berücksichtigt. Der wachsende Materialwert, die zu erwartende kürzere Produktlebenszeit, und die wachsende Verbreitung von LCD-TVs wird zu Millionen von ausrangierten LCD-Fernsehern in den nächsten Jahrzehnten führen

Rohstoffsynopse Zinn

	2006	2010	2013
Bergwerksförderung [t Inh.]	306.240	290.675	289.790
Raffinadeproduktion [t Inh.]	369.623	371.516	362.996
Reserven [t Inh.]	6.065.200	5.200.200	4.681.600
Ressourcen [t Inh.]	-	-	-
Größte Bergbauländer	Indonesien 39 %	Indonesien 37 %	Indonesien 32 %
	China 34 %	China 33 %	China 30 %
	Peru 13 %	Peru 12 %	Myanmar 11 %
Größte Raffinadeländer	China 39 %	China 40 %	China 45 %
	Indonesien 21 %	Indonesien 20 %	Indonesien 18 %
	Peru 11 %	Malaysia 10 %	Malaysia 9 %
Länderkonzentration Bergbau	2.878	2.660	2.189
Länderkonzentration Raffination	2.181	2.288	2.533
Gewichtetes Länderrisiko Bergbau	- 0,55	- 0,42	- 0,48
Gewichtetes Länderrisiko Raffination	- 0,34	- 0,31	- 0,28
Preis [US\$/t]	8.772,80	20.396,10	22.308,91

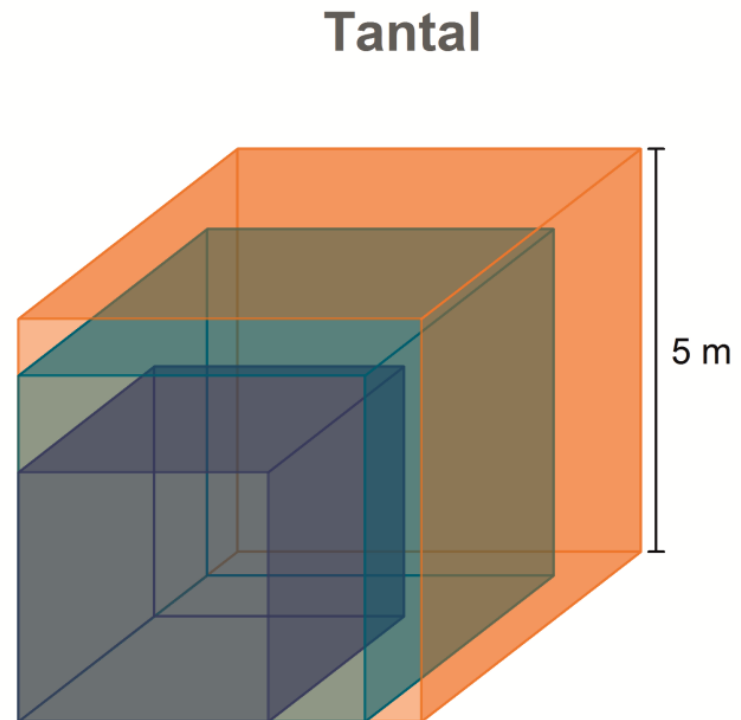
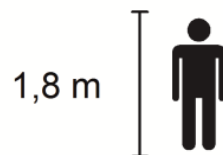
Rohstoffsynopse Zinn

Technologie	Bedarf 2013	Bedarf 2035
Bleifreie Lote	173.400	133.600
Mikroelektrische Kondensatoren	30	210
Micro-Energy Harvesting	0,26	77,2
Windkraftanlagen	8.096	19.186
Bedarfssumme	181.526	153.073
Bedarf / Bergwerksproduktion 2013	63 %	53 %

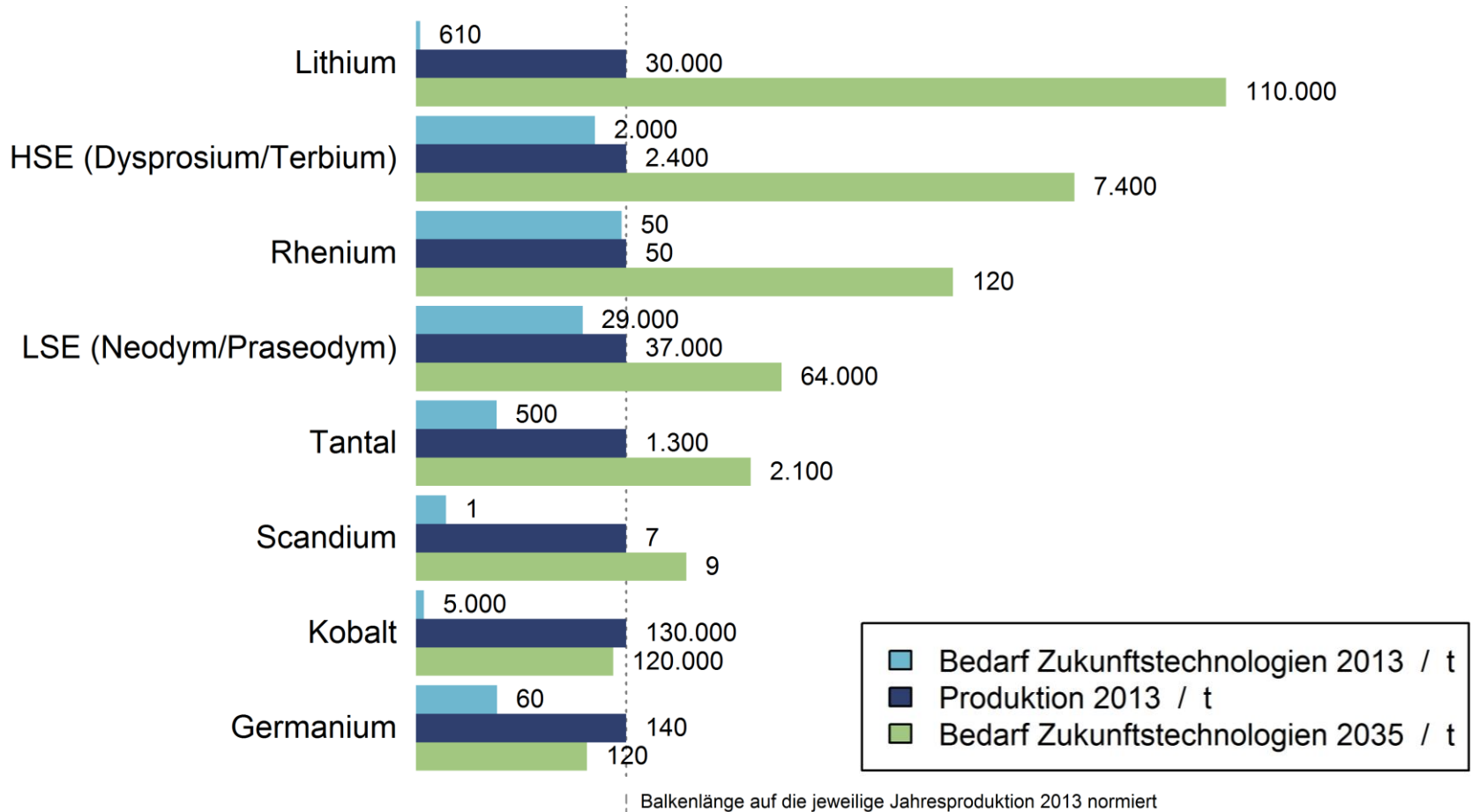


Rohstoffsynopse Tantal

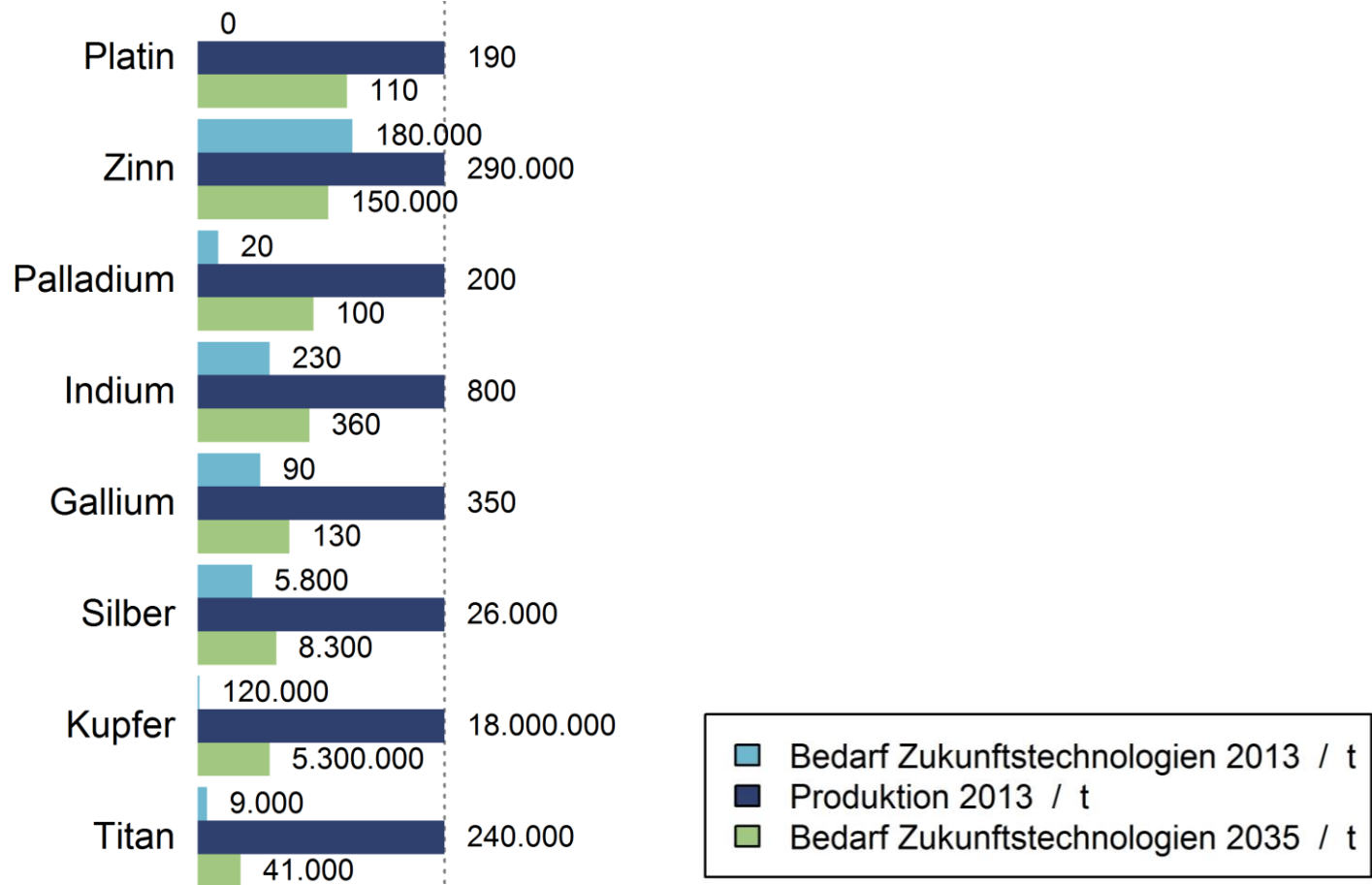
Technologie	Bedarf 2013	Bedarf 2035
Mikroelektrische Kondensatoren	128	1.070
Superlegierungen	370	1.000
Bedarfssumme	498	2.070
Bedarf / Bergwerksproduktion 2013	38 %	159 %



Ergebnisse



Ergebnisse



Balkenlänge auf die jeweilige Jahresproduktion 2013 normiert

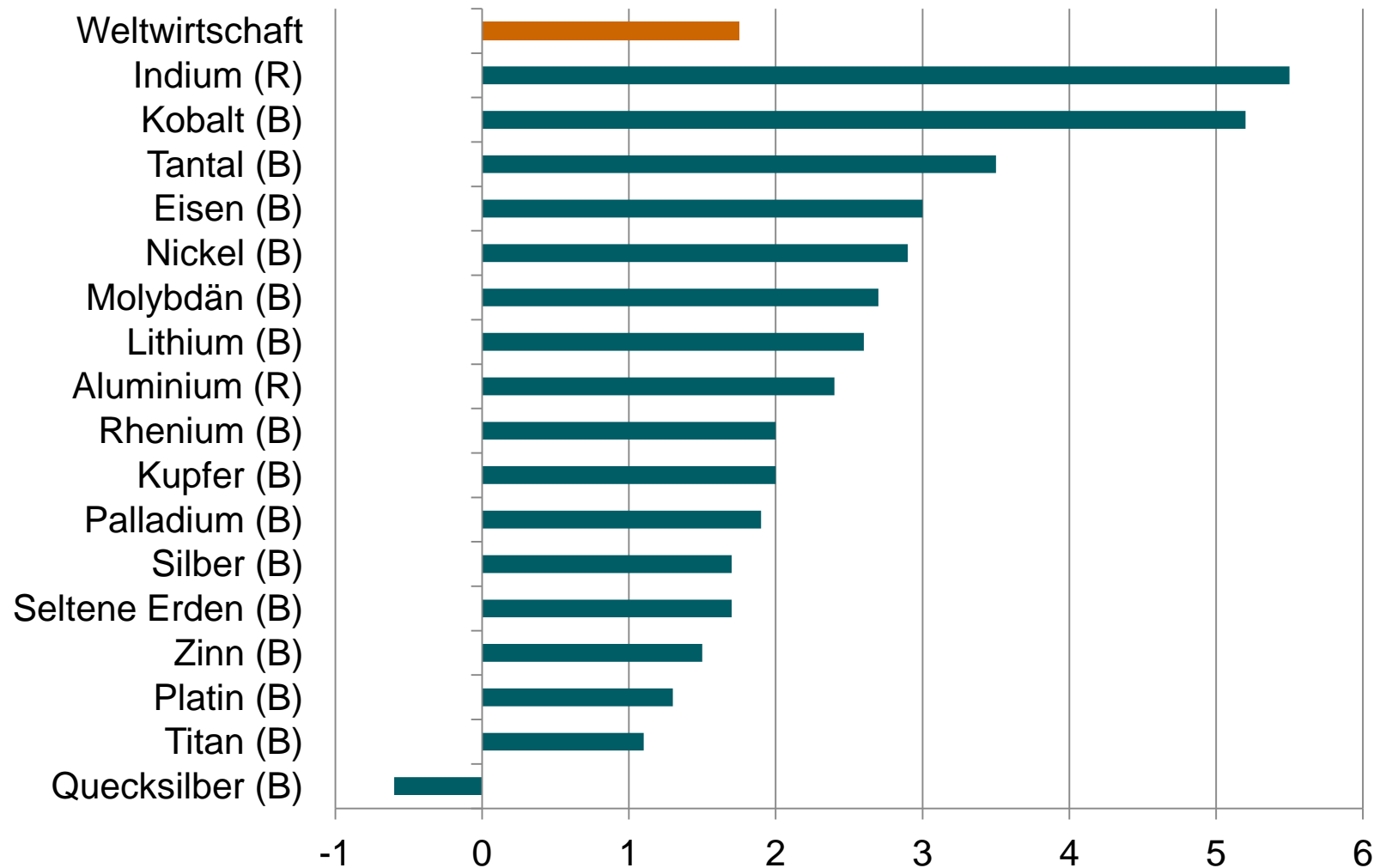
Ergebnisse

Metall	Bedarf_{20xx}/Produktion₂₀₁₃	
	2013	2035
Lithium	0,0	3,9
Schwere Seltene Erden (Dy/Tb)	0,9	3,1
Rhenium	1,0	2,5
Leichte Seltene Erden (Nd/Pr)	0,8	1,7
Tantal	0,4	1,6
Scandium	0,2	1,4
Kobalt	0,0	0,9
Germanium	0,4	0,8
Platin	0,0	0,6
Zinn	0,6	0,5
Palladium	0,1	0,5
Indium	0,3	0,5
Gallium	0,3	0,4
Silber	0,2	0,3
Kupfer	0,1	0,3
Titan	0,0	0,2

Ergebnisse

Metall	Bedarf _{20xx} /Produktion ₂₀₁₃	
	2013	2035
Lithium	0,0	3,9
Schwere Seltene Erden (Dy/Tb)	0,9	3,1
Rhenium	1,0	2,5
Leichte Seltene Erden (Nd/Pr)	0,8	1,7
Tantal	0,4	1,6
Scandium	0,2	1,4
Kobalt	0,0	0,9
Germanium	0,4	0,8
Platin	0,0	0,6
Zinn	0,6	0,5
Palladium	0,1	0,5
Indium	0,3	0,5
Gallium	0,3	0,4
Silber	0,2	0,3
Kupfer	0,1	0,3
Titan	0,0	0,2

Globale Rohstoffproduktion 1993 bis 2013



Quelle: BGR, IWF

Schlussfolgerungen

- **Für fünf Metalle** könnte der Bedarf in 2035 allein für die betrachteten Zukunftstechnologien in der Größenordnung der Primärproduktion 2013 oder darüber liegen: **Germanium, Kobalt, Scandium, Tantal, Neodym/Praseodym**
- Für weitere **drei Metalle** könnte der Bedarf in 2035 für die analysierten Zukunftstechnologien sogar mehr als das Doppelte der Primärproduktion 2013 ausmachen: **Lithium, Dysprosium/Terbium und Rhenium**
- Betrachtet ist hier nur der Metallbedarf für die untersuchten 42 Technologien, **nicht der Bedarf durch** andere Produkte und Prozesse der **Weltwirtschaft**
- Neue Technologien können die **Nachfrage** nach metallischen Rohstoffen aber **auch reduzieren**, beispielsweise Carbonfaserverstärkte Kunststoffen (CFK) den Stahlbedarf oder Carbon Nanotubes (CNT) langfristig Indium, Platin und Kupfer

Handlungsempfehlungen

- **Ausbau und Effizienzsteigerung** von Erzabbau bzw. Metallgewinnung
- **Substitution** auf Material- und Technologieebene
- **Ressourceneffizienz** in Produktion und Anwendung
- **Recycling**, gewährleistet durch recyclinggerechtes Design, Rückführungsstrategien und effiziente Recyclingtechnologien
- Substitution, Ressourceneffizienz und Recycling sollten **Entwicklungsbegleitend** bei neuen Technologien mitgedacht werden
- **Aktuelle Rohstoffpreise** sind **kein Maß** für die langfristige physische oder ökonomische Verfügbarkeit eines Rohstoffs und sollten daher nicht allein Basis langfristiger zukunftsrelevanter Entscheidungen sein
- Die deutsche Wirtschaft sollte sich bemühen, ihre Abhängigkeit von den internationalen Rohstoffmärkten in dem für sie möglichen Ausmaß zu reduzieren, indem sie die oben genannten Möglichkeiten voll ausschöpft und **Lieferquellen breit differenziert**

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



© <http://s430.photobucket.com/user/7ustaGirl>