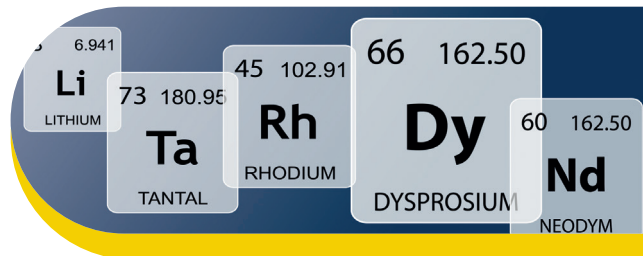
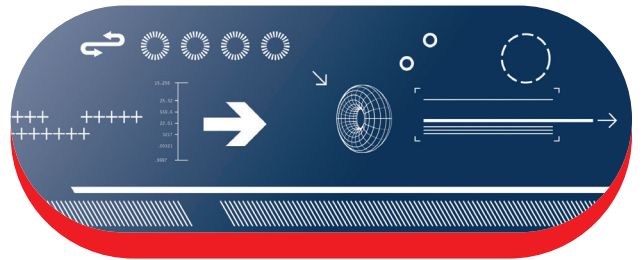


28

DERA Rohstoffinformationen



**Rohstoffe für
Zukunftstechnologien 2016**

»Auftragsstudie«

Zusammenfassung

Impressum

Editor: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

Autoren: Frank Marscheider-Weidemann, Sabine Langkau,
Torsten Hummen, Lorenz Erdmann, Luis Tercero Espinoza
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe

Gerhard Angerer
Karlsruhe

Max Marwede, Stephan Benecke
Fraunhofer IZM, Berlin

Kontakt

DERA: Ulrike Dorner | ulrike.dorner@bgr.de

Zitierhinweis: Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L.,
Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S. (2016):
Zusammenfassung | Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. –
DERA Rohstoffinformationen 28: 13 S., Berlin.

Datenstand: März 2016

Titelbilder: ©BGR

ISSN: 2193-5319

Berlin, 2016



Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016

»Auftragsstudie«

Im Auftrag der Deutschen Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin

Zusammenfassung

Abkürzungen

A	
Ag	Silber
Al	Aluminium
Au	Gold
B	
Ba	Barium
Bi	Bismut (Wismut)
C	
Ca	Calcium
CAGR	Compound Annual Growth Rate
Cd	Kadmium
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cs	Caesium
Cu	Kupfer
D	
Dy	Dysprosium
E	
E-PKW	PKW mit elektrischem oder teilelektrischem Antriebsstrang
F	
Fe	Eisen
G	
Ga	Gallium
Gd	Gadolinium
Ge	Germanium
H	
Hg	Quecksilber
HSE	Schwere Seltene Erden
I	
IC	Integrierter Schaltkreis (Integrated Circuit)
In	Indium
IR	Infrarotstrahlung (Wellenlänge über 800 nm)
L	
La	Lanthan
LED	Leuchtdiode (Light Emitting Diode)
Li	Lithium
LSE	Leichte Seltene Erden
M	
Mg	Magnesium

Mn	Mangan
Mo	Molybdän
N	
Nb	Niob
Nd	Neodym
Ni	Nickel
P	
Pb	Blei
Pd	Palladium
Pr	Praseodym
Pt	Platin
R	
Re	Rhenium
RFID	Radio Frequency Identification
Ru	Ruthenium
S	
Sb	Antimon
Sc	Scandium
Se	Selen
Si	Silizium
Sn	Zinn
SOFC	Festoxidbrennstoffzelle (Solid Oxid Fuel Cell)
Sr	Strontium
T	
Ta	Tantal
Tb	Terbium
Te	Tellur
Ti	Titan
V	
V	Vanadium
W	
W	Wolfram
WLED	Weißleuchtdioden (White Light Emitting Diode)
X	
XtL	Sammelbegriff für GtL, CtL, und BtL Verfahren
Y	
Y	Yttrium
Z	
Zn	Zink
Zr	Zirkon

Zusammenfassung

Die Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016“ ist Teil des DERA Rohstoffmonitorings zur Rohstoffnachfrage. Das Ziel des Monitorings besteht darin, die Wirtschaft und die Politik über aktuelle Nachfrage-, Angebots- und Preistrends bei primären mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten der ersten Wertschöpfungsstufen zu informieren. Kritische Entwicklungen auf den internationalen Rohstoffmärkten können dadurch frühzeitig erkannt und mögliche Ausweichstrategien in den Unternehmen entwickelt werden.

Die vollständige Studie können Sie auf der Homepage der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) abrufen.

www.deutsche-rohstoffagentur.de

Hintergrund und Ziele

Zur besseren Abschätzung von möglichen langfristigen Preis- und Lieferrisiken ist eine fundierte und aktuelle Wissensbasis über mögliche Nachfrageentwicklungen von mineralischen Rohstoffen nötig. Gerade rohstoffintensive und -sensitive Schlüssel- und Zukunftstechnologien können starke Nachfrageimpulse auslösen und damit einen erheblichen Einfluss auf die Rohstoffmärkte haben.

Schlüssel- und Zukunftstechnologien umfassen einerseits Effizienzsteigerungen in bestehenden Systemen (z. B. konventionelle Kraftwerkstechnologie oder Stahlleichtbau mit Tailored Blanks), andererseits auch ganz neue Technologie-

systeme (z. B. zur Erzeugung alternativer Energie oder neue Fahrzeug-Antriebssysteme). Sie lösen dabei revolutionäre Innovationsschübe über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren aus.

Im globalen Markt gewinnen die Industriestaaten als Hochlohnländer Wettbewerbsvorteile vor allem durch technische Innovationen. Der dadurch ausgelöste Forschungs- und Entwicklungswettlauf erhöht die Innovationsgeschwindigkeit laufend, wie sich beispielsweise an steigenden Patentzahlen ablesen lässt. Zugleich ist die deutsche Wirtschaft nicht nur bei Energierohstoffen, sondern auch bei Metallen beinahe vollständig von

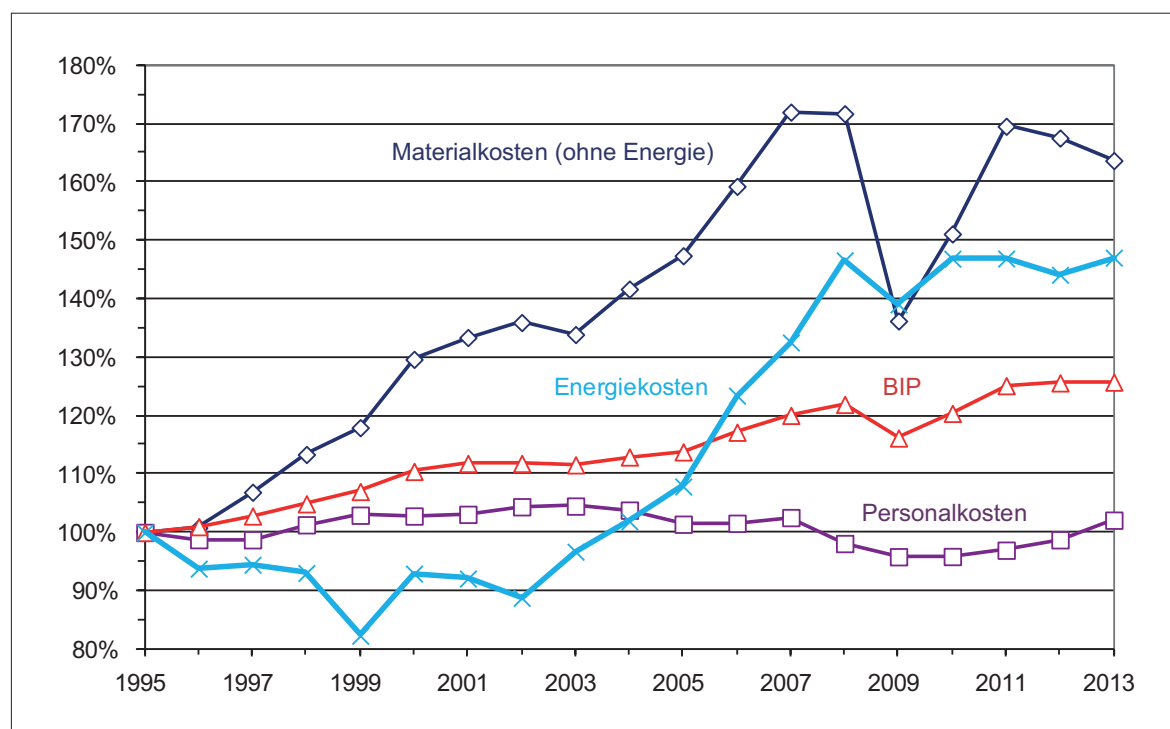


Abb. 1: Preisbereinigte Kostenentwicklung im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands

Importen abhängig. Somit ist die Sicherung einer störungsfreien Rohstoffversorgung eine wichtige Aufgabe bei der Gewährleistung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie.

Materialkosten stellen den mit Abstand größten Kostenblock im Verarbeitenden Gewerbe dar. In den letzten zehn Jahren sind die Materialkosten zwar nicht gestiegen, allerdings im Vergleich zu den zehn vorangegangenen Jahren auf konstant hohem Niveau geblieben, wie Abbildung 1 zeigt.

Tabelle 1 zeigt die vom Statistischen Bundesamt ermittelten Anteile am Bruttoproduktionswert des Verarbeitenden Gewerbes für das Jahr 2013. Bei den Materialkosten handelt es sich aber nur zu einem Teil um Rohstoffkosten, da hier auch fremdbezogene Vorprodukte, u. a. Hilfs- und Betriebsstoffe einschl. Fremdbauteile sowie Wasser erfasst werden. Gerade das globale, außergewöhnlich starke Wachstum neuer Technologien kann, zusätzlich zum Weltwirtschaftswachstum, signifikante Auswirkungen auf den globalen Förderbedarf an bestimmten Rohstoffen verursachen. Dieser Einfluss ist für Spezialmetalle, von denen weltweit jeweils weniger als einige Tausend Tonnen pro Jahr gefördert werden, besonders groß und kann Versorgungsengpässe hervorrufen.

Tab. 1: Kostenstruktur im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands 2013 (ohne Bergbau)

Kostenart	Anteil in %
Materialkosten	43,4
Energiekosten	2,1
Personalkosten, Lohnarbeiten und handwerkliche Dienstleistungen	21,9
Übrige Kosten (Einsatz von Handelsware, Steuern, Abschreibungen etc.)	32,6
Bruttoproduktionswert ohne Umsatzsteuer	100,0

Bereits 2009 gab die Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie einen exemplarischen Überblick über besonders vielversprechende und rohstoffrelevante Technologien. Dabei wurden deren Nachfrageimpulse auf

technologiebedeutsame Rohstoffe mit einem Zeithorizont von 24 Jahren analysiert.

Ergebnisse

In der vorliegenden Überarbeitung „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016“ wurden insgesamt 42 Technologien betrachtet, davon wurden 32 aktualisiert und zehn neu ausgewählt. Basierend auf den Analysen wurden Szenarien für den Rohstoffbedarf der Technologien im Jahr 2035 erarbeitet. Daraus ergab sich für 16 Rohstoffe eine besondere Relevanz im Hinblick auf die ausgewählten Zukunftstechnologien.

Um die technologiegetriebene Nachfragesteigerung dieser Rohstoffe besser einschätzen zu können, wurde als Rohstoffindikator der Bedarf des jeweiligen Rohstoffs für die betrachteten Zukunftstechnologien im Jahr 2035 ins Verhältnis zur gesamten globalen Primärproduktion dieses Rohstoffs im Jahr 2013 gesetzt.

Tabelle 2 fasst die Indikatorwerte für die betrachteten Metalle zusammen. Abbildung 2 veranschaulicht die Ergebnisse.

Für fünf Metalle könnte der Bedarf im Jahr 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 im Jahr 2035 sogar mehr als das Doppelte der Primärproduktion 2013 ausmachen: Lithium, Dysprosium/Terbium, Rhenium. Insbesondere für diese Metalle ergibt sich eine durch den technologischen Wandel getriebene Nachfragesteigerung, die sich signifikant gegenüber der durch das Weltwirtschaftswachstum getriebenen Nachfragesteigerung abhebt.

Wenn verschiedene Szenarien bei der Abschätzung des künftigen Rohstoffbedarfs einer Technologie eine Wertespanne liefern, wird diese in den einzelnen Technologiesynopsen der Studie diskutiert. Bei der zusammenfassenden Darstellung aller betrachteten Rohstoffe in Tabelle 2 und Abbildung 2 wird jedoch der obere Wert dieser Spanne verwendet. Die zusammenfassende Auswertung stellt also die obere realistische Abschätzung dar, ohne jedoch zu beanspruchen, dass auch extre-

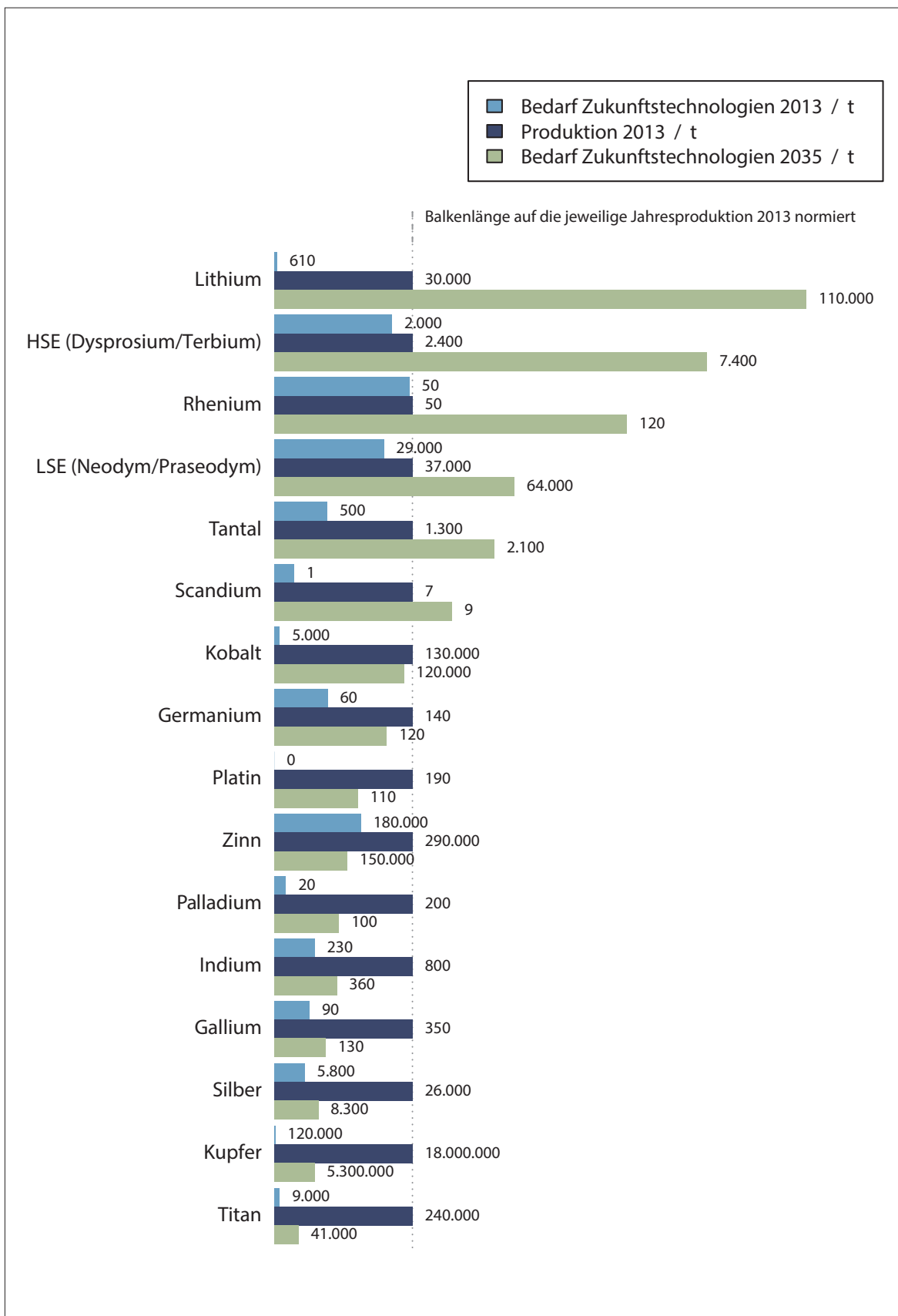


Abb. 2: Bedarf unterschiedlicher Rohstoffe für ausgewählte Zukunftstechnologien (Schätzungen für 2013 und 2035) im Vergleich zur Primärproduktion der jeweiligen Rohstoffe im Jahr 2013

Tab. 2: Globaler Rohstoffbedarf für die analysierten 42 Zukunftstechnologien im Jahr 2013 und 2035 im Verhältnis zur Weltproduktionsmenge des Metalls 2013. Der über die betrachteten Zukunftstechnologien hinaus bestehende Rohstoffbedarf ist nicht berücksichtigt

Metall	Bedarf _{20xx} / Produktion ₂₀₁₃		Zukunftstechnologien
	2013	2035	
Lithium	0,0	3,9	Lithium-Ionen-Akku, Air-Frame Lei.
Schwere Seltene Erden (Dy/Tb)	0,9	3,1	Magnete, E-PKW, Windkraftanlagen
Rhenium	1,0	2,5	Superlegierungen
Leichte Seltene Erden (Nd/Pr)	0,8	1,7	Magnete, E-PKW, Windkraftanlagen
Tantal	0,4	1,6	Mikrocondensatoren, Medizintechnik
Scandium	0,2	1,4	SOFC-Brennstoffzellen
Kobalt	0,0	0,9	Lithium-Ionen-Akku, XtL.
Germanium	0,4	0,8	Glasfaser, IR- Technologie
Platin	0,0	0,6	Brennstoffzellen, Katalyse
Zinn	0,6	0,5	Transparente Elektroden, Lote
Palladium	0,1	0,5	Katalyse, Meerwasserentsalzung
Indium	0,3	0,5	Displays, Dünnschicht-Photovoltaik
Gallium	0,3	0,4	Dünnschicht-Photovoltaik, IC, WLED
Silber	0,2	0,3	RFID
Kupfer	0,1	0,3	Elektromotoren, RFID
Titan	0,0	0,2	Meerwasserentsalzung, Implantate

Anmerkung: die Ergebnisse in dieser Tabelle sind nicht mit der Vorgängerstudie Angerer et al. (2009) zu vergleichen, da sie sich auf einen anderen Zeitraum (22 statt 24 Jahre), ein anderes Basisjahr (2013 statt 2006), ein anderes Technologieportfolio (42 statt 32) und neuere Erkenntnisse zur Innovationsdynamik beziehen.

mere Zukunftsverläufe möglich sind. Welche alternativen realistischen Entwicklungsmöglichkeiten es gibt, wird in der Studie in den einzelnen Kapiteln zu den verschiedenen Technologien („Technologiesynopsen“) beschrieben.

Zukunftsprojektionen zeigen mögliche Entwicklungen in der Zukunft auf. Sie stützen sich auf bestimmte und explizit zu nennende Annahmen und können nur dann eintreten, wenn die tatsächliche Entwicklung ausschließlich diesen Annahmen folgt. Die Szenariotechnik gestattet es, von unterschiedlichen Annahmen der Zukunftsentwicklung auszugehen, um so die tatsächlich eintretende Entwicklung in einer Bandbreite von Projektionen einzufangen. Dennoch sind auch Zukunftsverläufe jenseits dieser Zukunftsprojektionen denkbar. Zukunftsprojektionen dürfen deshalb nicht als Vorhersagen (Prognosen) der tatsächlichen künftigen Entwicklung bis zum Jahr 2035 verstanden werden.

Mit szenariobasierten Projektionen lässt sich jedoch abschätzen, welche Faktoren (z. B. wirtschaftliche Entwicklung von Technologien und

ihren Anwendungen, technologischer Fortschritt, politische und infrastrukturelle Rahmenbedingungen) die zukünftige Entwicklung des Rohstoffbedarfs in welchem Ausmaß beeinflussen. Dieser Ansatz zeigt Marktteilnehmern potenzielle Chancen und Risiken auf und unterstützt sie dabei, zukunftsfähige Entscheidungen zu treffen.

Marktteilnehmer sind zum einen die Rohstofffirmen, welche Informationen über die Nachfragemärkte für ihre strategische Kapazitätsplanung benötigen. Da insbesondere der Bau von Bergwerken Zeiträume von zehn und mehr Jahren benötigen kann, wurde als Zeithorizont der Projektionen das Jahr 2035 gewählt. Zum anderen zählen die rohstoffverarbeitenden Industrien zu den Marktteilnehmern. Für sie sind Informationen über Nachfragekonkurrenzen zu anderen Sektoren und potenzielle Rohstoffverfügbarkeitsengpässe bedeutend. Gelingt es den Marktteilnehmern potenzielle Nachfrageschübe vorausschauend zu erkennen, kann dies für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage genutzt werden und zur Beruhigung der Rohstoffmärkte beitragen.

Die Ergebnisse in Tabelle 2 haben sich gegenüber der Vorgängerstudie teilweise stark geändert. So hat die Produktionsmenge einzelner Metalle, wie Gallium und Scandium zugenommen. Technologien kommen mit geringeren spezifischen Metallgehalten aus (LED, Brennstoffzellen) und Substitutionstechnologien auf Material- und Technologieebene haben sich durchgesetzt. Auch die Datenlage zur wirtschaftlichen Entwicklung für einzelne Zukunftstechnologien, z. B. in Form von Marktanalysen, hat sich verbessert, ausgelöst u. a. durch das Exportverbot Chinas für Seltenerdmetalle von 2010 bis 2015, die Energiewende in Deutschland und der Wirtschaftskrise in Folge der Finanzkrise ab 2007.

Rohstoffrelevanz der detailliert betrachteten Technologien

Die Ergebnisse der detaillierten Technologiebetrachtungen fasst Tabelle 4 zusammen. Sie enthält eine Abschätzung der Marktreife einzelner Technologien, den potenziellen Rohstoffbedarf und eine Einschätzung des Recyclingpotenzials im Jahr 2035. Unter „Markt 2035“ wird das Verhältnis von Marktvolumen 2035 zum insgesamt erwarteten Marktpotenzial der Technologie abgeschätzt. Das Ergebnis wird in drei Kategorien, „Einführung“ (< 25 %), „Durchdringung“ (25 – 75 %) und „Sättigung“ (> 75 %) bewertet.

Der „Rohstoffbedarf 2035“ der jeweiligen Technologie an einem bestimmten Rohstoff wird nach seinem Verhältnis zur weltweiten Primärproduktion dieses Rohstoffs 2013 eingeordnet: als rohstoffintensiv werden Technologien charakterisiert, von denen vermutet wird, dass sie bei mindestens einem Massenmetall eine Nachfragesteigerung von mehr als 25 % der heutigen Weltproduktion dieses Rohstoffs auslösen. Als rohstoffsensibel werden Technologien charakterisiert, die bei mindestens einem Spezialmetall eine Nachfragesteigerung von mehr als 100 % der heutigen Weltproduktion dieses Rohstoffs bewirken. Spezialmetalle sind Rohstoffe mit einer Weltproduktion von bis zu einigen Tausend Tonnen pro Jahr. Dazu zählen aus dem Projektportfolio die Rohstoffe Indium, Gallium, Germanium, Yttrium, Scandium, Neodym, Tantal und die Platinmetalle. Zu den Massenmetallen zählen u. a. Eisen und Stahl, Kupfer, Chrom und

Zinn. Technologien können nach dieser Definition zugleich rohstoffintensiv und rohstoffsensibel sein.

Beim Recycling wird unter „Recyclingpotenzial“ zwischen wirtschaftlich in vollem Umfang möglich („ja“), wirtschaftlich eingeschränkt möglich („eingeschränkt“), wirtschaftlich nicht möglich („nein“) und technisch/praktisch nicht möglich („nein, dissipativ“) aufgrund dissipativer Verluste (z. B. Abrieb, feine Verteilung bei Nanosilber) unterschieden.

Die 16 farbig gekennzeichneten Technologien sollten bei Folgestudien in jedem Fall erneut vertieft betrachtet werden.

Gründe dafür können

- eine voraussichtlich hohe Auswirkung auf die Rohstoffnachfrage,
- eine hohe Innovationsdynamik oder
- eine unzureichende Datenlage (insbesondere bei sehr neuen Technologien)

der jeweiligen Technologie sein.

Tab. 3: Entwicklung der globalen Rohstoffproduktion ausgewählter Metalle von 1993 bis 2013

Metall	CAGR %/a	Steigerungsfaktor von 1993–2013
Aluminium (R)	4,5	2,4
Eisen (B)	5,7	3,0
Germanium (R)	6,2	3,3
Indium (R)	8,9	5,5
Kobalt (B)	8,6	5,2
Kupfer (B)	3,4	2,0
Kupfer (R)	3,5	2,0
Lithium (B)	4,8	2,6
Palladium (B)	3,3	1,9
Platin (B)	1,4	1,3
Rhenium (B)	3,5	2,0
Seltene Erden (B)	2,8	1,7
Silber (B)	2,8	1,7
Tantal (B)	6,5	3,5
Titan (B)	0,7	1,1
Zinn (B)	2,2	1,5
Zinn (R)	2,6	1,7

B: Bergwerksförderung

R: Raffinadeproduktion

Tab. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Technologieanalysen. Technologien sind farblich gekennzeichnet (), wenn sie bei Folgestudien in jedem Fall erneut vertieft betrachtet werden sollten

	Zukunftstechnologie	Rohstoffe	Stand der Technik 2013			Markt 2035			Rohstoffbedarf 2035			Recyclingpotenzial 2035				
			Forschung	Entwicklung	Prototyp	Im Markt	Einführung	Durchdringung	Sättigung	Unkritisch	Rohstoffintensiv	Rostoffsensitiv	Ja	Eingeschränkt	Nein	Nein, dissipativ
Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Verkehrstechnik																
1	Stahlleichtbau mit Tailored Blanks	Al, Mg, Ti	X				X		X			X				
2	Elektrische Traktionsmotoren für Hybrid-, Elektro- und BZ-PKW	Nd, Dy, Pr, Tb (Magnete); Cu			X			X		X		X				
3	PEM-Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge	Pt	X					X		X		X				
4	Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge	Al	X					X		X		X				
5	Legierungen für den Airframe-Leichtbau	Al-Mg-Sc, Al-Li				X		X		X		X				
6	Automatisches Pilotieren von Straßenfahrzeugen	Nd, Y, Al			X			X					X			
7	Unbemannte Luftfahrzeuge für kommerzielle Anwendungen	Al-Mg-Sc-Zr (Hülle); Rb, Cs, K (Sensorik)			X			X		X		X				
Informations- und Kommunikationstechnik, optische Technologien, Mikroelektronik																
8	Bleifreie Lote	Sn, Ag, Cu, Bi, Zn, In, Ni, Ge, Au, Pt, Sb				X		X		X		X				
9	RFID – Radio Frequency Identification	Ag, Cu, Al (Antenne); Si (Chip)			X			X		X		X				
10	Indium-Zinn-Oxid (ITO) in der Displaytechnik.	In, Sn, Sb			X			X		X		X				
11	Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten	V, Li, Nb, Pb, Ge, La, Sc, Nb, Ta			X			X		X		X				
12	Weißer LED	Ga, In			X			X		X		X				
13	Glasfaserkabel	Ge (Dotierung)			X			X		X		X				
14	Mikroelektronische Kondensatoren	Ta, Nb, Mn, Sb, Ag, Pd, Ni, Ti, Sn, Ba			X			X		X		X				
15	Hochleistungs-Mikrochips	Ga, As, Ge, Cd, Te			X			X		X		X				

Zukunftstechnologie	Rohstoffe	Stand der Technik 2013				Markt 2035			Rohstoffbedarf 2035			Recyclingpotenzial 2035			
		Forschung	Entwicklung	Prototyp	Im Markt	Einführung	Durchdringung	Sättigung	Unkritisch	Rohstoffintensiv	Rostoffsensitiv	Ja	Eingeschränkt	Nein	Nein, dissipativ
Chemie-, Prozess- und Fertigungstechnik, Umwelttechnik, Maschinenbau															
30	Synthetische Kraftstoffe			X			X		X				X		
31	Meerwasserentsalzung				X		X		X				X		
32	Festkörper-Laser für die industrielle Fertigung				X		X		X				X		
33	Nanosilber				X		X		X						X
Medizintechnik															
34	Medizinische Implantate				X		X		X						X
35	Medizinische Tomographie				X		X		X				X		
Werkstofftechnik															
36	Superlegierungen				X		X		X				X		
37	Hochtemperatursupraleiter			X			X		X				X		
38	Hochleistungs-Permanentmagnete				X		X		X				X		
39	Industrie 4.0				X		X		X				X		
40	Carbonfaserverstärkter Kunststoffleichtbau				X		X		X				X		
41	CNT (Carbon Nanotubes)		X				X		X				X		X
42	Additive Fertigung („3D-Drucker“)				X		X		X				X		

Vergleich mit der Entwicklung der Rohstoffförderung der letzten 20 Jahre

In Tabelle 3 sind die mittleren jährlichen Wachstumsraten (CAGR) und das gesamte Wachstum von 1993 bis 2013 für die Produktion verschiedener Metalle dargestellt.

Die jährlichen Wachstumsraten liegen zwischen 0,7 % bei Titan und 8,9 % pro Jahr für Indium. Entsprechend hat sich die Produktion in den 20 Jahren von 1993 bis 2013 für Titan um den Faktor 1,1 und für Indium um den Faktor 5,5 (bzw. 550 %) gesteigert. Das Weltwirtschaftswachstum ist in den Jahren 1993 – 2013 um durchschnittlich 2,8 % pro Jahr gewachsen und hat sich damit um den Faktor 1,75 erhöht.

Eine Erhöhung des Bedarfs um 100 % und mehr für einzelne Zukunftstechnologien stellt einen wesentlichen Faktor bei der zukünftigen Entwicklung der Rohstoffnachfrage dar, kann aber ggf. durch entsprechende Produktionsausweitung ausgeglichen werden. Neue Technologien können die Nachfrage metallischer Rohstoffe aber auch reduzieren, wie Verbundwerkstoffe demonstrieren: So kann im Automobilbau der Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) den Stahlbedarf reduzieren.

Es gehört zu ihren Eigenschaften, dass Innovationen jederzeit unvorhersehbar auftreten und die Abschätzungen in Tabelle 1 und Abbildung 1 radikal verändern können, sowohl in Richtung eines höheren, aber auch in Richtung eines niedrigeren Bedarfs.

Schlussfolgerungen

Zentrales Anliegen der Studie ist die Identifizierung relevanter Technologie- und Rohstofffelder, um weiterführende Arbeiten zu motivieren, welche sich einerseits intensiver mit den Herausforderungen der einzelnen Technologien und Rohstoffe beschäftigen und andererseits Strategien zur Rohstoffsicherung erarbeiten bzw. weiterentwickeln. Konkrete Maßnahmen und alternative Entwicklungsmöglichkeiten werden in den einzelnen Technologiebetrachtungen und Szenarien angeführt. Generell kommen zur Sicherung der

Rohstoffversorgung für die Wirtschaft folgende Maßnahmen in Betracht:

- 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.

Wie bedeutend Maßnahmen zur Versorgungssicherung für einzelne Rohstoffe sind, wird in zahlreichen Forschungsarbeiten zur Rohstoffkritikalität untersucht. Die in dieser Studie ermittelte Relevanz der Rohstoffe für Zukunftstechnologien ist ein wichtiger Aspekt, der dabei zu berücksichtigen ist.

Welche Möglichkeiten zur Rohstoffsicherung bestehen, sollte inhärenter Bestandteil der Grundüberlegungen bei der Entwicklung neuer Technologien sein. Momentan wird, insbesondere bei teuren Spezialmetallen, bereits in der frühen Entwicklungsphase an Substitution und Ressourceneffizienz geforscht, weil daraus direkte ökonomische Vorteile resultieren. Der ökonomische Nutzen des Recyclings erscheint weniger direkt, so dass ein recyclinggerechtes Design, Rückführungsstrategien und effiziente Recyclingtechnologien selten bei der Entwicklung neuer Technologien bedacht werden. Politische Maßnahmen können dafür sorgen, dass vorausschauende Unternehmen profitieren und die Versorgung für die Gesamtwirtschaft bestmöglich gesichert wird.

Aktuelle Rohstoffpreise sind abhängig von vielen Faktoren, unter anderem von vorübergehenden Ungleichgewichten zwischen Angebot und Nachfrage, aber auch von kurzfristigen Spekulationen und politischen Restriktionen. Sie sind kein Maß für die langfristige physische oder ökonomische Verfügbarkeit eines Rohstoffs und sollten daher nicht allein Basis langfristiger zukunftsrelevanter Entscheidungen sein. Vielmehr sollte sich die deutsche Wirtschaft bemühen, ihre Abhängigkeit von den internationalen Rohstoffmärkten zu reduzieren, indem sie die ihr verfügbaren Möglichkeiten im Bereich Substitution, Ressourceneffizienz und Recycling voll ausschöpft und ihre Lieferquellen breit diversifiziert.



**Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISBN: 978-3-943566-37-6 (Druckversion)
ISBN: 978-3-943566-36-9 (PDF)
ISSN: 2193-5319