

2

Versorgungsbasis und Zukunftstechnologien

2.1

Kritikalität

Will man die Versorgungsbasis einer Volkswirtschaft beurteilen, so bedarf es dafür nicht nur einer Saldierung der Rohstoffe, sondern vor allem ihrer aktuellen und zukünftigen Einsatzgebiete. Die einst so mächtigen Hochofenwerke an Rhein und Ruhr waren im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts die technologischen Vorzeigebetriebe. Ihre Rohstoffbasis bestand aus Eisen und Kohle und beide Rohstoffe waren an der Ruhr bzw. im Siegerland ausreichend verfügbar. Eine völlig neue Technologieentwicklung aus dem Massemetall Fe wird es wohl in Zukunft kaum mehr geben. Vielmehr besteht ein Wesenszug moderner Produktionen in der Miniaturisierung von Bauteilen für Massenprodukte unter Einsatz verschiedener Metalle, aber eben weniger der Massemetalle. Damit verbunden erfolgt der Einsatz von neuen Materialien mit spezifischeren Wirkeigenschaften. Es kommen Stoffe zum Einsatz, die nicht wie einst Kohle und Eisenerz reichlich auf der Erdoberfläche vorhanden sind, sondern entweder in ihrer Häufigkeit an der zugänglichen Erdoberfläche sehr selten auftreten, wie z. B. die Edelmetalle und das Indium, oder aber relativ häufig vorkommen, doch dann leider mitunter in hoher Verdünnung, wie z. B. die Mineralien für die SE-Metalle.

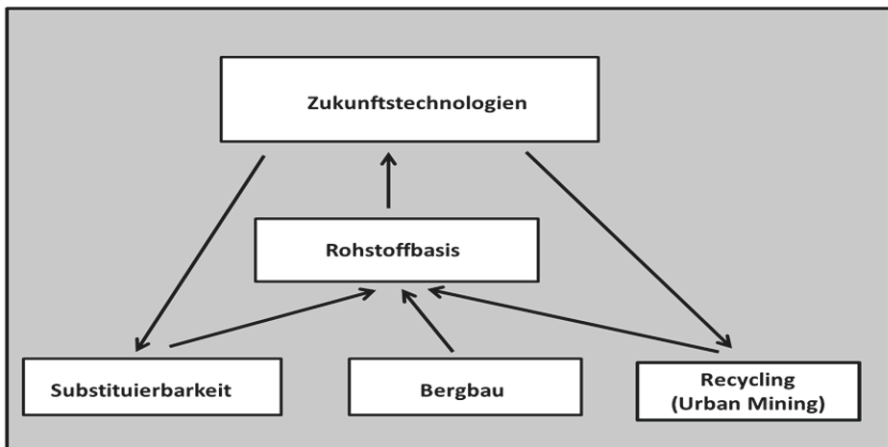


Abb. 2-1: Wechselwirkung von Zukunftstechnologien und Rohstoffbasis

Bedingt durch zum Teil recht hohe Stückzahlen der gefertigten High-Tech-Produkte – im Jahre 2014 wurden weltweit z. B. 3,16 * 10⁸ PC hergestellt – und einen damit verbundenen, immer stärker anwachsenden Materialverbrauch, ist man mithin gezwungen, zum Bergbau, dem „Mining“, eine zweite Schiene der Rohstoffversorgung, das „Urban Mining“, zu organisieren. Doch während bei den Massemetallen Fe, Cu oder Al das Recycling relativ einfach, meist durch eine visuelle Schrottsortierung eingeleitet werden kann, treten bei den Industriemetallen sowohl in der Phase der Wiedererkennung als auch bei

der Wiederaufarbeitung erhebliche, in der klassischen Hüttentechnik kaum bekannte Schwierigkeiten auf.

Hauptgruppenelemente				
Li	<i>Ga</i>	<i>Ge</i>	<i>As</i>	<i>Se</i>
	<i>In</i>	<i>Sb</i>	<i>Sn</i>	<i>Te</i>
Übergangsmetalle Auswahl Edelmetalle				
	<i>Pd</i>	<i>Pt</i>	<i>Ag</i>	<i>Au</i>
Übergangsmetalle Auswahl Refraktäre Metalle (Konfliktmetalle)				
	<i>Nb</i>	<i>Ta</i>	<i>W</i>	
Übergangsmetalle Auswahl Energiemetalle				
	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i> <i>Zr</i>
Auswahl SE-Metalle				
<i>Ce</i>	<i>Dy</i>	<i>Eu</i>	<i>Er</i>	<i>Gd</i> <i>La</i>
<i>Nd</i>	<i>Pr</i>	<i>Sc</i>	<i>Sm</i>	<i>Tb</i> <i>Y</i>

Abb. 2-2: Industriemetalle, Kritische Metalle kursiv gekennzeichnet

Metallbegriffe, die sich aus dem PSE ableiten, wie z. B. Alkali-, Übergangs- oder SE-Metalle, sind fest determiniert. Sie umfassen stets eine definierte Objektmenge von Elementen mit ähnlichen Eigenschaften. Nicht so der Begriff Industriemetall mit all seinen Synonymen wie: Technologie-, Sonder- oder Strategisches Metall. Diese Begriffe beziehen sich immer auf den aktuellen Produktions- und Forschungsstand. Ihr Wertumfang unterliegt deshalb zeitlichen Schwankungen. Durch Spekulationen oder kriegerrische Konflikte wird das Versorgungsrisiko außerdem noch künstlich erhöht. Metalle mit hoher Nutzung und unzureichendem Angebot im Rohstoffhandel, sei es durch ihr geringes Aufkommen in der Natur oder künstliche Verknappungen, bezeichnet man deshalb auch als „Kritische Metalle“. Sie sind in Abb. 2-2 kursiv gekennzeichnet.

Tab. 2-1: Kritikalität der Rohstoffversorgung nach Feil [19]

Kritikalitätsklasse	Versorgungsrisiko	Vulnerabilität	Rohstoffe
¹ niedrig	gering	gering	Fe, Al ₂ O ₃
² niedrig	gering	hoch	Ti, TiO ₂
³ mittel	hoch	gering	Diamant, BO ₃ ⁻
⁴ mittel	mittel	mittel	Zn, Ni, Li, Co, Pt, Te
⁵ hoch	hoch	hoch	W, SE, Ga, Pd, Ag, Nb
⁶ sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	Ga, Ge, In

In sogenannten Kritikalitätsanalysen versucht man, für die Industriemetalle eine Klassifizierung vorzunehmen. Die Kritikalitätsklassen ergeben sich dabei sowohl aus dem Versorgungsrisiko als auch aus der Vulnerabilität der Volkswirtschaft gegenüber einem Mangel.

So besteht beispielsweise für Deutschland in der Versorgung mit Rohdiamanten ein hohes Risiko. Aber die Verletzlichkeit der Volkswirtschaft bei Wegbleiben dieses Industrierohstoffes ist gering. Mithin wird dieser Rohstoff in die Kritikalitätsklasse „mittel“ eingeordnet. Bei den Metallen Ga, Ge und In sind jedoch sowohl das jeweilige Versorgungsrisiko als auch die Verletzlichkeit der Volkswirtschaft gegenüber Rohstoffverknappungen sehr hoch (Tab. 2-2, 6. Zeile). Damit gehören diese drei Metalle zur höchsten Kritikalitätsklasse.

Tab. 2-2: Auswahl Kritischer Metalle und ihre Applikationen [20]

Metall	Verwendung
¹ Sb	75 % Antiflammmittel
² Ga	66 % IT, 20 % LED
³ Ge	35 % Glasfaserkabel , 30 % IR-Strahlung, 15 % Photovoltaik
⁴ In	84 % LCD als ITO
⁵ Li	20 % Li-Ionen - Akku, 6 % Al-Herstellung
⁶ Se	35 % Glasfarben , 12 % Elektronik
⁷ Ta	> 50 % Kondensatoren
⁸ W	50 % Wolframkarbid $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$: V, Co
⁹ Sn	50 % Lot, 18 % Weißblech, 6 % Legierungen, Rest ITO

Eine Übersicht über die Hauptanwendungen einiger Kritischer Metalle ist in Tab. 2-2 gegeben. Es fällt auf, dass für die Elemente Sb, Ge, Se und Ta große Mengen für Anwendungen gebraucht werden, die später nicht recycelbar sind oder für die bis heute noch keine Recyclingtechnologien erarbeitet wurden. So muss man z. B. die Anwendung von Sb in Form des Antiflammmittels, SbCl_5 , in Polystyren-Schaumstoffen (Styropor) oder von Se als Glasfarbstoff als prinzipiellen Materialverlust für diese Metalle ansehen. Solche Verluste sind volkswirtschaftlich gesehen besonders bitter, weil zum einen beide Elemente in der Halbleitertechnik zukünftig verstärkt benötigt werden und zum anderen hochvernetzte Schäume kaum Antiflammmittel benötigen [21] bzw. Gläser nicht notwendigerweise mit Se gefärbt werden müssen.

2.2 Rohstoffbasis aus Bergbau und Urban Mining

Die Kritikalitätsbetrachtungen in (2.1) zeigen, dass eine Volkswirtschaft ohne ein planmäßiges Recycling zukünftig nicht mehr funktionieren kann. Der Bergbau allein deckt trotz fortschreitender Geräte-Miniaturisierung den immer weiter steigenden Materialverbrauch nicht mehr ab. Also sollte in der innovativen Produktidee zugleich eine ökonomisch machbare Recyclingtechnologie für das „EOL-Produkt“ mit enthalten sein. Im WEEE-Gesetz ist dieser Zusammenhang zwischen Produkt- und Recycling-Idee bereits formuliert [24]. Nicht notwendigerweise muss beim Recyclingprozess eine To-

talzerlegung in Form einer chemischen Metallrückgewinnung angestrebt werden. Eine andersartige Zweitnutzung in Form eines „Upcycling“ kommt ebenfalls als eine Form des rohstoffsparenden Materialverbrauches in Betracht (Abb. 2-3).

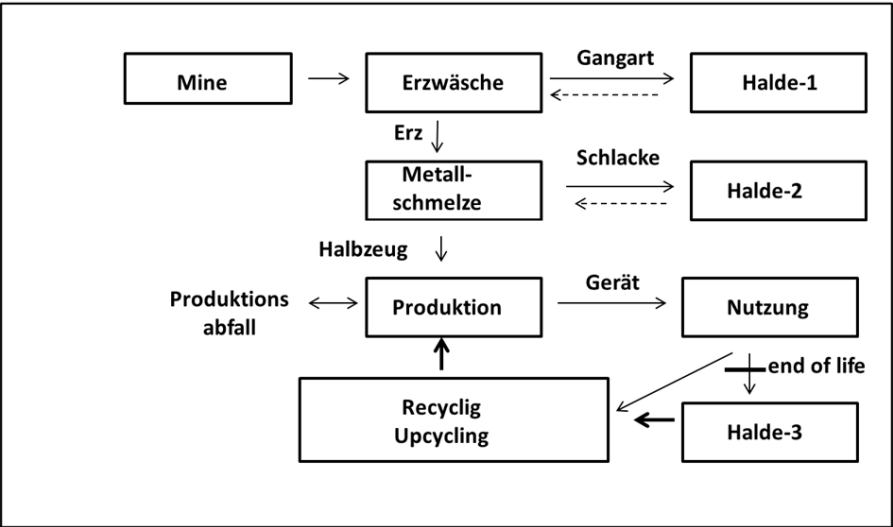


Abb. 2-3: Lebenszyklus technischer Produkte (Halde 1, 2 Bergbau- bzw. Abprodukthalde, Halde-3 Reststoffhalde)

Tab. 2-3: Geografische Aufteilung Kritischer Metalle [23]

Element	Produktion	Prognostizierte Reserve
¹ Sb	China 81 %	
² As	China 51 %	
³ In	China 49 %	China 73 %
⁴ Li		China 73 %
⁵ Nb	Brasilien 89 %	Brasilien 96 %
⁶ Pd	Russland 41 % ZAR 40 %	
⁷ SE	China 97 % (2011)	
⁸ Ta	Australien 61 % Brasilien 16 %	Brasilien 68 % Australien 31 %
⁹ Te	Kanada 56 %	
¹⁰ W	China 86 %	China 62 %

Neben naturgegebenen Rohstoffbeschränkungen treten mitunter noch zusätzlich politische oder spekulative, also künstliche Verknappungen dann auf, wenn Rohstoffe geografisch konzentriert sind (Tab. 2-3). Die Konzentration kann temporär sein. Als die VR China im Jahre 2008 umweltbedingt die eigene Förderung reduzieren musste und zwecks Eigenbedarfs zeitgleich den SE-Export drosselte, kam es zu einer drastischen Verknappung an SE. Einige von ihnen, die SE-Metalle Nd, Y, Eu, Dy und Tb, fehlen seither zeitweilig am Markt. Auch 2014 lag die chinesische SE-Metall-Förderung noch bei ca. 90 % der Weltförderung, obwohl sehr intensive Bemühungen zum Neuaufschluss von

Bergwerken sowie der Reaktivierung und Modernisierung alter Gruben in verschiedenen Ländern stattfanden, aber die Nachfrage an den genannten SE-Metallen zur gleichen Zeit weiter recht hoch blieb.

Die Bewertung der Rohstoffabhängigkeit erfolgt in vier Klassen (Tab. 2-4). Verfügt ein Land bei einem Rohstoff sowie dessen Verarbeitung über eine Dominanz von > 75 %, wie die z. B. VR China im Falle der SE-Metalle oder beim Sb bzw. W (Tab. 2. 3), so ist diese Abhängigkeit als äußerst hoch einzuschätzen. Konzentrieren sich mehr als 90 % einer Rohstoffreserve bzw. Produktion in zwei bis drei Ländern, so ist auch diese Rohstoffsituation als unangenehm hoch einzuschätzen. Förder- bzw. Produktionskonzentrationen von über 50 % in einem Land bzw. zwei Ländern sind immer noch als hoch, respektive erhöht anzusehen (Tab. 2-4, Zeilen 3 und 4).

Tab. 2-4: Bewertung von Produktion und Reserve [23]

Konzentration von Reserven und Produktion	Bewertung
¹ > 75 % in einem Land	äußerst hoch
² > 90 % in 2 bis 3 Ländern	sehr hoch
³ > 50 % in einem Land	hoch
⁴ > 50 % in 2 Ländern	erhöht

Erst im Zusammenhang mit der drastischen Unterversorgung einiger SE-Metalle wurde klar, dass sich die VR China auch bei den Metallen Sb, As, In und W weltweit zum Haupterzeugerland entwickelt hatte (Tab. 2-3, Pos. 1 bis 3 und 10). Und es wurden Fragen nach einer nachhaltigen Verfügbarkeit von Rohstoffen und damit natürlich auch nach den Kritischen Metallen aktuell. Wie lange reichen unsere metallischen Rohstoffreserven noch? Kann man mit den vorhandenen Mengen neue Zukunftstechnologien überhaupt noch planen und entwickeln?

Die Beantwortung dieser Fragen führt zum Begriff der statistischen Reichweite. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis aus bekannten Reservemengen zu jährlich geförderten und verarbeiteten Rohstoffmengen:

$$\text{statistische Reichweite [a]} = \text{Reservemenge [t]} / \text{Fördermenge [t/a]}$$

(2-1)

Nicht in jedem Falle entsprechen geringe Rohstoffreserven, wie z. B. beim Halbleitermetall Ge, automatisch geringen statistischen Reichweiten (); nämlich immer dann nicht, wenn der Verbrauch ebenfalls recht niedrig ist. Es zeichnet sich z. B. bei diesem Metall derzeit bereits ab, dass der Ge-Verbrauch zukünftig eher steigt, als dass er bei dem heutigen Niveau verharren wird. Damit nimmt der Trend zur Verringerung der statistischen Reichweite für das Ge zu.

Tab. 2-5: Statistische Reichweiten [20]

Reserven in [t]	
$< 10^5$:	Ga, Au, Ho, In, Pt -Gruppe, Ge, Te
$< 10^6$:	As, Ag, Eu, Ta, Tb, Y
Verarbeitungsmengen in [t/a]	
äußerst gering $< 10^2$:	Dy, Eu, Ga, Ge, Ho, Sc, Tb, Yb
sehr gering $< 10^3$:	Er, Ga, In, Pd, Pt, Te
gering $< 10^4$:	Au, La, Nd, Pr, Sm, Se, Ta, Y
groß $< 10^5$:	As, Ce, Co, Li, Nb, Ag, W
sehr groß $< 10^6$:	Sb , Sn
statistische Reichweiten in [a]	
sehr gering < 25 :	Sb, As, Au, In, Ag, Sn
gering < 50 :	Cu, Ni, W
groß < 100 :	Nb, Se, Ta, Y
sehr groß < 200 :	Co, Pt , Te, Li, Ga

* hoher Verbrauch **fett** gekennzeichnet, geringer Verbrauch *kursiv*

Als äußerst kritisch muss die statistische Reichweite derzeit bei As, Au, In, Sb und Sn eingeschätzt werden. Bei den Elementen Sb und Sn sind es die unvernünftig hohen (Sn) oder z. T. sinnlosen Rohstoffverbräuche (Sb), die zu dieser Einschätzung führen. Beim Metall In gibt es einfach zu geringe Rohstoffreserven bei steigendem Metallverbrauch.

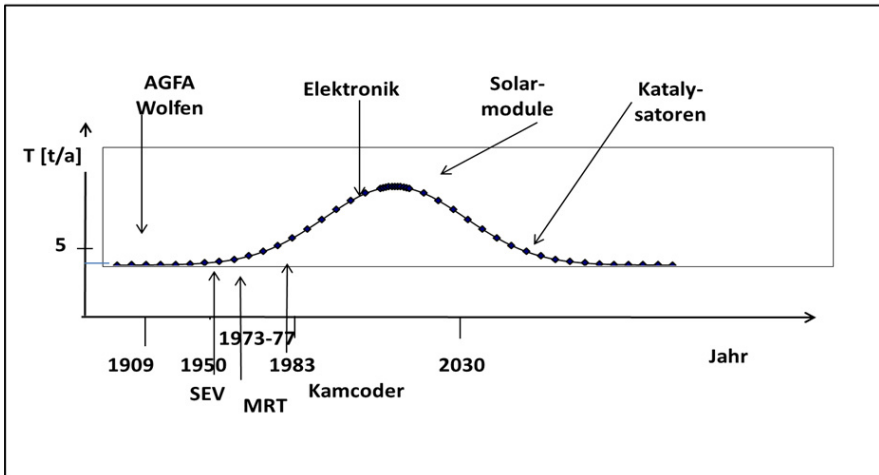


Abb. 2-4: Industrieller Ag-Verbrauch der Jahre 1909 bis 2014 sowie Prognose bis 2030 (Prognosefaktor $f = 0,77$ des Ag-Wertes von 2014 für 2030)

Nicht notwendigerweise sind obige Abschätzungen zeitlos gültig. Das zeigt sich u. a. am industriellen Ag-Verbrauch. Er beginnt 1909 in Wolfen mit der großtechnischen Herstel-

lung von Filmen für die Röntgendiagnostik sowie Photoplaten als damals einzige Möglichkeit, medizinische, astronomische oder spektroskopische Beobachtungen aufzuzeichnen. Die Ag-Förderung blieb über mehrere Jahrzehnte konstant bei etwa 5 T [t/a], stieg in den Folgejahren bis 1970 durch die weltweit starke Reprografik langsam an, obwohl mit der Erfindung des SEVs und später des Camcorders bereits in jenen Jahren Marktsegmente für Ag-Aufzeichnungstechniken verloren gingen. Der exponentielle Anstieg des Ag-Verbrauches in den Folgejahren war durch die Entwicklung neuer Ag-Applikationsfelder für Elektronik-Bauteile bzw. auf die Verwendung von Silberlot zurückzuführen (Abb. 2. 4). Der besonders starke Anstieg ab 1980 entspricht jedoch nicht dem tatsächlichen Industrieverbrauch. Er hat vielmehr seine Ursache in der von Hunt [28] initiierten Ag-Spekulation. Dabei schnellte der Ag-Preis durch Spekulationsaufkäufe von 7 US\$/[oz] im Jahre 1950 auf 100 US\$/[oz] im Jahre 1980 hoch. Nach einigen Jahren platzte die Spekulationsblase und der Preis verfiel auf die heutige Höhe von 20 US\$/ [oz]. Der anhaltend starke Ag-Verbrauch zur Produktion von Röntgenfilmen in Wolfen bis 1991 war allein der Tatsache geschuldet, dass mit der Erfindung der MRT-Technik die investiven Mittel zur Einführung dieser neuen Diagnosetechnik zunächst in vielen Ländern fehlten.

2.3 Zukunftstechnologien

Eine Hochrechnung auf den zukünftigen Rohstoffbedarf verlangt die Kenntnis über Technologieentwicklungen, d. h. wirft die Frage nach den Zukunftstechnologien auf. Die IT-Branche, die Energie-, Werkstoff- und Medizintechnik sowie die Luft- und Raumfahrttechnik werden in den nächsten Jahren dominante Entwicklungs- und Applikationsfelder für neue Technologien bleiben. Dafür ist eine Vielzahl von metallischen Rohstoffen vorzuhalten (Tab. 2-6, 3. Spalte).

Unschwer aus Tab. 2-6 zu erkennen ist, dass eine Reihe Kritischer Metalle, wie z. B. einige SE-Metalle oder In, aber auch die Halbmetalle Ge, Ga, zum Bau unterschiedlicher Hochtechnologie-Produkte benötigt werden, ihr Verbrauch also zukünftig noch ansteigt. Dabei werden u. a. für die Metalle Nd, Ga und In Steigerungsfaktoren zwischen 6 und 4 prognostiziert [22] (Tab. 2-7). Für einige Metalle wie Sn, Ag oder Co liegen die prognostizierten Faktoren unter 1, d. h. der Verbrauch wird im Prognosezeitraum eher geringer als der heutige eingeschätzt.

Mit besonderer Aufmerksamkeit verfolgt man die Versorgung mit Kritischen Metallen für neue Energietechnologien. Nach einer Studie des US-Energieministeriums [13] scheint sich die Versorgungslage für die SE-Metalle Nd, Dy, Eu, Tb und Y als besonders kritisch zu entwickeln. Für die Elemente Nd und Dy ist dieser Zusammenhang leicht nachvollziehbar, werden doch für einen 12 [MW] Windgenerator 1 [t] Nd und 0,15 [t] Dy benötigt. Und der forcierte Ausbau der Windenergie bleibt vordringlichstes Ziel zukünftiger Energiepolitik zur Bewältigung der Klimaprobleme.

Tab. 2-6: Zukunftstechnologien, Produkte und Rohstoffe [41]

Zukunftstechnologie ₁	Produkt ₂	Rohstoff/(Metall) ₃
¹ IT	TV, Laptop, Flachbildschirme Mikrokondensatoren	Ga, In ¹ Sb, La, Nd, Pr Ta, Sb
² Energietechnik	Windräder Akku Brennstoffzelle Dünnschicht-Photovoltaik Supraleiter	Nd, Dy Li, Co oder La, Pr, Ni Pt, Sc, Ta, Y, La, Ce , (Ni, Co) In, Ga, Se, As, Te , (Ag, Sn, Cu) Nb, Y, La, Gd
³ Medizintechnik	MRT chirurgische Geräte Medizinlaser	Nd, Dy, (Gd) Ta Nd, Ho, Y, Eu
⁴ Kommunikationstechnik	Glasfaserkabel	Ge, Er, Tb
⁵ Spezialoptik	NIR-Optik	Ge
⁶ Werkstofftechnik	Legierungen	∇ Elemente
⁷ Luft- und Raumfahrt	Antriebsdüsen	Nb, Ta
⁸ Meerwasserentsalzung		Pd

)¹ kritische Metalle sind fett gekennzeichnet

Dass demgegenüber die Verfügbarkeit des SE-Metalls Sm in der vorliegenden US-Studie als weniger kritisch eingeschätzt wird, liegt an dem sehr hohen Verarbeitungsaufwand bei der Herstellung von Co-Sm-Legierungen für Permanentmagneten hoher Koerzitivfeldstärken [29].

Tab. 2-7: Rohstoffverbrauch im Zeitraum 2006 bis 2030 nach Angerer et al. [22]

Element	Steigerungsfaktor 2006 bis 2030	Technologien
¹ Ga	6,09	Dünnschicht-Photovoltaik Tageslicht-LED integrierte Schaltkreise
² Nd	3,82	Magnettechnik Laser
³ In	3,29	Dünnschicht-Photovoltaik Display-Geräte
⁴ Ge	2,44	Glasfaserkabel optische Geräte IT und Mikrotechnologien
⁵ Ta	1,01	Mikrokondensatoren Medizintechnik
⁶ Sn	0,77	transparente Elektroden Pb-freies Weichlot
⁷ Ag	0,78	Pb-freies Weichlot
⁸ Co	0,4	Li-Ionen-Akku

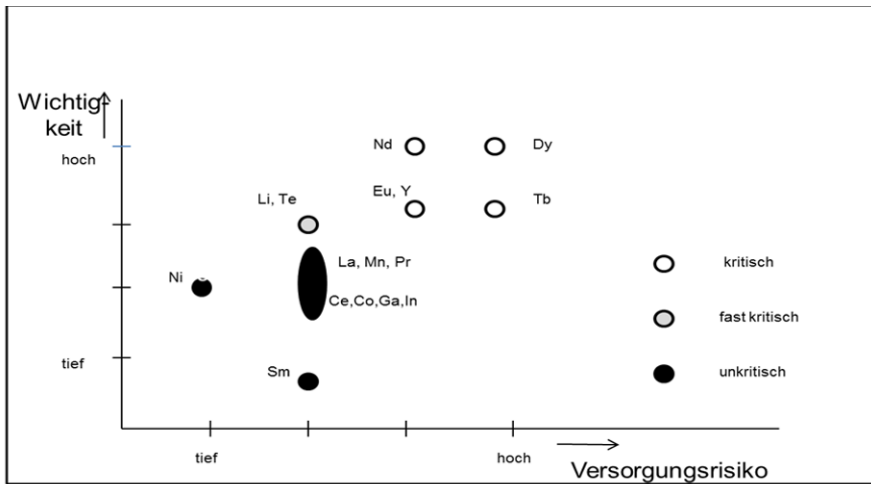


Abb. 2-5: Versorgungsrisiko für Energiemetalle [13]

2.4 Rohstoffpreise für Metalle

Rohstoffpreise für Metalle sind üblicherweise börsennotiert und werden an der Londoner Metal Exchange (LME) gebildet. Sie schwanken sowohl in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage, mitunter aber auch durch spekulative Aufkäufe bei den Edelmetallen (z. B. Ag-Spekulation). Eine Ausnahme machen die SE-Metalle. Sie werden nicht als Metalle, sondern in oxidischer Form als SE_2O_3 und auch nicht an der Börse gehandelt. Für SE gelten deshalb Marktpreise, die individuell zwischen Anbieter und Aufkäufer vereinbart werden. Dass SE-Metalle nicht in metallischer Form, sondern als Oxide gehandelt werden, wird durch ihre außerordentliche Reaktivität gegenüber Sauerstoff bedingt. Die metallische Form wäre für eine Mengenbestimmung (Wägung) chemisch nicht stabil (vgl. Abschn. 3.3).

Ganz allgemein gelten für den Metallhandel festgelegte Massemaße in US\$/[t], US\$/[kg] oder US\$/[lb] bzw. für die Edelmetalle US\$/[oz]. Diese Maße sind historisch entstanden und beziehen sich immer auf die Angabe einer definierten Metallqualität: beim Ag auf das Sterlingsilber, beim Au auf die Troy-Unze bzw. auf eine sogenannte n-Neuner-Reinheit (Abschn. 11.3.3).

Auch die Preise für die SE-Metalle sind an definierte Reinheiten der Oxide gebunden. So lag der kg-Preis im Jahre 2014 beim Gd-Oxid mit einer Reinheit von 99,99 % (4 N(euner)-Reinheit) bei etwa 100 US\$/[kg], ein Gd-Oxid mit der Reinheit 99,999 % wurde im gleichen Zeitraum jedoch mit 6000 €/[kg] gehandelt. Die \$/€-Umrechnung lag in dieser Zeit bei US\$ = 1,36 €. Der Gesamtmarktwert der gehandelten SE-Oxide in 4 N-Qualität belief sich im Jahre 2012 auf $15 \cdot 10^9$ US\$, davon fielen $14,5 \cdot 10^9$ US\$ auf chinesische Exporte. Diese hohen Exporterlöse konnten seitens der VR China durch die absolute Monopolstellung bei der Produktion der SE erzielt werden. Durch das Auffah-

ren neuer, moderner Förderstätten (Kap. 4) ist diese Monopolstellung etwas gesunken, parallel dazu sanken auch die SE-Marktpreise.

Tab. 2-8: Preisentwicklung ausgesuchter Industriemetalle [27]

Metall	Preis in [US\$/kg] (2001)	Preis in [US\$/kg] (2012)	Preis in [US\$/kg] (2014)
¹ As	0,9	1,76	0,9
² Co	17,4	27,5	26,5
³ Ga	433	320	270
⁴ Ge	521	1610	1615
⁵ In	70	535	440
⁶ Nb	-	-	55
⁷ Sb	1,4	12,5	11
⁸ Se	7,92	49	97,9
⁹ Ta	92,6	28,6	260
¹⁰ Te	-	-	120
¹¹ W	5,8	45	24

Die Preisentwicklung der letzten Jahre zeigt erwartungsgemäß für die Industriemetalle keinen einheitlichen Trend (Tab. 2-8). Lediglich beim Ge, In, Se und Ta ist ein Anstieg zu verzeichnen (Tab. 2-8, Zeilen 4, 5, 8 und 9), bei den SE-Oxiden trat nach einem starken Anstieg bis 2012 in den letzten Jahren wieder der bereits erwähnte Preisverfall ein (Tab. 2-9).

Tab. 2-9: Entwicklung der Marktpreise für SE_2O_3 nach ISE

Produkt	Reinheit in %	Preis 2004 in US\$/[kg]	Preis 11/2013 in US\$/[kg]	Preis 3/2014 in US\$/[kg]	SE-Preis 2014 in US\$/[kg]	SE-Preis 2014 in €/ [kg]) ¹
¹ Eu_2O_3	99,99	292	1556	1460,7	> 1692	> 1244,11) ²
² Tb_4O_7	99,99	341	1556,9	1410,7	> 1880,9	> 1383) ³
³ Y_2O_3	99,99		36	34,76	> 44	> 32,35
⁴ Dy_2O_3	99,5	85	776	893,55	> 951	> 699
⁵ Gd_2O_3	99,99		109,6	106,9	> 123,3	> 90,66
⁶ Nd_2O_3	99,0	29	111	119,4	> 139,32	> 102,44) ⁴
⁷ Pr_6O_{11}	99,0	28	221	222,3	> 270,1	> 198,60) ⁴

)¹ 1 US\$ = 1,36 € im März 2014

)² Fernsehmonitore

)³ Speicherelemente (MP3-Player)

)⁴ Schwingspulen-Magnet (Laptop)

Fragen zu Kapitel 2:

1. Welche Industriemetalle gehören zu den Kritischen Metallen?
2. Wie unterscheiden sich die Industriemetalle von den Massemetallen?
3. Was versteht man unter einer strategischen Reichweite?
4. Welche Einflussgrößen bestimmen die Kritikalitätsklasse der Rohstoffe?
5. Wie lassen sich Rohstoffverbräuche senken?

Strategische Metalle - Eigenschaften, Anwendung und
Recycling

Adler, B.

2017, VIII, 252 S. 109 Abb., 35 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-53035-1