

## **Prüfung und Aktualisierung von Rohstoffparametern eines Internetauftrittes**

ERSTELLT FÜR

**REMONDIS Assets & Services GmbH & Co. KG**

Brunnenstr. 138

44536 Lünen

ERSTELLT DURCH

**Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC)**

**Ausführende Abteilung:** Metallrecycling

Dr. Torsten Zeller

Andreas Sauter

Jan Schlecht

**Leitung**

Prof. Dr. Martin Faulstich

Leibnizstraße 21 +23

38678 Clausthal-Zellerfeld

Auftraggeber

**REMONDIS Assets & Services GmbH & Co. KG**

Brunnenstr. 138

44536 Lünen

Auftragnehmer

**Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC Institut) Leibnizstraße 21-23**

38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: +49 5323 933-0

Fax: +49 5323 933-100

E-Mail: [cutec@cutec.de](mailto:cutec@cutec.de)

Homepage: [www.cutec.de](http://www.cutec.de)

#### IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR DIESEN BERICHT

Name	Telefon	E-Mail
Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich	05323 933 124	<a href="mailto:martin.faulstich@cutec.de">martin.faulstich@cutec.de</a>
Dipl.-Umweltwiss. Jan Schlecht	05323 933 280	<a href="mailto:jan.schlecht@cutec.de">jan.schlecht@cutec.de</a>
Dr. Torsten Zeller	05323 933 206	<a href="mailto:torsten.zeller@cutec.de">torsten.zeller@cutec.de</a>
Dipl.-Kfm. Andreas Sauter	05323 933 270	<a href="mailto:andreas.sauter@cutec.de">andreas.sauter@cutec.de</a>

Clausthal-Zellerfeld, den 14. Juni 2016

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Veranlassung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Aktualisierung der Bedeutung.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Aktualisierung der Verfügbarkeit.....</b>	<b>15</b>
<b>4 Aktualisierung der Recyclingfähigkeit und Substituierbarkeit.....</b>	<b>24</b>
<b>5 Aktualisierung der Zahlen und Fakten.....</b>	<b>30</b>
<b>6 Aktualisierung der Handelsbeschränkungen.....</b>	<b>41</b>
<b>7 Aktualisierung der EU-Einstufungen.....</b>	<b>44</b>
<b>8 Ergänzende Einstufungen: DERA-Rohstoffliste.....</b>	<b>55</b>
<b>9 Vergleich der Kritikalitätsbewertungen der Studien der europäische Kommission und der DERA.....</b>	<b>58</b>
<b>10 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>59</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung von 54 Rohstoffgruppen für die EU 2014 [EC 2014a, 2014b].....	44
Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Berechnung der wirtschaftliche Bedeutung [Chapman A. et al. 2013] .....	45
Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der Berechnung der Versorgungsrisiko [Chapman A. et al. 2013] .....	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verfügbarkeit Chrom.....	15
Tabelle 2:	Verfügbarkeit Gallium .....	16
Tabelle 3:	Verfügbarkeit Gold.....	16
Tabelle 4:	Verfügbarkeit Indium.....	17
Tabelle 5:	Verfügbarkeit Kobalt .....	18
Tabelle 6:	Verfügbarkeit Kupfer.....	18
Tabelle 7:	Verfügbarkeit Niobium .....	19
Tabelle 8:	Verfügbarkeit Phosphor .....	19
Tabelle 9:	Verfügbarkeit Platingruppenmetalle (PGM).....	20
Tabelle 10:	Verfügbarkeit Tantal .....	20
Tabelle 11:	Verfügbarkeit Titan .....	21
Tabelle 12:	Verfügbarkeit Wolfram .....	21
Tabelle 13:	Verfügbarkeit Zink .....	22
Tabelle 14:	Verfügbarkeit Zirkon .....	23
Tabelle 15:	Mögliche Verwendung der untersuchte Rohstoffe [DERA 2014], [Kroop et al. 2014].....	30
Tabelle 16:	Verfügbarkeit der untersuchten Rohstoffen für das Jahr 2015 [USGS 2016] [USGS 2014] [DERA 2014] [Schmidt 2015] .....	33
Tabelle 17:	Zeitliche Vergleiche zur Verfügbarkeit hinsichtlich Bergwerksproduktion, Reserven und Ressourcen .....	34
Tabelle 18:	Zeitlicher Vergleich zur Verfügbarkeit hinsichtlich der statischen Reichweiten für die Reserven und Ressourcen .....	35
Tabelle 19:	Verfügbarkeitsrisiko hinsichtlich der produzierenden Länder für das Jahr 2015 [USGS 2016] .....	36
Tabelle 20:	Verfügbarkeitsrisiko hinsichtlich der produzierenden Unternehmen für das Jahr 2012 [DERA 2014], [Schmidt 2015].....	37
Tabelle 21:	Zusammenfassung der Länder- und Unternehmensrisiken für das Jahr 2015 .....	38
Tabelle 22:	Zeitlicher Vergleich des Verfügbarkeitsrisikos der produzierenden Länder [USGS 2010] [USGS 2016].....	39

Tabelle 23:	Zeitlicher Vergleich des Verfügbarkeitsrisikos der produzierende Unternehmen [DERA 2014] .....	40
Tabelle 24:	Verwendete Farbskala für die Kritikalitätsbetrachtung .....	46
Tabelle 25:	Wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko für das Jahr 2013 [EC 2014b] .....	47
Tabelle 26:	Recyclingrate für das Jahr 2013 [EC 2014b].....	47
Tabelle 27:	Verwendete Farbskala für die Substituierbarkeit.....	48
Tabelle 28:	Beispielhafte Darstellung der Berechnung der Substituierbarkeit im Falle von Titan.....	48
Tabelle 29:	Substituierbarkeit der untersuchten Rohstoffe für das Jahr 2013 [EC 2014b] .....	49
Tabelle 30:	Substitutionsmöglichkeiten der untersuchten Rohstoffe [USGS 2016], [BGR 2015].....	50
Tabelle 31:	Zeitlicher Vergleich der wirtschaftlichem Bedeutung, des Versorgungsrisikos und der Einstufung [EC 2014b] .....	52
Tabelle 32:	Zeitlicher Vergleich der Recyclingraten [EC 2010b, 2014b] .....	53
Tabelle 33:	Zeitlicher Vergleich der Substituierbarkeit (Substitutability Index) [EC 2010b, 2014b].....	54
Tabelle 34:	Verwendete Farbskala für den HHI und GLR.....	56
Tabelle 35:	Länderkonzentration, gewichtetes Länderrisiko und Firmenkonzentration der Bergwerksförderung für das Jahr 2012 [DERA 2014] [Schmidt 2015].....	57
Tabelle 36:	Vergleich Kritikalitätsbewertung der Studien der europäische Kommission und der DERA [DERA 2014], [Schmidt 2015], [EC 2014b].....	58

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Mit dem Schreiben vom 03. März 2016 von der **REMONDIS** wurde die Durchführung einer Studie zur **Prüfung und Aktualisierung von Rohstoffparametern eines Internetauftrittes** bestätigt und in Auftrag gegeben.

Im Rahmen eines neuen Internetauftritts zum Thema Nachhaltigkeit plant **REMONDIS** eine Infografik zum Thema **Restverfügbarkeiten** von bestimmten Rohstoffen zu entwickeln. Dazu wurden nachfolgenden Rohstoffe im Hinblick auf ihre Reserven, Ressourcen und statische Reichweite hin überprüft und aktualisiert:

- Chrom
- Gallium
- Gold
- Indium
- Kobalt
- Kupfer
- Niobium
- Phosphor
- PGM
- Tantal
- Titan
- Wolfram
- Zink
- Zirkon

Des Weiteren wurden die auf der REMONDIS-Intranetseite

<http://typo3.remondis.de/index.php?id=8300>

stehenden Texte und Ausführungen zu oben genannten Rohstoffen auf ihre Aktualität hin

überprüft und ergänzt.

Abschließend wurde überprüft in wie weit für die auf der Intranetseite zitierten Studien aus dem Jahre 2010 hinsichtlich der Einstufungen zu den einzelnen Rohstoffe, aktualisierte Folgestudien vorhanden waren. War dies der Fall, dann wurden auch hier die gemachten Einstufungen überprüft und falls notwendig aktualisiert.

Für die im Jahr 2010 zitierten Studien für die es KEINE Ergebnisfortschreibung und somit KEINE Möglichkeit der Aktualisierung gab, wurden stattdessen andere aktuelle Studien mit vergleichbaren Aussagegehalten herangezogen.



## 2 Aktualisierung der Bedeutung

### 2.1 Chrom

Das weltweit gewonnene Chromit wird zu über 90 % in der Metallurgie eingesetzt [DERA 2014]. Im Vergleich zur Nutzung als Legierungsbestandteil sind die übrigen Anwendungen – wie in der chemischen Industrie oder für Feuerfestmaterialien – nur von untergeordneter Bedeutung. Chrom ist ein silberweißes, korrosionsbeständiges, gut verformbares und trotzdem hartes, paramagnetisches, hoch schmelzendes Metall (Schmelzpunkt ca. 1.907 °C).

Metallisches Chrom und dreiwertige Chromverbindungen, beispielsweise das natürlich vorkommende Chromiterz, sind gesundheitlich unbedenklich [Angerer et al. 2009]. Sechswertige Chromverbindungen (CrVI) hingegen sind giftig, karzinogen und mutagen. Sie werden vor allem als Oxidationsmittel für den Korrosionsschutz und als Vorprodukte für zahlreiche Chromverbindungen eingesetzt [Angerer et al. 2009].

### 2.2 Gallium

Gallium ist ein silberweißes Metall. Es wird hauptsächlich zur Herstellung von Galliumverbindungen wie Galliumarsenid, Galliumnitrid, Galliumphosphid oder Galliumantimonid verwendet. Diese Verbindungen wiederum dienen der Produktion von Halbleitern für integrierte Schaltungen (z. B. für Smartphones) sowie optoelektronische Geräten (LEDs, Laserdioden, Fotodioden, Solarzellen usw.). Des Weiteren werden diese Verbindungen für niedrigschmelzende Legierungen eingesetzt und können auch als Quecksilberersatz für Thermometerfüllungen verwendet werden.

Prognosen gehen davon aus, dass der Galliumbedarf für Dünnschicht-Photovoltaik und Mikrochips sowie im Bereich weißer LEDs und anderer Zukunftstechnologien enorm wachsen wird [Angerer et al. 2009].

### 2.3 Gold

Der Preis des Edelmetalls Gold war im Jahr 2015 um 8 % niedriger als im Vorjahr und 30 % niedriger als im Rekordjahr 2012 [USGS 2016]. Verwendung findet Gold vor allem in

Schmuckwaren, in der Elektronikindustrie (Kontakte), Zahntechnik, Münzen und Medaillen, Investment, Oberflächernvergoldung und in optische Anwendungen (Beschichtungen, Spiegel) [DERA 2014].

## 2.4 Indium

Indium ist ein silberweißes, weiches Schwermetall, das mit den meisten anderen Metallen Legierungen bilden kann und im Allgemeinen die Festigkeit und Korrosionsresistenz des Legierungssystems erhöht. Seine Eigenschaft transparent und elektrisch leitfähig zu sein, macht Indium-Zinn-Oxid (ITO) essentiell für Flüssigkristallanzeigen und Flachbildschirme [DERA 2014].

Neben der Verwendung für Dünnschichtbeschichtungen, Niedrigtemperaturlegierungen und Weichlote (z. B. bleifreie Lote), wird Indium auch in Halbleitern (z. B. in LEDs und Laserdioden), sowie in Dünnschichtsolarzellen eingesetzt [DERA 2014].

Für Display-Anwendungen hat Indium auch in Zukunft große Bedeutung und der Bedarf wird sich erhöhen. Weitere Einsatzbereiche, die an Wichtigkeit zunehmen werden, sind die Dünnschicht-Photovoltaik und weiße LEDs [EC 2014c]. Die Indium Nachfrage für die Herstellung von LEDs und Photovoltaik-Module könnte im Jahr 2020 an die 20 % der Indium-Primärproduktion erreichen. Im Jahr 2012 lag sie bei 7 %. Für Display-Anwendungen könnte dieser Anteil um 5,5 % jährlich wachsen, aufgrund der steigenden Nachfrage nach Smartphones und Tablet-PCs [EC 2014c].

## 2.5 Kobalt

Kobalt, ein Übergangsmetall, ist ferromagnetisch und sehr hart. Es behält seine Stabilität sowie die magnetischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen und besitzt eine relativ niedrige thermische wie elektrische Leitfähigkeit. Verwendung findet es derzeit besonders in Batterien, Superlegierungen, Hartmetalle, Katalysatoren, Magnete, Pigmente, Spezialchemikalien (z. B. Kobaltcarboxylate für die Reifenherstellung) sowie hochwarmfeste Stähle, Oberflächenbeschichtung und Magnetbänder [DERA 2014].

Nachfrageimpulse in der Zukunft [Angerer et al. 2009] versprechen vor allem der Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien sowie neue Anwendungsbereiche der Superlegierungen (z.B. verschleißfeste Kobalt-Chrom-Molybdän-Legierungen in orthopädischen Implantaten, hoch

temperaturbeständige Superlegierungen für die Luftfahrtindustrie).

Auch die Nutzung von Kobalt in Katalysatoren für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe wird in Zukunft zunehmen [Angerer et al. 2009].

## 2.6 Kupfer

Die Verwendung von Kupfer ist weltweit sehr unterschiedlich. Verwendung findet es derzeit besonders als Kupfermetall und in Legierungen (Messing; Bronze; Neusilber) bspw. für Rohre, Kabel, Drähte, Leitungen und Bleche [DERA 2014].

Zudem bildet Kupfer die Ausgangsbasis für alle elektrischen und elektronischen Zukunftstechnologien [Angerer et al. 2009]. Das weiche und verformbare Metall, korrodiert nicht an Luft (Bildung einer schützenden Oxidschicht) und wird nur von oxidierenden Säuren angegriffen [Angerer et al. 2009]. Kupfer lässt sich in vielen Formen wie Blechen, Folien oder Drähten weiterverarbeiten. Seine wichtigsten Eigenschaften sind die elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Legierungsfähigkeit mit vielen anderen Metallen [Angerer et al. 2009].

## 2.7 Niobium

Niobium wird wegen seiner spezifischen Eigenschaften in vielen Bereichen genutzt. Verwendung findet es derzeit besonders in die Stahlindustrie als Stahlveredler für Legierungen und Superlegierungen (z. B in Flugzeugturbinen). Weitere Verwendung findet Niobium in Elektrolytkondensatoren und Katalysatoren [DERA 2014].

Niobium kommt in der Natur vor allem als Pyrochlor oder Niobit (Mischkristall mit Eisen, Tantal und Mangan) vor. Ein weiteres Erz mit Niobium und Tantalbestandteilen ist Coltan (Columbit-Tantalit-Erz). Niobium ist hoch schmelzend (2.468 °C), widersteht allen Säuren außer Flusssäure und wird nur von Alkalischmelzen angegriffen. Es ist luft- und korrosionsbeständig, auch unter hohen Temperaturen, zudem weist es eine sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeit auf [Angerer et al. 2009].

## 2.8 Phosphor (Phosphat)

Phosphor wird als Dünge-, Nahrungs- und Futtermittel in der Landwirtschaft verwendet. Weitere Anwendungen von Phosphor sind u.a. als Reinigungs-, Korrosionsschutz- und Flammschutzmittel [DERA 2014].

## 2.9 Platingruppenmetalle

Unter den Platingruppenmetallen versteht man die sechs Elemente Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Osmium und Iridium [Angerer et al. 2009], [EC 2010a]. Schwerpunktmäßig wurden hier Platin und Palladium betrachtet.

Platin wird zu ca. 36 % als Kfz-Katalysator eingesetzt und zu ca. 35 % als Schmuck verarbeitet [Schmidt 2015]. Weitere Einsatzbereiche sind Investment (10 %), Katalysatoren (6,3 %) und Elektronik (2,5 %).

Bei Palladium dominiert mit gut 73 % die Anwendung als Kfz-Abgaskatalysator. In der Elektronik und Elektroindustrie werden ca. 11 % eingesetzt, in Katalysatoren ca. 6 % und in der Medizintechnik knapp 5 % [Schmidt 2015].

Alle Platinmetalle sind sehr selten und teuer, chemisch reaktionsträge und mit Ausnahme von Iridium werden alle als Katalysator oder Katalysatorzusatz genutzt [Angerer et al. 2009][Angerer et al. 2009][Angerer et al. 2009][Angerer et al. 2009]. Platin weist mit  $21,5 \text{ g/cm}^3$  eine doppelt so hohe Dichte auf wie Palladium. Die elektrische Leitfähigkeit ist demgegenüber mit  $9,5 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  bei Palladium und  $9,7 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  bei Platin nahezu identisch. Die Werte liegen deutlich unter denen von Silber oder Kupfer [Angerer et al. 2009]

## 2.10 Tantal

Tantal wird aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften in sehr unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Größtenteils (42 %) wird Tantal als Mikrocondensatoren in Computern, Fahrzeugelektronik, Mobiltelefonen sowie der Raum- und Luftfahrtindustrie verwendet [DERA 2014] [Kroop et al. 2014]. Weitere bedeutende Verwendung sind Tantalmetallbasierte Walzprodukte (20 %), Legierungszusätze für Superlegierungen (16 %), der Gebrauch als Oxide und Chemikalien (14 %) sowie der Gebrauch als Carbide in Hartmetallen mit gut 8 % [Kroop et al. 2014].

Tantal findet sich in der Natur vor allem als Tantalit oder als Microlite und Wodgnite. Ähnlich

wie Niobium ist es außerdem in Coltan enthalten. Tantal ist hoch schmelzend (2.996 °C), hart aber dehn- und walzbar. Es widersteht allen Säuren außer Flusssäure und Alkalien, ist korrosionsbeständig und weist eine sehr gute elektrische wie auch thermische Leitfähigkeit auf [Angerer et al. 2009].

## 2.11 Titan

Titan vereint viele interessante Eigenschaften. Es ist sehr leicht und besitzt eine besondere mechanische Festigkeit. Hinzu kommen der hohe Schmelzpunkt und niedrige thermische Expansionskoeffizienten sowie die Resistenz gegen viele Substanzen (einschließlich Säuren und Salzwasser). Daher sind Titan und Titanlegierungen für viele Anwendungen von Bedeutung [EC 2014d]. Etwa 95 % des weltweit erzeugten Titans werden als Titandioxid verwendet [Angerer et al. 2009], [DERA 2014]. Eingesetzt wird dieses Oxid in Farben, Lacken, Kunststoffen, Papier, Glas und Keramik [DERA 2014]. Titanmetall findet Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, im chemischen Apparatebau, in der Petrochemie sowie in der Automobilindustrie. [DERA 2014].

Prognostiziert wird ein steigender Bedarf durch neue Einsatzgebiete (Korrosionsschutz für Meerwasserentsalzungsanlagen, Implantate, miniaturisierte Kondensatoren, Farbstoffsolarzellen, Superlegierungen) [Angerer et al. 2009].

## 2.12 Wolfram

Die Hauptanwendungsgebiete von Wolfram ist die Verwendung als Legierungszusatz zur Herstellung von harten und hitzebeständigen Legierungsstählen. Typische Anwendungsfelder sind in Walzmaschinen, Schneidwerkzeugen, Bohrkronen, Inserts, Gussformen, Turbinen, Glühdrähten, elektrische Kontakte, Elektroden und Kathoden zu finden [DERA 2014].

In der Natur kommt Wolfram nur in chemischen Verbindungen und nicht in elementarer Form vor [EC 2010b]. Wolfram weist robuste physikalische Eigenschaften auf und hat den höchsten Schmelzpunkt aller unlegierten Metalle bzw. den zweithöchsten aller Elemente nach Kohlenstoff [EC 2014c].

### **2.13 Zink**

Die Hauptanwendung von Zink liegt in der Verwendung als Korrosionsschutz von Stählen. Weitere Einsatzgebiete liegen in der Herstellung von Zinkdruckguss- und Messinglegierungen, Arzneimitteln, Kosmetik, Farben, Lacken, Keramik und Pigmenten [DERA 2014].

### **2.14 Zirkon**

Zirkon ist das wichtigste natürlich vorkommende Mineral des Elements Zirkonium und wird in der keramischen Industrie für Wand- und Bodenfliesen, Sanitär- und technische Keramik, Glasuren, Emaille eingesetzt. Darüber hinaus findet Zirkonium Verwendung in Chemikalien, als Formgrundstoff im Gießereibereich, in Feuerfesterzeugnissen, Bildröhren, Schleifmitteln, Gläsern und Explosivstoffen [DERA 2014].

### 3 Aktualisierung der Verfügbarkeit

#### 3.1 Chrom

Aktuell werden im Jahr ca. 27 Mio. Tonnen Chrom weltweit hergestellt. Die Chromreserven liegen derzeit über 480 Mio. Tonnen [USGS 2016]. Hieraus ergibt sich eine statische Reichweite von 18 Jahren. Chrom ist bezogen auf die Reservenbasis ein relativ knapper Rohstoff, allerdings liegen die geschätzten Ressourcen bei gut 12.000 Mio. Tonnen. Bei einer konstanten Fördermenge ergibt sich eine statische Ressourcenreichweite von 444 Jahren.

Die Chromförderung konzentriert sich zu ca. 83 % auf drei Länder: Südafrika weist mit knapp 56 % den höchsten Anteil auf, gefolgt von Kasachstan (14 %) und Indien (13 %) [USGS 2016]. Bei den produzierenden Unternehmen ist die Konzentration auf die drei größten Produzenten mit knapp 37 % nicht so extrem ausgeprägt [DERA 2014].

Tabelle 1: Verfügbarkeit Chrom

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
27	480	12.000	18	444	82,6	36,5

#### 3.2 Gallium

Im Jahr 2015 betrug die Bergwerksproduktion von Gallium 435 Tonnen. Gallium wird weltweit am häufigsten als Nebenprodukt bei der Aluminiumproduktion aus Bauxit gewonnen, und lokal bei der Zinkverarbeitung [Paradis 2015]. Der durchschnittliche Galliumgehalt in Bauxitlagerstätten beträgt 50 ppm. Die Reserven an Bauxit entsprechen 28.000 Mio. Tonnen, die Ressourcen 65.000 Mio. Tonnen [USGS 2016].

Belastbare Daten über Produktion und Reserven von Gallium sind nicht verfügbar aber mit diesen Daten und der Annahme, dass 95 % des Galliums aus Bauxit gewonnen wird, ist es möglich eine Abschätzung der Galliumreserven und –ressourcen sowie die Berechnung der statischen Reichweite für Gallium vorzunehmen.

Die Ergebnisse dieser Abschätzungen zeigen, dass die Reserven an Gallium aktuelle ca. 1,4 Mio. Tonnen und die Ressourcen ca. 3,3 Mio. Tonnen betragen. Aufgrund der sehr

hohen Bauxitreserven und –ressourcen resultiert eine statische Reichweite für Gallium von über 3000 Jahren und eine statische Ressourcenreichweite von sogar 7471 Jahren. Jedoch nur ein kleiner Prozentsatz des Galliums in Bauxitlagerstätten ist potentiell gewinnbar [USGS 2016].

*Tabelle 2: Verfügbarkeit Gallium*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
435	1.400.000*	3.250.000*	3.218	7.471	k. A.	k. A.

\*Eigene Berechnungen

### 3.3 Gold

Die globale Gold-Bergwerksproduktion im Jahr 2015 belief sich auf 3.000 Tonnen. Mit den derzeitigen Reserven von 56.000 Tonnen beträgt die statische Reichweite 19 Jahre. Im Jahr 2015 wurden in den USA 140 Tonnen Gold aus neuen und altem Schrott rückgewonnen, etwas weniger als der ausgewiesene Verbrauch in den USA. Aufgrund des Preisrückgangs bei der primären Goldproduktion, ist das Recycling von Gold seit 2011 rückläufig [USGS 2016]. Trotzdem wird Gold als nicht kritisch eingestuft [EC 2014a, 2014b, 2014c].

Die Goldförderung konzentriert sich zu ca. 34 % auf drei Länder: China weist mit knapp 16 % den höchsten Anteil auf, gefolgt von Australien (10 %) und Indien (8,1 %) [USGS 2016].

*Tabelle 3: Verfügbarkeit Gold*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
3.000	56.000	k. A.	19	k. A.	34,4	30,3

### 3.4 Indium

Im Jahr 2015 betrug die Bergwerksproduktion von Indium 755 Tonnen. 95 % der



Indiumproduktion wird als Nebenprodukt bei der Zinkproduktion gewonnen [Paradis 2015]. Der durchschnittliche Indiumgehalt in Zinklagerstätten beträgt rund 50 ppm, die Zinkreserven und -ressourcen entsprechen 200 Mio. respektive 1.900 Mio. Tonnen [USGS 2016].

Mit diesen Daten wurden die Indiumreserven bzw. -ressourcen sowie die statische Reichweite berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, dass die Reserven an Indium 10.000 Tonnen und an Ressourcen 95.000 Tonnen betragen. Die daraus resultierende statische Reichweite beträgt lediglich 13 Jahre, die statische Ressourcenreichweite 126 Jahre.

Die Indiumförderung konzentriert sich zu ca. 78 % auf drei Länder: China weist mit 49 % den höchsten Anteil auf, gefolgt von Südkorea (ca. 20 %) und Japan (ca. 10 %) [USGS 2016]. Damit zeigt sich eine hohe regionale Konzentration bei der Indiumversorgung.

*Tabelle 4: Verfügbarkeit Indium*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
755	10.000*	95.000*	13	126	78,4	k. A.

\*eigene Berechnungen

### 3.5 Kobalt

Die globale Bergwerksproduktion von Kobalt im Jahr 2015 belief sich auf 124.000 Tonnen. Mit den derzeitigen Reserven von 7,1 Mio. Tonnen beträgt die statische Reichweite 57 Jahre. Die weltweiten identifizierten terrestrischen Kobaltressourcen entsprechen 25 Mio. Tonnen. Mehr als 120 Mio. Tonnen Kobaltressourcen wurden in Manganknollen und -krusten auf dem Mehrgrund identifiziert.

50,8 % der Weltbergwerksproduktion stammen aus der Demokratischen Republik Kongo. Weitere wichtige Länder sind China (5,8 %), Russland (5,1 %), Kanada (5,1 %) und Australien (4,8 %). Das bedeutet, dass die Kobaltförderung sich zu ca. 62 % auf drei Länder und zu ca. 72 % auf fünf Länder konzentriert [USGS 2016].

Tabelle 5: Verfügbarkeit Kobalt

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
124.000	7.100.000	25.000.000*	57	202	61,7	30,2

\*zzgl. 120 Mio. Tonnen Ressourcen auf dem Meeresgrund

### 3.6 Kupfer

Derzeit beträgt die jährliche globale Produktion an Kupfer ca. 19 Mio. Tonnen bei geschätzten 720 Mio. Tonnen Kupferreserven weltweit [USGS 2016]. Damit errechnet sich eine statische Reichweite von 39 Jahren. Die identifizierte Kupferressourcen betragen ca. 2.100 Mio. Tonnen [USGS 2016], was gemessen am heutigen Verbrauch eine statische Ressourcenreichweite von gut 112 Jahren ergibt.

Hauptexportland ist Chile mit einem Anteil von ca. 31 % an der weltweiten Förderung. Weitere wichtige Länder sind China (9,4 %), Peru (8,6 %), USA (6,7 %) und der Demokratischen Republik Kongo (5,3 %) [USGS 2016].

Betrachtet man die drei wichtigsten Förderländer, so ergibt sich in Summe ein Förderanteil von ca. 49 % der Weltproduktion. Bei den produzierenden Unternehmen entfallen auf die drei wichtigsten Unternehmen gut 29,4 % [DERA 2014].

Tabelle 6: Verfügbarkeit Kupfer

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
18,7	720	2.100	39	112	48,5	29,4

### 3.7 Niobium

Die jährliche Niobiumproduktion betrug im Jahr 2015 etwa 56.000 Tonnen, bei Reserven von etwa 4,3 Mio. Tonnen. Damit liegt die statische Reichweite bei 77 Jahren [USGS 2016].

Betrachtet man die Förderländer, so wird deutlich, dass Brasilien mit gut 89 % nahezu

alleinigtes Herkunftsland für Niobium ist. Kanada weist noch etwa 9 % der Niobiumförderung auf [USGS 2016]. Ähnlich sieht es bei den produzierenden Unternehmen aus: die drei wichtigsten Firmen produzieren praktisch das gesamte Niobium (ca. 93 %) [DERA 2014].

Tabelle 7: Verfügbarkeit Niobium

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite		Top 3 [%]	
			[Jahre]		Land	Unternehmen
			Reserven	Ressourcen		
56.000	4.300.000	k. A.	77	k. A.	> 98	92,9

### 3.8 Phosphor

Phosphor wird aus Rohphosphat hergestellt. Derzeit beträgt die jährliche globale Produktion an Rohphosphat ca. 223 Mio. Tonnen. Die Rohphosphat Reserven liegen bei 69.000 Mio. Tonnen weltweit [USGS 2016]. Damit errechnet sich eine statische Reichweite von 309 Jahren. Die identifizierte Rohphosphatressourcen betragen ca. 300.000 Mio. Tonnen [USGS 2016], was gemessen am heutigen Verbrauch eine statische Ressourcenreichweite von gut 1345 Jahren ergibt.

Die Rohphosphatförderung konzentriert sich zu ca. 71 % auf drei Länder: China weist mit ca. 45 % den höchsten Anteil auf, gefolgt von Marokko (ca. 14 %) und USA (ca. 12 %) [USGS 2016]. Bei den produzierenden Unternehmen entfallen auf die drei wichtigsten gut 65 % [DERA 2014]. Damit zeigt sich eine relativ hohe regionale und unternehmerische Konzentration bei der Rohphosphatversorgung.

Tabelle 8: Verfügbarkeit Phosphor

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite		Top 3 [%]	
			[Jahre]		Land	Unternehmen
			Reserven	Ressourcen		
223	69.000	300.000	309	1.345	70,7	65,3

### 3.9 Platingruppenmetalle (PGM)

2015 lag die weltweite Produktion bei 178 Tonnen Platin und 208 Tonnen Palladium. Die

Reserven bezifferten sich für beide Elemente auf gut 66.000 Tonnen, was einer statischen Reichweite von 171 Jahren entspricht [USGS 2016]. Die Ressourcen wurden mit 100.000 Tonnen bemessen.

Die Versorgung mit Platin und Palladium ist als besonders kritisch einzustufen, da die Förderung vornehmlich in Südafrika (ca. 51 %) und Russland (ca. 27 %) liegt [USGS 2016]. Der Anteil der drei größten Unternehmen weist einen Anteil von knapp 68 % auf [DERA 2014]. Damit zeigt sich eine hohe regionale und unternehmerische Konzentration bei der Platin- und Palladiumversorgung.

*Tabelle 9: Verfügbarkeit Platingruppenmetalle (PGM)*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
Platin: 178 Palladium: 208	66.000	100.000	171	259	86,5	68,1

### 3.10 Tantal

Für das Jahr 2015 betrug die Bergwerksproduktion von Tantal knapp 1.200 Tonnen, die Reserven lagen bei etwa 100.000 Tonnen. Daraus ergibt sich eine statische Reichweite von 83 Jahren [USGS 2016]. Die verfügbaren Ressourcen wurden vor allem in Australien, Brasilien und Kanada identifiziert, genauere Zahlenangaben aber nicht getroffen [USGS 2016].

Die Tantalförderung konzentriert sich zu ca. 79 % auf drei Länder: Ruanda weist mit 50 % den höchsten Anteil auf, gefolgt von der Demokratische Republik Kongo (ca. 17 %) und Brasilien (ca. 13 %) [USGS 2016]. Damit liegt eine hohe regionale Konzentration bei der Tantalversorgung vor.

*Tabelle 10: Verfügbarkeit Tantal*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
1.200	> 100.000	k. A.	83	k. A.	79,2	k. A.

### 3.11 Titan

Mit einer Bergwerksproduktion von 6,1 Mio. Tonnen und Reserven von 790 Mio. Tonnen [USGS 2016] beträgt die statische Reichweite 130 Jahre.

Trotz hoher wirtschaftlicher Bedeutung ist die Versorgungslage aufgrund ausreichender Streuung der produzierenden Länder (Top 3-Länder: ca. 38 % [DERA 2014]) derzeit als weniger kritisch einzustufen.

*Tabelle 11: Verfügbarkeit Titan*

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
6,09	790	2.000	130	328	37,9	56,3

### 3.12 Wolfram

Die jährliche Weltproduktion belief sich 2015 auf knapp 87.000 Tonnen, mit Reserven von 3,3 Mio. Tonnen [USGS 2016]. Hieraus resultiert eine statische Reichweite von 38 Jahren. Über die potenziellen Ressourcen werden keine Zahlenangaben gemacht. Es wird nur angemerkt, dass die Ressourcen weit verstreut verteilt sind [USGS 2016].

Die Konzentration der Vorkommen ist mit ca. 82 % der weltweiten Fördermenge sehr stark von China abhängig. Vietnam (5,7 %) und Russland (4,4 %) folgen mit deutlich geringeren prozentualen Fördermengen [USGS 2016]. Damit verfügen diese drei Länder über 91 % der weltweiten Wolframressourcen. Bei der unternehmerischen Konzentration beträgt der Anteil chinesischer Staatsfirmen mehr als 83 % [DERA 2014]. China besitzt damit fast eine marktbeherrschende Stellung.

*Tabelle 12: Verfügbarkeit Wolfram*

Bergwerksproduktion [Tonnen]	Reserven [Tonnen]	Ressourcen [Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
87.000	3.300.000	k. A.	38	k. A.	91,7	88,3

### 3.13 Zink

Derzeit beträgt die jährliche globale Produktion an Zink 13,4 Mio. Tonnen. Die Zinkreserven liegen bei 200 Mio. Tonnen weltweit [USGS 2016]. Damit errechnet sich eine statische Reichweite von 15 Jahren. Die Zinkressourcen betragen ca. 1.900 Mio. Tonnen [USGS 2016], was gemessen am heutigen Verbrauch eine statische Ressourcenreichweite von 142 Jahren ergibt.

36,6 % der Produktion stammen aus China. Weitere wichtige Länder sind Australien (11,8 %), Peru (10,2 %), USA (6,3 %) und Indien (6,2 %). Das bedeutet, dass die Zinkförderung sich zu ca. 59 % auf drei Länder und zu ca. 71 % auf fünf Länder konzentriert [USGS 2016]. Bei den produzierenden Unternehmen entfallen auf die drei wichtigsten gut 54,2 % [DERA 2014].

Tabelle 13: Verfügbarkeit Zink

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
13,4	200	1.900	15	142	58,6	54,2

### 3.14 Zirkon

Im Jahr 2015 lag die Produktion für Zirkonium bei etwa 1,41 Mio. Tonnen, die Reserven wurden mit 78 Mio. Tonnen angesetzt [USGS 2016]. Daraus ergibt sich für Zirkonium eine statische Reichweite von 55 Jahren. Die Ressourcen betragen 60 Mio. Tonnen [USGS 2014] und die resultierende statische Ressourcenreichweite 43 Jahren.

Blickt man auf die Förderländer, so liegt der Anteil von Australien bei ca. 36 %, der Südafrikas bei 27 % und der Chinas bei ca. 10 %. Damit werden knapp 72 % in drei Ländern produziert [USGS 2016]. Weitere wichtige Länder sind Indonesien mit ca. 8 % der Weltproduktion und USA mit ca. 4 %. Betrachtet man die fünf wichtigsten Förderländer, so ergibt sich in Summe ein Förderanteil von ca. 85 % der Weltproduktion. Bei den produzierenden Unternehmen entfallen auf die drei wichtigsten gut 66 % [DERA 2014]. Damit zeigt sich auch bei Zirkon eine hohe regionale und unternehmerische Konzentration bei der Verfügbarkeit.

Tabelle 14: Verfügbarkeit Zirkon

Bergwerksproduktion [Mio. Tonnen]	Reserven [Mio. Tonnen]	Ressourcen [Mio. Tonnen]	Statische Reichweite [Jahre]		Top 3 [%]	
			Reserven	Ressourcen	Land	Unternehmen
1,41	78	60*	55	43	72,4	66,3

\*:Daten von 2014

## **4 Aktualisierung der Recyclingfähigkeit und Substituierbarkeit**

### **4.1 Chrom**

Im Bereich der Metallurgie (rostfreie Edelmetalle) kann Chrom nicht substituiert werden [EC 2010b], [USGS 2016]. Im Gegensatz dazu werden aber anorganische Chromverbindungen aufgrund ihrer Gesundheitsgefährdung mehr und mehr ersetzt [EC 2010b]. Chromrecycling ist wirtschaftlich interessant und chromhaltiger Stahl- und Eisenschrott gefragt.

Das Chromrecycling liegt derzeit bei ca. 13 % [EC 2014b, 2014c]. Chrom ist in seiner Hauptanwendungen im Bereich der Metallurgie nicht zu substituieren, es kann aber zu wirtschaftlichen Bedingungen recycelt werden. Die Chromversorgung wird laut Bericht der Europäischen Kommission als kritisch eingestuft, was an der hohen Konzentration der drei größten Förderländer liegt [EC 2014b, 2014c].

### **4.2 Gallium**

In einigen Anwendungsbereichen der Integrierten Schaltungen ist eine effektive Substitution von Galliumarsenid nicht möglich [USGS 2016]. Flüssigkristalle können an Stelle von LEDs in Displays verwendet werden. In Laser-Dioden lassen sich, statt Galliumarsenid, Indiumphosphid oder Helium-Neon einsetzen. Silikonbasierte Leistungsverstärker in Mobiltelefonen können den Einsatz von Gallium substituieren. Bei den Solarzellen stellt Silikon die stärkste Konkurrenz zu Gallium dar [USGS 2016].

### **4.3 Gold**

Für elektrische und elektronische Produkte sowie Schmuckwaren werden häufig Nichtedelmetalle als Basismaterial verwendet und mit Gold legiert. Viele dieser Produkte werden kontinuierlich weiterentwickelt, um bei gleichbleibendem Nutzwert den Goldanteil zu verringern. Im Allgemeinen können Palladium, Platin und Silber Gold substituieren [USGS 2016].

Die Recyclingfähigkeit von Gold ist hoch (Recyclingrate 25 %) [EC 2014b, 2014d].



#### 4.4 Indium

Starke Preisvolatilität und Bedenken zur weiteren Verfügbarkeit von Indium veranlassen dazu, vermehrt nach Substituenten zu suchen. Der Einsatz in Displays stellt eine schwer substituierbare Anwendung dar. Es gibt Ansätze, Antimonzinnoxid als Substitut zu verwenden. Antimon ist jedoch wegen seiner Toxizität und Kanzerogenität umstritten [Fichter et al. 2009]. Auch Kohlenstoffnanoröhren werden als Alternative für ITO in Displays, Solarzellen und Touch-Screens in Betracht gezogen. Weitere Beispiele sind Poly (3,4-thylen Dioxythiophen) als ITO-Substituent in Displays und Leuchtdioden, Silber-Nanodrähte als Ersatz für ITO in Touchscreens sowie Graphen-Quantenpunkte als ITO-Ersatz in Solarzellen und LCDs. Galliumarsenid wird anstelle von Indiumphosphid in Solarzellen und Halbleiter-Anwendungen genutzt. Hafnium kann statt Indium in Legierungen von Kernreaktor-Steurelementen verwendet werden [USGS 2016].

Das Recycling von Indium erfolgt vor allem durch Wiederverwertung von Rückständen aus dem Sputtern (Kathodenzerstäubung). Aufgrund der schlechten Substituierbarkeit von Indium bei der Hauptanwendung (LCDs) und der erwarteten Nachfragesteigerung sind Verfügbarkeitsrisiken gegeben.

#### 4.5 Kobalt

In einigen Anwendungen führt der Ersatz von Kobalt zu einem Verlust in der Produktleistung [USGS 2016]. Mögliche Substitutionsmöglichkeiten für die Verwendung von Kobalt sind die Verwendung Barium- oder Strontiumferriten, Neodym-Eisen-Bor oder Nickel-Eisen-Legierungen in Magneten; Die Verwendung von Cer, Eisen, Blei, Mangan oder Vanadium in Lacken, Kobalt-Eisen-Kupfer oder Eisen-Kupfer in Diamant-Werkzeuge, Kupfer-Eisen-Mangan für die Härtung von ungesättigte Polyesterharze, Eisen, Eisen-Kobalt-Nickel, Nickel, Cermet oder Keramiken in Schneid- und verschleißfestes Materialien; Eisen-Phosphor, Mangan, Nickel-Kobalt-Aluminium oder Nickel-Kobalt-Mangan in Lithium-Ionen-Batterien; Nickel-Basis-Legierungen oder Keramiken in Düsentriebwerke; Nickel in Erdöl-Katalysatoren und Rhodium in Hydroformylierungskatalysatoren.

Die Recyclingrate bei Kobalt beträgt 16 % [EC 2014b, 2014c].

## 4.6 Kupfer

Die nahezu einzigartigen Fähigkeiten von Kupfer, hauptsächlich hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit, erschweren seine Substitution [EC 2014], [Angerer et al. 2009]. Kupfer ist leicht zu recyceln, allerdings differieren die angegebenen Recyclingraten zwischen 20 und 47 % [EC 2014]. Die deutsche Recyclingrate (42 %) belegt, dass sich noch erhebliche Potenziale erschließen lassen [Homberg-heumann et al. 2015].

Aufgrund der breiten Anwendung von Kupfer und den spezifischen Eigenschaften ist Kupfer nur schwer zu ersetzen.

Mögliche Substitutionsmöglichkeiten für Kupfer sind folgende: Aluminium in Stromkabeln, elektrischen Geräten, Autokühlern, Kühl- und Kälterohren; Titan und Stahl in Wärmetauschern; Glasfaser in Telekommunikations-Anwendungen; Kunststoff in Wasserleitungen, Abflussrohren und Sanitärinstallationen [USGS 2016].

Die Recyclingrate bei Kupfer beträgt 20 % [EC 2014].

## 4.7 Niobium

Niobium kann zwar in den verschiedenen Anwendungen substituiert werden, allerdings ist dies zum Teil mit hohen Kosten und/oder Leistungseinbußen verbunden [EC 2010a, 2010b], [Angerer et al. 2009]. Potenzielle Alternativen sind Molybdän und Vanadium als Legierungselemente in hochfesten niedriglegierten Stählen, Tantal und Titan als Legierungselemente in rostfreien und hochfesten Stahllegierungen und Keramiken, Molybdän, Tantal und Wolfram in Hochtemperaturanwendungen [USGS 2016].

Die Recyclingrate wird für Niobium mit 11 % angegeben [EC 2014b, 2014c].

## 4.8 Phosphor

Phosphor ist im Haupteinsatzbereich der landwirtschaftlichen Nutzung nicht substituierbar. In Zukunft könnten Phosphorablagerungen auf der Meeresboden genutzt werden, sofern eine wirtschaftliche Gewinnung sichergestellt werden kann [EC 2014c].

## 4.9 Platingruppenmetalle

Platin, Palladium und Rhodium sind von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung und in vielen Anwendungen nur schwer oder gar nicht zu ersetzen [Angerer et al. 2009]. Gemäß der Studie der europäischen Union ist eine Substitution zwar möglich, aber mit hohen Kosten und/oder Leistungseinbußen verbunden [EC 2010b]. Die Substituierbarkeit von Platin und Palladium ist somit nur sehr eingeschränkt vorhanden.

Die Recyclingrate liegt bei knapp 35 %. Vor allem das Recycling von industriellen Katalysatoren gilt als sehr effizient [EC 2014c]. Die Substituierbarkeit von Platin und Palladium ist nur sehr eingeschränkt vorhanden, allerdings ist Platin gut recycelbar.

## 4.10 Tantal

Prinzipiell kann Tantal substituiert werden, allerdings erreichen die Substitute nicht zwingend die Eigenschaften von Tantal [EC 2010b], [USGS 2016]. Als Ersatz wird zum Beispiel Niobium in Carbiden, Aluminium und Keramik in elektronischen Kondensatoren; Glas, Niob, Platin, Titan und Zirconium in korrosionsfesten Anwendungen und Hafnium, Iridium, Molybdän, Niob, Rhenium und Wolfram in Hochtemperaturanwendungen genannt.

Es gilt aber zu beachten, dass auch die Alternative Niobium als besonders kritisch bei der Versorgung eingestuft wurde.

Die Recyclingrate bei Tantal beträgt 6 % gemäß der EU [EC 2014b, 2014d]. Eine Recyclingfähigkeit ist aber grundsätzlich vorhanden.

## 4.11 Titan

Titandioxid kann in vielen Anwendungen substituiert werden [EC 2010b]. In hochfesten Anwendungen konkurriert Titan mit Aluminium, Verbundwerkstoffen, intermetallischen Verbindungen, Stählen und Superlegierungen. Aluminium, Nickel, und Zirkon-Legierungen können Titan ersetzen für Anwendungen, die Korrosionsresistenz erfordern. Gemahlenes Calciumcarbonat, gefälltes Calciumcarbonat, Kaolin, Talkum können Titan als Weißpigment ersetzen [USGS 2016].

In High-Tech-Produkten allerdings ist Titan wegen seiner herausragenden Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Leichtigkeit kaum zu ersetzen.

Die Recyclingrate bei Titan beträgt 6 % [EC 2014b, 2014d].

#### **4.12 Wolfram**

In einigen Anwendungen würde die Substitution von Wolfram zur erhöhten Kosten oder einem Verlust in der Produktleistung führen [USGS 2016]. Mögliche Substitutionsmöglichkeiten für die Verwendung von Wolfram ist die Verwendung von Molybdän für bestimmte Wolfram-Mühlenkomponenten, Molybdän-Stähle für Wolfram-Stähle, die Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren-Fasern, Induktionstechnik und LEDs für auf Wolframelektroden oder -filamenten basierte Leuchtmittel sowie den Einsatz von abgereichertem Uran oder Blei für Strahlenschutzanwendungen [USGS 2016].

Die Recyclingrate bei Wolfram beträgt 37 % [EC 2014b, 2014c]. Allerdings ist das Recycling von wirtschaftlichen Randbedingungen abhängig. Die Recyclingfähigkeit ist aber grundsätzlich gegeben.

#### **4.13 Zink**

Mögliche Substitutionsmöglichkeiten für die Verwendung von Zink ist die Verwendung von Aluminium und Kunststoffwerkstoffe als Ersatz von verzinkte Bleche in Automobilbereich; Aluminiumlegierung, Cadmium, Farbe und Kunststoffbeschichtungen als Ersatz für Zinkbeschichtungen in anderen Anwendungen; Aluminium- und Magnesiumlegierungen als Ersatz für zinkbasierte Druckgusslegierungen. Viele Elemente können Zink in chemischen-, elektronischen- und in Pigmentanwendungen ersetzen.[USGS 2016].

Die Recyclingrate liegt bei knapp 8 % [EC 2014b, 2014d].

#### **4.14 Zirkon**

Die Substitutionsmöglichkeiten für Zirkon sind gering. Die hohe Nachfrage nach Zirkon und die nicht vorhandene Substituierbarkeit in speziellen Anwendungen führen zu einer besonders kritischen Rohstoffversorgung. Zudem wirkt sich die starke regionale Konzentration der Zirkon-Vorkommen ggf. nachteilig aus. Die statische Reichweite beträgt für Zirconium ca. 55 Jahre, die abgeschätzten Ressourcen würden die Reichweite bei

konstanter Produktion nochmals etwa verdoppeln [USGS 2016], [USGS 2014], [BGR 2013].

Daten über die Zirkon-Recyclingrate sind nicht vorhanden.

## 5 Aktualisierung der Zahlen und Fakten

### 5.1 Verwendung der untersuchten Rohstoffe

Tabelle 15: Mögliche Verwendung der untersuchte Rohstoffe [DERA 2014], [Kroop et al. 2014]

Rohstoff	Verwendung
Chrom	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edelstähle</li> <li>- Legierungen</li> <li>- Hart- und Dekorverchromung</li> <li>- hochfeuerfeste Erzeugnisse</li> <li>- Chemikalien</li> <li>- Ledergerbung</li> <li>- Pigmente</li> <li>- Katalysator</li> </ul>
Gallium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Halbleiter für integrierte Schaltungen und optoelektronische Geräte</li> <li>- niedrigschmelzende Legierungen</li> <li>- Quecksilbersersatz für Thermometerfüllungen</li> </ul>
Gold	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schmuck</li> <li>- Elektrotechnik (Kontakte)</li> <li>- Zahntechnik</li> <li>- Münzen und Medaillen</li> <li>- Investment</li> <li>- Oberflächenvergoldung</li> <li>- Optische Anwendungen (Beschichtungen, Spiegel usw.)</li> </ul>
Indium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indium-Zinn-Oxid in Flüssigkristallanzeigen bzw. Flachbildschirmen</li> <li>- Niedrigtemperaturlegierungen</li> <li>- Weichlote</li> <li>- Halbleiter</li> <li>- Dünnschichtsolarzellen</li> </ul>
Kobalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Batterien</li> <li>- Superlegierungen</li> <li>- Hartmetalle</li> <li>- Katalysatoren</li> <li>- Magnete</li> <li>- Pigmente</li> <li>- Spezialchemikalien</li> <li>- hochwarmfeste Stähle, Oberflächenbeschichtung, Magnetbänder</li> </ul>
Kupfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kupfermetall und Legierungen für Rohre</li> <li>- Kabel, Drähte, Leitungen, Bleche usw. im Bauwesen</li> <li>- Elektrotechnik</li> <li>- Maschinenbau</li> <li>- Münzen</li> </ul>

Niobium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stahlveredler (Edelstähle)</li> <li>- Legierungen</li> <li>- Superlegierungen (Flugzeugturbinen)</li> <li>- Luftfahrt</li> <li>- Elektrolytkondensatoren</li> <li>- Katalysator</li> </ul>		
Phosphor	- Dünge-, Nahrungs-, Futtermittel		95 %
	- industrielle Anwendungen (u. a. Reinigungs-, Korrosionsschutz-, Flammschutzmittel)		5 %
PGM	Platin:		Palladium:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kfz-Abgaskatalysator</li> <li>- Schmuck</li> <li>- Investment</li> <li>- katalysatoren (Chemie)</li> <li>- Elektronik</li> <li>- Medizintechnik (ink. Dentaltechnik)</li> <li>- Petrochemie</li> <li>- Glas</li> <li>- übrige Anwendung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>36,0 %</li> <li>34,6 %</li> <li>10,0 %</li> <li>6,3 %</li> <li>2,5 %</li> <li>2,4 %</li> <li>2,1 %</li> <li>1,5 %</li> <li>4,8 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kfz-Abgaskatalysator</li> <li>- Elektrotechnik</li> <li>- Katalisatoren (Chemie)</li> <li>- Medizintechnik (ink. Dentaltechnik)</li> <li>- Schmuck</li> <li>- übrige Anwendung)</li> </ul>
Tantal	- Mikrocondensatoren		42 %
	- Ta-metallbasierte Walzprodukte		20 %
	- Legierungszusätze, Superlegierungen, etc.		16 %
	- Oxide und Chemikalien		14 %
	- Carbide in Hartmetallen		8 %
Titan	Titandioxid (95 %):	Titan (Metall):	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Farbe</li> <li>- Lacken</li> <li>- Kunststoffe</li> <li>- Papier</li> <li>- Glas</li> <li>- Keramik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stahl, Legierungen, Superlegierungen in Luft- und Raumfahrt</li> <li>- medizinische Implantate</li> <li>- chemischer Apparatebau</li> <li>- Petrochemie</li> <li>- Automobilindustrie</li> <li>- Desoxidation von Stahl</li> <li>- Ummantelung von Schweißstäben</li> </ul>	
Wolfram	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hartmetall (Wolframkarbid)</li> <li>- Wolframmetall</li> <li>- Stähle</li> <li>- Legierungen und Superlegierungen für Werkzeugstähle</li> <li>- hitzebeständige Stähle</li> <li>- Walzmaschinen</li> <li>- Schneidwerkzeuge</li> <li>- Bohrkronen</li> <li>- Inserts</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gussformen</li> <li>- Turbinen</li> <li>- Glühdrähte</li> <li>- elektrische Kontakte</li> <li>- Elektroden</li> <li>- Kathoden</li> <li>- Dünnschichttransistoren usw.</li> <li>- Chemikalien</li> <li>- Schmiermittel</li> </ul>
Zink	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verzinkung von Stahl (Korrosionsschutz)</li> <li>- Zinkdruckgusslegierungen</li> <li>- Messing</li> <li>- Arzneimittel und Kosmetik</li> <li>- Farben und Lacke</li> <li>- Gummi</li> <li>- Keramik</li> <li>- Tiernahrung</li> <li>- Düngemittel</li> <li>- Pigmente</li> </ul>
Zirkon	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keramik (Wand- und Bodenfliesen, Sanitär- und technische Keramik, Gläser, Emaille)</li> <li>- Chemikalien</li> <li>- Formgrundstoff im Gießereibereich</li> <li>- Feuerfesterzeugnisse</li> <li>- Bildröhren</li> <li>- Schleifmittel</li> <li>- Gläser</li> <li>- Explosivstoffe</li> <li>- Kernreaktorbau</li> </ul>



## 5.2 Angebot und Nachfrage der untersuchten Rohstoffe

Tabelle 16: Verfügbarkeit der untersuchten Rohstoffen für das Jahr 2015 [USGS 2016] [USGS 2014] [DERA 2014] [Schmidt 2015]

Rohstoff	Bergwerksproduktion	Reserven	Ressourcen	Statische Reichweite [Jahre]	
				Reserven	Ressourcen
Chrom	27 Mio. t	480 Mio. t	12.000 Mio. t	18	444
Gallium	435 t	1,4 Mio. t <sup>1)</sup>	3,25 Mio. t <sup>1)</sup>	3.218	7.471
Gold	3.000 t	56.000 t	k. A.	19	k. A.
Indium	755 t	10.000 t <sup>1)</sup>	95.000 t <sup>1)</sup>	13	126
Kobalt	124.000 t	7,1 Mio. t	25 Mio. t <sup>2)</sup>	57	202
Kupfer	18,7 Mio. t	720 Mio. t	2.100 Mio. t	39	112
Niobium	56.000 t	4,3 Mio. t	k. A.	77	k. A.
Phosphor	223 Mio. t	69.000 Mio. t	300.000 Mio. t	309	1.345
PGM	Platin: 178 t	66.000 t	100.000 t	171	259
	Palladium: 208 t				
Tantal	1.200 t	> 100.000 t	k. A.	83	k. A.
Titan	6,09 Mio. t	790 Mio. t	2.000 Mio. t	130	328
Wolfram	87.000 t	3,3 Mio. t	k. A.	38	k. A.
Zink	13,4 Mio. t	200 Mio. t	1.900 Mio. t	15	142
Zirkon	1,41 Mio. t	78 Mio. t	60 Mio. t <sup>3)</sup>	55	43

<sup>1)</sup>Eigene Berechnungen

<sup>2)</sup> zzgl. 120 Mio. Tonnen Ressourcen auf dem Meeresgrund

<sup>3)</sup> Daten von 2014

## Prüfung und Aktualisierung von Rohstoffparametern eines Internetauftrittes

Tabelle 17: Zeitliche Vergleiche zur Verfügbarkeit hinsichtlich Bergwerksproduktion, Reserven und Ressourcen

Rohstoff	Bergwerksproduktion		Reserven		Ressourcen	
	2009	2015	2009	2015	2009	2015
Chrom	23 Mio. t	27 Mio. t	>350 Mio. t	480 Mio. t	12.000 Mio. t	12.000 Mio. t
Gallium	78 t	435 t	k. A.	1,4 Mio. t <sup>1)</sup>	> 1 Mio. t	3,25 Mio. t <sup>1)</sup>
Gold	2.350 t	3.000 t	47.000 t	56.000 t	k. A.	k. A.
Indium	600 t	755 t	k. A.	10.000 t <sup>1)</sup>	k. A.	95.000 t <sup>1)</sup>
Kobalt	61.800 t	124.000 t	6,604 Mio. t	7,1 Mio. t	15 Mio. t *	25 Mio. t <sup>2)</sup>
Kupfer	15,8 Mio. t	18,7 Mio. t	540 Mio. t	720 Mio. t	3.000 Mio. t	2.100 Mio. t
Niobium	62.000 t	56.000 t	2,9 Mio. t	4,3 Mio. t	460 Mio. t	k. A.
Phosphor	k. A.	223 Mio. t	k. A.	69.000 Mio. t	k. A.	300.000 Mio. t
PGM	Platin: 178t	Platin: 178 t	71.000 t	66.000 t	100.000 t	100.000 t
	Palladium: 195 t	Palladium: 208 t				
Tantal	1.160 t	1.200 t	110.000 t	> 100.000 t	k. A.	k. A.
Titan	5,72 Mio. t	6,09 Mio. t	730 Mio. t	790 Mio. t	2.000 Mio. t	2.000 Mio. t
Wolfram	58.000 t	87.000 t	2.800 Mio. t	3,300 Mio. t	k. A.	k. A.
Zink	k. A.	13,4 Mio. t	k. A.	200 Mio. t	k. A.	1.900 Mio. t
Zirkon	1,23 Mio. t	1,41 Mio. t	56 Mio. t	78 Mio. t	60 Mio. t	60 Mio. t <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Eigene Berechnungen

<sup>2)</sup> zzgl. 120 Mio. Tonnen Ressourcen auf dem Meeresgrund

<sup>3)</sup> Daten von 2014

Tabelle 18: Zeitlicher Vergleich zur Verfügbarkeit hinsichtlich der statischen Reichweiten für die Reserven und Ressourcen

Rohstoff	Statische Reichweite [Jahre]			
	Reserven		Ressourcen	
	2009	2015	2009	2015
Chrom	15	18	520	444
Gallium	k. A.	3.218	k. A.	7.471
Gold	20	19	k. A.	k. A.
Indium	21	13	k. A.	126
Kobalt	107	57	k. A.	202
Kupfer	35	39	188	112
Niobium	47	77	k. A.	k. A.
Phosphor	k. A.	309	k.A.	1.345
PGM	190	171	k. A.	259
Tantal	95	83	k. A.	k. A.
Titan	128	130	k. A.	328
Wolfram	48	38	k. A.	k. A.
Zink	k. A.	15	k. A.	142
Zirkon	46	55	k. A.	43

### 5.3 Verfügbarkeitsrisiken der untersuchten Rohstoffe

Tabelle 19: Verfügbarkeitsrisiko hinsichtlich der produzierenden Länder für das Jahr 2015  
[USGS 2016]

Rohstoff	Top 3	
	Länder	[%]
Chrom	Südafrika (55,5%) Kasachstan (14,1 %) Indien (13,0%)	82,6
Gallium	China Deutschland Japan	k. A.
Gold	China (16,3%) Australien (10 %) Russland (8,1%)	34,4
Indium	China (49,0%) Südkorea (19,9%) Japan (9,5%)	78,4
Kobalt	DR Kongo (50,8%) China (5,8%) Russland (5,1%)	61,7
Kupfer	Chile (30,5%) China (9,4%) Peru (8,6%)	48,5
Niobium	Brasilien (89,3%) Kanada (8,9%) Andere (1,8 %)	> 98
Phosphor	China (44,8 %) Marokko (13,5 %) USA (12,4 %)	70,7
PGM	Südafrika (51,3 %) Russland (26,7%) Kanada (8,5%)	86,5
Tantal	Ruanda (50%) DR Kongo (16,7%) Brasilien (12,5%)	79,2
Titan	China (14,8%) Australien (14,2%) Vietnam (8,9%)	37,9
Wolfram	China (81,6%) Vietnam (5,7 %) Russland (4,4%)	91,7
Zink	China (36,6 %) Australien (11,8 %) Peru (10,2 %)	58,6
Zirkon	Australien (35,5 %) Südafrika (27 %) China 9,9	72,4

Tabelle 20: Verfügbarkeitsrisiko hinsichtlich der produzierenden Unternehmen für das Jahr 2012 [DERA 2014], [Schmidt 2015]

Rohstoff	Top 3	[%]
	Unternehmen	
Chrom	Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (16,7%) Kermas Group (Großbritannien) (11,6%) Glencore Xstrata International plc (Schweiz) (8,2%)	36,5
Gallium	k.A.	k. A.
Gold	China (Staatsunternehmen) (15,5%) Barrick Gold (Kanada) (8,8 %) Newmont Mining Corp. (USA) (6,0 %)	30,3
Indium	k. A.	k. A.
Kobalt	Glencore International Plc. (Schweiz) (12,7 %) Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (9,1 %) China (Staatsfirmen) (8,4 %)	30,2
Kupfer	Codelco (Chile) (10,9 %) China (Staatsfirmen) (10,1 %) Freeport-McMoran Copper & Gold Inc. (USA) (8,4 %)	29,4
Niobium	Moreira Salles Group (Brasilien) (79,7 %) Iamgold Corp. (Kanada) (6,8 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (6,4 %)	92,9
Phosphor	China (Staatsfirmen) (43,9 %) Office Chérifien des Phosphates (OCP) (Marokko) (13,8 %) The Mosaic Company (USA) (7,6 %)	65,3
PGM	Platin: Anglo American Plc. (Großbritannien) (31,4%) Impala Platinum Holdings Ltd. (18,7%) Lonmin Plc. (Großbritannien) (11,9%) Palladium: Noriisk Nickel Mining & Metallurgical Co. (Russische Föderation) (41,4 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (16,6 %) Impala Platinum Holdings Ltd. (Südafrika) (10,1 %)	68,1
Tantal	k. A.	k. A.
Titan	Rio Tinto Group (Großbritannien) (23,1 %) China (Staatsfirmen) (18,3 %) Iluka Resources (Australien) (14,9 %)	56,3
Wolfram	China (Staatsfirmen) (83,2 %) North American Tungsten Corp. Ltd (Kanada) (2,6 %) Primorski GOK (Russische Föderation) (2,5 %)	88,3
Zink	China (Staatsfirmen) (38,4 %) Vedanta Resources Plc. (Großbritannien) (8,1 %) Glencore Xstrata International plc (Schweiz) (7,7 %)	54,2
Zirkon	Iluka Resources Ltd. (Australien) (36,1 %) Rio Tinto Group (Großbritannien) (16,6 %) Tronox Inc. (USA) (13,6 %)	66,3

Tabelle 21: Zusammenfassung der Länder- und Unternehmensrisiken für das Jahr 2015

Rohstoff	Top 3		Top 3	
	Länder	[%]	Unternehmen*	[%]
Chrom	Südafrika (55,5%) Kasachstan (14,1 %) Indien (13,0%)	82,6	Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (16,7%) Kermas Group (Großbritannien) (11,6%) Glencore Xstrata International plc. (Schweiz) (8,2%)	36,5
Gallium	China Deutschland Japan	k. A.	k.A.	k. A.
Gold	China (16,3%) Australien (10 %) Russland (8,1%)	34,4	China (Staatsunternehmen) (15,5%) Barrick Gold (Kanada) (8,8 %) Newmont Mining Corp. (USA) (6,0 %)	30,3
Indium	China (49,0%) Südkorea (19,9%) Japan (9,5%)	78,4	k. A.	k. A.
Kobalt	DR Kongo (50,8%) China (5,8%) Russland (5,1%)	61,7	Glencore International Plc. (Schweiz) (12,7 %) Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (9,1 %) China (Staatsfirmen) (8,4 %)	30,2
Kupfer	Chile (30,5%) China (9,4%) Peru (8,6%)	48,5	Codelco (Chile) (10,9 %) China (Staatsfirmen) (10,1 %) Freeport-McMoran Copper & Gold Inc. (USA) (8,4 %)	29,4
Niobium	Brasilien (89,3%) Kanada (8,9%) Andere (1,8 %)	> 98	Moreira Salles Group (Brasilien) (79,7 %) Iamgold Corp. (Kanada) (6,8 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (6,4 %)	92,9
Phosphor	China (44,8 %) Marokko (13,5 %) USA (12,4 %)	70,7	China (Staatsfirmen) (43,9 %) Office Chérifien des Phosphates (OCP) (Marokko) (13,8 %) The Mosaic Company (USA) (7,6 %)	65,3
PGM	Südafrika (51,3 %) Russland (26,7%) Kanada (8,5%)	86,5	Platin: Anglo American Plc. (Großbritannien) (31,4%) Impala Platinum Holdings Ltd. (18,7%) Lonmin Plc. (Großbritannien) (11,9%) Palladium: Noriisk Nickel Mining & Metallurgical Co. (Russische Föderation) (41,4 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (16,6 %) Impala Platinum Holdings Ltd. (Südafrika) (10,1 %)	68,1
Tantal	Ruanda (50%) DR Kongo (16,7%) Brasilien (12,5%)	79,2	k. A.	k. A.
Titan	China (14,8%) Australien (14,2%) Vietnam (8,9%)	37,9	Rio Tinto Group (Großbritannien) (23,1 %) China (Staatsfirmen) (18,3 %) Iluka Resources (Australien) (14,9 %)	56,3
Wolfram	China (81,6%) Vietnam (5,7 %) Russland (4,4%)	91,7	China (Staatsfirmen) (83,2 %) North American Tungsten Corp. Ltd (Kanada) (2,6 %) Primorski GOK (Russische Föderation) (2,5 %)	88,3
Zink	China (36,6 %) Australien (11,8 %) Peru (10,2 %)	58,6	China (Staatsfirmen) (38,4 %) Vedanta Resources Plc. (Großbritannien) (8,1 %) Glencore Xstrata International plc. (Schweiz) (7,7 %)	54,2
Zirkon	Australien (35,5 %) Südafrika (27 %) China 9,9	72,4	Iluka Resources Ltd. (Australien) (36,1 %) Rio Tinto Group (Großbritannien) (16,6 %) Tronox Inc. (USA) (13,6 %)	66,3

\*:Daten von 2012

Tabelle 22: Zeitlicher Vergleich des Verfügbarkeitsrisikos der produzierenden Länder [USGS 2010] [USGS 2016]

Rohstoff	Top 3			
	2009		2015	
	Länder	[%]	Länder	[%]
Chrom	Südafrika (41,7 %) Indien (16,9 %) Kasachstan (15,6 %)	74,2	Südafrika (55,5%) Kasachstan (14,1 %) Indien (13,0%)	82,6
Gallium	China Deutschland Kasachstan	k. A.	China Deutschland Japan	k. A.
Gold	China (13 %) Australien (9 %) USA (9 %)	31	China (16,3%) Australien (10 %) Russland (8,1%)	34,4
Indium	China (50,3 %) Südkorea (14,2 %) Japan (10,1 %)	74,5	China (49,0%) Südkorea (19,9%) Japan (9,5%)	78,4
Kobalt	DR Kongo (40,5 %) Australien (10,2 %) China (10,0 %)	60,7	DR Kongo (50,8%) China (5,8%) Russland (5,1%)	61,7
Kupfer	Chile (34 %) Peru (8 %) USA (7,5 %)	49,5	Chile (30,5%) China (9,4%) Peru (8,6%)	48,5
Niobium	Brasilien (92 %) Kanada (7 %) Andere (1 %)	99	Brasilien (89,3%) Kanada (8,9%) Andere (1,8 %)	> 98
Phosphor	k. A.	k.A.	China (44,8 %) Marokko (13,5 %) USA (12,4 %)	70,7
PGM	Südafrika (58,7 %) Russland (26,8 %) USA (4,3 %)	89,8	Südafrika (51,3 %) Russland (26,7%) Kanada (8,5%)	86,5
Tantal	Australien (48 %) Brasilien (16 %) DR Kongo (8,5 %)	72,5	Ruanda (50%) DR Kongo (16,7%) Brasilien (12,5%)	79,2
Titan	Australien (26 %) Südafrika (19 %) Kanada (10 %)	56	China (14,8%) Australien (14,2%) Vietnam (8,9%)	37,9
Wolfram	China (81 %) Russland (4 %) Kanada (3,5 %)	88,5	China (81,6%) Vietnam (5,7 %) Russland (4,4%)	91,7
Zink	k. A.	k. A.	China (36,6 %) Australien (11,8 %) Peru (10,2 %)	58,6
Zirkon	Australien (41,5 %) Südafrika (32 %) China (11,5 %)	85	Australien (35,5 %) Südafrika (27 %) China (9,9 %)	72,4

Tabelle 23: Zeitlicher Vergleich des Verfügbarkeitsrisikos der produzierende Unternehmen  
[DERA 2014]

Rohstoff	2009		2012	
	Unternehmen	[%]	Unternehmen	[%]
Chrom	English-Kazakh ENRC English-Russian Kermas Group	45	Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (16,7%) Kermas Group (Großbritannien) (11,6%) Glencore Xstrata International plc. (Schweiz) (8,2%)	36,5
Gallium	k. A.	k. A.	k.A.	k. A.
Gold	Newmont Mining (8,5 %) Anglogold Ashanti (7,9 %) Barrick Gold (6,9 %)	23,3	China (Staatsunternehmen) (15,5%) Barrick Gold (Kanada) (8,8 %) Newmont Mining Corp. (USA) (6,0 %)	30,3
Indium	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Kobalt	Inco (8,0 %) Glencore (4,0 %) Noranda (1,8 %)	13,8	Glencore International Plc. (Schweiz) (12,7 %) Eurasian Natural Resources Corp. Plc. (Großbritannien) (9,1 %) China (Staatsfirmen) (8,4 %)	30,2
Kupfer	Codelco (Chile) 12,5 % BHP Biliton (AUS) 8,6 % Phelps Dodge (USA) 6,8 %	27,9	Codelco (Chile) (10,9 %) China (Staatsfirmen) (10,1 %) Freeport-McMoran Copper & Gold Inc. (USA) (8,4%)	29,4
Niobium	Moreira Salles Group 85 % Anglo American plc. 8 % Iamgold corp. 7 %	93	Moreira Salles Group (Brasilien) (79,7 %) Iamgold Corp. (Kanada) (6,8 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (6,4 %)	92,9
Phosphor	k.A.	k. A.	China (Staatsfirmen) (43,9 %) Office Chérifien des Phosphates (Marokko) (13,8 %) The Mosaic Company (USA) (7,6 %)	65,3
PGM	k. A.	73,1	Platin: Anglo American Plc. (Großbritannien) (31,4%) Impala Platinum Holdings Ltd. (18,7%) Lonmin Plc. (Großbritannien) (11,9%) Palladium: Noriisk Nickel Mining & Metallurgical Co. (Russische Föderation) (41,4 %) Anglo American Plc. (Großbritannien) (16,6 %) Impala Platinum Holdings Ltd. (Südafrika) (10,1 %)	68,1
Tantal	Sons of Gwalia (Australien) 64,3 % Cabot Corp. (USA) 4,1 %	k. A.	k. A.	k. A.
Titan	Rio Tinto (23,8 %) Iluka Resources (20,4 %) Anglo American (12,1 %)	56,3	Rio Tinto Group (Großbritannien) (23,1 %) China (Staatsfirmen) (18,3 %) Iluka Resources (Australien) (14,9 %)	56,3
Wolfram	Chinesische Firmen > 75 % NA Tungsten (Kanada) 5,50% Wolfram Bergbau (AUT) 2,10%	82,6	China (Staatsfirmen) (83,2 %) North American Tungsten Corp. Ltd (Kanada) (2,6%) Primorski GOK (Russische Föderation) (2,5 %)	88,3
Zink	k. A.	k. A.	China (Staatsfirmen) (38,4 %) Vedanta Resources Plc. (Großbritannien) (8,1 %) Glencore Xstrata International plc. (Schweiz) (7,7 %)	54,2
Zirkon	k. A.	61,8	Iluka Resources Ltd. (Australien) (36,1 %) Rio Tinto Group (Großbritannien) (16,6 %) Tronox Inc. (USA) (13,6 %)	66,3



## **6 Aktualisierung der Handelsbeschränkungen**

### **6.1 Chrom**

Mehrere Länder haben Chrom-Handelsbeschränkungen. Nach Angaben der OECD-Bestandaufnahme über Rohstoffausfuhrbeschränkungen, werden Ausfuhrsteuern auf Chromabfälle und –Schrott von Russland (6,5 %) und Pakistan (25 %) verwendet. In Indien gibt es Lizenzverträge für Chromerzen und –konzentraten. In Südafrika sind diese Vereinbarungen auf weitere Chromprodukte erweitert [EC 2014c].

### **6.2 Gallium**

Nach Angaben der OECD-Bestandaufnahme über Rohstoffausfuhrbeschränkungen sind Exportbeschränkungen für Gallium in mehrere Länder zu sehen. China nutzt eine Mischung aus Exportsteuern (5 %) und Exportquoten, Lizenzierung für den Export ist ebenfalls erforderlich. In Russland gilt eine 6,5 % Exportsteuer [EC 2014c].

### **6.3 Gold**

Nach Angaben der OECD-Bestandaufnahme über Rohstoffausfuhrbeschränkungen haben Benin, Fidschi, Indonesien, Mali, Senegal, Sierra Leone und Südafrika Lizenzvereinbarungen über Goldhandel. In Benin und Fidschi gilt eine 3 % Exportsteuer. In anderen Ländern sind keine weitere Exportbeschränkungen bekannt [EC 2014d].

### **6.4 Indium**

Die Versorgung von Indium in China ist stark reguliert und eingeschränkt. Die Bergbauunternehmen müssen sich lizenzieren und Exportquoten werden zugeteilt. Im Jahr 2006 wurden in China eine Exportsteuer auf Indium eingeführt, die im Jahr 2009 von 15 % auf 5 % reduziert wurde. In Russland gilt auch eine Exportsteuer in Höhe von 6,5 % [EC 2014c].

## **6.5 Kobalt**

Kobalt wird als das „Konflikt Mineral“ aufgrund seines umfangreichen Abbaus in der Demokratischen Republik Kongo hervorgehoben [EC 2014c].

## **6.6 Kupfer**

Nach Angaben der OECD-Bestandaufnahme nutzt China eine Mehrwertsteuerreduktion auf Kupferdraht. Indonesien hat auf Kupferabfälle und –schrott eine Lizenzvereinbarung. Russland nutzt verschiedene Exportsteuern zwischen 10 % und 50 %. In Sambia gilt auch eine Exportsteuer in Höhe von 15 % für verschiedene Kupfermaterialien. Es gibt auch weitere Länder in denen es Handelsbeschränkungen für Kupfer gibt [EC 2014d].

## **6.7 Niobium**

Nach OECD-Angaben gilt in der Dominikanischen Republik und Vietnam eine Exportsteuer von 5 % und 20 % auf Nioberze und –konzentrate. Lizenzverträge werden von Grenada, Ruanda und den Philippinen eingesetzt. Für Brasilien und Kanada sind keine Handelsbeschränkungen zu beobachten [EC 2014c].

## **6.8 Phosphor**

Es sind keine Handelsbeschränkungen bekannt.

## **6.9 Platingruppenmetalle**

PGM werden als „gefährdete“ oder „kritische“ Materialien von mehreren Länder aufgrund ihrer Länderkonzentration betrachtet. Gegenwärtig werden jedoch PGM weltweit gehandelt und keine Handelsbeschränkungen wurden identifiziert.

In Russland gilt derzeit eine 6,5 % Exportsteuer auf alle PGM-Exporte. Streiks der südafrikanischen Bergleute im Jahr 2012 hatten die PGM-Produktion beeinflusst. Dies könnte auch in Zukunft nochmals vorkommen [EC 2014c].

## **6.10 Tantal**

Es gibt Handelsbeschränkungen in mehreren Ländern. Nach Angaben der OECD ist Ruanda das einzige Produktionsland wo die Tantalproduktion kontrolliert wird. Ruanda hat eine Lizenzvereinbarung für Tantalminerale und –konzentrate und ein Exportverbot für Tantalabfälle und –schrotte. China hat einen Mehrwertsteuernachlass für Tantal und Tantalprodukte eingeführt. In Russland gilt eine Exportsteuer in Höhe von 6,5 % auf Tantalabfälle und –schrotte [EC 2014d].

## **6.11 Titan**

Mehrere Länder haben Handelsbeschränkungen für Titan. In der Ukraine und in Vietnam gelten Exportsteuern auf Titanabfall, -schrott, -erze, -konzentrate und –produkte zwischen 5 % und 45 %. Es gibt eine breite Palette von Ländern wo Handelsbeschränkungen für Titan eingeführt wurden [EC 2014c].

## **6.12 Wolfram**

China hat Handelsbeschränkungen für Wolfram aufgelegt. Die Exportquote hat sich im Laufe der letzten Jahre reduziert [EC 2014c].

## **6.13 Zink**

Es gibt Handelsbeschränkungen für Zink in mehreren Ländern. China nutzt einen Mehrwertsteuernachlass auf verschiedene Zinkprodukte. In Russland gilt eine Exportsteuer von 30 % auf Zinkabfälle und –schrotte [EC 2014d].

## **6.14 Zirkon**

Keine Angaben zu Handelsbeschränkungen.

## 7 Aktualisierung der EU-Einstufungen

### 7.1 Kritische Rohstoffe für die EU

Die europäische Kommission führte eine Kritikalität-Bewertung auf EU-Ebene für eine breite Palette von Rohstoffen durch. Die Ergebnisse dieser Bewertung wurden im Jahr 2010 veröffentlicht [EC 2010a, 2010b]. Dabei wurden 41 Rohstoffgruppen nach den Kriterien wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko beurteilt. Anschließend wurden diese Rohstoffgruppen als kritisch bzw. nicht kritisch eingestuft. Abbildung 1 zeigt in grafischer Form die Ergebnisse der Kritikalität-Bewertung.

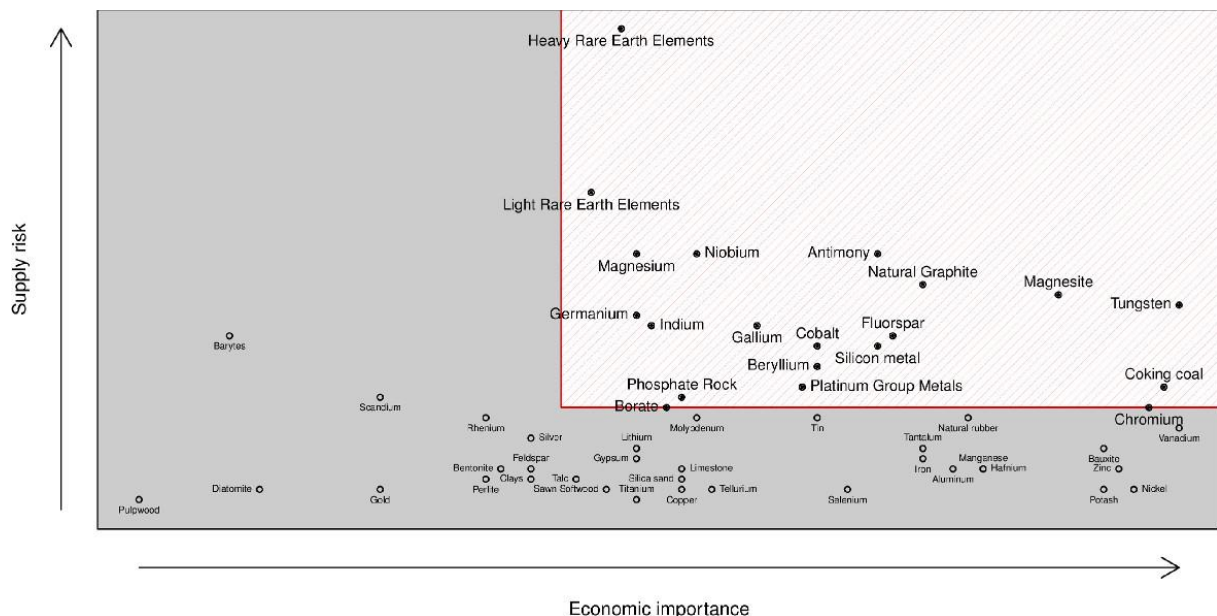


Abbildung 1: Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung von 54 Rohstoffgruppen für die EU 2014 [EC 2014a, 2014b]

Darüber hinaus wurden Informationen zu Substituierbarkeit und Recyclingraten der untersuchten Rohstoffe ermittelt. Im Jahr 2014 wurde eine Aktualisierung dieses Berichtes veröffentlicht [EC 2014a, 2014b]. In dem neuen Bericht wurden 54 Rohstoffgruppen bewertet. Die Daten des Berichtes von 2010 wurden für die in diese Studie untersuchten Rohstoffe mit Daten des neuen Berichtes von 2014 aktualisiert.

#### 7.1.1 Kritikalitätsbetrachtung: Wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko

Die Kritikalitätsbetrachtung wird anhand der Indikatoren „Wirtschaftliche Bedeutung“ und

„Versorgungsrisiko“ bestimmt.

Der Indikator „Wirtschaftliche Bedeutung“ eines Rohstoffes wird anhand seiner Wertschöpfung in verschiedenen Wirtschaftssektoren bemessen. Eine Gewichtung erfolgt entsprechend dem Anteil der Verwendung eines bestimmten Rohstoffes im jeweiligen Wirtschaftssektor. In Abbildung 2 ist die Berechnung des Indikators „Wirtschaftliche Bedeutung“ beispielhaft dargestellt.

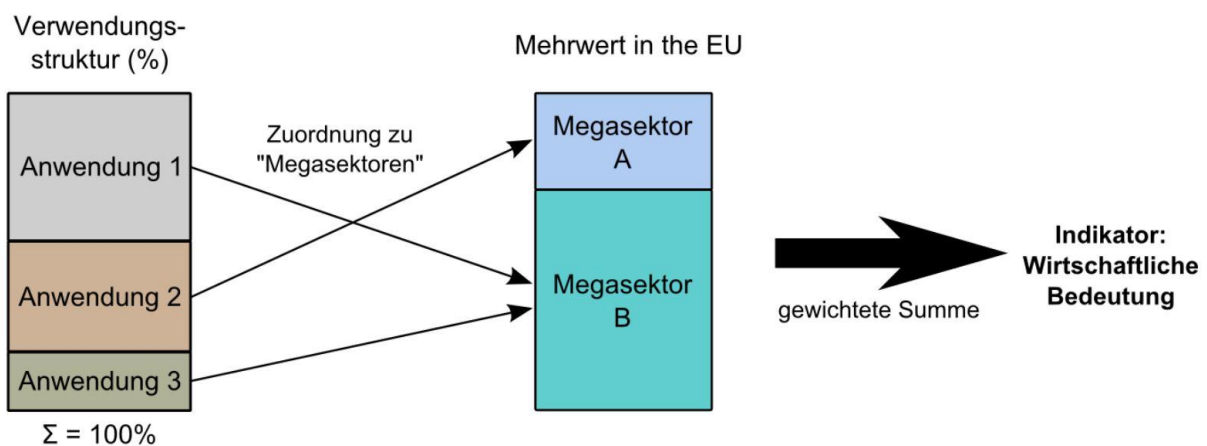


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Berechnung der wirtschaftliche Bedeutung [Chapman A. et al. 2013]

Der Indikator „Versorgungsrisiko“ beinhaltet eine aggregierte Bewertung der Kriterien:

- regionale Konzentration von Rohstoffvorkommen,
- politische und wirtschaftliche Stabilität der wichtigsten Förderländer,
- Substituierbarkeit
- und Recyclingrate des betrachteten Rohstoffes.

Abbildung 3 gibt beispielhaft die Ermittlung des Indikators „Versorgungsrisiko“ wieder.

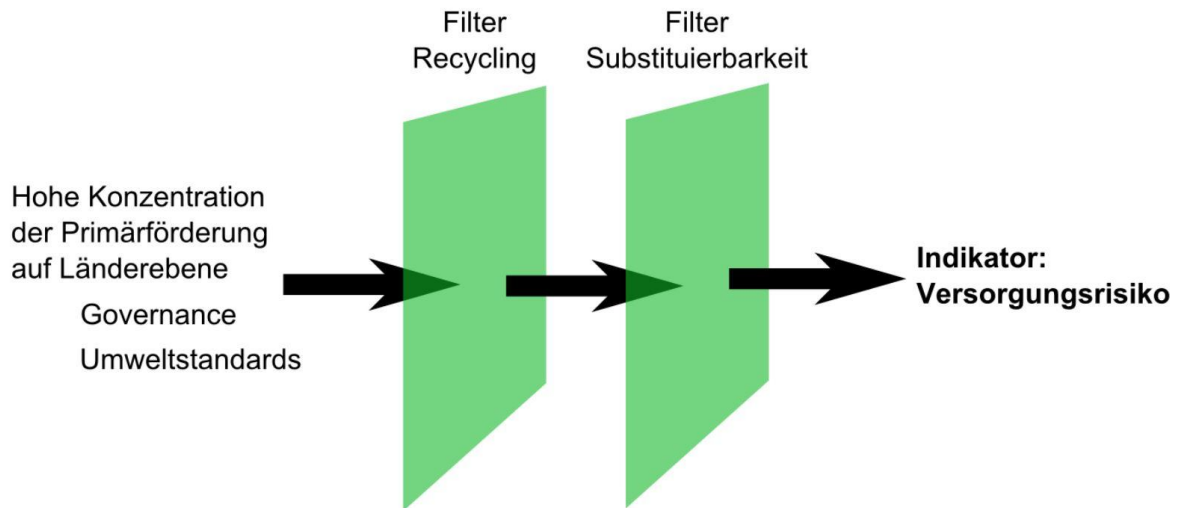


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der Berechnung des Versorgungsrisikos [Chapman A. et al. 2013]

Für die Indikatoren „Wirtschaftliche Bedeutung“ und „Versorgungsrisiko“ wurde eine normierte Kennzahl mit Werten zwischen 0 und 10 gebildet. Bei Überschreiten von Schwellenwerten (Wirtschaftliche Bedeutung = Schwellenwert 5, Versorgungsrisiko = 1) wird ein Rohstoff als kritisch eingeschätzt.

Gemäß den Werten der Indikatoren und deren Einstufungen wurde eine Bewertung in Tabelle 25 vorgenommen. Für die Darstellung wurden, abgesehen von den Indexwerten und Einstufungen, eine Farbskala (Tabelle 24) verwendet wurde.

Tabelle 24: Verwendete Farbskala für die Kritikalitätsbetrachtung

Unterschrittener Schwellenwert / nicht kritisch	
Überschrittener Schwellenwert / kritisch	

Tabelle 25: *Wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko für das Jahr 2013 [EC 2014b]*

Rohstoff	Wirtschaftliche Bedeutung	Versorgungsrisiko	Einstufung
Chrom	8,94	1,01	kritisch
Gallium	6,3	1,82	kritisch
Gold	3,78	0,15	nicht kritisch
Indium	5,59	1,80	kritisch
Kobalt	6,69	1,63	kritisch
Kupfer	5,76	0,22	nicht kritisch
Niobium	5,87	2,46	kritisch
Phosphor	5,81	1,09	kritisch
PGM	6,58	1,18	kritisch
Tantal	7,4	0,62	nicht kritisch
Titan	5,54	0,13	nicht kritisch
Wolfram	9,05	1,99	kritisch
Zink	8,66	0,45	nicht kritisch
Zirkon	k. A	k. A	nicht eingestuft

### 7.1.2 Recyclingrate

Tabelle 26: *Recyclingrate für das Jahr 2013 [EC 2014b]*

Rohstoff	Recyclingrate [%]
Chrom	13
Gallium	0
Gold	25
Indium	0
Kobalt	16
Kupfer	20
Niobium	11
Phosphor	0
PGM	35
Tantal	4
Titan	6
Wolfram	37
Zink	8
Zirkon	k. A

### 7.1.3 Substituierbarkeit und Substitutionsmöglichkeiten

Ein Versorgungsrisiko für einen Rohstoff besteht nur dann, wenn dieser Rohstoff nicht substituierbar bzw. schwierig und/oder teuer zu substituieren ist [EC 2010a]. Der Substitutionskoeffizient ist eine pragmatische Einschätzung der Substituierbarkeit eines bestimmten Rohstoffes. Für jeden Rohstoff und seine Anwendungsgebiete (z. B. chemische Industrie, Elektronik, Stahlherstellung bzw. -legierungen, Medizin, Schmuck, etc.) wird ein Substitutionskoeffizient eingeschätzt. Häufig wird eine Skala von 0 bis 1 verwendet, wie in Tabelle 27 dargestellt. In dieser Skala steht der hohe Wert für schlecht oder nicht substituierbare Rohstoffe. Anschließend werden die Einschätzungen mit der Relevanz der Anwendungsgebiete gewichtet. Der so ermittelte Wert wird als Substitutionskoeffizient bezeichnet. [EC 2010a]. Dabei ist durch die permanente Weiterentwicklung des Standes der Wissenschaft und Technik, zum Beispiel durch die BMBF-Fördermaßnahme r<sup>4</sup>-Wirtschaftsstrategische Rohstoffe, eine Dynamik in der Rohstoffbewertung gegeben bzw. auch zu erwarten.

Tabelle 27: Verwendete Farbskala für die Substituierbarkeit

Leicht und vollständig substituierbar ohne zusätzliche Kosten	0,0	0,0 – 0,29
Substituierbar mit niedrigen zusätzlichen Kosten	0,3	0,3 – 0,69
Substituierbar mit hohen zusätzlichen Kosten und/oder mit Leistungsverlust	0,7	0,7 – 0,89
Nicht substituierbar	1,0	0,9 - 1

Eine beispielhafte Darstellung der Berechnungsgrundlage der Substituierbarkeit wird in Tabelle 28 gezeigt. Das Beispiel bezieht sich auf Titan.

Tabelle 28: Beispielhafte Darstellung der Berechnung der Substituierbarkeit im Falle von Titan

Anwendungsgebiete (Titan)	Anteil [%]	Substitutionskoeffizient	Beitrag zur Substituierbarkeit (Anteil * Substitutionskoeffizient)
Farben	56	0,3	0,168
Plastik	27	0,3	0,081
Papier	9	0,3	0,027
Schweißdrahtbeschichtungen, Karbidherstellung, Chemikalien und Metalle	5	0,7	0,035
Andere Anwendungen	3	0,7	0,021
			<b>0,33</b>



Tabelle 29: Substituierbarkeit der untersuchten Rohstoffe für das Jahr 2013 [EC 2014b]

Rohstoff	Substituierbarkeit (Substitutability Index)
Chrom	0,96
Gallium	0,6
Gold	0,72
Indium	0,82
Kobalt	0,71
Kupfer	0,62
Niobium	0,69
Phosphor	0,98
PGM	0,83
Tantal	0,55
Titan	0,33
Wolfram	0,7
Zink	0,66
Zirkon	k. A

Tabelle 30: Substitutionsmöglichkeiten der untersuchten Rohstoffe [USGS 2016], [BGR 2015]

Rohstoff	Substitutionsmöglichkeiten
Chrom	- Hauptanwendungen im Metallbereich nicht substituierbar
Gallium	- Flüssigkristalle statt LED's in Displays - Indiumphosphid / Helium-Neon statt Galliumarsenid in Laser-Dioden - Siliziumbasierte Leistungsverstärker in Mobiltelefonen - Silikon in Solarzellen - In einigen Anwendungsbereichen der Integrierten Schaltungen ist eine effektive Substitution von Galliumarsenid nicht möglich
Gold	- Palladium, Platin und Silber können Gold substituieren
Indium	- Antimonzinnoxid als Ersatz für ITO in Display Anwendungen - Kohlenstoffnanoröhren als Alternative für ITO in Displays, Solarzellen und Touch- Screens - Poly(3,4-thylen Dioxythiophen) (PEDOT) als Substituent von ITO in Displays und Leuchtdioden - Silber-Nanodrähte als Ersatz für ITO in Touchscreens - Graphen-Quantenpunkte als Ersatz von ITO in Solarzellen und LCD's - Galliumarsenid als Substituent von Indiumphosphid in Solarzellen und Halbleiteranwendungen - Hafnium statt Indium in Legierungen von Kernreaktor-Steuerelementen
Kobalt	- In einigen Anwendungen führt der Ersatz von Kobalt in einem Verlust in der Produktleistung - Barium- oder Strontiumferriten, Neodym-Eisen-Bor oder Nickel-Eisen-Legierungen in Magneten - Cer, Eisen, Blei, Mangan oder Vanadium in Lacken - Kobalt-Eisen-Kupfer oder Eisen-Kupfer in Diamant-Werkzeuge - Kupfer-Eisen-Mangan für die Härtung von ungesättigte Polyesterharze - Eisen, Eisen-Kobalt-Nickel, Nickel, Cermet oder Keramiken in Schneid- und verschleißfestes Materialien - Eisen-Phosphor, Mangan, Nickel-Kobalt-Aluminium oder Nickel-Kobalt-Mangan in Lithium-Ionen-Batterien - Nickel-Basis-Legierungen oder Keramiken in Düsentriebwerke - Nickel in Erdöl-Katalysatoren - Rhodium in Hydroformylierungskatalysatoren.
Kupfer	- Aluminium in Stromkabeln, elektrischen Geräten, Autokühlern, Kühl- und Kälterohren - Titan und Stahl in Wärmetauschern - Glasfaser in Telekommunikations-Anwendungen - Kunststoff in Wasserleitungen, Abflussrohren und Sanitärinstallationen
Niobium	- Molybdän und Vanadium als Legierungselemente in hochfesten niedriglegierten Stählen - Tantal und Titan als Legierungselemente in rostfreien und hochfesten Stahllegierungen - Keramiken, Molybdän, Tantal und Wolfram in Hochtemperaturanwendungen
Phosphor	- Es gibt keinen Ersatz für Phosphor in der Landwirtschaft.
PGM	- Sehr eingeschränkte Substitutionsmöglichkeiten
Tantal	- Tantal kann teilweise substituiert werden, Substitute erreichen nicht die Eigenschaften von Tantal: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Niobium in Carbiden</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aluminium und Keramik in elektronischen Kondensatoren</li> <li>○ Glas, Niob, Platin, Titan und Zirconium in korrosionsfesten Anwendungen</li> <li>○ Hafnium, Iridium, Molybdän, Niob, Rhenium und Wolfram in Hochtemperaturanwendungen</li> </ul>
Titan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Schlacke und synthetischem Rutil konkurrieren als Rohstoffquellen zur Erzeugung von TiO<sub>2</sub>-Pigment, Titanmetall und Schweißstab-Beschichtungen</li> <li>- Titan konkurriert mit Aluminium, Verbundwerkstoffe, intermetallische Verbindungen, Stahl und Superlegierungen</li> <li>- Aluminium, Nickel, Edelstählen und Zirkon-Legierungen für Anwendungen, die Korrosionsresistenz erfordern</li> <li>- Gemahlenes Calciumcarbonat, gefällt Calciumcarbonat, Kaolin, Talkum als Weißpigment</li> </ul>
Wolfram	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In einigen Anwendungen würde die Substitution zur erhöhten Kosten oder einem Verlust in der Produktleistung führen</li> <li>- Molybdän für bestimmte Wolfram-Mühlenkomponenten</li> <li>- Molybdän-Stähle für Wolfram-Stähle</li> <li>- Kohlenstoff-Nanoröhren-Fasern, Induktionstechnik und LEDs für auf Wolframelektroden oder -filamenten basierte Leuchtmittel</li> <li>- Abgereichertes Uran oder Blei für Strahlenschutzanwendungen oder Anwendungen, die hochdichte Materialien erfordern</li> <li>- Legierungen mit abgereichertem Uran für panzerbrechende Projektile</li> </ul>
Zink	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminium und Kunststoffwerkstoffe ersetzen verzinkte Bleche in Automobilbereich</li> <li>- Aluminiumlegierung, Cadmium, Farbe und Kunststoffbeschichtungen ersetzen Zinkbeschichtungen in anderen Anwendungen</li> <li>- Aluminium- und Magnesiumlegierungen als Ersatz für zinkbasierte Druckgusslegierungen</li> <li>- Viele Elemente können Zink in chemischen-, elektronischen- und in Pigmentanwendungen ersetzen</li> </ul>
Zirkon	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gering in der chemischen und Feuerfestindustrie</li> <li>- Bedingt in der keramischen Industrie</li> <li>- Stark durch Chromit, Cerabeads und Kerphalit in der Gießereindustrie</li> </ul>

### 7.1.4 Zeitlicher Vergleich der wirtschaftlichen Bedeutung und des Versorgungsrisiko

Tabelle 31: Zeitlicher Vergleich der wirtschaftlichen Bedeutung, des Versorgungsrisikos und der Einstufung [EC 2014b]

Rohstoff	Wirtschaftliche Bedeutung		Versorgungsrisiko		Einstufung	
	2009	2013	2009	2013	2009	2013
Chrom	9,92	8,94	0,8	1,01	nicht kritisch	kritisch
Gallium	6,50	6,30	2,47	1,82	kritisch	kritisch
Gold	k. A	3,78	k. A	0,15	nicht eingestuft	nicht kritisch
Indium	6,7	5,59	2	1,80	kritisch	kritisch
Kobalt	7,24	6,69	1,06	1,63	kritisch	kritisch
Kupfer	5,71	5,76	0,21	0,22	nicht kritisch	nicht kritisch
Niobium	8,95	5,87	2,80	2,46	kritisch	kritisch
Phosphor	k. A	5,81	k. A	1,09	nicht eingestuft	kritisch
PGM	6,68	6,58	3,63	1,18	kritisch	kritisch
Tantal	7,38	7,40	1,13	0,62	kritisch	nicht kritisch
Titan	5,38	5,54	0,13	0,13	nicht kritisch	nicht kritisch
Wolfram	8,75	9,05	1,81	1,99	kritisch	kritisch
Zink	9,40	8,66	0,40	0,45	nicht kritisch	nicht kritisch
Zirkon	k. A	k. A	k. A	k. A	nicht eingestuft	nicht eingestuft

### 7.1.5 Zeitlicher Vergleich der Recyclingraten

Tabelle 32: Zeitlicher Vergleich der Recyclingraten [EC 2010b, 2014b]

Rohstoff	Recyclingrate [%]	
	2009	2013
Chrom	13	13
Gallium	0	0
Gold	k. A.	25
Indium	0,3	0
Kobalt	k. A.	16
Kupfer	20	20
Niobium	11	11
Phosphor	k. A.	0
PGM	35	35
Tantal	20-25	4
	4	
Titan	k. A.	6
Wolfram	37	37
Zink	k. A.	8
Zirkon	0	k. A.

### 7.1.6 Zeitlicher Vergleich der Substituierbarkeit

Tabelle 33: Zeitlicher Vergleich der Substituierbarkeit (Substitutability Index) [EC 2010b, 2014b]

Rohstoff	Substituierbarkeit (Substitutability Index)	
	2009	2013
Chrom	0,97	0,96
Gallium	0,74	0,6
Gold	k. A.	0,72
Indium	0,9	0,82
Kobalt	0,9	0,71
Kupfer	0,56	0,62
Niobium	0,7	0,69
Phosphor	k. A.	0,98
PGM	0,75	0,83
Tantal	0,4	0,55
Titan	0,32	0,33
Wolfram	0,77	0,7
Zink	k. A.	0,66
Zirkon	k. A.	k. A.

## 8 Ergänzende Einstufungen: DERA-Rohstoffliste

Im Jahr 2014 wurde die Studie DERA-Rohstoffliste 2014 veröffentlicht (DERA: Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). In dieser Studie wurden u. a. die Länderkonzentration, das gewichtete Länderrisiko und die Firmenkonzentration der Bergwerksförderung für 34 Metalle und 27 Industriemineralien sowie Kokskohle für das Jahr 2012 dargestellt [DERA 2014].

Die Länder- und Firmenkonzentration wurden mit den Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) berechnet. Der HHI gibt Auskunft über die wirtschaftliche Konzentration eines Marktes und wird als die Summe der quadrierten Anteilswerte aller Marktteilnehmer definiert. Der Wertebereich des Index ist normiert auf  $1/[\text{Anzahl der Marktteilnehmer}] \leq \text{HHI} \leq 1$ . Wenn alle Marktteilnehmer den gleichen Anteil haben wird die untere Grenze erreicht. Bei Monopolsituationen erreicht der HHI den Wert 1. Aus praktischen Gründen wird er häufig mit 10.000 multipliziert, da der Index bei Märkten mit vielen Teilnehmern sehr kleine Werte annehmen kann. Ein hoher Index drückt einen hochkonzentrierten und nicht wettbewerbsfähigen Markt aus [DERA 2014].

Bei einem HHI unter 1.500 wird ein Markt als niedrig konzentriert definiert. Zwischen 1.500 und 2.500 Punkten als mäßig konzentriert. Bei einem Indexwert über 2.500 gilt der Markt als hoch konzentriert [U.S. Department of Justice 2010].

Das gewichtete Länderrisiko (GLR) der Bergwerksförderung wird berechnet, indem die Förderanteile der Länder mit einem Index oder Länderranking gewichtet werden. Hierfür haben sich die Worldwide Governance Indicators der Weltbankgruppe bewährt. Dieser Indikatorenansatz setzt sich aus den sechs folgenden Indikatoren zusammen [DERA 2014] [Worldbank 2016]:

- **Voice and Accountability:** Der Indikator misst, inwieweit die Bürger eines Landes in der Lage sind, an der Wahl der Regierung zu partizipieren, und berücksichtigt die Faktoren Meinungs-, Presse- und Versammlungsfreiheit.
- **Political Stability and Absence of Violence:** Der Indikator drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass die Regierung durch nicht konstitutionelle oder gewalttätige Mittel (einschließlich Terrorismus) destabilisiert werden kann.
- **Government Effectiveness:** Hier werden die Qualität der öffentlichen Dienste und Behörden und ihre Unabhängigkeit von politischem Druck bewertet.
- **Regulatory Quality:** Der Indikator bewertet die Fähigkeit der Regierung, Gesetze und Vorschriften zu erlassen, die eine Entwicklung des privaten Sektors ermöglichen.

- Rule of Law: Mit diesem Indikator wird das Vertrauen in und die Einhaltung von gesellschaftlichen Regeln bewertet. Eingeschlossen ist auch die Durchsetzung von Verträgen und Eigentumsrechten. Weiterhin fließen in diesen Indikator die Qualität der Gerichte und der Polizei sowie die Wahrscheinlichkeit, Opfer von Verbrechen und Gewalt zu werden, ein.
- Control of Corruption: Der Indikator bewertet, inwieweit die öffentliche Hand durch den privaten Profit bestimmt wird, was Korruption aller Größenordnungen sowie die Vereinnahmung des Staates durch elitäre Gruppen und private Interessen umfasst.

Diese Indikatoren werden jährlich für über 200 Staaten von der Weltbank berechnet [DERA 2014] [Worldbank 2016].

Durch die Aggregation und Mittelung aller sechs Indikatoren ergibt sich ein Wert für das Länderrisiko, das in einem Intervall zwischen +2,5 und –2,5 liegt. Dieser Wert wird mit dem Anteil der Bergwerksförderung des jeweiligen Landes gewichtet. Das so ermittelte gewichtete Länderrisiko (GLR) bewegt sich in der Regel in einem Intervall zwischen +1,0 und –1,0. Bei Werten über 0,5 wird das Risiko als niedrig eingestuft. Zwischen +0,5 und –0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor, Werte des GLR unter –0,5 gelten als hoch [DERA 2014].

Die Ergebnisse der DERA-Studie wurden für die hier untersuchten Rohstoffe in Tabelle 35 dargestellt. Für die Darstellung wurden, abgesehen von den Indexwerten, eine Farbskala (Tabelle 34) zur sofortigen Einschätzung der Kritikalität der jeweiligen Rohstoffe verwendet.

*Tabelle 34: Verwendete Farbskala für den HHI und GLR*

Niedrige Konzentration bzw. Risiko	
Mäßige Konzentration bzw. Risiko	
Hohe Konzentration bzw. Risiko	



Tabelle 35: Länderkonzentration, gewichtetes Länderrisiko und Firmenkonzentration der Bergwerksförderung für das Jahr 2012 [DERA 2014] [Schmidt 2015]

Rohstoff	Länderkonzentration	Gewichtetes Länderrisiko	Firmenkonzentration
Chrom	2.438	-0,09	551
Gallium	5.691	-0,31	k. A.
Gold	622	0,02	437
Indium	3.274	0,18	k. A.
Kobalt	4.414	-0,98	449
Kupfer	1.388	0,42	469
Niobium	8.497	0,16	6.441
Phosphor	2.137	-0,18	2.239
PGM	Palladium: 3.049	Palladium: 0,01	Palladium: 2.198
	Platin: 5.582	Platin: 0,09	Platin: 1.659
Tantal	1.678	-0,53	k. A.
Titan	1.334	0,68	>1.317
Wolfram	6.732	-0,46	6.920
Zink	1.581	0,09	1.666
Zirkon	2.412	0,65	2.039

## 9 Vergleich der Kritikalitätsbewertungen der Studien der europäische Kommission und der DERA

Tabelle 36: Vergleich Kritikalitätsbewertung der Studien der europäische Kommission und der DERA [DERA 2014], [Schmidt 2015], [EC 2014b]

Rohstoff	Europäische Kommission (2013)			DERA (2012)		
	Wirtschaftliche Bedeutung	Versorgungsrisiko	Einstufung	Länderkonzentration	Gewichtetes Länderrisiko	Firmenkonzentration
Chrom	8,94	1,01	kritisch	2.438	-0,09	551
Gallium	6,30	1,82	kritisch	5.691	-0,31	k. A.
Gold	3,78	0,15	nicht kritisch	622	0,02	437
Indium	5,59	1,80	kritisch	3.274	0,18	k. A.
Kobalt	6,69	1,63	kritisch	4.414	-0,98	449
Kupfer	5,76	0,22	nicht kritisch	1.388	0,42	469
Niobium	5,87	2,46	kritisch	8.497	0,16	6.441
Phosphor	5,81	1,09	kritisch	2.137	-0,18	2.239
PGM	6,58	1,18	kritisch	Palladium: 3.049 Platin: 5.582	Palladium: 0,01 Platin: 0,09	Palladium: 2.198 Platin: 1.659
Tantal	7,40	0,62	nicht kritisch	1.678	-0,53	k. A.
Titan	5,54	0,13	nicht kritisch	1.334	0,68	>1.317
Wolfram	9,05	1,99	kritisch	6.732	-0,46	6.920
Zink	8,66	0,45	nicht kritisch	1.581	0,09	1.666
Zirkon	k. A.	k. A.	nicht eingestuft	2.412	0,65	2.039

Obwohl die Indikatoren unterschiedlich sind, ist es zu beobachten, dass die Ergebnisse der Kritikalitätsbewertungen beider Studien ähnlich sind.

## 10 Literaturverzeichnis

- Angerer et al. 2009     Angerer G.; Marscheider-Weidemann, Lüllmann A.; Erdmann L.; Scharp V.; Marwede M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland, 2009, 383 S.
- BGR 2013                 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe – Zirkon. BGR, Hannover, Deutschland, 2013, 7 S.
- BGR 2015                 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2015. BGR, Hannover, Deutschland, 2015, 168 S.
- DERA 2014                Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: DERA-Rohstoffliste 2014. DERA, Berlin, Deutschland, 2014, 112 S.
- EC 2010a                 European Commission: Critical raw materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission, Brüssel, Belgien, 2010, 84 S.
- EC 2010b                 European Commission: Annex V to the report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission, Brüssel, Belgien, 2010, 220 S.
- EC 2014a                 European Commission: Report on critical raw materials for the EU. European Commission, Brüssel, Belgien, 2014, 41 S.
- EC 2014b                 European Commission: Annexes to the Report on Critical Raw Materials for the EU. European Commission, Brüssel, Belgien, 2014, 38 S.
- EC 2014c                 European Commission: EU critical raw materials profiles. European Commission, Brüssel, Belgien, 2014, 202 S.

- EC 2014d European Commission: Non-Critical Raw Materials Profiles. European Commission, Brüssel, Belgien, 2014, 138 S.
- Fichter et al. 2009 Fichter K.; Beucker S.; Clausen J.; Hintemann R.: Green IT: Zukünftige Herausforderungen und Chancen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland, 2009, 35 S.
- Homberg-Heumann et al. 2015 Homberg-Heumann D.; Meßner J.; Röhling S.; Schauer M.; Schmidt S.; et al.: Deutschland – Rohstoffsituation 2014. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, 2015, 161 S.
- Kroop et al. 2014 Kroop S.; Kaufhold T.; Lohmeyer R.; Mocker M.; Franke M.; Faulstich, M. et al.: Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, 2014, 274 S.
- Paradis 2015 Paradis S.: Indium, germanium and gallium in volcanic- and sediment-hosted base-metal sulphide deposits. In: Simandl, G.J.; Neetz, M. (Hrsg.): Symposium on critical and strategic materials proceedings. British Columbia Geological Survey, Victoria, Kanada, 2015. S. 23–29
- Schmidt 2015 Schmidt M.: Rohstoffrisikobewertung – Platingruppenmetalle DERA Rohstoffinformationen 26. DERA, Berlin, Deutschland, 2015, 156 S.
- U.S. Department of Justice 2010 U.S. Department of Justice and the Federal Trade Commission, Horizontal Merger Guidelines,  
URL: <https://www.justice.gov/atr/horizontal-merger-guidelines-08192010>  
Abgerufen: 29. April 2016
- USGS 2016 U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2016. U.S. Geological Survey, Reston, U.S.A., 2016, 202 S.
- USGS 2014 U.S. Geological Survey: Mineral commodity summaries 2014. U.S. Geological Survey, Reston, U.S.A., 2014, 196 S.

USGS 2010 U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2010. U.S. Geological Survey, Reston, U.S.A., 2010, 193 S.

Worldbank 2016 Worldbank: WGI 2015 Interactive > FAQ.  
URL: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#faq>  
Abgerufen: 29. April 2016