

Dr. Dominic Wittmer<sup>1</sup>  
Dr. Michael Scharp<sup>2</sup>  
Dr. Stefan Bringezu<sup>1</sup>  
Michael Ritthoff<sup>1</sup>  
Martin Erren<sup>1</sup>  
Christoph Lauwigi<sup>3</sup>  
Jürgen Giegrich<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

<sup>2</sup> Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung

<sup>3</sup> Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

## Umweltrelevante metallische Rohstoffe

Meilensteinbericht des Arbeitsschrittes 2.1 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

Teil 1: Abschlussbericht



## Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dominic Wittmer

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal

Tel.: +49 (0) 202 2492 -181, Fax: -138

Mail: dominic.wittmer@wupperinst.org

## „*Materialeffizienz und Ressourcenschonung*“ (MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

### Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: kora.kristof@wupperinst.org

peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

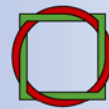
Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter **[www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

**Wuppertal Institut**  
in Kooperation mit

BASF  
Borderstep  
CSCP  
Daimler  
demea – VDI / VDE-IT  
ECN  
EFA NRW  
FhG IAO  
FhG UMSICHT  
FU Berlin  
GoYa!  
GWS  
Hochschule Pforzheim  
IFEU  
Institut für Verbraucherjournalismus  
IÖW  
IZT  
MediaCompany  
Ökopol  
RWTH Aachen  
SRH Hochschule Calw  
Stiftung Warentest  
ThyssenKrupp  
Trifolium  
TU Berlin  
TU Darmstadt  
TU Dresden  
Universität Kassel  
Universität Lüneburg  
ZEW



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1	Das Projekt Materialeffizienz und Ressourcenschonung	11
1.2	Ziele	12
1.3	Vorgehen	12
1.4	Struktur des Berichts	14
<b>2</b>	<b>Seltenheit und Umweltrelevanz von Metallen</b>	<b>15</b>
2.1	Vorgehen zur Bestimmung von Seltenheit und Umweltrelevanz	15
2.2	Begriffsbestimmung „seltene Metalle“	16
2.2.1	Kriterium 1: Reservenmenge	21
2.2.2	Kriterium 2: Statische Reichweite	22
2.2.3	Kriterium 3: Jährliche Produktionsmenge	25
2.2.4	Kriterium 4: Rohstoffpreis und Rohstoffpreisentwicklung	27
2.2.5	Kriterien 5 und 6: Geographische Konzentration der globalen Reserven und der globalen Primärproduktion	35
2.2.6	Kriterium 7: Feinverteilung von Metallen	42
2.3	Begriffsbestimmung „umweltrelevante Metalle“	48
2.3.1	Inputindikatoren	49
2.3.2	Outputindikatoren	51
<b>3</b>	<b>Einsatz von Metallen in den Bereichen Elektro- und Elektronikprodukte, Medizin und Nanotechnologie</b>	<b>53</b>
3.1	Metalle in Elektro- und Elektronikprodukten	53
3.2	Metalle in der Medizintechnik	55
3.3	Metalle in Nanotechnologien	59
<b>4</b>	<b>Auswahl von Metallen zur vertiefenden Untersuchung</b>	<b>65</b>
4.1	Kriterienauswahl zur Bestimmung „Seltener Metalle“	65
4.2	Kriterienauswahl zur Bestimmung der „Umweltrelevanz“	70
4.3	Auswahl der Metalle	71

<b>5</b>	<b>Vertiefende Untersuchungen ausgewählter Metalle</b>	<b>77</b>
5.1	Ziel der Untersuchungen	77
5.2	Methode	77
5.2.1	Systemdefinition: Umfang und Auflösung der Untersuchungen	79
5.2.2	Struktur der Untersuchungen	80
5.2.3	Gegenstand der Untersuchungen	82
5.3	Ergebnisse	83
5.4	Übersicht zu Umweltbelastungen und Materialverluste der zehn Metalle	83
5.4.1	Gallium	89
5.4.2	Gold	89
5.4.3	Indium	90
5.4.4	Mangan	91
5.4.5	Nickel	91
5.4.6	Palladium	92
5.4.7	Silber	93
5.4.8	Titan	93
5.4.9	Zink	94
5.4.10	Zinn	95
5.5	Diskussion der Ergebnisse	95
5.5.1	Methodische Einschränkungen	95
5.5.2	Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungen zu den zehn Metallen	97
<b>6</b>	<b>Handlungsoptionen</b>	<b>105</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>109</b>
7.1	Metalle / Chemische Elemente	109
7.2	Physikalische Einheiten	109
7.3	Weitere Abkürzungen	111
<b>8</b>	<b>Glossar</b>	<b>115</b>
<b>9</b>	<b>Referenzen</b>	<b>121</b>

<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>125</b>
10.1	Anhang 1 – Produktions- und Reservenmengen der Metalle	125
10.2	Anhang 2 – Anwendungen, feinverteilter Metalleinsatz und dissipative Verwendung	167
10.3	Anhang 3 – Einsatz von Metallen in ausgewählten Anwendungsbereichen	185
10.4	Anhang 4 – Thematische Überblicke über dissipative Verwendung und feinverteilter Einsatz von Metallen	207



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2-1: Umfang des Metallscreenings in Phase I: Alle Elemente abzüglich der Nichtmetalle und der instabilen Metalle. \_\_\_\_\_ 16
- Abb. 2-2: Preisentwicklung von Selen, Tantal und Indium im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Angaben in konstanten US\$ pro Tonne (1998 = 100). Quelle: Eigene graphische Darstellung nach USGS Historical Statistics: Selenium/2004, Tantalum/2002, Indium/2004. Anmerkung: Die Preise sind auf den US-amerikanischen Markt bezogen. \_\_\_\_\_ 29
- Abb. 2-3: Preisentwicklung von Niob und Kupfer im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Angaben in konstanten US\$ pro Tonne (1998 = 100). Quelle: Eigene graphische Darstellung nach USGS Historical Statistics: Columbinum/2002, Copper/2004. Anmerkung: Die Preise sind auf den US-amerikanischen Markt bezogen. \_\_\_\_\_ 30
- Abb. 3-1: Einsatz von Metallen in EuE-Produkten (Stand 2008). Die Metalle sind entsprechend der qualitativen Wichtigkeit farblich gekennzeichnet. Die Kürzel unterhalb der Elementsymbole bezeichnen die Haupteinsatzfelder der Metalle. \_\_\_\_\_ 55
- Abb. 3-2: Einsatz von Metallen in der Medizintechnik. Die qualitative Bedeutung der Metalle ist farblich gekennzeichnet. \_\_\_\_\_ 59
- Abb. 3-3: Einsatz von Metallen in der Nanotechnologie. Die qualitative Bedeutung der Metalle ist farblich gekennzeichnet. \_\_\_\_\_ 64
- Abb. 4-1: Darstellung der Auswahlkriterien für die Metalle (Darstellung nicht vollständig). Die Farben unterlegen die Bedeutung auf einer farbigen Ordinalskala (rot am bedeutendsten). Dissipative Verwendung (Feinverteilung): „ja: dissipative Produktnutzung; „?“: dissipativ verwendet als Legierungsmetall; „ja?“. dissipative Produktnutzung vermutet; „(ja)“:dissipativ genutzt, begründet durch feine Verteilung von bzw. in Produkten; „+/-“: nicht feinverteilt, sogenannter „Grenzfall“. RUS: Russland; ZA: Südafrika. \_\_\_\_\_ 71





## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „Reservenmenge“.	22
Tab. 2-2 Statische Reichweite von Tantal: Entwicklung von Produktionsmenge, Reservenmenge und statischer Reichweite im Zeitraum 1996-2008 (USGS, diverse Jahrgänge), Das Jahr gibt den Zeitpunkt der Veröffentlichung durch USGS an. Als statische Reichweite für den Gesamtzeitraum (letzte Zeile) wird der Mittelwert der statischen Reichweiten der diversen Jahre angegeben. * = eigene Annahme bzw. eigene Berechnung.	23
Tab. 2-3: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „statische Reichweite“ (USGS 2008).	25
Tab. 2-4: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „jährliche Produktionsmenge“	26
Tab. 2-5: Entwicklung von Metallpreisen für den Zeitraum 2004-2007; Preise 2007 sind geschätzt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Preise wurden die originalen Preisangaben mit Mengenbezugsgröße (angegeben auf Englisch) umgerechnet in Preise pro Kilogramm. Quelle: USGS (2008).	32
Tab. 2-6: Kriterien zur Bewertung von Risiken eines Versorgungsausfalls (BMWi 1999)	36
Tab. 2-7: Klassifizierung der Metalle mithilfe der Kriterien „geographische Konzentration der Produktion“ bzw. „geographische Konzentration der Reserven“	38
Tab. 2-8: Geographische Konzentration der Produktion und der Reserven (ohne Berücksichtigung von Sekundärressourcen). Für Arsen, Barium, Calcium, Kalium, Lithium, Magnesium, Natrium wurden die relevanten Salze betrachtet und nicht die Metalle, die überwiegend in sehr geringen Mengen produziert werden (vgl. Anhang 1).	39
Tab. 2-9: Geographische Konzentrationen der Reserven und der Produktion von Metallen	41

Tab. 2-10: Anwendungsbereiche der Metalle mit deutlich feinverteiltem Einsatz: Angabe des Massenanteils in den diversen Anwendungsbereichen. Bezugsjahr 2007 (wenn nicht anders angegeben) _____	45
Tab. 2-11: Klassifizierung der Metalle nach feinverteiltem Einsatz. Dunkelgrau sind jene Metalle dargestellt, bei denen der feinverteilte Einsatz deutlich ausgeprägt ist im Vergleich zu den anderen Metallen; Metalle mit „dissipativer Produktnutzung“ sind kursiv dargestellt. _____	48
Tab. 3-1: Einsatz von Metallen in der Medizintechnik mit Angabe nach Einsatzfeldern. Sofern in der Diagnostik oder Strahlentherapie Isotope verwendet werden, sind diese mit Massenzahl der Metalle ausgewiesen. Unbestimmt: keine Einsatzfelder dokumentiert _____	56
Tab. 4-1: Übersicht der Klassifizierung der diversen Kriterien. Die Bezeichnung der Kategorien (Klassen) wurde vereinheitlicht. _____	66
Tab. 4-2: Argumente pro und contra zu den Kriterien für die Auswahl der vertiefend zu untersuchenden seltenen Metalle. _____	67
Tab. 5-1: Überblick der zehn Metalluntersuchungen. _____	83
Tab. 10-1: Produktion und Reserven von Metallen: Tabellen pro Metall nach Ländern _____	126
Tab. 10-2: Weltweite Produktionsmengen, Reservemengen und statische Reichweite von Metallen, jeweils bezogen auf das Jahr 2007; die statische Reichweite wurde durch Division der Reserven durch die Produktionsmengen berechnet _____	151
Tab. 10-3: Geographische Konzentration der weltweiten Produktion (Primärproduktion) und der Reserven _____	161
Tab. 10-4: Einsatz von Metallen in den Anwendungsbereichen Elektro- und Elektronikprodukte sowie Informations- und Kommunikationstechnologie _____	185
Tab. 10-5: Einsatz von Metallen im Anwendungsbereich Medizin _____	191

Tab. 10-6: Einsatz von Metallen als Zusatzstoffe bei der Herstellung von Stahllegierungen (2007), bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Die erläuternden Begriffe, die hinter den Prozentzahlen angeführt sind, beschreiben den Einsatz so genau als möglich und sind daher nicht systematisch begründet	207
Tab. 10-7: Einsatz von Metallen zur Herstellung von Legierungen (inkl. Stahllegierungen) und zur Oberflächenbeschichtung, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Daten für 2007 sofern nicht anders angegeben	208
Tab. 10-8: Einsatz von Metallen in Katalysatoren, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsdatum 2007 sofern nicht anders angegeben.	209
Tab. 10-9: Einsatz ausgewählter Metalle mit dissipativer Nutzung und Verbrauch, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten. Datenbasis für die Vereinigten Staaten, bezogen auf das Jahr 2007	210
Tab. 10-10: Dissipative Nutzung von Metallen in EuE-Produkten, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben.	211
Tab. 10-11: Pigmente, Kunststoffstabilisierer und chemische Nutzungen der Metalle, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben	212
Tab. 10-12: Einsatz ausgewählter Metalle in der Glasindustrie, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls weltweit bzw. in den Vereinigten Staaten. Bezugsjahr: 2007, sofern nicht anders angegeben	213
Tab. 10-13: Metalle in der Schmuckindustrie, wo möglich bezogen auf die gesamte Verwendung des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben.	213



# 1 Einleitung

## 1.1 Das Projekt Materialeffizienz und Ressourcenschonung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse aus dem Arbeitsschritt „Umweltrelevante metallische Rohstoffe“ zusammen, die im Rahmen des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)<sup>1</sup> erarbeitet wurden.

Ziel des Forschungsprojektes MaRes ist es, substantielle Wissensfortschritte zu vier Kernfragen für die Steigerung der Materialeffizienz und für die Verbesserung der Ressourcenschonung zu erreichen. Das Projekt untersuchte folgende vier Schwerpunkte:

- Ermittlung der Potenziale der Ressourceneffizienzsteigerung.
- Entwicklung von Ansätzen für zielgruppenspezifische Ressourceneffizienzpolitiken.
- Erreichen von neuen Erkenntnissen hinsichtlich der Wirkungsanalyse auf gesamt- und betriebswirtschaftlicher Ebene.
- Wissenschaftliche Begleitung der Umsetzungsaktivitäten und des Agenda Setting sowie Kommunikation der Ergebnisse mit den Zielgruppen.

Das Projekt besteht aus insgesamt 14 Arbeitspaketen, die den vier Bereichen "Potenziale der Ressourceneffizienzsteigerung", "Zielgruppenspezifische Ressourceneffizienzpolitik", "Wirkungsanalyse" und "Konkrete Umsetzung, Agenda-Setting, Verbreitung der Ergebnisse" zugeordnet sind. Hintergründe sowie Projektberichte sind auf der Projekthomepage zu finden<sup>2</sup>.

Das Arbeitspaket 2 „Metallische Rohstoffe, PGM, Infrastrukturen“ ist Teil des Bereichs „Potenziale der Ressourceneffizienzsteigerung“ und gliedert sich in die drei Teile „Umweltrelevante metallische Rohstoffe“, „Weltweite Wiedergewinnung von PGM“ und „Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen“. Sie zielen jeweils auf bestimmte thematische Facetten der Frage nach den Potenzialen zur Steigerung der Materialeffizienz bzw. Ressourcenschonung. Dabei geht es primär darum,

---

<sup>1</sup> Umweltforschungsplan des Bundesumweltministeriums, FKZ 3707 93 300

<sup>2</sup> Die Adresse der MaRes-Homepage lautet <http://ressourcen.wupperinst.org/home/index.html>

naturwissenschaftliche und technische Grundlagen für die anderen Arbeitspakete in MaRes bereitzustellen und so Beurteilungen der Umweltrelevanz der eingesetzten Material- und Ressourcenmengen zu unterstützen.

## 1.2 Ziele

Gegenstand des Arbeitsschrittes 2.1 ist die Verbesserung der Wissensbasis zu den Stoffflüssen seltener umweltrelevanter Metalle, um Handlungsbedarf und Handlungsoptionen bezüglich ihrer Bewirtschaftung beurteilen zu können. Ein zentrales Etappenziel dabei ist die Bereitstellung geeigneter Informationen über den Ist-Zustand der Umweltbelastungen und Materialverluste entlang den Lebenszyklen der Metalle. Dabei sind die selteneren Metalle und entsprechend weniger untersuchten explizit inbegriffen.

Zudem ist es Ziel, einen Überblick über den Einsatz der verschiedenen Metalle in den Anwendungsfeldern Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (EuE, inklusive Informations- und Kommunikationstechnologien und Photovoltaiktechnologie), Medizintechnik (Med) und Nanotechnologie (Nano) zu gewinnen, um die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen bezüglich Vermeidung, Substitution, ressourcenschonender Produktion und Kreislaufschließung (inkl. internationaler Aspekte) zu unterstützen.

Die Informationen dienen der Analyse des Handlungsbedarfs und der Handlungsoptionen, insbesondere politischer Art, in Bezug auf metallische Stoffströme.

## 1.3 Vorgehen

Aufgrund der Vielzahl an Metallen, die heute in der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, in der Medizintechnik und in der Nanotechnologie eingesetzt werden, wurde eine Fokussierung auf ausgewählte Metalle vorgenommen. In einer ersten Phase wurden zur Auswahl dieser Metalle Kriterien erarbeitet und mit Daten hinterlegt. Auf dieser Basis erfolgte die Auswahl von zehn Metallen, die in einer vertiefenden Betrachtung untersucht wurden. In einer zweiten Phase standen die Umweltbelastungen und die Materialverluste im Zentrum dieser Arbeit. Die Befunde daraus wurden schließlich in einer dritten Phase verallgemeinert beziehungsweise in einen Gesamtzusammenhang gesetzt, so dass man einen Überblick über Handlungsbedarf und insbesondere politische Handlungsoptionen hinsichtlich metallischer Stoffströme erhält.

Entsprechend wurde der Arbeitsschritt 2.1 in folgende drei Arbeitsphasen unterteilt:

Phase I: Screening der Metalle nach Seltenheit und Umweltrelevanz und Auswahl von zehn potentiell problematischen Metallen.

Phase II: Vertiefende Betrachtung der ausgewählten potentiell problematischen Metalle sowie Übersicht der Materialverluste und Umweltbelastungen zu den vertieft betrachteten Metallen.

Phase III: Ausblick auf Handlungsoptionen zur Erhöhung der Materialeffizienz.

In Phase I wurde ein ausführliches Screening der Metalle durchgeführt, um einen Überblick über das Spektrum von Umweltrelevanz, Verfügbarkeit und der Einsatzgebiete der Metalle zu erhalten und auf dieser Basis geeignete Metalle zur vertiefenden Betrachtung zu bestimmen. In Phase II wurden diese Metalle vertiefend untersucht hinsichtlich der bekannten Umweltbelastungen und Materialverluste über den Lebensweg. In einem letzten Schritt (Phase III) werden prinzipielle Handlungsoptionen zur Umsetzung des Verbesserungspotentials vorgestellt.

Zu Beginn wurde ein breit angelegtes Screening der Metalle nach diversen Kriterien durchgeführt. Das Screening dient dem Überblick über die Vielzahl der Metalle anhand mehrerer Kriterien, die einerseits zur Auswahl der vertiefenden Betrachtung genutzt werden können, andererseits die Wissensbasis erweitern sollen.

Die Übersicht umfasst:

- Bestimmung der Einsatzbereiche der Metalle (Kap. 3);
- Angabe der Größenordnung der eingesetzten Metallmengen hinsichtlich ausgewählter Anwendungen (Kap. 3, Kap. 10.2, Kap. 10.3);
- Ranking der Metalle (Einsatzmengen und -muster, Umweltbelastungen, Trends der Nachfrage) (Kap. 4);
- Angaben zu weltweiter Produktionsmenge, Reservenmenge und statischer Reichweite der Metalle nach Ländern (Kap. 10.1);
- Geographische Konzentration der weltweiten Primärproduktion (Kap. 10.1);
- Unterscheidung nach dissipativen und nicht dissipativen Anwendungen (Kap. 10.2).

Der Blick wurde dabei auf jene Metalle gerichtet, von denen anzunehmen ist, dass ihre Gewinnung, Nutzung oder Entsorgung relevante Umweltauswirkungen haben. Entsprechend den aktuellen Entwicklungen auf dem globalen Metallmarkt wurden Hinweise auf mögliche Verknappung von Metallen sowie zukünftig steigende Bedarfe als zusätzliches Auswahlkriterium aufgenommen, da diese für eine uneingeschränkte nachhaltige Entwicklung von Bedeutung sein kann.

Durch Auswahl von zehn potenziell problematischen Metallen wurde die Untersuchung fokussiert. Es wurden vereinfachte Stoffflussanalysen durchgeführt, anhand derer die Umweltbelastungen und Materialverluste über den Lebensweg qualifiziert und soweit möglich quantifiziert wurden. Dies schloß ausdrücklich die Bearbeitung der Erze zu den Metallen ein.

#### **1.4 Struktur des Berichts**

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse des Arbeitsschrittes 2.1 „Umweltrelevante metallische Rohstoffe“ zusammen. Der Bericht hat folgende Struktur:

In Kapitel 1 werden die Ziele der Studie vorgestellt und das Vorgehen erläutert.

In Kapitel 2 werden die Themenfelder Seltenheit und Umweltrelevanz untersucht: Nach Definition relevanter Begriffe folgt die Analyse derjenigen Kriterien, die einen inhaltlichen Bezug zu Seltenheit und Umweltrelevanz der Metalle aufweisen. Hierfür wurden die erforderlichen Daten recherchiert und aufbereitet.

In Kapitel 3 werden die drei Sektoren Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, Medizintechnik und Nanotechnologie hinsichtlich des Einsatzes von Metallen untersucht, da sie in Bezug auf den heutigen Einsatz von seltenen umweltrelevanten Metallen als relevant erachtet werden und zudem beträchtliches WachstumsPotenzial aufweisen. Auf Basis einer Literaturrecherche wurde für jeden der drei Sektoren die Relevanz der einzelnen Metalle eingeschätzt.

In Kapitel 4 wird das Verfahren zur Auswahl der Metalle erläutert, die in Phase II vertiefend untersucht wurden, wobei die Kriterien zur Auswahl der Metalle diskutiert und angewendet werden. In Kapitel 5 wird das Vorgehen zur Erarbeitung der zehn vertiefenden Studien zu ausgewählten Metallen erläutert. Weiterhin erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus den zehn Studien.

Kapitel 6 gibt schließlich einen Überblick über Handlungsoptionen im Zusammenhang mit den untersuchten Metallen.



## 2 Seltenheit und Umweltrelevanz von Metallen

Zu den Metallen werden ca. 80 % der Elemente gezählt. Im Periodensystem der Elemente liegen sie unterhalb einer diagonalen Trennungslinie, wobei der Übergang zu den Nichtmetallen über die Halbmetalle fließend ist. Die vorliegende Studie bezieht sich auf diese elektrochemisch begründete Definition.

### 2.1 Vorgehen zur Bestimmung von Seltenheit und Umweltrelevanz

Zunächst wurden die Begriffe „Seltenheit“ und „Umweltrelevanz“ im Zusammenhang mit den Zielen dieser Arbeit bestimmt, um das folgende Screening zielgerichtet durchführen zu können.

Das Screening der Phase I umfasste eine Literaturrecherche mit dem Ziel, vordefinierte Kriterien für die untersuchten Metalle übersichtlich zusammenzustellen, um eine Zusammenschau diskutieren zu können. Zur Begrifflichkeit „Seltenheit“ wurden sieben Kriterien untersucht, das sind: Reservenmenge, statische Reichweite, jährliche Produktionsmenge, Rohstoffpreis, geographische Konzentration der Produktion und der Reserven sowie die Feinverteilung von Metallen (Kap. 2.2)<sup>3</sup>. Zur Begrifflichkeit der Umweltrelevanz sind für das Screening der Kumulierte Energieaufwand (KEA), der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA), sowie der Globale Materialaufwand (englisch: Total Material Requirement, TMR) verwendet worden (Kap. 2.3).

Im Verlauf des Metallscreenings wurden alle Elemente abzüglich der Nichtmetalle und der instabilen Metalle untersucht; das bedeutet eine Betrachtung von bis zu 65 Metallen und Halbmetallen bzw. Metallgruppen (63 Metalle<sup>4</sup> plus Platingruppenmetalle und seltene Erden)<sup>5</sup>.

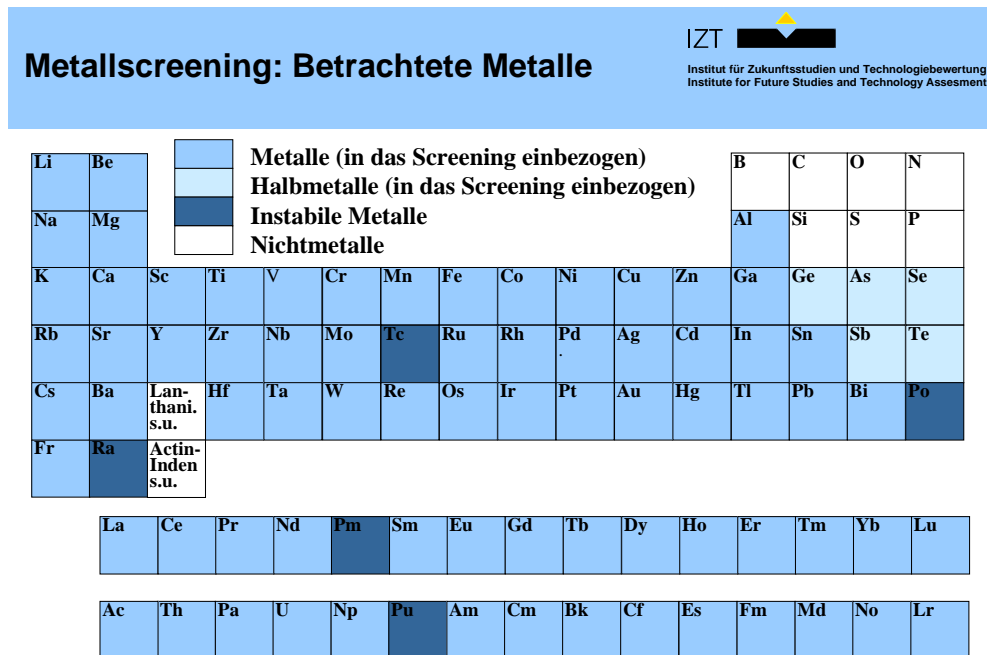
---

<sup>3</sup> In einer Planungsphase sollten die Kriterien Rezyklierbarkeit und Substituierbarkeit als zusätzliche Auswahlkriterien verwendet werden. Da diese sich jedoch auf die Produktebene beziehen, konnten sie nicht im Rahmen des Metallscreenings eingesetzt werden. Im Allgemeinen bedingt die Vielfalt der Funktionalität eines Metalls den Einsatz in sehr vielfältigen Produkten.

<sup>4</sup> Ziel war, das Screening auf möglichst alle in Frage kommenden Metall auszudehnen, um eine ungewollte Vorauswahl zu verhindern. Daher wurden alle stabilen metallischen und halbmetallischen Elemente eingeschlossen; instabile, radioaktive Elemente bzw. technisch irrelevante Elemente wurden ausgeschlossen, namentlich die Actinoide (Urangruppe und Transurane), Francium (Alkalimetall), Radium (Erdalkalimetall), Polonium (Sauerstoffgruppe) und Technetium. Einbezogen sind die klassischen Halbmetalle wie Germanium, Arsen, Selen und Tellur.

<sup>5</sup> Für die Platingruppenmetalle und für die seltenen Erden liegen in der Literatur häufig kumulierte Ergebnisse zu den Metallgruppen vor.

Abb. 2-1: Umfang des Metallscreenings in Phase I: Alle Elemente abzüglich der Nichtmetalle und der instabilen Metalle.



2 / 13

## 2.2 Begriffsbestimmung „seltene Metalle“

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff „selten“ genutzt, um eine geringe Häufigkeit eines Objekts im Verhältnis zu anderen Objekten zu beschreiben. Allerdings kann sich die Seltenheit auf verschiedene Eigenschaften bzw. Größen beziehen – mit entsprechend unterschiedlicher Bedeutung.

Es ist demnach charakteristisch, dass diese „Relativierung“ für spezifische Eigenschaften unterschiedlich zu interpretieren ist. Notwendiger Bestandteil der Definition von „selten“ ist „in geringem Umfang vorkommend“, jedoch ist dies nicht hinreichend. Dieser Sachverhalt wird anhand der Verteilung der Elemente in der Erdkruste dargestellt (Tab. 2-1).

Tab. 2-1: Durchschnittliche Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste nach Rutherford (2006); (\*): Hoppe (2011). Die Elemente sind in absteigender Reihenfolge der Häufigkeit angeordnet.

Rang	Name	ppm	Rang	Name	ppm	Rang	Name	ppm	Rang	Name	ppm	
1	Sauerstoff	474.000	25	Cer	68	49	Zinn	2,2	73	Ruthenium	0,0010	
2	Silicium	277.000	26	Kupfer	50	50	Europium	2,1	74	Platin	0,0010	
3	Aluminium	82.000	27	Neodym	38	51	Tantal	2,0	75	Palladium	0,0006	
4	Calcium	41.000	28	Lanthan	32	52	Germanium	1,5	77	Rhenium	0,0004	
5	Eisen	41.000	29	Yttrium	30	53	Molybdän	1,5	78	Rhodium	0,0002	
6	Natrium	23.000	30	Stickstoff	25	54	Holmium	1,4	79	Osmium	0,0001	
7	Magnesium	23.000	31	Lithium	20	55	Argon	1,2	80	Neon	0,00007	
8	Kalium	21.000	32	Cobalt	20	56	Terbium	1,1	81	Krypton	0,00001	
9	Titan	5.600	33	Niob	20	57	Wolfram	1,0	82	Iridium	0,000003	
10	Wasserstoff	1.520	34	Gallium	18	58	Thallium	0,60	83	Xenon	0,000002	
11	Phosphor	1.000	35	Scandium	16	59	Lutetium	0,51	85	Radium	0,0000006	
12	Fluor	950	36	Blei	14	60	Thulium	0,48	86	Promethium	geringe Spuren	
13	Mangan	950	37	Thorium	12	61	Brom	0,37	87	Polonium		
14	Barium	500	38	Bor	10	62	Antimon	0,20	88	Radon		
15	Kohlenstoff	480	39	Praseodym	9,5	63	Iod	0,14	89	Actinium		
16	Strontium	370	40	Samarium	7,9	64	Cadmium	0,11	90	Protactinium		
17	Schwefel	260	41	Gadolinium	7,7	65	Silber	0,07	91	Plutonium		
18	Zirkonium	190	42	Dysprosium	6,0	66	Selen	0,05	92	Astat		
19	Vanadium	160	43	Ytterbium	5,3	67	Quecksilber	0,05	93	Francium		$1 \cdot 10^{-17} (*)$
20	Chlor	130	44	Erbium	3,8	68	Indium	0,0490	94	Neptunium		$4 \cdot 10^{-13} (*)$
21	Chrom	100	45	Hafnium	3,3	69	Bismut	0,0480				
22	Rubidium	90	46	Cäsium	3,0	70	Helium	0,0080				
23	Nickel	80	47	Beryllium	2,6	71	Tellur	0,0050				
24	Zink	75	48	Uran	2,4	72	Gold	0,0011				



In der Natur treten Metalle in Form von Mineralien auf; lediglich die Edelmetalle kommen teils gediegen (in metallischer Form) vor. Unter dem Begriff Mineralien werden über 4.000 Stoffe subsumiert, die durch natürliche, meist anorganische Vorgänge gebildet werden. Die Mineralien bilden damit den Ausgangspunkt der Verhüttung.

Zunächst sollten jedoch Metalle im Sinne des Periodensystems betrachtet werden, einerseits um die Thematik einfacher zu strukturieren, andererseits um der Tatsache gerecht zu werden, dass diese Stoffe in der Produktion und den Endanwendungen überwiegend in metallischer Form genutzt werden. Zwar sind Metalle nach obiger Definition auch Bestandteil von beispielsweise Baustoffen, doch eine Nutzung in mineralischer (nicht-metallischer) Form korreliert in der Regel mit deutlich geringeren relativen Umweltbelastungen.

Das häufigste Metall der Erdkruste<sup>6</sup> ist Aluminium mit 6,5 %, es folgen Natrium (2,6 %), Calcium (1,9 %), Eisen (1,9 %), Magnesium (1,8 %), Kalium (1,4 %) und Titan (0,2 %) (Angaben in Atomprozent) (nach Matthes 1993). Diese acht Metalle bilden damit insgesamt 16,2 % der Erdkruste. Hinsichtlich der Verteilung nach Gewichtsprozenten erhält man größere Anteile der Metalle (verglichen mit der Verteilung nach Atomprozenten)<sup>6</sup>, so dass Aluminium mit 8,1 % das gewichtigste Metall ist und Eisen (5,0 %), Calcium (3,6 %), Natrium (2,8 %), Kalium (2,6 %) und Magnesium (2,1 %) folgen (nach Matthes 1993).

In der Abfolge der Häufigkeit folgen Mangan, Barium Strontium, Zirkonium, Vanadium, Chrom, Rubidium, Nickel, Zink, Cer, Kupfer und einige Seltenerdmetalle. Allerdings erlauben diese Häufigkeiten keine direkten Schlüsse darauf, welche Mengen an diesen Metallen gewonnen werden können, da ihr prozentualer Anteil am Aufbau der Erdkruste keine direkten Aussagen über ihre Konzentration unter bestimmten mineralogischen Bedingungen zulässt. Beispielsweise ist Gold ähnlich selten wie Platin, jedoch ist die Gewinnung von Platin mit ungleich höherem Aufwand als Gold verbunden, unter anderem da es in seinen Vorkommen deutlich geringere Konzentrationen aufweist.

Die Bestimmung des Begriffs „seltene Metalle“ erfordert demnach eine angemessene Diskussion. Die Vielfalt des Begriffs spiegelt sich in den folgenden sieben Kriterien wieder, deren verschiedene Ansätze hinsichtlich Begriffsbestimmung geprüft werden:

---

<sup>6</sup> Sauerstoff und Silizium machen zusammen 84 Atomprozent bzw. 74 Gewichtsprozent der Erdkruste aus.

- Kriterium 1: Reservenmenge: Metalle mit geringen Reserven;
- Kriterium 2: statische Reichweite: Metalle mit geringer statischer Reichweite;
- Kriterium 3: Jährliche Produktionsmenge: Metalle mit geringer Produktionsmenge;
- Kriterium 4: Rohstoffpreis: Metalle mit hohem Preis;
- Kriterium 5: Konzentration der Produktion: Metalle mit hoher geographischer Konzentration der Produktionsländer;
- Kriterium 6: Konzentration der Reserven: Metalle mit hoher geographischer Konzentration der Länder, in denen sich die Reserven befinden;
- Kriterium 7: Feinverteilung von Metallen

In der Literatur und bei verschiedenen Institutionen existieren unterschiedliche Auffassungen darüber, welche Metalle als „selten“ oder „knapp“ zu bezeichnen sind. In diversen Studien werden „seltene Metalle“ (englisch: *rare metals*) zunehmend thematisiert. So hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Jahr 1999 eine Studie herausgegeben mit dem Ziel, die Auswirkung der weltweiten Konzentrierung in der Bergbauproduktion auf die Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft zu untersuchen (BMW i 1999). Hierbei wurden zehn Metallrohstoffe einbezogen, unter anderen auch Kupfer, Niob, Tantal und die seltenen Erden (engl.: *rare earth elements*, REE). Die Studie kommt bei Betrachtung verschiedener Faktoren zu folgendem Schluss: „Die Analyse von zehn ausgewählten Rohstoffmärkten hat gezeigt, dass derzeit mit anhaltenden Versorgungsproblemen auf den Weltmärkten [Lagerstättenvorräte, Produktionskapazitäten] nicht zu rechnen ist“ (BMW i 1999).

Auch nach einer Studie des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung sei eine Knappheit aufgrund begrenzter Reserven und Ressourcen nicht zu befürchten (Matthes und Ziesing 2005). In dieser Studie wurden drei Gruppen von Metallen mit unterschiedlicher Reichweite in Hinblick auf die heute wirtschaftlich gewinnbaren Reserven betrachtet: Metalle mit einer statischen Reichweite von mehr als hundert Jahren (Gruppe 1) gelten demnach als sehr sicher (Eisen, Aluminium, Vanadium). Bei solchen mit einer statischen Reichweite von 40-100 Jahren (Gruppe 2) wie z.B. Chrom, Nickel, Molybdän, Selen und Wolfram ist zu erwarten, dass mit neuen Technologien und höheren Preisen ausreichend gewinnbare Reserven erschlossen werden können. Für Metalle mit einer statischen Reichweite von 10-40 Jahren (Gruppe 3) (Silber, Gold, Arsen, Bor, Cadmium, Kupfer, Indium, Mangan, Blei, Zinn, Strontium, Tantal, Thorium

und Zink) „erscheint die Notwendigkeit der Inanspruchnahme der zusätzlichen Ressourcen absehbar, die nur mit erheblichen technologischen Innovationen und bei deutlich höheren Preisniveaus möglich wird. Insgesamt ist jedoch für keinen der beschriebenen Rohstoffe eine physische Knappheit aus Sicht der Reserven- und Ressourcenverfügbarkeit absehbar“ (Matthes und Ziesing 2005).

Im Gegensatz hierzu stehen Studien über die nachhaltige Nutzung der Ressourcen. Beispielsweise intendiert die vierte Managementregel der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages, dass man sich grundsätzlich über die Zukunft der Ressourcennutzung Gedanken machen soll. Diese Regel lautet – in Anlehnung an Daly: „Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen *geschaffen wird*“ (Enquete-Kommission 1994). Angesichts der bei zahlreichen Metallen nicht ersichtlichen Ausweisung neuer Reserven ist fraglich, ob einige Metalle mittelfristig (wenige Jahrzehnte) ausreichend bergmännisch gewonnen werden können.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass Seltenheit bzw. Knappheit von Stoffen kontextabhängige Größen sind, deren spezifische Bedeutung erst hinsichtlich einer ausreichend ausformulierten Fragestellung konkretisiert wird.

### **2.2.1 Kriterium 1: Reservenmenge**

Die Verfügbarkeit der Metalle wird unter anderem durch den Umfang der Reserven beziehungsweise der Ressourcen beschrieben. Üblicherweise umfassen die Reserven und Ressourcen die zugänglichen Kontinentalzonen, da die mineralogische Prospektion sich bisher vor allem auf diese beschränkt hat und die Rohstoffvorkommen der Antarktis und der Weltmeere nur eingeschränkt einbezogen hat.

Die umfangreichsten Angaben zu Reserven und Ressourcen hat der U.S. Geological Survey veröffentlicht, doch auch andere Geologische Dienste veröffentlichen Angaben hierzu. Der weltweite Abbau von Lagerstätten und die fortwährenden Explorationsaktivitäten bewirken, dass die Größe der Metallreserven in der Regel kontinuierlichen Änderungen unterworfen ist.

#### **Fazit**

Das Kriterium „Reservenmenge“ wird in der Literatur je nach Bewertungsziel unterschiedlich eingeschätzt. Aufgrund der Datenlage ist eine Beurteilung der Reserven mit Unsicherheiten bzw. Lücken behaftet. Für dieses Kriterium spricht jedoch, dass einige Metalle nur in sehr geringem Umfang weltweit vorkommen.

Aufgrund der Datenproblematik sollte dieses Kriterium nach Möglichkeit in Kombination mit weiteren Kriterien verwendet werden.

Festzustellen ist eine sehr große Spannweite der Metallreserven: Jene von Kupfer liegen bei ca. 500 Mio. t, jene von Cadmium bei ca. 500.000 t, und jene von Ruthenium bei ca. 5.000 t. Die Metalle werden entsprechend ihrer Reservenmenge klassifiziert (Tab. 2-1).

Tab. 2-1: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „Reservenmenge“.

	Reserve [t]	Metalle
äußerst geringe Reserve	< 10.000	Osmium, Thallium, Rhenium, Rhodium, Ruthenium
sehr geringe Reserve	< 100.000	Beryllium, Cäsium, Gallium, Gold, Holmium, Indium, Quecksilber, Platingruppenmetalle, Platin, Selen, Tellur, Thulium
geringe Reserve	< 1.000.000	Arsen, Bismut, Cadmium, Europium, Hafnium, Silber, Tantal, Terbium, Yttrium
große Reserve	< 10.000.000	Antimon, Cobalt, Gadolinium, Lanthan, Lithium (Salze), Molybdän, Neodym, Praseodym, Samarium, Strontium, Wolfram, Ytterbium, Zinn
sehr große Reserve	< 100.000.000	Blei, Nickel, Seltene Erden, Vanadium, Zirkonium
größte Reserve	> 100.000.000	Aluminium, Barium (Salze), Calcium, Chrom, Kupfer, Eisen, Kalium (Salze), Magnesium, Mangan, Natrium (Salze), Titan, Zink

Die Reservenmengen sind demnach am geringsten für Osmium, Rhenium, Thallium sowie die Platingruppenmetalle Rhodium und Ruthenium, so dass diese als Metalle mit „äußerst geringen Reserven“ gezählt werden. Metalle mit „sehr geringen Reserven“ sind Cäsium, Indium, Gallium, Beryllium, Tellur, Platin, Holmium, Gold, Quecksilber, die Platingruppenmetalle (als Metallgruppe) sowie Selen und Thulium. Aufgrund der Zuordnung der Platingruppenmetalle zu den Metallen mit „sehr geringen Reserven“ ist es durchaus möglich, dass auch Palladium zu den Metallen mit „sehr oder äußerst geringen Reserven“ zählt. Die weiteren Metalle sind in Tab. 2-2 aufgeführt.

## 2.2.2 Kriterium 2: Statische Reichweite

Die „statische Reichweite“ ist definiert als der Quotient aus Reserve und jährlicher Produktion (Gleichung 1). Sie entspricht der Dauer, wie lange die aktuellen Reserven bei konstanter Produktion auf dem jetzigen Niveau reichen (rein rechnerische Größe).

$$\text{statischeReichweite}[a] = \frac{\text{Metallreserven}[t]}{\text{Metallproduktion}[t/a]} \quad (\text{Gleichung 1})$$



Das Angebot an Rohstoffen verändert sich über die Zeit (siehe Kap. 2.2.1). Ebenso können z.B. neue Einsatzfelder der Metalle zu deutlichen Veränderungen in der Nachfrage führen. Die statische Reichweite ist damit eine zeitabhängige Größe: Durch diese doppelte zeitliche Abhängigkeit der beiden Größen, der Reservenmenge und der jährlichen Produktionsmenge, kann die statische Reichweite innerhalb weniger Jahre deutlich schwanken. Eine systematische Auswertung veröffentlichter Daten zur Reservenmenge und zur Produktionsmenge der Metalle ergibt, dass die statische Reichweite innerhalb der letzten Dekade erheblich variierte. Die folgende Tabelle verdeutlicht dies am Beispiel von Tantal (Tab. 2-2). Es ist ersichtlich, dass der U.S. Geological Survey die Reservenmenge nicht jährlich aktualisiert.

Tab. 2-2 Statische Reichweite von Tantal: Entwicklung von Produktionsmenge, Reservenmenge und statischer Reichweite im Zeitraum 1996-2008 (USGS, diverse Jahrgänge), Das Jahr gibt den Zeitpunkt der Veröffentlichung durch USGS an. Als statische Reichweite für den Gesamtzeitraum (letzte Zeile) wird der Mittelwert der statischen Reichweiten der diversen Jahre angegeben. \* = eigene Annahme bzw. eigene Berechnung.

Jahr	Reservenmenge [t]	Jährliche Produktionsmenge [t]	Statische Reichweite [a]
2008	130.000	1.500*	87*
2007	43.000	1.400	31
2006	43.000	1.400	31
2005	43.000	1.260	34
2004	43.000	1.510	28
2003	39.000	1.210	32
2002	39.000	1.540	25
2001	28.000	1.300	22
2000	12.000	836	14
1999	19.000	495	38
1998	14.000	454	31
1997	15.000	413	36
1996	22.000	383	57
1996-2008	Zunahme um +491 %	Zunahme um +292 %	Ø 36

Seit 1996 ist die Reservenmenge von Tantal kontinuierlich angestiegen, insgesamt um fast 500 %. Dies kann man auf zwei Gründe zurückführen: einerseits die gestiegenen Marktpreise für Tantal, andererseits auf die Ausweitung der Explorationstätigkeit. Allerdings hat sich die statische Reichweite im Mittel des Zeitraums 1996-2008 nicht allzu sehr verändert, da die Verwendung des Metalls ebenso sehr stark angestiegen

ist. Im Jahr 2008 wurden von Brasilien neue große Reserven ausgewiesen, so dass die statische Reichweite sprunghaft auf ca. 87 Jahre angestiegen ist.

Die Definition der statischen Reichweite berücksichtigt definitionsgemäß weder Möglichkeiten verbesserten Recyclings, noch neuartige Methoden der Metallgewinnung (Urban Mining, Seewasserextraktion) oder neue Erkenntnisse aus der Materialforschung (Substitution). Zusätzlich gelten die Einschränkungen zum Kriterium 1 bezüglich der Bestimmung der Reservenmenge, da insbesondere die marinen Lagerstätten nur in geringem Umfang erforscht sind (z.B. Manganknollenfelder, schwarze Raucher). Darüber hinaus führen deutliche Preisanstiege oder neue Extraktionsverfahren (z.B. *Biomining*) dazu, dass auch Lagerstätten mit gering konzentrierten Erzen abgebaut werden können, da der Rohstoffabbau im Wesentlichen durch den Energieaufwand begrenzt wird.

Neben der statischen Reichweite wird gelegentlich auch die dynamische Reichweite der Reserven bzw. Ressourcen angegeben, welche die künftigen Veränderungen der Reservenmenge und der Produktionsmenge berücksichtigt. Diese ist jedoch nur unter weiteren, teilweise schwierig begründbaren Annahmen zu bestimmen. Aus diesem Grund wird die statische Reichweite häufiger als die dynamische verwendet, teilweise unter der Annahme realistischer Wachstumsquoten.

## Fazit

Das Kriterium „statische Reichweite“ wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Inwiefern eine statische Reichweite groß oder gering ist, ist eine subjektive Bewertung. Zudem bildet die statische Reichweite lediglich den aktuellen Wissenstand ab, der sich durch neue technologische Entwicklungen, Abbauverfahren, neu erschlossene Lagerstätten und Substitute relativ kurzfristig verändern kann.

Das Kriterium „statische Reichweite“ könnte dennoch für ein erstes Screening genutzt werden, da es transparent anwendbar ist und Hinweise auf die mittelfristige Dringlichkeit von Exploration gibt.

Die statische Reichweite weist eine große Spannweite auf: Diejenige von Vanadium liegt bei ca. 220 Jahren, von Beryllium bei ca. 120 Jahren, von Niob bei ca. 60 Jahren und von Quecksilber bei ca. 30 Jahren. Die Metalle werden entsprechend ihrer statischen Reichweite wie folgt klassifiziert<sup>7</sup> (Tab. 2-3).

---

<sup>7</sup> Da die Spannweite geringer ist als bei den anderen Kriterien, wird hier nicht die Klasseneinteilung nach der Zehner-Potenz gewählt, sondern eine den Daten angepasste Einteilung nach der Zweier-Potenz.

Tab. 2-3: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „statische Reichweite“ (USGS 2008).

	<b>Statische Reichweite [a]</b>	<b>Metalle</b>
äußerst geringe Reichweite <sup>8</sup>	< 12,5	N/A
sehr geringe Reichweite	< 25	Antimon, Arsen, Barium (Salze), Blei, Cadmium, Chrom, Gold, Indium, Silber, Strontium, Zink, Zinn
geringe Reichweite	< 50	Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Thallium, Wolfram, Zirkon
große Reichweite	< 100	Bismut, Eisen, Niob, Selen, Tantal, Rhenium, Yttrium
sehr große Reichweite	< 200	Cobalt, Beryllium, Titan, Osmium, Platin, Tellur, PGM, Lithium (Salze), Gallium, Rhodium,
größte Reichweite	> 200	Aluminium, Cäsium, Europium, Gadolinium, Hafnium, Holmium, Kalium (Salze), Lanthan, Magnesium, Natrium (Salze), Neodym, Praseodym, Samarium, Seltene Erden, Ruthenium, Terbium, Thulium, Vanadium, Ytterbium

Bezogen auf das Jahr 2007 zählen zu den Metallen mit „sehr geringer Reichweite“ in absteigender Reihenfolge: Strontium (11), Silber (13), Arsen (15), Antimon (16), Gold (17), Zink (17) sowie Zinn (20), Indium (22), Blei (22), Barium (Salze)(24), Chrom (24) und Cadmium (25) (Angabe der Jahre in Klammern hinter den Metallen) (USGS 2008).

### 2.2.3 Kriterium 3: Jährliche Produktionsmenge

Die Metalle unterscheiden sich untereinander sehr nach ihrer Nutzungsweise und -intensität in der Technosphäre. Einige Metalle wie Eisen, Aluminium, Titan, Kupfer, Zink, Zinn und Blei heben sich von den übrigen Metallen durch ihre großen Produktionsmengen ab, daher werden sie häufig als Massenmetalle bezeichnet. Die Spannweite lässt sich wie folgt verdeutlichen: Von allen Metallen wird Eisen im größten Umfang eingesetzt. Seine Produktion betrug im Jahr 2007 weltweit ca. 940 Mio. t (USGS 2008: Iron and Steel). Von anderen Metallen wie z.B. Rhenium wurden in 2007 weltweit nur ca. 50 t produziert (USGS 2008: Rhenium). Die Produktionsmenge der seltenen Erden beträgt 123.000 t. Dies sind einerseits nur ca. 0,01 % der Produktionsmenge von Eisen, andererseits jedoch über das 600fache der Produktionsmenge von Platin (200 t).

<sup>8</sup> Die unterste Grenze bei der statischen Reichweite wird zur Erhöhung der methodischen Konsistenz gegenüber früheren Versionen zu 12,5 Jahren angepasst.

Trotz der Ziele des Gesamtprojekts MaRes, Materialeffizienz und Ressourcenschonung insbesondere in Deutschland zu steigern, wird hier der Einbezug des Kriteriums „globale jährliche Produktionsmenge“ aus zwei Gründen vorgeschlagen. Zum einen werden Metalle grundsätzlich weltweit gehandelt, wodurch „Seltenheit“ bzw. „Verfügbarkeit“ primär global zu verstehen sind. Zum andern ist ein Großteil der Umwelteinflüsse in Bezug auf Metalle außerhalb Deutschlands lokalisiert.

## Fazit

Das Kriterium „jährliche Produktionsmenge“ eignet sich zum Vergleich der Intensität der Nutzung von verschiedenen Metallen. Jedoch sind keine Klassifizierungen der jährlichen Produktionsmenge in der Literatur verbreitet, so dass keine entsprechende Einstufung aus der Literatur abgeleitet werden kann. Die Metalle werden entsprechend ihrer jährlichen Produktionsmenge wie folgt klassifiziert (Tab. 2-4).

Das Kriterium „jährliche Produktionsmenge“ könnte zur Auswahl verwendet werden, da kleine Stoffströme von Metallen häufig in dominanten Stoffströmen aufgehen können, wodurch ihre Rückgewinnung in der Regel erschwert oder gar verhindert wird. Dies gilt jedoch nicht in allen Fällen und bedarf hierfür jeweils einer Einzelfallentscheidung. Als alleiniges Kriterium wird das Kriterium daher als zu unspezifisch eingeschätzt.

Tab. 2-4: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „jährliche Produktionsmenge“

	Jährliche Produktionsmenge [t]	Metalle
äußerst geringe Produktion	< 100	Cäsium, Dysprosium, Europium, Gallium, Germanium, Hafnium, Holmium, Iridium, Osmium, Rhenium, Rhodium, Ruthenium, Scandium, Terbium, Thallium, Thulium, Ytterbium
sehr geringe Produktion	< 1.000	Beryllium, Erbium, Gadolinium, Indium, Palladium, Platin, Platingruppenmetalle, Tellur
geringe Produktion	< 10.000	Bismut, Gold, Lanthan, Neodym, Praseodym, Quecksilber, Samarium, Selen, Tantal, Yttrium
große Produktion	< 100.000	Arsen, Cadmium, Cer, Cobalt, Lithium, Niob, Silber, Vanadium, Wolfram
sehr große Produktion	< 1.000.000	Antimon, Molybdän, Seltene Erden, Strontium, Yttrium, Zinn, Zirkon
größte Produktion	> 1.000.000	Aluminium, Barium (Salze), Blei, Calcium (Oxid), Chrom, Eisen, Kalium (Salze), Kupfer, Magnesium, Mangan, Natrium (Salze), Nickel, Titan, Zink,

Hinsichtlich der Produktionsdaten gehören zu den Metallen mit „äußerst geringer Produktion“ Cäsium, Gallium, Germanium, Hafnium, Iridium, Osmium, Thallium,

Scandium, Ruthenium, Rhodium und Rhenium. Auch die Produktionsmengen der Lanthaniden Dysprosium, Europium, Holmium, Thulium, Terbium und Ytterbium liegen bei geschätzten 100 t pro Jahr und somit zählen auch sie zu den Metallen mit „äußerst geringer Produktion“; allerdings liegen für einige von ihnen deutlich unterschiedliche Schätzungen vor (Hafnium, Holmium, Scandium, Thulium, Terbium und Ytterbium). Zu den Metallen mit „sehr geringer Produktion“ zählen Beryllium, Erbium, Gadolinium, Indium, Platin, Palladium, die Platingruppenmetalle, Tellur und Samarium (letzteres wird zu 630 t bis 1.800 t angegeben).

#### **2.2.4 Kriterium 4: Rohstoffpreis und Rohstoffpreisentwicklung**

Der Preis von Rohstoffen spiegelt das Verhältnis von Angebot und Nachfrage wider: Ein geringes Angebot in Kombination mit hoher Nachfrage bewirkt infolge Verknappung des Rohstoffs hohe Preise. Knappe Güter sind daher im Allgemeinen durch höhere Preise gekennzeichnet – bei funktionierenden Marktmechanismen.

Ein stark steigender Preis signalisiert zudem, dass das Verhältnis Nachfrage gegenüber dem Angebot übermäßig steigt, z.B. durch eine verstärkte Nutzung in bisherigen Anwendungsfeldern oder durch die Nutzung des Metalls in neuen Anwendungsfeldern. Auch kurz- bzw. mittelfristige Knappheit könnte somit durch steigende Preise signalisiert werden.

Insgesamt sind die Rohstoffpreise von Metallen in den letzten Jahren stark angestiegen. So erhöhte sich der Gesamtpreisindex für mineralische Rohstoffe auf US\$-Basis im Zeitraum 2001/2002-2005 (Durchschnitt von 2001/2002) von 90 auf ca. 145 (Bleischwitz 2006). Langfristig betrachtet sind auf dem Rohstoffmarkt für einige Metalle fallende Preise zu verzeichnen (Reynolds 1999, Tilton 2003).

Im Allgemeinen sind die Metallpreise aus verschiedenen Gründen relativ großen kurz- bis mittelfristigen Schwankungen unterworfen. Im Folgenden soll – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – ein Überblick über die Diversität von Einflussfaktoren dargestellt werden:

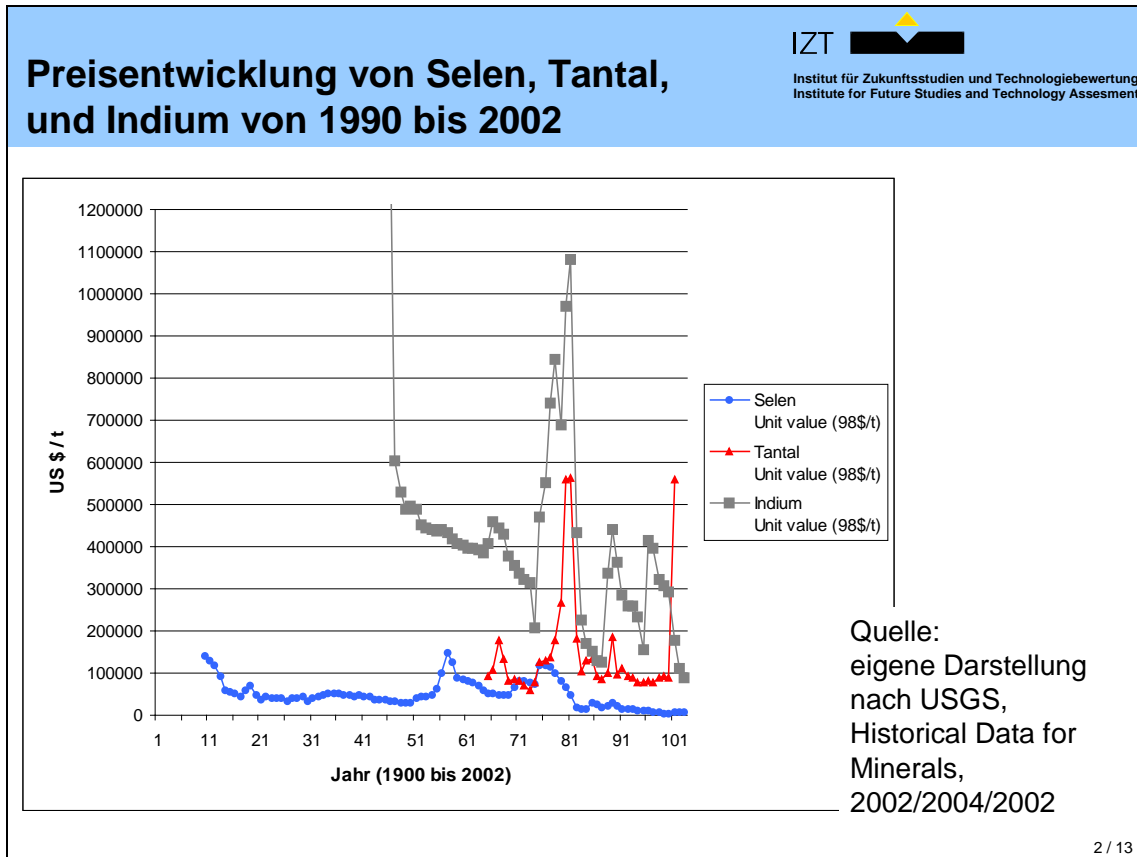
- Bergbau ist mit sehr hohen und langfristig gebundenen Investitionen verbunden, weshalb Bergbaukonzerne im Gegensatz zu Produktherstellern in längeren Zeiträumen kalkulieren und agieren. Zudem können Erkenntnisse der Materialforschung dazu führen, dass neue Anwendungsfelder von bestimmten Metallen relativ rasch in der Produktherstellung erschlossen werden. Somit können neue Märkte für die Metalle sehr rasch wachsen oder auch versiegen, beispielsweise bewirkt der Ersatz von Röhrenbildschirmen durch Flachbildschirme eine rasch ansteigenden Einsatz von Indiumzinnoxid und eine rasch sinkende Nachfrage an Bleioxid. Im angegebenen Beispiel wird die Nachfrage zusätzlich

erhöht durch gesellschaftliche Trends, durch die Geräte mit Flachbildschirmen zu sogenannten Massenkonsumgütern werden (z.B. internetfähige Handys, Navigationsgeräte).

- „Künftige Gewinne“, die dann zu erzielen wären, wenn die Metallpreise in Zukunft steigen würden und die Metalle erst in dieser Zukunft verkauft würden, sind ein typischer preisgestaltender Faktor im Bergbau. Ein relativ komplizierter Preisbildungsmechanismus sorgt dann am Markt dafür, dass künftig erwartete Verknappungen bereits heute auf den Preis durchschlagen (Bleischwitz 2006). In anderen Produktionsprozessen ist dieser Effekt nicht derart existent.
- Diverse Instrumente des Börsenhandels sind ein wichtiger Faktor für rasche Preisschwankungen (vgl. Schulmeister et al. 2008). So sind eine Vielzahl von Handelsinstrumenten – vereinfacht ausgedrückt – Wetten auf Preisentwicklungen (Spekulationen). Diese spiegeln nur bedingt die realen Marktverhältnisse von Preisen in unmittelbaren Käufer-Verkäufer-Beziehungen wider und können auch durch gezielte An- und Verkäufe von Aktieninstrumenten mehr oder weniger gesteuert werden (vgl. FAZ 2004).
- Teile des Metallmarktes werden durch fixe Preise über einen bestimmten Zeitraum zwischen den Minenproduzenten und den Metallherstellern vereinbart, so dass die Preisbildung am Spotmarkt nicht unbedingt mit Handelspreisen zu vergleichen ist.

Die Folge dieses komplexen Gemenges an Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren sind relativ schwer erklärbare und kaum vorhersagbare Preisverläufe. In der folgenden Abbildung sind exemplarisch die Preisverläufe für einige, aktuell für die EuE-Industrie wichtige Metalle aufgeführt (Selen, Tantal, Indium, Niob und Kupfer). Die Preise sind in konstanten US\$ mit Basisjahr 1998 ausgewiesen. Für Selen und Kupfer reichen die Daten bis 1900 zurück, für Indium bis 1930, für Tantal und Niob bis 1964.

Abb. 2-2: Preisentwicklung von Selen, Tantal und Indium im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Angaben in konstanten US\$ pro Tonne (1998 = 100). Quelle: Eigene graphische Darstellung nach USGS Historical Statistics: Selenium/2004, Tantalum/2002, Indium/2004. Anmerkung: Die Preise sind auf den US-amerikanischen Markt bezogen.

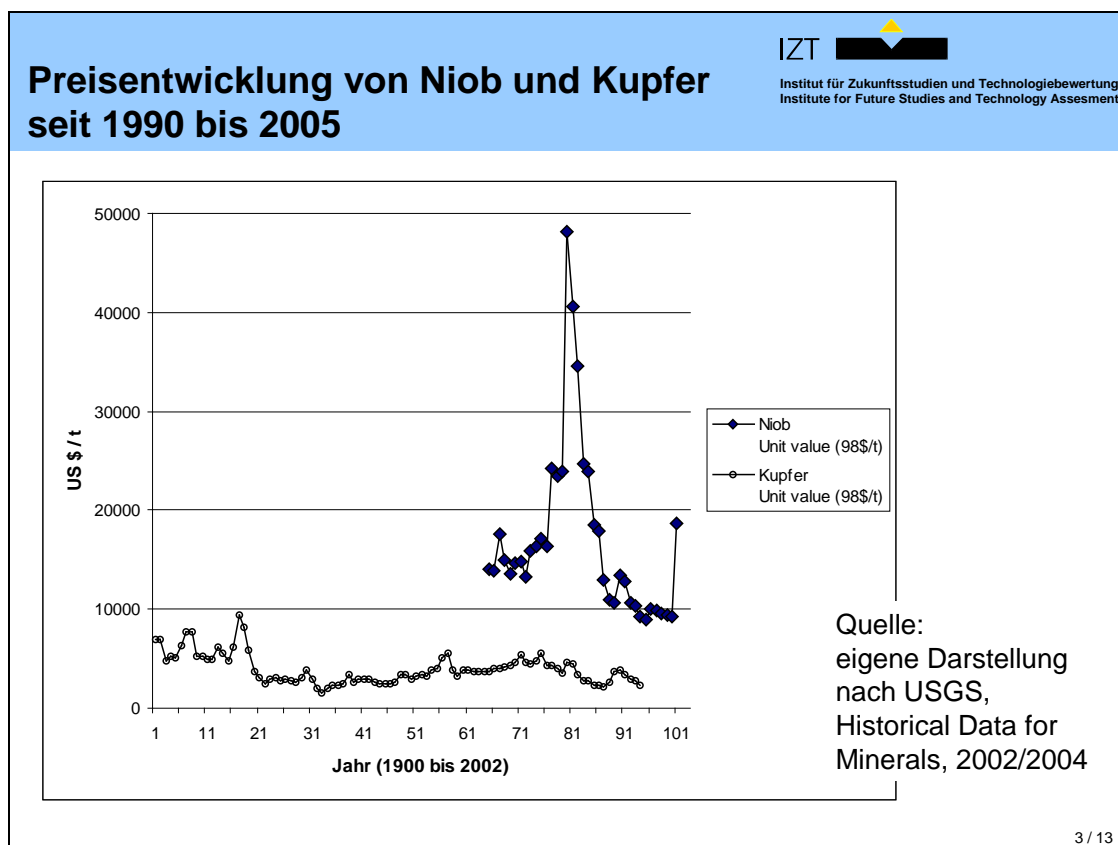


Bei Betrachtung der Abbildungen 2-2 und 2-3 wird deutlich, dass über nahezu ein Jahrhundert der Preis für Kupfer relativ stabil war. Der Preis für Selen weist einige extreme Peaks auf, ist jedoch insgesamt gefallen. Niob hingegen hatte eine sehr hohe Preisspitze um ca. 1980 und fiel dann erneut auf sein mittelfristige Preisniveau; im Jahr 2000 stieg sein Preis analog zu jenem von Tantal erneut auf ein höheres Niveau, da auch Niob für die Kondensatorenherstellung genutzt wird. Auf Basis der Daten des U. S. Geological Surveys zeigt der Verlauf der Rohstoffpreise von Tantal und Indium sehr große Schwankungen. Ursache für den Peak von Tantal in 2000 war eine sehr hohe Nachfrage nach Tantalkondensatoren bei gleichzeitigen Lieferschwierigkeiten der Hersteller (Bleischwitz 2006).

Eine Schwäche des Kriteriums „Rohstoffpreis“ lässt sich an der Preisentwicklung von Indium verdeutlichen, welches für mehrere unterschiedliche Zwecke genutzt wird. Indium wird als Koppelprodukt aus Schlacken von Zink-, Zinn-, Blei- und Kupfererzen

gewonnen (vgl. Teil II, Kap. III) und es gibt somit keine Minen mit Indium als Hauptprodukt. Das Angebot richtet sich demnach nicht in erster Linie nach der Nachfrage, sondern den Produktionsmengen der Hauptprodukte Zink, Zinn, Blei und Kupfer, bei deren Produktion es als Nebenprodukt anfällt. Dies lässt bei derartigen Kuppelprodukten des Bergbaus signifikante Ausschläge erklären.

Abb. 2-3: Preisentwicklung von Niob und Kupfer im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Angaben in konstanten US\$ pro Tonne (1998 = 100). Quelle: Eigene graphische Darstellung nach USGS Historical Statistics: Columbinum/2002, Copper/2004. Anmerkung: Die Preise sind auf den US-amerikanischen Markt bezogen.



Ein weiteres Argument in der wirtschaftlichen Diskussion sind die aktuell gestiegenen Rohstoffpreise, die von Unternehmen und Verbänden beklagt werden. In der Diskussion werden Steigerungen von Rohstoffpreisen im höheren zweistelligen Prozentbereich genannt. Dabei ist unklar, inwiefern die Rohstoffkosten von den Lohn- und Finanzkosten tatsächlich getrennt betrachtet werden. Beispielsweise enthält ein Handy ca. 10 g Kupfer (Hagelüken 2007), was einem Wert von nur ca. 7,2 US-Cent entspricht. Selbst wenn ein Handy ca. 0,1 g Gold enthält, so entspräche dies nur einem Wert von 2,2 US\$. Weiterhin ist der Metallwert (Wertstoffgehalt) für die weitaus meisten Produkte nur gering im Verhältnis zu den Produktionskosten, die vor allem



durch die Lohnkosten geprägt sind. Es ist diesbezüglich zu prüfen, ob in dieser Diskussion tatsächlich nur die Materialkosten berücksichtigt werden oder die Zulieferungen der langen Vorketten schlicht unter „Materialkosten“ zusammengefasst werden. Angesichts der Diskussion der letzten Jahrzehnte über die Lohnnebenkosten erscheint es nicht plausibel, dass die Rohstoffkosten nunmehr so deutlich ins Gewicht fallen. Tab. 2-5 zeigt, dass die Rohstoffkosten im Zeitraum 2004-2007 für eine Vielzahl betrachteter Metalle zwischen 10 % und 100 % gestiegen sind (im Falle von Arsen noch mehr), allerdings ist es möglich, dass dies auf die steigenden Energiepreise zurückzuführen ist, da die Metallurgie mit hohen Energieaufwendungen verbunden ist.

Trotz der zuvor beschriebenen allgemeinen Trends ist die Preisentwicklung eine metallspezifische Größe – gerade aufgrund der oben genannten verschiedenen Einflussfaktoren. Dies lässt sich anhand der vom USGS für zahlreiche Metalle aufgeführten Jahresdurchschnittspreise bzw. Jahresendpreise aufzeigen (Tab. 2-5).

Tab. 2-5: Entwicklung von Metallpreisen für den Zeitraum 2004-2007; Preise 2007 sind geschätzt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Preise wurden die originalen Preisangaben mit Mengenbezugsgrösse (angegeben auf Englisch) umgerechnet in Preise pro Kilogramm. Quelle: USGS (2008).

Metalle	Preis [US\$ pro Referenzeinheit]		Referenzeinheit	Preis [US\$/kg]		Veränderung im Zeitraum 2004-2007	Anmerkung
	2004	2007		2004	2007		
Aluminium	84,00	125,00	US cent per pound	1,85	2,76	+49 %	
Aluminium	22,00	27,00	US\$ per tonne	0,02	0,03	+23 %	bezogen auf Aluminiumoxid
Antimon	130,00	259,00	US cent per pound	2,87	5,71	+99 %	
Arsen	88,00	130,00	US cent per pound	1,94	2,87	+48 %	bezogen auf metallisches Arsen
Arsen	49,00	25,00	US cent per pound	1,08	0,55	-49 %	bezogen auf Arsenoxid; China
Barium	35,10	40,00	US\$ per tonne	0,04	0,04	+14 %	bezogen auf Bariumsulfat; Preis ab Mine
Beryllium	125,00	141,00	US cent per pound	2,76	3,11	+13 %	bezogen auf Be-Cu-Legierung (4% Berylliumgehalt)
Bismut	3,30	13,70	US\$ per pound	7,28	30,20	+315 %	
Blei	40,20	109,00	US cent per pound	0,89	2,40	+171 %	LME-Preis
Cadmium	1,20	8,20	US\$ per kilogram	1,20	8,20	+583 %	LME Preis
Calcium	64,80	84,00	US\$ per tonne	0,06	0,08	+30 %	Calciumoxid, Branntkalkhydrat
Cäsium	N/A	558,00	US\$ per 50 grams	N/A	11.160	N/A	bezogen auf reines Cäsium (99,8 %); Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Chrom	1.322	1.555	US\$ per tonne	1,32	1,56	+18 %	bezogen auf Ferrochrom; Preis pro Tonne gerundet auf ganze US\$
Chrom	5.823	7.859	US\$ per tonne	5,82	7,86	+35 %	bezogen auf metallisches Chrom; Preis pro Tonne gerundet auf ganze US\$
Cobalt	23,90	30,20	US\$ per pound	52,69	66,58	+26 %	bezogen auf Kathoden-Cobalt
Gallium	550,00	460,00	US\$ per kilogram	550,00	460,00	-16 %	bezogen auf hochreines Gallium
Germanium	600	1.240	US\$ per kilogram	600	1.240	+107 %	bezogen auf raffiniertes Germanium; Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Gold	411,00	675,00	US\$ per troy ounce	13.214	21.702	+64 %	Preis pro Kilogramm gerundet auf Euro

Metalle	Preis [US\$ pro Referenzeinheit]		Referenzeinheit	Preis [US\$/kg]		Veränderung im Zeitraum 2004-2007	Anmerkung
	2004	2007		2004	2007		
Hafnium	223,00	232,00	US\$ per kilogram	223,00	232,00	+4 %	
Indium	643,00	795,00	US\$ per kilogram	643,00	795,00	+24 %	bezogen auf hochreines Indium
Iridium	185,00	440,00	US\$, per troy ounce	5.948	14.147	+138 %	Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Kalium	200,00	390,00	US\$ per ton	0,20	0,39	+95 %	bezogen auf Kaliumoxid; Preisangabe: f.o.b. ab Mine
Kupfer	130,00	329,00	US cent per pound	2,87	7,25	+153 %	LME Preis, bezogen auf hochreines Kupfer
Mangan*	2,90	3,30	US\$ per ton ore	0,01	0,01	+14 %	umgerechnet auf das Metall Mangan (Faktor 0,47)
Molybdän	36,70	64,70	US\$ per kilogram	36,70	64,70	+76 %	
Natrium	117,00	177,00	US\$ per short ton	128,97	195,11	+51 %	bezogen auf Natriumcarbonat; Preisangabe: f.o.b. (Mittelwert div. f.o.b.)
Natrium	114,00	134,00	US\$ per short ton	125,66	147,71	+18 %	bezogen auf Natriumsulfat
Nickel	13,80	37,70	US\$ per ton	0,01	0,04	+173 %	LME Preis
Niob	6,57	N/A	US\$ per pound	14,48	N/A	-23 %	Preis für Ferroniob
Palladium	233,00	360,00	US\$ per troy ounce	7491	11.574	+55 %	Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Platin	849,00	1.260,00	US\$ per troy ounce	27.296	40.511	+48 %	Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Osmium	N/A	380,00	US\$ per troy ounce	N/A	12.217	N/A	Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$; Bezugsjahr: 2008; Quelle: www.taxfree.gold
Quecksilber	400,00	550,00	US\$ per flask	11,60	15,95	+38 %	
REE	4,10	4,10	US\$ per kilogram	4,10	4,10	0 %	bezogen auf Bastnäsit-Konzentrat
Rhenium	1.090	1.330	US\$ per kilogram	1090,00	1330,00	+22 %	bezogen auf Metallpulver; Preis pro Troy-Unze gerundet auf ganze US\$
Rhodium	983	6.060	US\$ per troy ounce	31.605	194.837	+516 %	Preis pro Troy-Unze/Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Rubidium	N/A	1.118	US\$ per 100 grams	N/A	11.180		Preis pro 100 g/Kilogramm gerundet auf ganze US\$; Bem.: Metall wird nicht gehandelt
Ruthenium	64,00	610,00	US\$ per troy ounce	2058	19.612	+853 %	Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$

Metalle	Preis [US\$ pro Referenzeinheit]		Referenzeinheit	Preis [US\$/kg]		Veränderung im Zeitraum 2004-2007	Anmerkung
	2004	2007		2004	2007		
Scandium	124,00	131,00	US\$ per gram	124.000	131.000	+6 %	bezogen auf reines Metall; Preis pro Kilogramm gerundet auf ganze US\$
Selen	24,90	33,00	US\$ per pound	54,89	72,75	+33 %	bezogen auf raffiniertes Selen; Preis 100 p lot
Silber	6,70	13,40	US\$ per troy ounce	215,41	430,83	+100 %	
Strontium	53,00	68,00	US\$ per ton	0,05	0,07	+28 %	Preisangabe: f.o.b. Port of Exportation
Tantal	30,00	36,00	US\$ per pound Ta <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75,16	90,19	+20 %	umgerechnet auf das Metall Tantal (Faktor 0,88)
Tellur	13,00	80,00	US\$ per kilogram	13,00	80,00	+515 %	
Thallium	1.600	4.560	US\$ per kilogram	1600	4.560	+185 %	Preis gerundet auf Euro
Titan	8,50	16,00	US\$ per kilogram	8,50	16,00	+88 %	bezogen auf Titanschwamm
Titandioxid	455,00	488,00	US\$ per ton	0,46	0,49	+7 %	bezogen auf Titandioxid (95 %); Preisangabe: f.o.b. Australien
Vanadium	6,00	7,40	US\$ per pound V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23,62	29,13	+23 %	umgerechnet auf das Metall Vanadium (Faktor 0,56)
Wolfram	49,00	190,00	US\$ per mtu WO <sub>3</sub>	6,18	23,96	+288 %	mtu: <i>metric ton unit</i> (7,93 kg Wolfram)
Yttrium	96,00	111,00	US\$ per kilogram	96,00	111,00	+16 %	Bezugsjahr 2007 (Jahresmittelwert)
Zink	47,50	151,00	US cent per pound	1,05	3,33	+218 %	LME-Preis
Zinn	222,00	628,00	US cent per pound	4,89	13,84	+183 %	LME-Preis
Zirkon	31,00	25,00	US\$ per kilogram	31,00	25,00	-19 %	bezogen auf Rohmetall
Zirkon	557,00	840,00	US\$ per ton	0,56	0,84	+51 %	bezogen auf Zirkonoxid

## Fazit

Gemäß Tab. 2-5 sind die teuersten Metalle Rhodium und Scandium mit Preisen pro Kilogramm von ca. 195.000 US\$ beziehungsweise 131.000 US\$. Im Verhältnis dazu sind Platin mit ca. 40.000 US\$, Gold mit ca. 22.000 US\$, Ruthenium mit ca. 20.000 US\$ und Iridium mit ca. 14.000 US\$ deutlich günstiger. Die Preise pro Kilogramm von Cäsium, Rubidium, Palladium und Osmium liegen zwischen 11.200 US\$

und 12.200 US\$. Auch Germanium, Rhenium und Thallium zählen mit mehr als 1.000 US\$ pro Kilogramm zu den teuren Metallen (alle Angaben bezogen auf 2007).

Betrachtet man die Preissteigerungen im Zeitraum 2004-2007, so sind die Preise für Arsen, Niob, Zirkon und Gallium entgegen dem allgemeinen Trend gefallen. Zahlreiche Metallpreise sind nur moderat gestiegen (zwischen 0 % und 20 %). Preissteigerungen von mehr als 100 % weisen Silber, Germanium, Iridium, Kupfer, Blei, Nickel, Zinn und Thallium auf, Zink und Wolfram Preissteigerungen von mehr als 200 %, Bismut sogar Preissteigerungen von mehr als 300 %. Die höchsten Preissteigerungen weisen Tellur, Rhodium und Cadmium (mehr als 500 %) sowie Ruthenium (850 %) auf.

Es ist festzuhalten, dass weder hohe absolute Preise, noch starke jährliche Preissteigerungen hinreichende Kriterien zur Bestimmung der „Seltenheit“ von Metallen sind. Über längere Zeiträume betrachtet können die Metallpreise stark schwanken. Derartige Schwankungen der Rohstoffpreise reflektieren jedoch die kurzfristige Marktverfügbarkeit bzw. deren Einschätzung, wie dies beispielsweise in der aktuellen Rohstoffbaisse deutlich wird. Daher wird vorgeschlagen, dass der Metallpreis nicht oder lediglich ergänzend in Kombination mit anderen Kriterien zur Auswahl beitragen soll.

### **2.2.5 Kriterien 5 und 6: Geographische Konzentration der globalen Reserven und der globalen Primärproduktion**

Seit einiger Zeit wird in Politik und Wissenschaft die Ressourcenpolitik nicht mehr ausschließlich aus der Umweltperspektive, sondern zunehmend auch der volkswirtschaftlichen Perspektive diskutiert. Bereits 1999 ließ das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) eine Studie zu den Auswirkungen der weltweiten Konzentrierung der Bergbauproduktion auf die Rohstoffversorgung in der deutschen Wirtschaft verfassen (BMWi 1999). In dem Bericht wird das Risiko des Versorgungsausfalls für zehn Metalle, die als Legierungselement in der Stahlindustrie genutzt werden, unter Zuhilfenahme von politisch-wirtschaftlichen und wettbewerblichen Kriterien differenziert bewertet. Von Bedeutung hierbei ist – angesichts der zumeist marktwirtschaftlich orientierten Bergbaukonzerne – dass auch die jeweilige politische Situation im Abbauand in die Bewertung eingeflossen ist. Als Kriterien zur Bewertung des Ausfallrisikos wurden hierzu folgende Risiken aufgenommen (Tab. 2-6).

Obwohl die Studie darlegt, dass keine anhaltenden Versorgungsprobleme auf den Weltmärkten zu erwarten sind, existieren Risiken eines kurz- und mittelfristigen Versorgungsausfalls. Die größten derartigen Risiken sind für Niob, Wolfram, Vanadium und den Seltenen Erden gesehen worden (BMWi 1999). Die Gründe für die hohen Risiken von Wolfram und den seltenen Erden liegen vor allem auf der Angebotsseite, da diese Metalle überwiegend in China gewonnen werden und zudem China auch die größten ausgewiesenen Reserven besitzt. Nahezu die gesamten Reserven von

Vanadium liegen in China, Russland und Südafrika, die auch die alleinigen Produzenten des Metalls sind. Niob hingegen wurde zum Zeitpunkt der Studie zu gut drei Vierteln von einem einzigen brasilianischen Unternehmen gewonnen, während sich der größte Teil der bekannten Reserven in Brasilien befindet. Zudem wird die politisch-wirtschaftliche Situation Brasiliens in der Studie als problematisch eingeschätzt, weshalb Niob zu den risikobehafteten Elementen gezählt wurde (BMW 1999).

Tab. 2-6: Kriterien zur Bewertung von Risiken eines Versorgungsausfalls (BMW 1999)

Politisch-wirtschaftliches Risiko	Wettbewerbliches Risiko
Konzentration der Vorräte	Marktstruktur
Konzentration der Exporte	Wettbewerb/Angebotsseite (Intensität, Zutritts-schranken, Angebotsflexibilität, Preisbildung)
Konzentration der Produktion	Nachfrageseite (Nachfragemacht, Möglichkeit der Substitution, Preiselastizität)
Anteil der Sekundärmetallproduktion (Korrekturfaktor)	

In einer im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit erstellten Studie wurden die rohstoffwirtschaftliche Situation und rohstoffpolitische Handlungsoptionen untersucht (BMW 2005). Hier standen die Liefer- und Wertschöpfungsketten im Mittelpunkt der Betrachtung. Untersucht wurden Eisen und Stahlveredler, NE-Metalle, Edelmetalle, Sondermetalle und einige Nichtmetalle<sup>9</sup>. Für jeden Stoff wurden sogenannte rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe mit den Rubriken Verwendung, Angebot, Nachfrage, Preisentwicklung, Recyclingrate und Substitutionsmöglichkeit erstellt<sup>10</sup>, sowie partiell die Sensibilität der Liefer- und Wertschöpfungskette hinsichtlich eines Versorgungsausfalls, die strategische Bedeutung der Metalle und zusätzliche Sonderprobleme betrachtet (BGR 2005). Diese Studie kommt zu dem Schluss, dass zahlreiche Sensibilitäten in der Liefer- und Wertschöpfungskette vorhanden sind und somit Einfluss auf die deutsche Industrie erhalten können. Die in der Studie herausgearbeiteten Sensibilitäten beziehen sich vor allem auf die Herkunft der metallischen Rohstoffe sowie die Lokalisierung der Verarbeitung bzw. Produktion der

<sup>9</sup> Die untersuchten Metalle umfassen Silber, Aluminium, Gold, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Eisen, Lithium, Magnesium, Mangan, Molybdän, Niob, Nickel, Blei, Palladium, Platin, Rhodium, Zinn, Tantal, Titan, Wolfram, Zink und Zirkon.

<sup>10</sup> Allerdings liegen diese Daten nicht für jeden der Stoffe vor, vgl. BGR (2005).

Metalle. Potenzielle Risiken liegen in Ländern, die teilweise politisch instabil sind oder die nicht uneingeschränkt einen freien Metallhandel zulassen<sup>11</sup>.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist der Nachfragesog der BRIC-Staaten<sup>12</sup>, das sind Brasilien, Russland, Indien und China in Bezug auf Eisen und die Stahlveredler, die Platingruppenmetalle, sowie Magnesium und Zirkon. Bei den Platingruppenmetallen, Magnesium, Niob, Tantal und Wolfram treten Konzentrationen der Produktionskapazitäten hinzu. Insgesamt gibt es jedoch nach Auffassung der Herausgeber dieser Studie hinsichtlich der geographischen und/oder unternehmerischen Konzentration für die betrachteten Metalle keinen Anlass zu Befürchtungen hinsichtlich eines Versorgungsausfalls (BMWA 2005).

Mit der langfristigen Versorgungssicherheit Deutschlands in Bezug auf mineralische Rohstoffe und Industriemineralien befasste sich der Bericht des BMWi „Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen“ (BMW 2005). Zu diesem Zweck werden Angebots- und Nachfragetrends für ausgewählte Metalle beschrieben und die Rohstoffnachfrage Deutschlands und seine Abhängigkeit von Rohstoffimporten diskutiert. Daraus werden Politikempfehlungen abgeleitet, um die langfristige Versorgungssicherheit sicherstellen zu können. Kritisch in Bezug auf die Versorgungssicherheit werden jene Rohstoffe eingestuft, deren Förderung sich auf einige wenige Länder der Welt konzentriert und die darüber hinaus als politisch und wirtschaftlich instabil gelten.

In dieser Untersuchung zur Auswahl von möglichen seltenen Metallen werden länderbezogene Daten zur Produktion<sup>13</sup> und zu den Reserven erfasst (vgl. Anhang 1). Ziel dieser Analyse ist die Bestimmung der Metalle, deren Produktion oder deren Vorkommen auf wenige Herkunftsländer konzentriert sind. Hierzu wurden die Daten zur Produktion und zu den Reserven vom U.S. Geological Survey übernommen (USGS 2008, vgl. Anhang 1). Die Daten zur Produktion beziehen sich auf die vorläufigen Werte für 2007; die Daten zu den Reserven sind fortentwickelte Daten, jedoch nicht auf ein bestimmtes Stichjahr bezogen. Die länderbezogenen Daten wurden anschließend auf die Summe der Daten aller Herkunftsländer bezogen und damit der jeweilige Anteil an der globalen Produktion bzw. den Reserven ermittelt.

Für insgesamt 42 Metalle bzw. metallische Rohstoffe und für die Seltenerdmetalle konnte eine Datenanalyse durchgeführt werden. Bei manchen Metallen wie

---

<sup>11</sup> In jenen Ländern kommt eine starke politische Einflussnahme auf den Metallhandel aufgrund volkswirtschaftlicher Erwägungen vor.

<sup>12</sup> Die BRIC-Staatengruppe besteht aus Brasilien, Russland, Indien und China.

<sup>13</sup> Hierbei ist zu bedenken, dass nicht alle Metalle auch in allen Ländern, in denen sie abgebaut werden, hergestellt werden können.

beispielsweise Barium, Calcium, Natrium, Kalium und Magnesium lagen Daten nur zu ausgewählten Mineralien vor. Darüber hinaus lagen neben den Daten zur Produktion von Aluminium, Eisen und Stahl sowie Titan auch die Daten zu deren Oxiden vor. Für einige Metalle, die nur in geringem Umfang genutzt bzw. nicht frei gehandelt werden, ist die Datenlage nicht zufriedenstellend (Cäsium, Gallium). Seit einiger Zeit greift zudem eine Veröffentlichungssperre für amerikanische Firmen in Bezug auf bestimmte Produktionsdaten, weshalb die US-amerikanische Produktion teilweise in der globalen Produktion bzw. Reserve fehlen.

Die Metalle werden entsprechend ihrer geographischen Konzentration wie folgt klassifiziert, um Besonderheiten der Konzentration von Produktion und Reserven offenzulegen (Tab. 2-7).

Tab. 2-7: Klassifizierung der Metalle mithilfe der Kriterien „geographische Konzentration der Produktion“ bzw. „geographische Konzentration der Reserven“

	Konzentration der Produktion	Konzentration der Reserven
äußerst hohe Konzentration	> 75 % in 1 Land	> 75 % in 1 Land
sehr hohe Konzentration	> 90 % in 2-3 Ländern	> 90 % in 2-3 Ländern
hohe Konzentration	> 50 % in 1 Land	> 50 % in 1 Land
erhöhte Konzentration	> 50 % in 2 Ländern	> 50 % in 2 Ländern
schwach erhöhte Konzentration	> 50 % in 3 Ländern	> 50 % in 3 Ländern
keine Besonderheiten	Verteilung der Produktion auf viele Länder	Verteilung der Reserven auf viele Länder
mangelhafte Datenlage	fehlende Daten der Produktionsverteilung	fehlende Daten der Reservenverteilung

## Ergebnisse

Die vorliegenden Daten wurden hinsichtlich der geographischen Konzentration der Produktion und derjenigen der Reserven analysiert und entsprechend den in Tab. 2-7 genannten Klassen klassiert (Tab. 2-8).



Tab. 2-8: Geographische Konzentration der Produktion und der Reserven (ohne Berücksichtigung von Sekundärressourcen). Für Arsen, Barium, Calcium, Kalium, Lithium, Magnesium, Natrium wurden die relevanten Salze betrachtet und nicht die Metalle, die überwiegend in sehr geringen Mengen produziert werden (vgl. Anhang 1).

Kriterium	Produktion	Reserven
äußerst hohe Konzentration	Be, Nb, Pt, Sb, REE, W, Y	Bi, Nb, PGM
sehr hohe Konzentration	Bi, Hg, Pd, Te, V, Zr	Cr, Li (Salze), Ta, V
hohe Konzentration	As (Oxid), Bi, Ba (Sulfat), Ca (Oxid), Hg, Ta, Te	Cr, In, K (Oxid), Li (Salz), Ta, W
erhöhte Konzentration	Al (Erz), Cr, Fe (Erz und Metall), In, K (Oxid), Li (Salz), Mg, Mo, Pb, Re, Se, Sr, Ti (Erz und Metall), Sn	Al, Co, Ba (Salz), Hf, Mg, Mn, Mo, Sb, REE, Ti, Zr
schwach erhöhte Konzentration	Al (Metall), Co, Mn, Zn	Ni, Pb, Sn, Y, Zn
keine Besonderheiten	Cd, Au, Cu, Na (Salze), Ni, Ag, Ti	Au, Ag, Ca (Carbonat), Cd, Fe, Cu, Na (Salze), Se, Ti, Tl, Te
mangelhafte Datenlage	Ca (Metall), Cs, Ce, Dy, Er, Eu, Ga, Ge, Gd, Hf, Ho, Ir, K (Metall), La, Li (Metall), Lu, Na (Metall), Nd, Os, Pr, Pm, Rh, Rb, Ru, Sm, Sc, Tb, Tm, Yb	As, Be, Cs, Ce, Dy, Er, Eu, Ga, Ge, Gd, Hg, Ho, Ir, La, Lu, Nd, Os, Pd, Pt, Pr, Pm, Rb, Re, Rh, Ru, Sa, Sc, Sr, Tb, Tm, Yb

Hinsichtlich der geographischen Konzentrationen zeigt sich folgende Situation:

- Die globale Produktion der Metalle Antimon, Beryllium, Niob, Platin, seltene Erden, Yttrium und Wolfram ist jeweils zu über 75 % auf ein einzelnes Land konzentriert („äußerst hohe Konzentration“). Sie ist für die Metalle Palladium, Quecksilber, Tantal, Tellur, Vanadium, Bismut und Zirkon jeweils zu über 90 % auf bis zu drei Länder konzentriert („sehr hohe Konzentration“). Bei Arsentrioxid, Bariumsulfat, Calciumoxid<sup>14</sup>, Quecksilber, Tantal, Tellur und Bismut ist die globale Produktion zu über 50 % auf ein Land konzentriert („hohe Konzentration“).
- Die globalen Reserven von Niob, Bismut und den PGM sind zu über 75 % auf ein einzelnes Land konzentriert („äußerst hohe Konzentration“). Sie sind für Lithium (Salze), Rhenium, Tantal und Vanadium jeweils zu über 90% auf bis zu drei Länder konzentriert („sehr hohe Konzentration“). Bei Chrom, Indium, Kalium (Oxid),

<sup>14</sup> Das Beispiel Calciumoxid verdeutlicht, dass das Kriterium „geographische Konzentration“ immer nur metallspezifisch zu gewichten ist: Calciumoxid ist die Grundlage für Zement, der aufgrund der großen inländischen Bautätigkeit überwiegend in China hergestellt wird. Calciumoxid wird aus Carbonaten gewonnen, die nach Siliziumdioxid der wichtigste Bestandteil der Erdkruste sind und die global gleich verteilt sind.

Lithium (Salze), Rhenium, Tantal und Wolfram sind die globalen Reserven zu über 50 % auf ein Land konzentriert („hohe Konzentration“).

Die Analyse der Daten zeigt, dass einige der obengenannten Konzentrationen sich in wenigen, sehr rohstoffreichen Ländern häufen:

- Eine auffällig hohe geographische Konzentration weist China auf – sowohl hinsichtlich der globalen Produktion, als auch der Reserven: Es besitzt bei acht Metallen bzw. Salzen einen Produktionsanteil von über 50 % (Antimon, Arsen, Barium (Salze), Calcium, Quecksilber, seltene Erden, Bismut, Wolfram), während es bei drei Metallen einen Anteil der globalen Reserven über 50 % besitzt (Indium, Bismut, Wolfram).
- Obwohl Kanada nur über 3 % der Tellurreserven verfügt, ist die Produktion zu über 56 % dort konzentriert. Dies ist durch die Produktion von Tellur aus den Schlämmen der Kupfer- und Nickelproduktion begründet.
- Brasilien verfügt über 68 % der Tantalreserven, produziert jedoch nur 18% der globalen Produktion, hingegen produziert Australien 61 %, obwohl sein Anteil an den globalen Reserven lediglich 31 % beträgt.
- Obwohl Guinea mit 30 % den höchsten Anteil an den globalen Bauxitreserven besitzt, produziert es nur 7 % des Aluminiums.

Die auffälligsten geographischen Konzentrationen der von Reserven und Produktion der Metalle sind in Tabelle Tab. 2-9 zusammengefasst.

Tab. 2-9: Geographische Konzentrationen der Reserven und der Produktion von Metallen

Metall	Produktion	Reserven
Antimon	China 81 %	
Arsen (Arsentrioxid)	China 51 %	
Barium (Bariumsulfat)	China 55 %	
Beryllium	USA 77 %, China 15 %	
Calcium (Calciumoxid)	China 61 %	
Chrom		Südafrika 61 % (eigene Berechnung)
Indium	China 49 %	China 73 %
Kalium (Kaliumoxid)		Kanada 53 %
Lithium		Chile 73 %
Niob	Brasilien 89 %	Brasilien 96 %
Palladium	Russland 41 %, Südafrika 40 %	unbekannt
Platin	Südafrika 80 %, Russland 12 %	unbekannt
PGM		Südafrika 89 %
Quecksilber	China 73 %, Kirgisien 17 %	wenige Daten verfügbar
Rhenium	Chile 46 %	Chile 52 %
Seltene Erden (REE)	China 97 %	
Tantal	Australien 61 %, Brasilien 18 %	Brasilien 68 %, Australien 31 %
Tellur	Kanada 56 %, Peru 26 %, Japan 19 %	
Vanadium	Südafrika 37 %, China 32 %, Russland 27 %	Russland 38 %, China 38 %, Südafrika 23 %
Bismut	China 53 %, Mexiko 21 %, Peru 17 %	China 75 %
Wolfram	China 86 %	China 62 %
Yttrium	China 99 %	
Zirkon	Australien 44 %, Südafrika 33 %, China 14 %	Südafrika 37 %, Australien 24 %

Quelle: nach USGS (2008)

Aus wirtschaftspolitischer Sicht wird das Kriterium der geographischen Konzentration der Reserven als relevant eingeschätzt, da es unter Umständen die Versorgungssicherheit direkt beeinflussen kann; aus umweltpolitischer Sicht wird dieses Kriterium hingegen als wenig relevant eingeschätzt, da die Umwelteinflüsse der Gewinnung bzw. Herstellung der Metalle nur dann eine Rolle spielen, wenn länderspezifischen Gegebenheiten sich direkt auf die Umweltbelastungen auswirkt, beispielsweise bei der Gewinnung von Metallen in sensiblen Ökosystemen. Diese Bedingungen sollten jedoch direkt bei den Umweltbelastungen der Metalle erfasst werden.

Das Kriterium der geographischen Konzentration der Reserven wird als nicht geeignet zur Bestimmung der „Seltenheit“ von Metallen erachtet.

Aus Sicht der geographischen Konzentration der Produktion bzw. Reserven sind Antimon, Beryllium, Bismut, Niob, Platin, REE, Yttrium und Wolfram von besonderem Interesse für eine vertiefende Untersuchung, da bei diesen entweder die Produktion oder die Reserven geographisch auffällig konzentriert sind (Vorkommen oder Produktion in einem Land mit mehr als 75 % Anteil). Ferner wären Palladium, Quecksilber, Rhenium, Tantal, Tellur, Vanadium und Zirkon zu beachten (Vorkommen oder Produktion in zwei bis drei Ländern mit mehr als 90 %).

### 2.2.6 Kriterium 7: Feinverteilung von Metallen

Metalle werden in unterschiedlicher Form eingesetzt, so in reiner (metallischer) Form, als Legierung, als Oxid oder als andere Verbindung. Im Kreislauf der Güterproduktion sind Metalle sowohl als Produktionshilfsmittel, als konstruktive Elemente für metallverarbeitende Maschinen als auch in den Endprodukten anzutreffen. Prinzipiell sind alle Metalle beliebig oft rezyklierbar ohne Verlust ihrer Eigenschaften – im Unterschied zu Kunststoffen oder anderen organischen Verbindungen. Die Nutzung von Metallen in einer nicht-recyclinggerechten Anwendung führt jedoch im Allgemeinen dazu, dass die in den entsprechenden Produkten enthaltenen Metalle nicht durch bestehende Recyclingsysteme erfasst werden und somit diese der Technosphäre verloren gehen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Metalle oder ihre Verbindungen nicht gebraucht, sondern verbraucht werden (z.B. in Düngern) oder sie im Rahmen von Recyclingprozessen<sup>15</sup> in Schlacken verlorengehen. Weiterhin findet häufig ein Downcycling statt, beispielsweise wenn Legierungen zunehmend mit anderen Metallen und Legierungen vermischt werden und damit nurmehr eine minderwertigere Nutzung möglich ist. In manchen Fällen werden Metallverbindungen auch gezielt in die Biosphäre eingebracht, z.B. in Form von Düngemitteln oder Pestiziden.

Da die Rezyklierbarkeit durch die Art und Weise der Verwendung beeinflusst wird, sollte die Einsatzweise als Kriterium berücksichtigt werden, um die Auswahl der „umweltrelevanten seltenen Metalle“ in diesem Arbeitsschritt zu unterstützen. Dementsprechend werden folgende Einsatzweisen als Kriterien unterschieden:

- (a) feine Verteilung von Metallen durch *feine Verteilung von Produkten*;
- (b) feine Verteilung von Metallen durch *feine Verteilung in Produkten*;

---

<sup>15</sup> Es handelt sich bei derartigen Recyclingprozessen in der Regel um solche, die auf andere Stoffe ausgerichtet sind.

(c) feine Verteilung von Metallen durch *dissipative Produktnutzung*.

Erläuterungen der obengenannten Einsatzweisen:

- (a) feine Verteilung von Metallen durch *feine Verteilung von Produkten* liegt vor, wenn die metallführenden (Klein-)Produkte fein in der Technosphäre verteilt sind. Dies kann durch das Vorkommen einer Vielzahl derartiger Produkttypen, Produktgruppen<sup>16</sup> oder Anwendungsbereiche<sup>17</sup>, in denen das Metall eingesetzt wird, verstärkt werden. Da Sammellogistik häufig entlang spezifisch für Produkttypen etc. organisiert wird, wird aufgrund der Addition des Sammelaufwands für die verschiedenen Produkttypen etc. die gezielte Sammlung dieser metallführenden Produkte erschwert; bei Einsatz eines Produkttyps in verschiedenen Sektoren kann unter Umständen der Aufbau von getrennten Sammelsystemen (für die Sektoren) erforderlich sein;
- (b) feine Verteilung von Metallen durch *feine Verteilung in Produkten* liegt vor, wenn die Menge des Metalls sehr gering ist, welche in den einzelnen Produkten eingesetzt wird. Selbst bei Sammlung von sortenreinen Fraktionen der Altprodukte („Altschrotte“) sind die Konzentrationen bezogen auf das Produkt niedrig und eine Rezyklierung erschwert;
- (c) feine Verteilung von Metallen durch *dissipative Produktnutzung* liegt vor, wenn durch den Einsatz der metallführenden Produkte eine praktisch unumkehrbare Verstreuung von Metall stattfindet (in der Regel in die Umwelt oder in andere Stoffe<sup>18</sup>), z.B. durch Verbrauch<sup>19</sup> bzw. Verschleiß. Ein Rezyklieren ist hier nicht möglich.

Obwohl die Konzentrationen meist (sehr) niedrig sind, können aufgrund hoher Stückzahlen die gesamten Metallfrachten relativ groß sein und für die Kreislaufführung der Metalle von Relevanz. Hohe Stückzahlen können dabei den Sammelaufwand erhöhen. Häufig treten die Fälle (a) und (b) in Kombination auf.

---

<sup>16</sup> z.B. Kupfer in EuE

<sup>17</sup> z.B. Zink in der Galvanisierung, in Legierungen, als Konstruktionswerkstoff, in EuE-Bauteilen, als Füllstoff oder als Futtermittel

<sup>18</sup> z.B. Bleioxid in Bleiglas, Antimon als Flammschutzmittel, Gallium als Halbleiter

<sup>19</sup> z.B. Kupfersulfat als Futtermittel/Düngemittel; Einsatz in der Pyrotechnik, als Stabilisator, Füllstoff, Farbstoff, Glasbilder, in Form von Salzen in der Landwirtschaft

Im Rahmen des Screenings wurde für verschiedene Produktgruppen bestimmt, welche Einsatzweisen der feinen Verteilung von Metallen auftreten. Diese wurden verschiedenen Produktgruppen zugeordnet, deren Funktionalität durch diese „Spurenstoffe“ mitbestimmt werden (funktionaler Einsatz). Diese Anwendungen sind: Stähle, Carbide, Metalle zur Oberflächenbeschichtung, Katalysatoren, Glasprodukte, Metalle in EuE-Produkten, Schmuck und Dentalbedarf. Die Ergebnisse sind tabellarisch in Anhang 3 zusammengestellt.

Es wurde ein weiteres Screening der Metalle hinsichtlich feiner Verteilung durchgeführt (vgl. Tab. 2-10 und Anhang 3); hierbei zeigte sich, dass nur wenige Stoffströme quantifiziert sind bzw. nur wenige Informationen im Internet frei zugänglich sind: Metalle wurden dann als „feinverteilt“ eingestuft, wenn ein relevanter Anteil der Nutzung zu feiner Verteilung des Metalls führt, unabhängig vom zugrundeliegenden Mechanismus (vgl. obengenannte Einsatzweisen (a), (b) und (c)).

Einsatzweise (a) lässt sich unterteilen in zwei Fälle: einen ersten (a1) mit ausgeprägter Verteilung eines bestimmten Produkttypes in der Technosphäre, und einen zweiten (a2) mit Verteilung des Einsatzes auf diverse Produkttypen bzw. Anwendungsbereiche. Diese Argumentation sei an zwei Metallen verdeutlicht:

- Cadmium wird vor allem in wiederaufladbaren Batterien eingesetzt. Es könnte durch Sammlung und Recycling aus diesen Batterien leicht rückgewonnen werden. Aufgrund des geringen Preises für Cadmium bestehen jedoch keine wirtschaftlichen Anreize dafür<sup>20</sup>, diese Akkumulatoren separat zu sammeln. Auch ist das Verbraucherbewusstsein zur Separatsammlung von Akkumulatoren (bei Vorhandensein eines Recyclingsystems) wenig ausgeprägt → Fall (a1);
- Rhodium wird eingesetzt in Fahrzeug-Katalysatoren, Spiegeln, Scheinwerfern, in temperaturstabilen Kupplungen, Zündkerzen, Heizungsbrennelementen, Nylonscheren und Schweißgeräten. Aufgrund dieser großen Vielfalt an Produktgruppen erscheint es unrealistisch, dass diese unterschiedlichen Produkte unter aktuellen Bedingungen einem Rhodium-Recycling zugeführt werden können → Fall (a2).

Es ist festzuhalten, dass die meisten Metalle durch die Nutzung eine feine Verteilung erfahren und teils dissipativ eingesetzt werden. Metalle mit deutlich feiner Verteilung sind in Tab. 2-10 zusammengefasst.

---

<sup>20</sup> Zudem ist der Einsatz von Cadmium in Batterien seit 2009 durch das Batteriegesetz (BattG) geregelt, was direkte Auswirkungen auf die wirtschaftlichen Anreize hat.

Tab. 2-10: Anwendungsbereiche der Metalle mit deutlich feinverteiltem Einsatz: Angabe des Massenanteils in den diversen Anwendungsbereichen. Bezugsjahr 2007 (wenn nicht anders angegeben)

Metall	Verwendung der Metalle weltweit bzw. in den Vereinigten Staaten
Antimon	Welt: 75 % für Flammschutzmittel USA: 40 % für feuerhemmende Mittel, 14 % für Chemikalien; 11 % für Keramik und Glas (Angerer et al. 2008)
Beryllium	USA: 50 % für IuK-Produkte, 50 % für Luftfahrt, Militär, Automobilelektronik und Sonstiges
Bismut	USA: 47 % Stahladditive; 34 % schmelzbare Legierungen, Lötmetalle und Munition; 18 % Chemie und Pharmazie
Cadmium	USA: 83 % für Batterien; 8 % für Pigmente; 7 % Beschichtungen; 7 % Kunststoffstabilisierer
Gallium	USA: 66 % für IC; 20 % Optoelektronik (unter anderem LED, PV); 14 % Forschung, Spezialstähle u.a.
Germanium	Welt: 35 % Glasfaseranwendungen; 30 % Infrarotanwendungen; 15 % Polymerkatalysatoren; 15 % Elektronik und Photovoltaik; 5 % Sonstiges; USA: 50 % Infrarotanwendungen; 30 % Glasfaseranwendungen; 15 % Elektronik und Photovoltaik; 5 % Sonstiges; (USGS 2008).
Indium	Welt: 84 % ITO-Beschichtungen (zumeist LCD); 8 % Legierungen; 6 % Sonstiges; 2 % Halbleiter und elektronische Komponenten USA: 70 % Beschichtungen (zumeist LCD); 12 % EuE-Bauteile (inkl. Photovoltaik); 12 % Lötmetalle und Legierungen; 6 % Forschung und Sonstiges; (Angerer et al. 2008)
Lithium (Salze)	Welt: 20 % Batterien; 20 % Keramik und Gläser; 16 % Schmierfette; 9 % Pharmazie und Polymere; 8 % Klimatechnik; 6 % Aluminiumherstellung, 21 % Sonstiges (USGS 2008)
Kalium (Salze)	Kaliumcarbonat / USA: 85 % Düngemittel
Natrium (Salze)	Natriumsulfat / USA: 46 % Seifen und Detergentien; 13 % Papierherstellung; 13 %; Textilherstellung; 12 % Gläser; 7 % Teppich-Reiniger, 11 % Sonstiges (USGS 2008) Natriumcarbonat / USA: 50 % Glasherstellung; 29 % Chemikalien; 9 % Seifen und Detergentien; 4 % Nahrung; 3 % Sonstiges; 2 % Papierherstellung; 1 % Wasserbehandlung (USGS 2008)
Rhodium	Welt: 85 % für Autokatalysatoren (Lenntech o.J.); 0,2 t EuE (2002) (Wilburn o.J.:67)
Selen	Welt (2003): 35 % Glasherstellung; 20 % Chemikalien und Pigmente; 12 % Elektronik und Kopiertechnik; 33 % Sonstiges (Matons und George 2005)
Seltene Erden	USA (2006): 25 % Kfz-Abgaskatalysatoren; 22 % Erdölindustrie/Katalysatoren; 20 % Legierungen; 11 % Glasreiniger und Keramik; 10 % Leuchtstoffe; 10 % Magnete; 3 % Medizin und Laser
Strontium	USA: 43 % Pyrotechnik; 26 % Eisenoxid-Keramik-Magnete; 10 % Legierungen; 7 % Pigmente und Füllstoffe; 6 % Zinkherstellung; 8 % Sonstiges
Tantal	Welt: 50-60 % EuE bzw. Kondensatoren, Rest nicht dokumentiert (TIC o.J., USGS 2008)
Titan	Titan (metallisch) / USA: 76% Luft- und Raumfahrt; 24% Sonstiges (USGS 2008). TiO <sub>2</sub> -Verwendung / USA: 57 % Farben; 26 % Kunststoffe (Farben); 13 % Papier (weißer Füllstoff); 4 % Sonstiges (USGS 2008)
Wolfram	USA: 50 % Carbide; 50 % Sonstiges
Yttrium	USA: 84 % Lampen und Kathodenstrahlröhren (Bildröhren), 7 % Elektronik, 7 % Keramik, 2 % metallurgische Verwendung
Zink	USA: 55 % Galvanisierung, 21 % Legierungen, 16 % Messing und Bronzen, 8 % Sonstiges
Zinn	Welt: 50 % Lote; 18 % Weißblech; 14 % Chemikalien; 6 % Legierungen, 12 % Sonstiges USA: 26 % Dosen und Verpackungen, 24 % Elektrik; 10 % Konstruktion; 10 % Verkehrswesen; 30 % Sonstiges; (Angerer et al. 2008)

Quelle: USGS (2008) und andere Quellen (Welt)

Weniger deutlich ist der feinverteilte Einsatz für die folgenden Metalle dokumentiert: Arsen, Barium (Salze), Cer, Holmium, Lanthan, Neodym, Praseodym, Promethium, Quecksilber, Ruthenium, Samarium und Zirkon. Beispielsweise wird Samarium zur Dotierung von Laserkristallen, zur Herstellung von Spezialgläsern, von Keramiken und von Neutronenabsorbern in Kernreaktoren, aber auch in Permanentmagneten oder Elektroden von Lichtbogenlampen eingesetzt.

Keinen feinverteilten Einsatz weisen die „Massenmetalle“ Aluminium, Blei und Eisen auf: Zum einen bedeuten deren vergleichsweise großen Stoffströme, dass einzelne feinverteilt eingesetzte Produkte (z.B. Angelblei, Büroklammern, Aluminiumfolie) nicht stoffstromrelevant sind. Zum anderen treten bei diesen „Massenmetallen“ eher konstruktive Produkte (Stahlträger, Aluminiumprofile) oder massive Produkte (Blei-Akkumulatoren) auf. In Kombination mit den bereits weltweit vorhandenen Rezyklierungssystemen (inkl. Metallidentifikation, Sammlung, Rezyklierung) unterscheiden sich diese Metalle maßgeblich von den zuvor genannten. Calcium (Calciumoxid, massive Produkte im Gebäudebau), Promethium (in Atombatterien) und Thulium (in transportablen Röntgengeräten) werden in dieselbe Klasse eingestuft.

Weitere Vertreter, die nicht als feinverteilt angesehen werden, sogenannte „Grenzfälle“, sind Gold, Kupfer, Magnesium, Platin und Silber. Diese sind zwar in den Produkten in relativ geringen Mengen eingesetzt, doch nicht im beschriebenen Sinne feinverteilt<sup>21</sup>, da sie in relativ kompakter Form eingesetzt werden, Sammelstrukturen für diese in gewisser Weise bestehen und es attraktive finanzielle Anreize gibt, diese Metalle zu rezyklieren. Deutlich wird dies beispielsweise bei der Nutzung von Gold, Platin und Silber als Schmuck, bei dem es nur in Ausnahmefällen Materialverluste gibt. Im Gegensatz dazu werden große Mengen von Edelmetallen in der Elektronikindustrie und für Automobilkatalysatoren verwendet. Hierbei werden die Edelmetalle in sehr geringen Mengen in andere Stoffe eingebettet. Zudem bedarf es spezieller Recyclingtechnologien, um die Stoffe rückzugewinnen. Kupfer hingegen wird quantitativ in großen Mengen auch in EuE-Produkten genutzt. Auch hier wird das Kupfer mit anderen Stoffen vermischt, so dass eine Rückgewinnung des Kupfers durch Verhüttungstechnologien erfolgt. Bei Magnesium gibt es sowohl kompakte Nutzungen (Formteile aus Aluminium-Magnesium) als auch dissipative Verwendung (Entschwefelung in der Stahlherstellung, Titanherstellung), so dass auch die Verwendung von Magnesium nicht eindeutig zu klassifizieren ist. Aufgrund dieser Ambivalenz werden diese Metalle „Grenzfälle“ genannt.

---

<sup>21</sup> Die Einstufung erfolgt hier pauschal für die jeweiligen Metalle; ein feinverteilter Einsatz in einzelnen Anwendungen wie beispielsweise EuE oder Autokatalysatoren ist durch die pauschale Einstufung hier nicht ausgeschlossen.



Einige Metalle konnten bisher nicht abschließend eingeschätzt werden und werden daher als „unbestimmt“ eingestuft. Darunter fallen Legierungsmetalle für nichtrostende Stähle, namentlich Chrom, Cobalt, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Scandium und Vanadium. Gleiches gilt auch für Rhenium und Hafnium als Legierungsmetalle für Spezialstähle. Desweiteren gilt dies für Ruthenium, das sowohl in EuE-Produkten als auch in Katalysatoren für die chemische Industrie verwendet wird, sowie für Lutetium, die PGM (Gruppe) und Technetium. Die Stahlbildner werden beispielsweise in geringen Mengen zur Herstellung von Stählen eingesetzt. Aufgrund der hohen Schrottpreise existieren sowohl Sammelsysteme, als auch eine Vielzahl von Schrottklassifizierungen. Es ist jedoch nicht bekannt, in welchem Umfang die Stahlbildner einem Downcycling unterliegen, durch das sie kontinuierlich in mindere Stähle verbraucht werden. Bei den anderen Metallen fehlen zumeist Daten zur Verwendung, so dass sie nicht näher zugeordnet werden können.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Betrachtungen folgende Klassifizierung in Bezug auf den feinverteilten Einsatz von Metallen (Tab. 2-11). Eine vollständige Darstellung der Ergebnisse ist in Kap. 10.2 (Anhang 2) aufgeführt.

Tab. 2-11: Klassifizierung der Metalle nach feinverteiltem Einsatz. Dunkelgrau sind jene Metalle dargestellt, bei denen der feinverteilte Einsatz deutlich ausgeprägt ist im Vergleich zu den anderen Metallen; Metalle mit „dissipativer Produktnutzung“ sind kursiv dargestellt.

Feinverteilter Einsatz		Unbestimmt	Kein feinverteilter Einsatz	
<i>Antimon</i>	<i>Arsen</i>	Chrom	Aluminium	Blei
<i>Beryllium</i>	<i>Barium (Salze)</i>	Cobalt	<i>Calcium (Oxid)</i>	Cäsium
Bismut	<i>Cer</i>	Hafnium	Dysprosium	Eisen
Cadmium	Holmium	Lutetium	<i>Erbium</i>	Europium
Gadolinium	Lanthan	Mangan	Germanium	Gold
Gallium	Neodym	Molybdän	Iridium	Kupfer
Indium	Praseodym	Nickel	Magnesium	Osmium
<i>Kalium (Salze)</i>	Quecksilber	Niob	Palladium	Platin
Lithium (Salze)	<i>Rubidium</i>	PGM	Promethium	Silber
<i>Natrium (Salze)</i>	Samarium	Rhenium	<i>Tellur</i>	Terbium
<i>Rhodium</i>	Zirkon	Ruthenium	Thallium	Thulium
<i>Selen</i>		Scandium	Ytterbium	
<i>Seltene Erden</i>		Technetium		
<i>Strontium</i>		Vanadium		
Tantal				
Titan (Oxid)				
Wolfram				
<i>Yttrium</i>				
Zinn				
<i>Zink</i>				

Zur Auswahl der vertiefend zu untersuchenden Metalle ist das Kriterium 7 grundsätzlich aussagekräftig. Allerdings kann dieses Kriterium nur als zusätzliches einbezogen werden mangels verlässlicher Daten über die weltweite (durchschnittliche) Einsatzweise der Metalle (Datenlücken).

Im Folgenden soll deshalb versucht werden, „Hot-Spots“ der dissipativen Verwendung in einzelnen Produkten zu identifizieren (vgl. Anhang 3).

### 2.3 Begriffsbestimmung „umweltrelevante Metalle“

Die Umweltrelevanz von Metallen ist bislang nicht ausreichend definiert. In Bezug auf Metalle umfasst der Begriff „Umweltrelevanz“ jene Aspekte, die relevant sind hinsichtlich der Umwelteinflüsse – im Allgemeinen entlang des kompletten Lebenswegs der Metalle. Welche Aspekte relevant sind, ist zwar für Einzelfragen untersucht, jedoch

noch nicht hinreichend hinsichtlich der Breite der Fragestellungen in Arbeitsschritt 2.1. Die verschiedenen Aspekte können durch Indikatoren bzw. Wirkungsgrößen beschrieben werden. Diese Indikatoren lassen sich unterscheiden in inputbezogene Indikatoren und outputbezogene Indikatoren. Outputbezogene Indikatoren (Outputindikatoren) umfassen beispielsweise CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äq.), SO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äq.), Nitrate etc., also Schadstoffe, die bei den entsprechenden Prozessen freigesetzt werden. Demgegenüber umfassen inputbezogene Indikatoren den Material- oder Energieaufwand, der mit der Metallproduktion verbunden ist. Daneben existieren sogenannte aggregierte Umweltindikatoren wie die Umwelteinwirkungsbelastung (UEBEL) oder der umweltgewichtete Materialverbrauch (engl.: *Environmentally weighted Material Consumption*, EMC), die durch (gewichtete) Aggregation von einzelnen Indikatoren bzw. Umweltbelastungspotenzialen des Materialverbrauchs bestimmt werden.

Die Auswahl geeigneter Indikatoren ist naturgemäß normativ geprägt und hat sich an der Zielvorgabe des Auswahlprozesses zu orientieren. Eine Metallauswahl nach dem Kriterium der „Umweltrelevanz“ ist relativ unspezifisch und lässt einen entsprechend großen Entscheidungsraum zu. Zur Unterstützung einer zielsicheren Interpretation soll die Anzahl der Indikatoren bzw. Kriterien gering sein. Aufgrund bisheriger Ergebnisse<sup>22</sup> wurden Indikatoren wie der Kumulative Energieaufwand (KEA), der Kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) oder der Globale Materialaufwand (engl.: *Total Material Requirement*, TMR) als richtungssichere<sup>23</sup> Größen erkannt, die zumindest teilweise für die Metalle auch verfügbar sind.

### 2.3.1 Inputindikatoren

Inputbezogene Indikatoren umfassen den Material- oder Energieaufwand, der mit der Metallproduktion verbunden ist. Da bei der Produktion der Metalle vielfältige Maschinen, Industrieanlagen etc. erforderlich sind, gelangen eine Vielzahl von Stoffen zum Einsatz. Detaillierte Angaben der eingesetzten Stoffmengen wie sie beispielsweise in Lebenszyklusinventaren (engl.: *Life Cycle Inventories*, LCA) aufgeführt sind, wären aufgrund der Datenfülle schwierig zwischen den Metallen vergleichbar. Demgegenüber bieten Kennwerte als Summenparameter weniger Details ab und sind damit richtungssicherer zu interpretieren.

---

<sup>22</sup> Untersuchung des ifeu-Instituts zur Korrelation von Outputindikatoren und Inputindikatoren auf Basis von 130 Umweltprofilen (unveröffentlicht)

<sup>23</sup> „Richtungssichere Größe“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Indikatoren allgemeinen Belastungspotenzials mehrere spezifische Indikatoren gebündelt mit abbilden; dabei ist zu beachten, dass nicht alle spezifischen Umweltwirkungen quantifiziert beschrieben vorliegen; in diesem Fall korrelieren die inputorientierten Indikatoren allgemeinen Umweltbelastungspotenzials größtenteils mit outputbezogenen Indikatoren, beispielsweise CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, u.a.

Hinsichtlich der Metallauswahl sind sowohl (i) die Wahl der Indikatoren bzw. Kennwerte als auch (ii) deren Betrachtungsebene von entscheidender Bedeutung:

(i) Eine Auswahl der Indikatoren bzw. Kennwerte ist stets normativ geprägt, von Prioritätensetzungen abhängig und hat im Hinblick auf die Projektziele zu erfolgen. Bisherige Arbeiten zeigten auf, daß Kennwerte wie KEA, KRA und TMR im Allgemeinen ausreichende Richtungssicherheit aufweisen. Die energieverbrauchsbezogenen Kennwerte weisen auch eine Korrelation zu vielen spezifischen Wirkungsgrößen (Kohlendioxid, Stickoxide etc.) auf, die aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe resultieren.

Da die Umweltrelevanz in Relation zu anderen Metallen zu beurteilen ist, bedarf es Kennwerten, die möglichst alle in Frage kommenden Metalle abdecken können. Zur Bestimmung der Umweltrelevanz wurden der KRA bzw. KEA ausgewählt, deren Werte unter anderem in einem zeitgleich laufenden Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes<sup>24</sup> ermittelt wurden. Zusätzlich wurde der TMR ausgewählt, da KRA und KEA für nur etwa die Hälfte der Metalle vorliegen. Weiterhin erlaubt der TMR eine Plausibilitätsprüfung der KRA-Einstufung.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass der KRA primär ökonomisch definiert ist (es wird nur die ökonomisch verwertete Rohstoffentnahme gezählt), während der TMR die gesamte kumulierte Ressourcenentnahme enthält, und damit zusätzliche Belastungen der natürlichen Umwelt darstellen kann (Bringezu et al. 2009).

(ii) In Bezug auf die Betrachtungsebene lassen sich die „spezifische Umweltrelevanz“ und die „absolute Umweltrelevanz“ unterscheiden:

- die „spezifische Umweltrelevanz“ bezieht sich auf die spezifischen Metalle und wird pro Tonne Metall ausgedrückt (für jeden der Kennwerte);
- die „absolute Umweltrelevanz“ wird pro (gesamter) weltweiter<sup>25</sup> jährlicher Produktionsmenge<sup>26</sup> des Metalls ausgedrückt. Es handelt sich also um das Produkt aus spezifischer Umweltrelevanz und der Tonnage der globalen Produktion des Metalls (für jeden der Kennwerte).

---

<sup>24</sup> Projekt „Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion“, UFOPLAN-Vorhaben, FKZ 205 93 368; es wurden vorläufige Daten dieses Projektes im Rahmen der vorliegenden Studie verwendet.

<sup>25</sup> Da viele Metalle nicht durch den nationalen Gesamtverbrauch der einzelnen Metalle erfasst werden, sondern in relevantem Umfang in Form von Produkten zum Endverbrauch importiert werden, wird eine Klassierung der Umweltrelevanz von Metallen auf weltweiter Ebene als aussagekräftiger als auf

### 2.3.2 Outputindikatoren

Outputbezogene Indikatoren umfassen das Anfallen von Schadstoffen oder Abfällen, die bei der Produktion der Metalle. Dazu gehören sämtliche Luftemissionen (Treibhausgase etc.), Emissionen in Oberflächengewässer und Grundwasser. Aufgrund der grossen Vielfalt an Schadstoffen werden Indikatoren genutzt, um die Umweltwirkungen abzubilden, wobei die beitragenden Stoffe gemäss ihren Wirkfaktoren zusammengezählt werden können. Beispielsweise werden beim Treibhausgaspotential die Beiträge von Kohlendioxid, Distickstoffmonoxid und Methan aggregierte, indem sie jeweils mit Wirkungsfaktoren multipliziert werden; üblich ist hier die Darstellung in Form von Kohlendioxid-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-Äq.). Analog wird beim Versauerungspotential verfahren (SO<sub>2</sub>-Äq.). Demgegenüber würden Angaben zu einzelnen Emissionen einen sehr spezifischen Aspekt lediglich teilweise abdecken und sind daher nicht für die Aufgabenstellung geeignet.

Aufgrund des allgemeinen Verständnisses von Umweltrelevanz in dieser Studie und der oben erwähnten Richtungssicherheit der Inputindikatoren werden Inputindikatoren bevorzugt gegenüber Outputindikatoren.

---

nationaler Ebene eingestuft; in einer separaten Untersuchung könnte die Umweltrelevanz auf nationaler Ebene beachtet werden.

<sup>26</sup> Es handelt sich um die in Kap. 2.2.3 erläuterte Grösse „jährliche Produktionsmenge“ (Kriterium 3).



### **3 Einsatz von Metallen in den Bereichen Elektro- und Elektronikprodukte, Medizin und Nanotechnologie**

Aufgrund der großen Bedeutung der Bereiche Elektro- und Elektronikprodukte, Medizin und Nanomaterialien für den Arbeitsschritt 2.1 wurde der Einsatz von Metallen in den Bereichen Elektro- und Elektronikprodukte, Medizintechnik und Nanotechnologie gezielt untersucht. Die Untersuchung erfolgte auf Basis einer Literaturrecherche.

Nachfolgend wird der Einsatz von Metallen in den drei Bereichen beschrieben:

- Elektro- und Elektronikprodukte (EuE) (Kap. 3.1);
- Medizintechnik (Med) (Kap. 3.2);
- Nanotechnologie (Nano) (Kap. 3.3).

#### **3.1 Metalle in Elektro- und Elektronikprodukten**

Es wurde zum Einsatz von Metallen in Elektro- und Elektronikprodukten eine Recherche anhand von Chemie-Datenbanken (Rutherford), Produktionsstatistiken (USGS 2008), Ökobilanzen von Informations- und Kommunikations (IuK)-Produkten (Behrendt et al. 1998, Soldera 1995), Datenbanken zu Elektrobauteilen (Elektro, Elko) sowie diverser wissenschaftlicher Publikationen durchgeführt. Demnach werden in EuE-Produkten fast alle stabilen Metalle eingesetzt<sup>27</sup>.

Bei der Untersuchung ergaben sich folgende Schwierigkeiten:

- Eine Unterscheidung, welche Metalle in IuK-Produkten als Teil der EuE-Produkte vorkommen und welche Bedeutung sie für die IuK-Branche haben, erweist sich beim jetzigen Kenntnisstand als nicht möglich, da die Systemgrenzen hierbei sehr eng gezogen werden müssten. Ein Beispiel hierfür sind die Dotierungsmaterialien für die Glasfaser- und die Lasertechnologie wie z.B. Gallium, Germanium, Rubidium, Scandium, Yttrium und die Seltenen Erden. Diese können sowohl in IuK-Produkten (CD- und DVD-Geräte) als auch in der Opto-Elektronik zum Betrieb von Glasfasernetzen eingesetzt werden. Weitere Beispiele sind Leuchtstoffe in

---

<sup>27</sup> Lediglich für einige Lanthanide, Iridium, Osmium, Rhodium, Ruthenium und Vanadium konnten in diesem Screening keine Anwendungen in EuE-Produkten oder -bauteilen identifiziert werden.

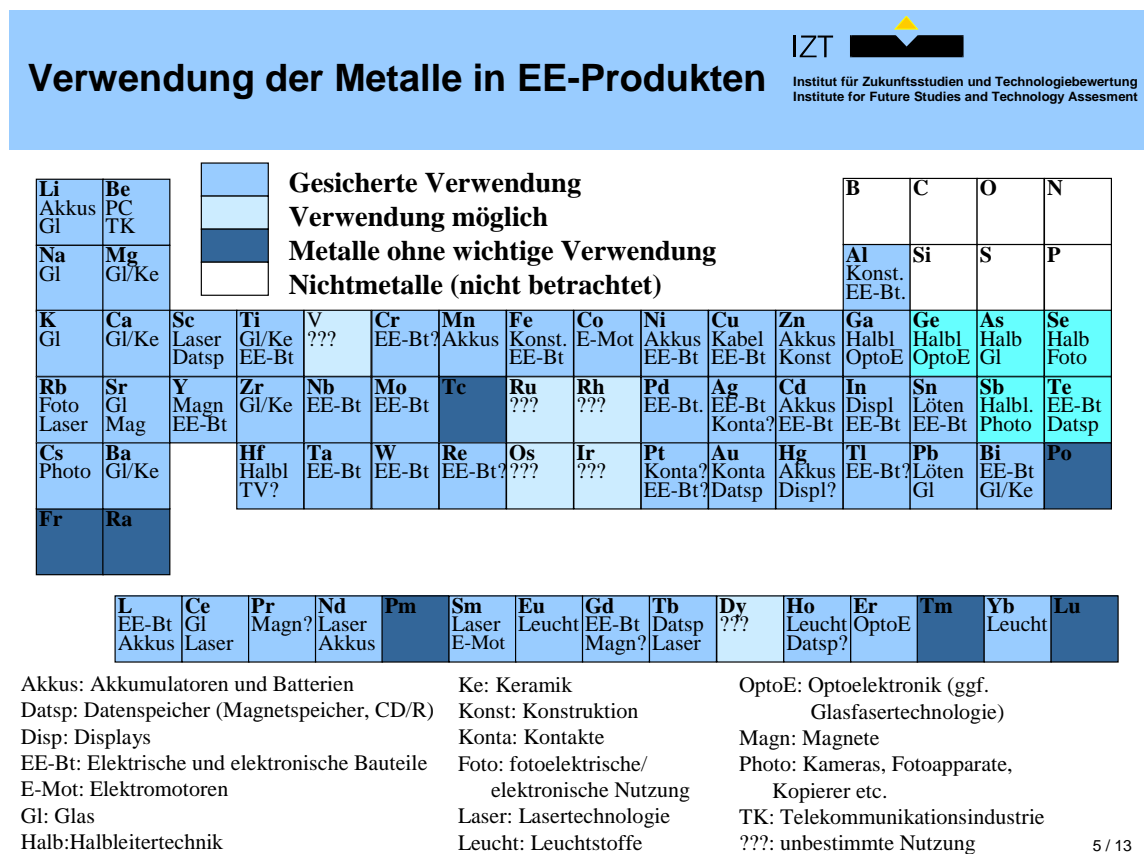
Bildröhren (Europiumoxid), die Glasbildner (Barium-, Blei-, Bor-, Aluminium-, Calcium- oder Kaliumoxid) oder Dotierungsmetalle für Halbleiter (Lanthanide, Arsen, Antimon, Germanium, Gallium und Indium). Auch bei diesen Metallen ist eine Zuordnung, ob diese Metalle vorrangig in IuK- oder in anderen Elektroprodukten verwendet werden, nicht zu leisten.

- Bei der gegebenen Datenlage ist es problematisch, die Wichtigkeit (Bedeutung) der Metalle für die IuK- bzw. die EuE-Branche festzustellen. Bezogen auf die eingesetzte Menge sind Aluminium, Eisen, Kupfer, Nickel, Zink und Blei (Fernsehbildrohrengeräte) die häufigsten Metalle. Andere, teils in nur sehr geringen Mengen eingesetzte Metalle wie Beryllium, Europium, Indium, Tantal und die Platingruppenmetalle sind essentiell für die IuK-Technik, wie wir sie heute kennen.
- Aufgrund mangelnder Kenntnisse über jene Metalle, die in sehr geringen Mengen eingesetzt werden, wurden die Einsatzbereiche der Metalle (aller Metalle) in Bezug auf die Elektroindustrie recherchiert.

Anhand des Periodensystems wird nach Wichtigkeit differenziert aufgezeigt, welche Metalle in EuE-Produkten eingesetzt werden (Abb. 3-1).



Abb. 3-1: Einsatz von Metallen in EuE-Produkten (Stand 2008). Die Metalle sind entsprechend der qualitativen Wichtigkeit farblich gekennzeichnet. Die Kürzel unterhalb der Elementsymbole bezeichnen die Haupteinsatzfelder der Metalle.



Die Ergebnisse der umfangreichen Recherche sind in Anhang 4 tabellarisch dargestellt.

### 3.2 Metalle in der Medizintechnik

Die Recherche zum Einsatz von Metallen in der Medizintechnik fokuzierte auf die Einsatzfelder Medikamente (M), Diagnostik einschließlich Strahlentherapie (D) und Prothetik (P). Ebenso wurden im Rahmen der Recherche Metalle erfasst, die in medizinischen Instrumenten oder der Kosmetik eingesetzt werden (S). Von den EuE-Produkten wurden jene Spezialgeräte berücksichtigt, die in den Körper implantiert werden (z.B. Herzschrittmacher); unberücksichtigt blieben hingegen EuE-Anwendungen, sofern sie nur zur apparativen Unterstützung der Medizin genutzt werden.

Bei den Medikamenten wurden in erster Linie zugelassene Medikamente erfasst. Darüberhinaus wurden alternative Heilmittel, über die ausreichend Informationen vorlagen, zusätzlich aufgenommen und beschrieben, um ein möglichst vollständiges Gesamtbild zu erhalten<sup>28</sup>. Bezüglich dem Einsatz von Metallen in der Diagnostik wurde nicht unterschieden, ob es sich um originäre Diagnostik (Identifizierung von Krankheiten) oder um Strahlentherapie (Behandlung von Krankheiten) handelt, da eine deutliche Abgrenzung anhand der vorliegenden Quellen im Allgemeinen nicht möglich war.

Einen Überblick über den Einsatz von Metallen in der Medizintechnik liefert Tab. 3-1.

Tab. 3-1: Einsatz von Metallen in der Medizintechnik mit Angabe nach Einsatzfeldern. Sofern in der Diagnostik oder Strahlentherapie Isotope verwendet werden, sind diese mit Massenzahl der Metalle ausgewiesen. Unbestimmt: keine Einsatzfelder dokumentiert

Einsatzfeld	Metall
Medikamente	Aluminium, Antimon, Calcium, Eisen, Germanium, Gold, Iridium (M)(unklar), Kalium, Kupfer, Lithium, Magnesium, Natrium, Platin, Quecksilber, Rhodium (M) (unklar), Selen, Silber, Zink
Diagnostik (einschliesslich Strahlentherapie)	Antimon, Barium, Cäsium-137, Cobalt-60, Eisen, Erbium-169, Gadolinium, Gallium-67/69, Indium-111, Mangan, Rhenium-186/188, Rhodium-106, Ruthenium-106, Samarium-153, Silber, Strontium-89/90, Technetium-99, Thallium-201, Yttrium-90
Prothetik	Barium, Chrom, Cobalt, Eisen, Gold, Molybdän, Nickel, Niob, Osmium, Platin, Quecksilber, Silber, Tantal, Titan, Zinn, Zirkon
Sonstige Einsatzfelder	Blei, Lanthan, Lithium, Selen, Silber, Titan, Zink
Einsatz von untergeordneter Bedeutung	Arsen, Palladium (P), Promethium (D) (unklar)
unbestimmt	Beryllium, Bismut, Cer, Dysprosium, Europium, Hafnium, Holmium, Neodym, Praseodym, Promethium, Rubidium, Scandium, Tellur, Terbium, Thulium, Vanadium, Wolfram, Ytterbium

Auf Basis dieser Recherche erfolgte eine halbquantitative Einschätzung des Materialeinsatzes, um die Relevanz des Einsatzes der Metalle in der Medizintechnik bzw. die Relevanz der Medizintechnik für die Metalle zu beschreiben. Die Ergebnisse in der folgenden Liste konnten jedoch nicht quantitativ unterlegt werden.

<sup>28</sup> Homöopathische Mittel wurden ausgenommen, da aufgrund der hohen Verdünnung nicht von relevanten Mengen ausgegangen wird.

- **Blei:** Bleimatten werden zur Abschirmung von Röntgenstrahlen eingesetzt. Diese Diagnostik ist weltweit sehr weit verbreitet. Hinsichtlich des Stoffstromes, der vor allem durch Bleibatterien geprägt wird, werden die Mengen zur Abschirmung als nicht relevant eingeschätzt.
- **Gold:** Gold wird vor allem als Zahnersatz eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine relativ materialintensive Anwendung hinsichtlich des gesamten Stoffstroms von Gold.
- **Lanthan:** Lanthan wird in Legierungen für Operationsbestecke eingesetzt. Es ist jedoch nicht abzuschätzen, ob dieser Einsatz mengenmäßig relevant ist.
- **Lithium:** Lithiumpräparaten wird eine antidepressive Wirkung zugeschrieben. Es handelt sich um zugelassene Medikamente. Vermutlich werden diese Präparate in großem Umfang eingesetzt. Aufgrund der großen Ressourcen an Lithium wird dieser Einsatz nicht als mengenrelevant eingeschätzt.
- **Natrium:** Kochsalzlösungen werden in großem Umfang als Infusionslösungen eingesetzt. Aufgrund der großen Ressourcen an Natrium wird dieser Einsatz nicht als mengenrelevant eingeschätzt.
- **Osmium:** Osmium wird in Herzklappen und Herzschrittmachern eingesetzt. Angesichts der geringen jährlichen Fördermengen könnten diese Anwendungen durchaus relevant für den Stoffstrom von Osmium sein; für eine Abschätzung der Mengenrelevanz reicht die Datenlage jedoch nicht aus.
- **Platin:** Platin wird in Herzklappen, Herzschrittmachern und in Medikamenten eingesetzt. Es ist jedoch nicht abzuschätzen, ob diese Anwendungen für den Stoffstrom von Platin mengenmäßig relevant sind.
- **Quecksilber:** Amalgam ist weltweit das bedeutendste Zahnfüllungsmaterial. Es enthält neben Silber und Zinn auch Quecksilber. Der Stoffstrom wird als bedeutend eingeschätzt.
- **Selen:** Selenverbindungen werden in Schuppenshampoos eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine relativ materialintensive Anwendung hinsichtlich des gesamten Stoffstroms von Selen.
- **Silber:** Amalgam ist weltweit das bedeutendste Zahnfüllungsmaterial. Es enthält neben Quecksilber und Zinn auch Silber. Daneben werden zunehmend Wundverbände mit Nano-Silber eingesetzt. Ebenso wird Silberbromid auf

Röntgenfilmen eingesetzt. Angesichts der relativ geringen Reserven an Silber wird dieser Stoffstromanteil als relevant eingeschätzt.

- **Tantal:** Tantal wird in Implantaten eingesetzt. Es ist jedoch nicht abzuschätzen, ob dieser Einsatz mengenmäßig relevant ist.
- **Titan:** Titan wird in Prothesen und Implantaten eingesetzt. Aufgrund der großen Ressourcen an Titan wird dieser Einsatz nicht als mengenrelevant für den Stoffstrom von Titan eingeschätzt.
- **Zink:** In Sonnenschutzcremes und anderen Cremes im medizinischen Bereich ist Zink ein wichtiger Wirkstoff. Es wird daher von einem relativ hohen Einsatz ausgegangen. Bezogen auf den Stoffstrom des Zinks wird dieser Anteil dennoch mengenmäßig als nicht relevant eingeschätzt.
- **Zirkon:** Zirkonoxid wird in Prothesen und Implantaten eingesetzt. Im Verhältnis zu anderen Verwendungen von Zirkon, z.B. in feuerfesten Steinen, wird dieser Anteil des Stoffstroms als von untergeordneter Bedeutung eingeschätzt.

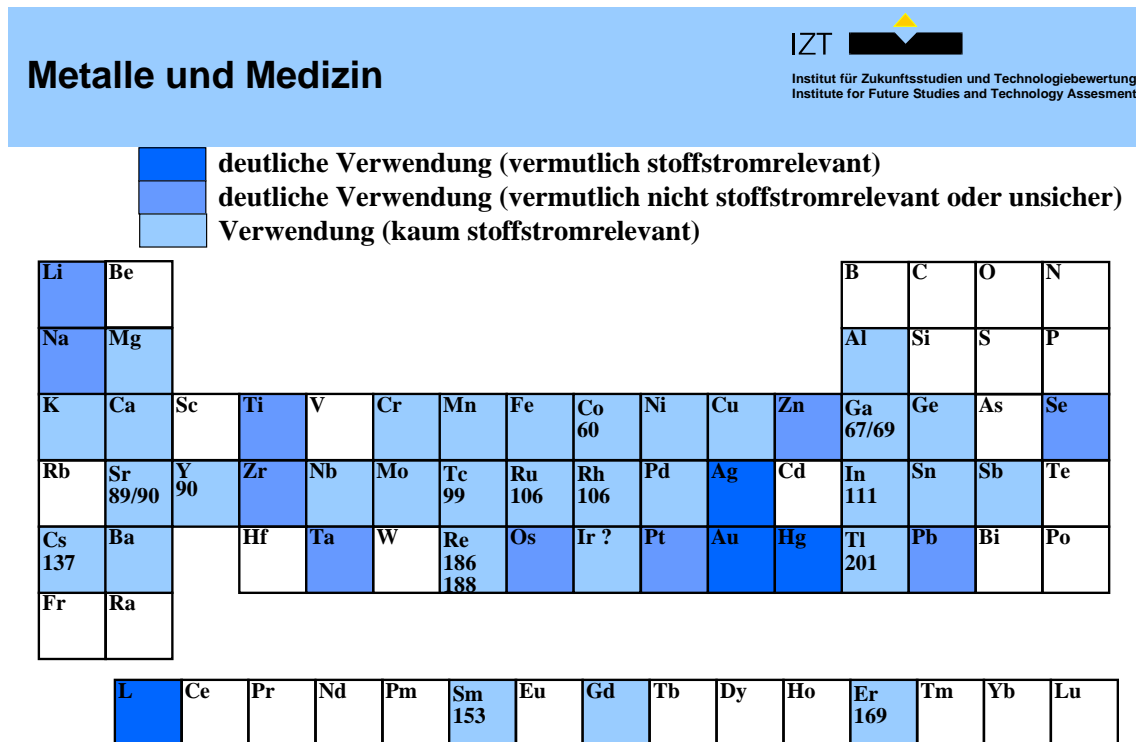
Darüber hinaus existieren in der Medizin einige Spezialanwendungen der Lasertechnologie. Es ist ungeklärt, ob diese für die Stoffströme der Metalle relevant sind. Ausgewählte Spezialanwendungen werden im Folgenden beschrieben:

- Erbium-Laser werden von Hautärzten zum präzisen Abtrag von Hautveränderungen eingesetzt, zur Narbenbehandlung oder zur Faltenglättung. In der Zahnheilkunde werden Erbium-Laser bei der schmerzarmen Kariespräparation und der Desinfektion von Implantaten verwendet, in der Parodontologie bei der schonenden Entfernung von Ablagerungen (vgl. [www.bio-pro.de/de/region/ulm/magazin/03004/index.html](http://www.bio-pro.de/de/region/ulm/magazin/03004/index.html)).
- Holmium wird in YAG-Holmium-Lasern für arthroskopische Eingriffe an Knorpel und an Schleimhäuten eingesetzt. Ebenso werden Holmium-Laser für die Zertrümmerung von Nierensteinen verwendet.
- Neodym-dotierte Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd:YAG-Laser) werden für die Behandlung von Hämangiomen (Blutschwämme) eingesetzt, da ihre Wellenlänge von rotem Hämangiomgewebe gut absorbiert wird und nur schlecht von Wasser, das ein wesentlicher Bestandteil des umliegenden Gewebes ist. Ebenso findet dieser Lasertyp in der Augenheilkunde Anwendung, um die Regenbogenhaut im Rahmen einer Glaukomerkrankung zu perforieren (Iridotomie), um einen Nachstar zu entfernen, bei Netzhauterkrankungen oder zur Verbesserung des

Wasserabflusses bei einem Glaukom (Lasertrabekuloplastik). Ferner wird er in der Metastasenchirurgie verwendet.

- Thulium-Laser werden zur Behandlung von Prostataerkrankungen eingesetzt.

Abb. 3-2: Einsatz von Metallen in der Medizintechnik. Die qualitative Bedeutung der Metalle ist farblich gekennzeichnet.



Die Ergebnisse der umfangreichen Recherche sind in Anhang 4 tabellarisch dargestellt.

### 3.3 Metalle in Nanotechnologien

#### Definition Nanotechnologie

Nanotechnologie ist ein Sammelbegriff für unterschiedliche Technologien, die sich mit Strukturen und Prozessen kleiner 100 Nanometer befassen. Eine verbindliche Definition für den Begriff „Nanotechnologie“ existiert derzeit nicht. Dies ist unter anderem dadurch begründet, dass sie ein vielgestaltiges, über den Maßstab definiertes

Technologie- und Entwicklungsfeld, doch im Gegensatz zu sogenannten Basistechnologien wie Mikroelektronik und Biotechnologie nicht eindeutig abgrenzbar ist.

Die Reduktion der Partikelgröße unter 100 Nanometer bewirkt aufgrund des grossen Oberflächen-Volumen-Verhältnisses neuartige Materialeigenschaften. Darüber hinaus treten Selbstorganisations-Phänomene auf, d. h. nanoskalige Strukturen können sich unter bestimmten Umständen selbst ordnen. Nanotechnologie kann im weiteren Sinne auch kleinste Strukturen bis auf Atomebene umfassen; versteht man Nanotechnologie in diesem weiteren Sinn, so umfasst sie die gesamte bekannte Halbleitertechnik, die Chemie der Komplexe, die organische Chemie (inklusive Pharmazeutika) sowie die Solartechnologie. Zur Differenzierung gegenüber anderen oben genannten Bereichen, sollte Nanotechnologie die Herstellung von Molekularkomplexen kleiner 100 Nanometer umfassen, welche unter natürlichen Umständen weitgehend stabil sind.

### **Wirkungsspektrum und Einsatzbereiche**

Charakteristisch für Nanomaterialien ist, dass sie aufgrund der geringen Grösse der Molekularkomplexe Eigenschaften entfalten, welche übliche Materialien nicht aufweisen, die aus denselben chemischen Stoffen bestehen. In der Forschung und den kommerziell angebotenen Produkten dominieren unter dem Stichwort Nanotechnologie zurzeit die besonderen Oberflächen-, Absorptions- und katalytischen Eigenschaften, wenngleich Nanoteilchen weitere funktionelle Eigenschaften aufweisen als die drei genannten. Nanomaterialien können Oberflächen härten (ultraharte Autolacke), Schmutzablagerungen vermeiden (katalytische Farben), Wasser filtern, Schadstoffe entfernen (Wandfarben), die Zerlegung von Schadstoffen verbessern (besser als bisherige Katalysatoren) (Rußfilter, Kohlenmonoxidfilter), die Mischbarkeit von Stoffen erhöhen (Pharmazeutika, Kosmetika), die Speicherung von Energie verbessern (Lithiumzellen) und vieles mehr.

Die möglichen und teilweise bereits seit über 40 Jahren realisierten Anwendungen der Querschnittstechnologie Nanotechnologie (Disziplin der Physik, Chemie, Maschinenbau, Lebensmitteltechnologie; verschiedene Verfahren, Branchen, Produkte) weisen ein breites Spektrum auf. So kommt Nanotechnologie z.B. im Bereich der Photovoltaik (selbstreinigende Oberflächen, Dünnschichtzellen), der Mikroelektronik (hier besonders im Automobilbereich), der Halbleiter- und Optoelektronik (LED und OLED) sowie im Bereich Lebensmittel, Kosmetika und Gebrauchsgüter/Verpackungen zum Tragen. Im Bereich der Medizin sind mittels Nanopartikeln neue Diagnose- und Therapiemöglichkeiten erschließbar.

Die industrielle Anwendung der Nanotechnologie ist insbesondere im Bereich der Funktionalisierung oder Veredelung von Oberflächen relativ weit fortgeschritten. Hier werden die besonderen Oberflächeneigenschaften – beispielsweise von Nanoverbund-

schichten – genutzt und auf diese Weise verbesserte mechanische und tribologische Eigenschaften erzielt. Bekannte Beispiele sind nicht-reflektierende oder selbst-reinigende Oberflächen (Lotus-Effekt) oder kratzfeste und langlebige Nanolacke. Auch im Rahmen der Produktion von chemischen bzw. pharmazeutischen Erzeugnissen zielt die Nanotechnologie auf ein relativ weit entwickeltes Anwendungsgebiet. Schon seit einiger Zeit werden Nanopartikel (z.B. aus Carbon Black, Titandioxid, Eisenoxid und Zinkoxid) in unterschiedlichsten Formen als Katalysatoren in der Produktion und in diversen Anwendungsbereichen eingesetzt, um die allgemeine Reaktionsausbeute und Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen.

Der Einsatz von Metallen in der Nanotechnologie ist in den vergangenen Jahren rasant angewachsen; inzwischen sind über 500 derartige Produkte am Markt berichtet worden (Spiegel 2008:148). Im Folgenden wird ein Überblick über den Einsatz von Metallen in der Nanotechnologie gegeben (derartige Anwendungen im Bereich Elektro- und Elektronikprodukte sind in Kap. 3.1 berücksichtigt). Ferner beschränkt sich die nachfolgende Aufstellung auf Anwendungen, die bereits technisch in die Praxis umgesetzt worden sind bzw. die kommerziell verfügbar sind (eine Vielzahl von Nanoprodukten befindet sich derzeit noch in der Testphase und ist noch nicht kommerziell verfügbar). Im Folgenden sind ausgewählte Anwendungen pro Metall aufgeführt:

- **Aluminium:** (1) In Vakuumisulationspanelen kann eine Aluminium-Schicht eine höhere Wärmedämmung bewirken. Hierbei wird hochporöses evakuiertes nanostrukturiertes  $\text{SiO}_2$  mit Aluminium kombiniert. Diese Paneele werden zur energetischen Sanierung von Gebäuden verwendet. (2) Mittels Nanofiltration kann Wasser aufbereitet und von gesundheitsschädlichen organischen, biologischen und anorganischen Stoffen gereinigt werden. Hierbei werden unter anderem Aluminiumoxid-Nanofasern eingesetzt (Bachmann et al 2007:21, 34);
- **Cer:** (1) Ceroxid wird als Katalysator zur besseren Verbrennung von Kraftstoffen eingesetzt (Bachmann et al 2007:96). (2) Mit Ceroxid beschichtete Kohlenstoffröhren werden eingesetzt, um Arsen und andere Schwermetalle aus dem Wasser zu filtern (Bachmann et al 2007:22);
- **Eisen:** (1) Eisenteilchen in Nanoform werden zur hochkratzfesten Parkettversiegelung eingesetzt. (2) Nullwertiges Eisen in Nanoform wird zur Bodenreinigung von Kohlenwasserstoffen eingesetzt (Bachmann et al 2007:23-24/35). (3) Nanoskaliger Magnetit (Eisenoxid) wird zur Filterung von Arsen aus Wasser eingesetzt (Bachmann et al 2007:25);
- **Mangan:** (1) Ebenso wie Zink und Titan wirkt auch Mangandioxid photokatalytisch (Bachmann et al 2007:35). Poröse Nanofasern mit Mangandioxid können

Luftschadstoffe zersetzen. (2) In der Akkumulatorentechnik wird durch nanoskalige Mangankomplexe (ebenso Titan oder Aluminium) eine höhere Speicherdichte für Energie erhalten (Bachmann et al 2007:97);

- **Platin:** Platin wird in nanoskaliger Form in Katalysatoren eingesetzt (Bachmann et al 2007:25);
- **Rhodium:** Rhodium wird in nanoskaliger Form in Katalysatoren eingesetzt (Bachmann et al 2007:25);
- **Seltenerdmetalle:** Die meisten Seltenen Erden werden in nanoskaliger Form für LED oder OLED eingesetzt. Zahlreiche Firmen bieten verschiedene Oxide für diese Zwecke an, beispielsweise die Oxide von Cer, Erbium, Europium, Neodym, Praseodym, Gadolinium und Samarium (vgl. <http://www.os-materials.com>);
- **Silber:** Silber ist das am häufigsten eingesetzte Metall in der Nanotechnologie. In den Vereinigten Staaten sollen schon über 200 Produkte mit Nanosilber ausgestattet sein (Bachmann et al 2007:32). Aus den fein verteilten Silberpartikeln werden Silberionen freigesetzt, die eine stark antibakterielle Wirkung entfalten, indem sie Enzyme des bakteriellen Energiestoffwechsels blockieren und in die Atmungskette sowie genetischen Prozesse von Mikroorganismen eingreifen, hingegen im relevanten Konzentrationsbereich für den Menschen unbedenklich sind (Bachmann et al 2007:26). Diese antibakteriellen Eigenschaften werden ebenso für Gebrauchsgegenstände erreicht. (1) Eine Anwendung der antibakteriellen Eigenschaften ist Funktionsbekleidung (Unterwäsche) mit Silbernanopartikel in den Faserstoffen. Hierdurch ist es möglich, dass die Kleidung geruchsfrei bleibt, da die Bakterien, die Körperschweiß umwandeln, sich nicht auf dem Trägermaterial ansiedeln können. (2) Inzwischen gibt es Raumlufffilter mit Silber (Bachmann et al 2007:51). (3) Durch den Zusatz nanoskaliger Silberpartikel lassen sich Wandfarben oder Klarlacke mit antimikrobiellen Eigenschaften ausstatten. (4) Mit Silber-Nanoschichten kann eine Verbesserung der Wärmereflexion von Gläsern erreicht werden, da diese Schichten Infrarot reflektierend sind. Derartige Glasscheiben verhindern deutlich die Wärmeeinstrahlung in Gebäude;
- **Titan:** Titandioxid scheint neben Silber das am häufigsten in der Nanotechnologie eingesetzte Metall zu sein. Die wesentlichen Eigenschaften, die hierbei genutzt werden, sind die photokatalytischen Eigenschaften von Titan. Hiermit wird das Vermögen von Titan bezeichnet, andere Substanzen dergestalt zu binden, dass sich diese unter Licht zersetzen (Bachmann et al 2007:25). (1) Titandioxid wird deshalb vor allem zur Entwicklung schmutzabweisender Oberflächen eingesetzt – d. h. im Sinne von selbstreinigenden Oberflächen. Die photokatalytischen Anwendungen auf Basis nanostrukturierter Titandioxidschichten bieten Potenziale,



um die Verschmutzung von Fahrbahnmarkierungen, Verkehrsschildern, Straßen- und Tunnelbeleuchtungen zu reduzieren. (2) Eine weitere Anwendung ist, Beton mit Nanomaterialien zu beschichten oder Titandioxidnanopartikel in den Beton einzubauen, so daß z.B. Betonfassaden nicht mehr so stark verschmutzen (Selbstreinigungseffekte durch superhydrophile Titandioxidbeschichtungen). (3) Ebenso können superhydrophile Oberflächen auf Gläsern und Spiegeln hergestellt werden, die ein Beschlagen von Fenstern und Spiegeln vermeiden, die Lichtstreuung reduzieren und biozid wirken. (4) In photokatalytischen Wandfarben vermögen Titandioxidpigmente Luftverunreinigungen zu beseitigen und so das Raumklima zu verbessern. Inzwischen werden Raumluftfilter mit Titandioxid angeboten (Bachmann et al 2007:51). (5) Ebenso wird Titandioxid in der Solartechnologie genutzt. In Farbstoffsolarzellen bewirken mit Farbstoffmolekülen dotierte Titandioxidpartikel einen schnellen Ladungstransport;

- **Zink:** Zinkoxid ist ein sehr verbreiteter Schutz vor Ultraviolett (UV)-Strahlungsexposition (Sonnenschutz). Während Sonnencremes in der Vergangenheit aufgrund der inhomogenen Verteilung weiß waren, sind sie heute häufig durchsichtig, da das Zinkoxid in Nanopartikeln in den Cremes verteilt ist. Aufgrund der häufigen Nutzung von Sonnencremes ist diese Verwendung überaus bedeutsam;
- **Zirkonium:** Neben Platin und Rhodium wird Zirkonium in nanoskaliger Form in Katalysatoren eingesetzt (Bachmann et al 2007:25).

Abb. 3-3: Einsatz von Metallen in der Nanotechnologie. Die qualitative Bedeutung der Metalle ist farblich gekennzeichnet.

# Metalle und Nanotechnologie

IZT   
 Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung  
 Institute for Future Studies and Technology Assessment

Li	Be											B	C	O	N
Na	Mg											Al	Si	S	P
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
Fr	Ra														
L	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	

deutliche Verwendung  
 geringe Verwendung

## 4 Auswahl von Metallen zur vertiefenden Untersuchung

Aufgrund einer wachsenden Anzahl von Metall-Rankings und dem Bestreben, diese miteinander zu vergleichen, ist es wichtig, jeweils die Zielsetzung und damit die Auswahlkriterien zu beachten. Bisher wurden Größen der Umweltrelevanz kaum herangezogen. Hingegen ist die statische Reichweite als einfache Messgröße der Verfügbarkeit ein häufiges Kriterium. Das Metall-Ranking in dieser Studie zielt darauf, die bisher kaum beachteten (da „seltener“), umweltrelevanten Metalle zu bestimmen – im Gegensatz zu anderen bekannten Metall-Rankings.

### 4.1 Kriterienauswahl zur Bestimmung „Seltener Metalle“

Im Themenfeld „seltene Metalle“ wurden insgesamt die folgenden sieben Kriterien geprüft, die ausführlich in Kapitel 2.2 beschrieben sind:

- Kriterium 1: Reservemenge: Metalle mit geringen Reserven;
- Kriterium 2: Statische Reichweite: Metalle mit geringer statischer Reichweite;
- Kriterium 3: Jährliche Produktionsmenge: Metalle mit geringer Produktion;
- Kriterium 4: Rohstoffpreis: Metalle mit hohem Preis;
- Kriterium 5: Produktionskonzentration: Metalle mit hoher geographischer Konzentration der Produktion;
- Kriterium 6: Reservenkonzentration: Metalle mit hoher geographischer Konzentration der Reserven;
- Kriterium 7: Feinverteilung von Metallen.

In der folgenden Tabelle sind die Kriterien synoptisch zusammengefasst (Tab. 4-1); zur besseren Übersicht wurden die Original-Klassenbezeichnungen verallgemeinert und durch das Begriffspaar „selten/häufig“ ersetzt. Nicht erfasst durch diese Zusammenfassung sind:

- Kriterium 4: bislang konnte dies Kriterium aus methodischen Gründen nicht klassifiziert werden, vgl. Kap. 2.2.4;
- Kriterien 7 und 8: diese Kriterien werden nicht dargestellt, da ihre Klassen nicht das erforderliche Ordinalniveau aufweisen.

Tab. 4-1: Übersicht der Klassifizierung der diversen Kriterien. Die Bezeichnung der Kategorien (Klassen) wurde vereinheitlicht.

Kategorie	Reservenmenge [t]	Statische Reichweite [a]	Jährliche Produktion [t]	Produktionskonzentration	Reservenkonzentration
äußerst seltene Metalle	< 10.000	< 12,5 a	< 100	> 75 % in einem Land	> 75 % in 1 Land
sehr seltene Metalle	< 100.000	< 25 a	< 1.000	> 90 % in 2-3 Ländern	> 90 % in 2-3 Ländern
seltene Metalle	< 1.000.000	< 50 a	< 10.000	> 50 % in einem Land	> 50 % in 1 Land
häufigere Metalle	< 10.000.000	< 100 a	< 100.000	> 50 % in 2 Ländern	> 50 % in 2 Ländern
häufige Metalle	< 100.000.000	< 200 a	< 1.000.000	> 50 % in 3 Ländern	> 50 % in 3 Ländern
Massenmetalle	> 100.000.000	> 200 a	> 1.000.000		

Die Bedeutung dieser Kategorien richtet sich also nach den Kriterien, auf die sie sich beziehen. Das bedeutet: Die in Tab. 4-1 genannten Kategorien beziehen sich jeweils auf ein konkretes Kriterium (z.B. „selten in Hinsicht auf Reservenmenge“) und können daher kein zusammenfassendes Urteil einer allgemeinen „Seltenheit“ begründen. Für die Nutzung jedes der Kriterien gibt es verschiedene Argumente pro und contra, die im Folgenden tabellarisch aufgelistet sind (Tab. 4-2).

Tab. 4-2: Argumente pro und contra zu den Kriterien für die Auswahl der vertiefend zu untersuchenden seltenen Metalle.

Kriterien	Pro	Contra
Kriterium 1 – Reserven- menge	Daten zu Reserven weitgehend verfügbar (USGS), dadurch gute Vergleichbarkeit zwischen Metallen <sup>29</sup>  unmittelbarer Bezug zur abbautechnischen Verfügbarkeit	zeitliche Auflösung der Angaben eingeschränkt aufgrund ihrer kontinuierlichen Aktualisierung  Reservenmenge hängt in hohem Masse vom Stand der Bergbauprospektion ab
Kriterium 2 – Statische Reichweite	Daten zu Reserven und Produktion (USGS) weitgehend verfügbar, dadurch gute Vergleichbarkeit zwischen Metallen <sup>29</sup>  anschauliche Bedeutung, dadurch leicht kommunizierbar (im Gegensatz zu anderen Reichweiten)	Genauigkeit der Angaben eingeschränkt; in hohem Masse vom Stand der Bergbauprospektion abhängig (vgl. Reservenmenge)  Veränderungen von Angebot und Nachfrage werden nicht berücksichtigt. Bei Metallen mit großen relativen Veränderungen dadurch starke Über- oder Unterschätzung möglich.  Veränderungen in der Wirtschaftlichkeit der Metallgewinnung infolge technischer Entwicklungen werden nicht berücksichtigt
Kriterium 3 – Produktions- menge	Daten zur Produktion weitgehend verfügbar (USGS), dadurch gute Vergleichbarkeit zwischen Metallen <sup>29</sup>	eingeschränkte Aussagefähigkeit in Bezug auf Verfügbarkeit, da ohne Relation zu den Reserven

<sup>29</sup> Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der (weitgehend) freie Zugang zu diesen Daten, der voraussichtlich auch in Zukunft bestehen wird und ein Monitoring unterstützt.

Kriterien	Pro	Contra
Kriterium 4 – Rohstoffpreis	<p>direkter Vergleich zwischen Metallen möglich</p> <p>Einbezug der Nachfrage<sup>30</sup></p> <p>Einbezug des Kostenaufwands von Gewinnung und Aufbereitung<sup>31</sup></p>	<p>aufgrund der verschiedenen Zeithorizonte der Nachfrageseite (Produktion vs. Geldanlage) keine unmittelbare Korrelation mit der Verfügbarkeit</p> <p>stark volatile Preise weisen darauf hin, dass sie teilweise stark Spekulationskäufen ausgesetzt sind (Futur-Handel)</p> <p>Tendenz zu Abbildung kurzzeitiger Perspektive, dadurch langfristige Entwicklung häufig nicht angemessen berücksichtigt</p> <p>erschwerte Datenverfügbarkeit, da viele Preise nicht über die Börse, sondern zwischen den Unternehmen ausgehandelt werden</p> <p>eingeschränkte Datenverfügbarkeit, da die historische Preisentwicklung nur für wenige Metalle hinreichend erfasst ist; zudem sind zahlreiche Metalle nicht börsennotiert</p>
Kriterium 5– Reservenkonzentration	<p>sinnvoll vor allem in Verbindung mit spezifischen umweltrelevanten Gewinnungsbedingungen</p> <p>bei hoher Reservenkonzentration ist das Risiko einer Einschränkung der Rohstoffversorgung erhöht</p>	<p>eingeschränkte Datenverfügbarkeit: nur für ca. 60% der untersuchten Metalle liegen (teilweise unzureichende) Daten vor</p> <p>im Normalfall irrelevant für die Verfügbarkeit; Relevanz abhängig von der Zusammensetzung der Förderländer</p>

<sup>30</sup> Je nach Fragestellung kann dies methodisch unerwünscht sein; hieran zeigt sich die Vermischung der Begriffe „Seltenheit“, die im Allgemeinen ohne die Nachfrage definierbar ist, und „Verfügbarkeit“, welche in Relation zur Nachfrage zu definieren ist.

<sup>31</sup> Die „Seltenheit“ wird im Allgemeinen ohne Bezug zu den Gewinnungs- und Aufbereitungskosten definiert, hingegen hängt die Verfügbarkeit des Metalls von diesem Kostenaufwand ab (analog zu Fußnote 30).

Kriterien	Pro	Contra
Kriterium 6 – Produktionskonzentration	sinnvoll vor allem in Verbindung mit spezifischen umweltrelevanten Krisenfall Produktionsbedingungen  bei hoher Produktionskonzentration ist das Risiko einer Einschränkung der Metallversorgung erhöht	eingeschränkte Datenverfügbarkeit: nur für ca. 60% der untersuchten Metalle liegen (teilweise unzureichende) Daten vor  im Regelfall irrelevant hinsichtlich der Verfügbarkeit; Relevanz abhängig von der Zusammensetzung der Produktionsländer
Kriterium 7 – Feinverteilung von Metallen	Berücksichtigung der „Rezyklierbarkeit“  Beschreibung von Einzelaspekten der Rezyklierbarkeit wie Sammelbarkeit	eingeschränkte Datenlage: nur zu wenigen Metallen liegen weltweite Daten zum Einsatz vor

Für die Klassifizierung der Kriterien 1-7 ist generell festzuhalten, dass objektive Vorgaben zur Ziehung der Klassengrenzen nicht möglich sind. Die in Kap. 2.2 eingeführten Kategorien dienen lediglich der Strukturierung der Diskussion hinsichtlich der Eigenschaften der Metalle.

Auf Basis der Argumente zu den einzelnen Kriterien (Tab. 4-2) wurden „geringe statische Reichweite“ und „Feinverteilung von Metallen“ (Kriterien 2 und 7) als die Wesentlichen für die Fragestellung in Arbeitsschritt 2.1 ausgewählt<sup>32</sup>. Die Hauptgründe für den Verzicht auf die anderen fünf Kriterien sind wie folgt:

- Kriterien 1 und 3: Geringe Reserven und Produktion sind bereits durch die statische Reichweite (Kriterium 2) abgedeckt. Die Relation dieser beiden Größen ist aussagekräftiger hinsichtlich der Rohstoffverfügbarkeit als die einzelnen Größen. Gleichwohl ist zu betonen, dass die statische Reichweite keine Aussage erlaubt, ob bzw. wann eine Verknappung von Metallreserven zu erwarten ist.
- Kriterium 4: Der Metallpreis ist die relevante ökonomische Größe zur Abbildung von Angebot-Nachfrage-Relationen und in diesem Sinne auch von Knappheit. Der Metallpreis ist jedoch eine Momentaufnahme, die durch produktionsbedingte oder

<sup>32</sup> Damit folgt das Vorgehen den Vorschlägen des Vorgängerdokuments (vgl. Fußnote 1), in dem die Kriterien 1, 2 und 7 mit Begründung vorgeschlagen wurden; hinsichtlich des Verzichts auf Kriterium 1 wird in den folgenden Zeilen eingegangen.

andere, teils spekulative Erwartungen zur Preisentwicklung beeinflusst wird. Der Umfang des Einflusses insbesondere der spekulativen Erwartungen ist jedoch zeitlich variabel und nicht einfach und deutlich zu ermitteln (und heraus zurechnen). Generell ist nicht zu erwarten, dass der Metallpreis die Aspekte der Seltenheit derart berücksichtigt, wie dies in diesem Projekt beabsichtigt ist.

- Kriterium 5 und 6: Eine hohe geographische Konzentration der Produktionsländer bzw. der Länder, in denen die Reserven liegen, beschreibt die Anfälligkeit der Beschaffung infolge kritischer marktwirtschaftlicher und national- oder wirtschaftspolitischer Entwicklungen. Dies ist ein Sonderfall der Gründe für Verknappung und soll in Phase I nicht weiter betrachtet werden. Aufgrund der politischen Bedeutung sind diese Kriterien von Relevanz für die Diskussion von internationalen Handlungsoptionen für eine Verbesserung und/oder Steuerung des weltweiten Ressourcenmanagements.

#### **4.2 Kriterienauswahl zur Bestimmung der „Umweltrelevanz“**

Zur Bestimmung der Umweltrelevanz wurden die Umweltkennzahlen (Indikatoren) KEA bzw. KRA sowie TMR als Vertreter für die Umweltrelevanz gewählt (vgl. Kap. 2.3.1), da sie als richtungssicher eingeschätzt werden für die mit der Gewinnung der Metalle verbundenen Umweltbelastungen. Als Betrachtungsebene wurden sowohl die „spezifische Umweltrelevanz“, als auch die „absolute Umweltrelevanz“ herangezogen. Damit wird einerseits auch die Bedeutung des potentiellen Wachstums der Umsatzmengen seltener Metalle berücksichtigt (bei hoher „spezifischer Umweltrelevanz“); andererseits wird der globalen Betrachtungsweise Rechnung getragen (durch Einbezug der „absoluten Umweltrelevanz“).



### 4.3 Auswahl der Metalle

Gemäß Kriterienauswahl zur Bestimmung der Seltenheit bzw. der Umweltrelevanz (Kap. 4.1, Kap. 4.2) wurden folgende Kriterien zur Auswahl der zu vertiefenden Metalle herangezogen:

- Statische Reichweite;
- Feinverteilung von Metallen;
- „Umweltrelevanz“ (jeweils absolut und relativ):
  - Globaler Materialaufwand (TMR);
  - Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA);
  - Kumulierter Energieaufwand (KEA).

Die Auswahl der zehn zu vertiefenden Metalle erfolgte strukturiert diskursiv: Für jedes der Auswahlkriterien wurde jeweils eine Auswahlreihenfolge (engl.: *ranking*) für die Metalle bestimmt (Abb. 4-1).

Abb. 4-1: Darstellung der Auswahlkriterien für die Metalle (Darstellung nicht vollständig). Die Farben unterlegen die Bedeutung auf einer farbigen Ordinalskala (rot am bedeutendsten). Dissipative Verwendung (Feinverteilung): „ja“: dissipative Produktnutzung; „?“: dissipativ verwendet als Legierungsmetall; „ja?“: dissipative Produktnutzung vermutet; „(ja)“:dissipativ genutzt, begründet durch feine Verteilung von bzw. in Produkten; „+/-“: nicht feinverteilt, sogenannter „Grenzfall“. RUS: Russland; ZA: Südafrika.

Element	Ranking stat. RW	dissipative Verwendung	Ranking spez. TMR	Ranking spez. KRA	Ranking spez. KEA	Ranking abs. TMR	Ranking abs. KRA	Ranking abs. KEA
Antimon	4	ja	54			42		
Arsen	3	ja?	52	26	33	45	25	26
Chrom	11	?	56	25	17	12	6	2
Gallium	36	ja	15	14	13	48	29	29
Germanium		ja	8			33		
Mangan	18	?	57	28	29	17	11	7
Molybdän	20	?	30	15	23	18	8	18
Neodym	50	ja?	25			31		
Nickel	19	?	40	20	22	13	10	9
Strontium	1	ja	34			11		
Tantal	27	ja	22	13	12	34	18	21
Wolfram	15	ja	38	18	27	29	14	22
Zirkon	16	ja?	32			10		
Palladium		(ja)	2			15		
Palladium-RUS				11	9		22	17
Palladium-ZA				9	8		19	15
Platin	32	+/-	6			21		
Platingruppenmetalle	34	+/-						
Platin-RUS				8	6		16	13
Platin-ZA				4	4		13	12
Rhodium	37	ja	1			25		
Rhodium-RUS				5	2		24	
Rhodium-ZA				1	1		20	
Ruthenium	43	?	9	12	10	51	30	28

In einem ersten Schritt erfolgte die Vorauswahl nach den Kriterien statische Reichweite, relative Umweltrelevanz sowie absolute Umweltrelevanz. In einem zweiten Schritt wurde das Kriterium „Feinverteilung“ einbezogen, das bedeutet, Metalle ohne feine Verteilung wurden ausgeschlossen.

Darüberhinaus wurde eine stark anwachsende Nachfrage als Pro-Kriterium berücksichtigt, da dies mit dem Anstieg der „absoluten Umweltrelevanz“ einhergeht. Ferner wurde der Untersuchungsbedarf bei jenen Metallen erhöht eingeschätzt, welche bisher noch nicht oder nur wenig untersucht waren. Durch eine Zusammenschau der Gesamtheit der Kriterien wurde anschließend argumentativ die Auswahl festgelegt.

Im Folgenden werden die zehn zur vertiefenden Untersuchung ausgewählten Metalle vorgestellt und die Gründe für die Auswahl in Stichpunkten erläutert. Punktuell wird angegeben, warum sie anderen, nicht ausgewählten Metallen vorgezogen wurden.

**Metallauswahl zur vertiefenden Untersuchung von Metallen mit Angabe der bedeutendsten Auswahlgründe:**

<b>Gallium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Feinverteilung (v.a. Halbleiter, Optoelektronik);</li><li>• Produktion ausschließlich als Nebenprodukt;</li><li>• sehr stark ansteigender Rohstoffbedarf erwartet (Photovoltaik, IC, WLED).</li></ul> <p>aufgrund seiner unkritischen statischen Reichweite und niedrigen absoluten Umweltrelevanz wäre Gallium nicht in die Metallauswahl gekommen</p>
<b>Gold</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• hohe Umweltrelevanz: hoher relativer und absoluter KRA/KEA/TMR (Top10);</li><li>• geringe statische Reichweite (Top 10);</li><li>• teilweise fein verteilt.</li></ul>
<b>Indium<sup>33</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• geringe statische Reichweite (Top 10);</li><li>• Einsatz in innovativen umwelttechnischen Anwendungen (LCD, LED/OLED, Prozessoren, <i>hand-held consumer electronics</i>), dadurch stark ansteigender Rohstoffbedarf erwartet (in Displays, Photovoltaik).</li></ul> <p>a) Es wurde eine signifikante Abweichung von TMR und KRA festgestellt, die weitere Untersuchungen nahelegen; b) Indium wurde als kritisches Metall eingestuft (NRC 2008).</p>

<sup>33</sup> Obwohl eines der „seltenen Metalle“, wurde Indium bereits in ersten Ansätzen in Projekten außerhalb des MaRes-Projektes untersucht, da nach aktuellem Wissensstand von geringen Reserven auszugehen ist.

## Mangan

- hohe Umweltrelevanz: hoher absoluter KEA (Top 10);
- geringe statische Reichweite (Top 20);
- Feinverteilung: Hauptlegierungselement in Kohlenstoffstählen;
- gegenüber Chrom und Nickel wird Mangan bei der Stahlherstellung abgeschieden, dadurch hohe Recyclingverluste;
- künftig Gewinnung denkbar aus Tiefsee-Lagerstätten.

a) Mangan und Nickel bzw. Chrom unterscheiden sich in Bezug auf ihr Schmelzverhalten bei der Stahlherstellung derart, dass Nickel und Chrom in größerem Maße in der Schmelze verbleiben. Aufgrund der großen Bedeutung der Legierungsmetalle sollten bei der Auswahl beide Schmelzeigenschaften (und damit Verfahrenspfade) einander ergänzend betrachtet werden; b) Mangan wird gegenüber Molybdän aufgrund seiner leicht höheren Umweltrelevanz bevorzugt (höherer TMR- und KEA-Wert). c) Mangan wurde als kritisches Metall eingestuft (NRC 2008).

## Nickel

- hohe Umweltrelevanz: hoher absoluter KRA/KEA (Top10), absoluter TMR (Top 20);
- geringe statische Reichweite (Top 20);
- Feinverteilung: Legierungselement in rostfreien Stählen, daneben relativ hoher Anteil an Nicht-Stahl-Verwendungen;
- zunehmende technische Bedeutung absehbar aufgrund erhöhten Bedarfs an hochwertigen rostfreien Stählen; gleichzeitig zunehmende Verunreinigung durch mangelhafte Rezyklierungssysteme auf globalem Maßstab.

Nickel und Chrom weisen ähnliche statische Reichweite und Umweltrelevanz auf. Auch ihr Abtrennverhalten bei der Stahlherstellung ähnelt einander. Nickel wird bei der Metallauswahl gegenüber Chrom trotz der niedrigeren Umweltrelevanz bevorzugt, da von einer besseren Datenlage auszugehen ist<sup>34</sup>.

## Palladium

- hohe Umweltrelevanz: hoher relativer KRA/KEA/TMR (Top 10);
- Stellvertreter für PGM.

statische Reichweite unkritisch; Bevorzugung gegenüber Rhodium aufgrund größerer Einsatzmenge, gegenüber Platin wegen paralleler Untersuchung von Platin in Arbeitsschritt AS 2.2.

<sup>34</sup> Zu Nickel liegen Arbeiten des STAF-Projekts der *Yale University* vor.

<b>Silber</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• hohe Umweltrelevanz: hoher KRA (absolut, relativ) (Top 10), mittlere TMR und KEA (absolut, relativ);</li><li>• sehr geringe statische Reichweite (&lt; 20a) (Top 10);</li><li>• teilweise fein verteilt;</li><li>• auffallend vielfältiger Einsatz in den Bereichen EuE, Medizin und Nanotechnologie (vgl. Kap. 3);</li><li>• Einsatz in innovativen Anwendungen, auch in der Umwelttechnik (<i>advanced electromotor generator</i>, Solarzellen, Energieübertragung, Hochleistungsspiegel, Abgasreinigung, <i>hand-held consumer electronics</i>).</li></ul> <p>Silber und Gold unterliegen als Edelmetalle ähnlicher Mechanismen der Feinverteilung. Da Silber jedoch in einer Vielzahl innovativer Anwendungen bzw. in der Umwelttechnik benötigt wird, wird es bei der Metallauswahl bevorzugt.</p> <p>Die vorliegenden Daten zeigen höhere KRA-Werte als TMR-Werte, was auf Fehlberechnungen oder signifikante Unsicherheiten der Werte hinweist.</p>
<b>Titan</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• hohe Umweltrelevanz: hoher absoluter KRA/KEA/TMR (Top10), mittlere relative KRA/KEA/TMR;</li><li>• fein verteilt, dissipative Produktnutzung in Farben bzw. Lacken.</li></ul> <p>statische Reichweite unkritisch</p>
<b>Zink</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• hohe Umweltrelevanz: hoher absoluter KEA (Top 10), hoher absoluter TMR/KRA (Top20);</li><li>• sehr geringe statische Reichweite (Top 10);</li><li>• fein verteilt;</li><li>• Einsatz in innovativen umwelttechnischen Anwendungen (Akkumulatoren).</li></ul>
<b>Zinn</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• hohe Umweltrelevanz: hoher absoluter TMR/KRA (Top10), hoher absoluter KEA (Top 20);</li><li>• sehr geringe statische Reichweite (Top 10);</li><li>• fein verteilt.</li></ul>



## 5 Vertiefende Untersuchungen ausgewählter Metalle

### 5.1 Ziel der Untersuchungen

Das Hauptziel der vertiefenden Untersuchung ist einerseits, sich einen analytischen Überblick zu verschaffen, andererseits für die ausgewählten Metalle eine konsistente Übersicht über Umweltaspekte zu gewinnen, die sich im Wesentlichen in folgende zwei Bereiche gliedern lassen:

- metallspezifische Umweltbelastungen über den Lebenszyklus. Dies umfasst Wasser- und Luftemissionen sowie den Einsatz von belastenden Chemikalien etc.;
- metallspezifische Materialverluste über den Lebenszyklus.

Vorarbeiten aus früheren Projekten, die als Grundlage genutzt werden könnten, fehlen weitgehend bzw. sind sehr unterschiedlich entwickelt. Häufig existieren hinsichtlich der Beschreibung der Metallkreisläufe punktuell Informationen, die aufgrund der unterschiedlichen Bezugnahme in Raum und Zeit jedoch nicht miteinander in Einklang zu bringen sind. Ergebnisse von Arbeiten mit gleichem Ziel sind bislang kaum bekannt (abgesehen von einigen wenige Stoffflussanalysen mit Focus auf Gesamtverständnis der Massenströme statt auf Verluste).

Nicht alle Materialverluste in den Metallflusssystemen sind bei gegebenen Technologien vermeidbar. Einige Anwendungen sind bei unverändertem Einsatz praktisch unvermeidbar mit Materialverlusten verbunden, teils aus Gründen der Verfahrenstechnik, aufgrund dissipativer Nutzung oder aus anderen Gründen. Wo möglich sollen die Minderungspotenziale der Verluste angezeigt werden.

### 5.2 Methode

Die Metalluntersuchungen dienen einer Einschätzung der Umweltbelastungen und Materialverluste hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus, das bedeutet vom Erzabbau über die Aufbereitung und Produktion zur Nutzung, dem Recycling und der Ablagerung. Prinzipiell sind alle Umweltaspekte bzw. alle Materialverluste einbezogen, welche entlang des Lebenszyklus auftreten; allerdings möchten und können die Metalluntersuchungen hier kein vollständiges Nachschlagewerk bieten, das sämtliche Umweltaspekte im untersuchten System einbezieht, da dies den Rahmen dieser Arbeiten sprengen würde und der Klarheit abträglich wäre. Vielmehr sind die relevanten Umweltaspekte zielorientiert aufzuspüren und kompakt darzustellen, weniger relevante dienen der Erläuterung des Kontextes. Die diesem Prozess zugrundeliegende Bewertung der Umweltaspekte ist nicht formalisiert und erfolgte auf

Basis des Expertenwissens der Autoren und einer gezielten Literaturrecherche und -auswertung der deutsch- und englischsprachigen Fachliteratur. Sie sind daher keinesfalls als abschließend anzusehen.

Bei den Untersuchungen handelt es sich im Kern um vereinfachte Stoffflussanalysen (SFA); sie folgen den methodischen Anforderungen so weit wie möglich. Aufgrund der meist sehr eingeschränkten Datenlage wurden entgegen den methodischen Anforderungen der SFA wo erforderlich Abstriche in Kauf genommen. Es wurde ein iteratives, zielorientiertes Vorgehen gewählt, um die metallspezifischen „hot spots“ zu identifizieren. So war beispielsweise bei der Bilanzierung in der Regel der Einbezug mehrerer Bezugsjahre erforderlich, um ein lebenszyklusweites Gesamtbild zu erhalten.

Die ausgeprägte Streuung der Qualität der Informationslage zu den Metallen erschwerte den Gesamtüberblick<sup>35</sup>. Die Untersuchung des Stoffhaushalts über den gesamten Lebenszyklus erfolgte daher für jedes der zehn Metalle nach dem gleichen Schema, um die Vergleichbarkeit zwischen den Metallen zu erhöhen (Abbildung 5.1). Für jeden Prozess des Systems wurden über den Lebenszyklus zum einen die relevanten Metallverluste<sup>36</sup> und zum anderen relevante spezifische Umweltbelastungen bestimmt<sup>37</sup> (vgl. Kap. 5.2.1). Das vereinheitlichende Schema besteht aus zwei Elementen:

- ein metallübergreifendes globales Stoffflusssystem, das die Stoffflüsse jedes der untersuchten Metalle darstellen lässt (Abbildung 5.1), das sogenannte Referenz-System. Es wurde mithilfe der Daten aus den Untersuchungen eine vereinfachte Stoffflussanalyse durchgeführt. Das Stoffflusssystem besteht aus Prozessen und Flüssen (hier: Metallflüsse), die die Prozesse verbinden. Bei der Gewinnung und Nutzung sind Lager vorgesehen (sofern hierfür Daten verfügbar sind).
- eine inhaltliche Struktur, die dem im Stoffflusssystem dargestellten Lebenszyklus folgt. Im Bericht spiegelt sich dies in den entsprechenden Kapiteln wieder (Kap. 5.2.2).

---

<sup>35</sup> Es ist zu betonen, dass die Informationslage für die verschiedenen Metalle sehr unterschiedlich ist. Basismetalle wie Nickel sind naturgemäß ausführlicher beschrieben und diskutiert als sehr seltene Metalle wie Indium oder Gallium. Die Datenlage ist daher für sehr seltene Metalle auf weniger Quellen gestützt und dementsprechend unsicherer.

<sup>36</sup> Unter Verlusten wird dabei verstanden, dass ein Metall aus der gewünschten Prozesskette z.B. in die Entsorgung geht, von wo es nicht zurück gewonnen wird.

<sup>37</sup> Eine vollständige Beschreibung sämtlicher Umweltbelastungen konnte im Rahmen dieser Untersuchung aufgrund der vielfältigen Prozesse bei der Herstellung und der Nutzung der Metalle nicht erfolgen.



## Stoffflussanalyse

Für jedes Metall werden die Untersuchungsergebnisse zu den Metallflüssen zwischen den Prozessen sowie die Materialverluste im jeweiligen Stoffflusssystem zusammengefasst. Die Stoffflusssysteme sammeln die Ergebnisse und zeigen ggf. Diskrepanzen auf; im Gegensatz zu expliziten Stoffflussanalysen wurden die Prozesse hier nicht durchgehend bilanziert. Hierfür fehlte in der Regel die Datengrundlage, da die Systeme teilweise abstrahiert und nicht alle Daten für diesen Zweck erhoben bzw. überprüft werden konnten.

Die Stoffflussanalyse umfasst von der Gewinnung über die Aufbereitung, Verarbeitung und Produktion sowohl die Prozesskette der Primär-, als auch der Sekundärproduktion. Darüber hinaus werden die Prozesse Nutzung und Recycling (plus Downcycling) dargestellt sowie als Senken die Deponien bzw. andere Senken/Umwelt.

Zur Analyse der Materialverluste wurden Recherchen bezüglich der einzelnen Prozesse (d.h. Phasen der Lebenszyklen) der Metalle durchgeführt, die aufzeigen, in welchem Prozess die Verluste auftreten und wie groß sie sind (Quantität). Soweit möglich wird auch die Form des Einsatzes bzw. Verlustes ermittelt (Qualität). Nicht inbegriffen sind die Auswirkungen der Metallverluste.

Die Untersuchungen basieren auf Literaturrecherchen zu den Metallen. Hierzu wurden primär Fachpublikationen (Fachzeitschriftenartikel, Buchartikel, Nachschlagewerke) herangezogen, doch um Datenlücken zu füllen wurden zusätzlich Zeitungsartikel, Firmenwebseiten und andere Informationsquellen genutzt. Ergänzend wurden persönlich Informationen von Experten via Telefon und Email eingeholt.

Bei diesem Vorgehen wurden die Ergebnisse aus Kap. 3 und Kap. 10.2 genutzt, beispielsweise die metallspezifischen Vorüberlegungen zu dissipativer Verwendung gibt Hinweise, ob ein Recycling überhaupt technisch möglich ist (vgl. Kap. 10.2). Ebenso wurde auf die bestehenden Umweltprofile zurückgegriffen, die Informationen zur Umweltbelastung der Prozesse Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung beinhalten

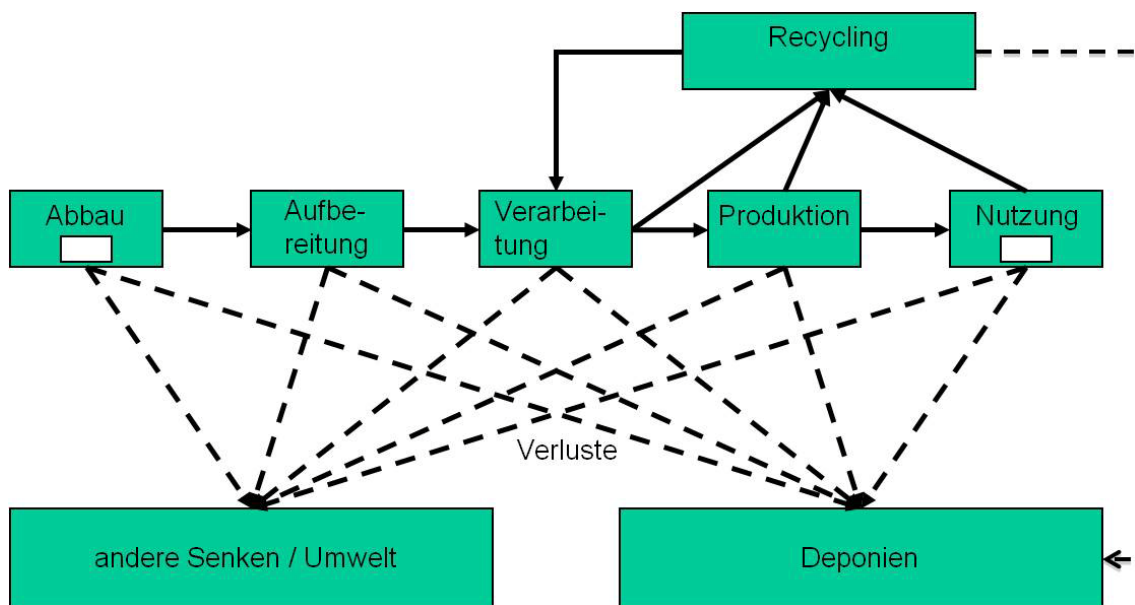
### **5.2.1 Systemdefinition: Umfang und Auflösung der Untersuchungen**

Die Systemgrenze der Stoffflussanalyse liegt zwischen Technosphäre und Umwelt. Der geographische Bezug der Untersuchung ist die Welt. Zeitlich beziehen sich die Angaben auf das neueste verfügbare Jahr (in der Regel 2008), doch musste teilweise auf ältere Daten zurückgegriffen werden.

Aufgrund des Umfangs der Aufgabe und der eingeschränkten Datenverfügbarkeit steht nicht im Vordergrund, alle auftretenden, sondern die als bedeutend erachteten Umweltbelastungen darzustellen. Hierzu wurde fallweise auf die wichtigsten Einsatzbereiche des jeweiligen Metalls fokussiert – bezogen auf die Menge eingesetzten Metalls.

Bei den Materialverlusten wird neben den Mengen auch deren Qualität behandelt, indem die Form des Einsatzes (z.B. dissipativ) beschrieben wird. Eine Beschreibung der entsprechenden Umweltauswirkungen der Verluste ist nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Abb. 5.1: Referenz-Metallsystem zur Darstellung der Metallkreisläufe und ihrer Verluste. Die unerwünschten Metallflüsse (Verluste) sind gestrichelt dargestellt. Die weißen Kästen sind Lager (stocks) des entsprechenden Metalls.



## 5.2.2 Struktur der Untersuchungen

Die Metalluntersuchungen folgen der gemeinsamen Struktur, welche in Kap. 5.2.1 durch die Systemdefinition vorgegeben ist. Dadurch ist Struktur der Untersuchungen zu den zehn Metallen soweit als möglich vereinheitlicht, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Die Abfolge der Prozesse in den metallspezifischen Berichten verläuft entlang dem „Lebenszyklus“ des Metalls (vgl. Kap. 0 in Teil 2: Vorbemerkungen).

Die Prozesse lassen sich wie folgt voneinander abgrenzen (Me steht als Platzhalter für die Metalle):

**Abbau:** Der Abbau umfasst die Entnahme der Rohstoffe und die Trennung des Erzes vom tauben Gestein.

**Aufbereitung:** Durch Aufbereitung der Erze erhält man i. d. R. Metallerzkonzentrate (teilweise werden diese nicht Konzentrate genannt sondern weisen einen Me-spezifischen Namen auf). Diese sind der Ausgangsstoff für die anschließende Verarbeitung. Die Aufbereitung umfasst die Prozesse Reinigung, Zerkleinerung, Aufschluss der Erze (Waschen, Brechen, Mahlen, Sortieren, Flotieren, Chemischer Aufschluss etc.).

**Verarbeitung:** Die Verarbeitung ist ein Sammelbegriff für die metallurgische Verhüttung, das Schmelzen und die Raffination/Veredelung. Je nach Lebenszyklus werden diese Teilprozesse separat dargestellt oder zusammengefasst. Bei der Verarbeitung werden die Metallerzkonzentrate durch pyro- oder hydrometallurgische Verfahren zum eigentlichen Metall (metallische Form) bzw. zu Halbzeug verarbeitet.

**Produktion:** Produktion umfasst jene Arbeitsschritte, die das Metall erfährt, bevor es in eine nutzbare Form überführt wird. Je nach Profil der Me-Nutzung zählt dazu die Umformung zu Endprodukten, z.B. Drähten und Blechen, oder auch die Produktion von komplexen Gütern (z.B. Computer).

**Nutzung:** Die Nutzung beschreibt die Phase, in der das Metall dem Endverbrauch zur Verfügung steht. Dies schließt die Lagerung im Einzelhandel mit ein, ebenso das *hibernating* von Gütern, die nicht mehr genutzt werden, doch noch nicht dem Abfallsystem zugeführt wurden.

**Recycling:** Das Recycling umfasst die Sammlung, Zerlegung und die Rückgewinnung von Gütern nach der Nutzung (Me-führende Abfälle/Altschrotte) oder auch Rückständen aus der Verarbeitung/Produktion (Neuschrotte).

N.B.: Abfälle, die kein Metall führen oder nicht einer gezielten stofflichen Verwertung zugeführt werden, werden als direkter Fluss aus der Nutzung in die Deponien dargestellt. Beispielsweise werden Batterien, die als Batteriefraction gesammelt werden, zum Prozess „Recycling“ geführt; hingegen werden Batterien, die lediglich als Restmüll gesammelt werden (und damit diese Batterien einer weiteren Aufbereitung entziehen) direkt zum Prozess „Deponien“ geführt.

**Metalle in die Deponien:** Im Prozess „Metalle in die Deponien“ werden sämtliche metallführende Abfälle gesammelt, unabhängig ob sie aus der Nutzung (direkt) stammen oder als Rückstand des Recyclings oder der Verarbeitung/Produktion.

**Metalle in andere Senken / Umwelt:** Dieser Prozess sammelt sämtliche Me-Flüsse in die Umweltkompartimente. Zusätzlich werden dissipative Produktnutzung oder andere unbeabsichtigte Me-Flüsse in andere Stoffsysteme (*downcycling*) hier zusammengefasst. Beispielsweise werden manganführende Stähle überwiegend „als Stahl rezykliert“, wodurch das Mangan durch Verdünnung seine Funktionalität dauerhaft verliert. Es gelangt damit in „andere Senken“.

---

Die relativ einfache Definition der Prozesse erlaubt, die teils sehr unterschiedlichen, metallspezifischen Prozesse in den jeweiligen Metallsystemen dem Referenz-Metallsystem (Abb. 5-1) zuzuordnen.

### 5.2.3 Gegenstand der Untersuchungen

Die Untersuchungen fokussierten auf die direkten Umweltbelastungen; indirekte, die durch den Energieverbrauch in den Prozessen erzeugt wurden (z. B. für die Raffination), standen nicht im Fokus der Arbeit<sup>38</sup>. Daher wurden energiebedingte Umweltbelastungen grundsätzlich nicht systematisch einbezogen, wobei diese in bestimmten Fällen (bei hohen Werten für TMR, CO<sub>2</sub>-Äq. etc.) mitgeführt wurden.

Die Untersuchungen basieren auf der Auswertung der metallspezifischen Fachliteratur, die die beiden Themenbereiche Umweltbelastungen und Materialverluste beleuchtet.

---

<sup>38</sup> Häufig spielen die energiebedingten Umweltbelastungen bei der Umweltbilanz von Metallen eine wichtige Rolle; diese Umweltbelastungen können jedoch in der Regel in hohem Maß durch eine Veränderung des Energie-Mix beeinflusst werden.. Ziel dieser Untersuchung war es nicht, diesen Umstand zu bestätigen und zu quantifizieren, sondern weitere relevante Umweltbelastungen zu bestimmen.

### 5.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der zehn Metalluntersuchungen sind in zehn eigenständigen Modulen dargestellt (Kapitel I bis X) (Tab. 5-1). Aufgrund ihres Umfangs finden sie sich daher als metallspezifische Untersuchungsberichte in einem separaten Teil des Berichts (Teil 2).

Tab. 5-1: Überblick der zehn Metalluntersuchungen: Metall und Symbol

Metall	Symbol
I. Gallium	Ga
II. Gold	Au
III. Indium	In
IV. Mangan	Mn
V. Nickel	Ni
VI. Palladium	Pd
VII. Silber	Ag
VIII. Titan	Ti
IX. Zink	Zn
X. Zinn	Sn

### 5.4 Übersicht zu Umweltbelastungen und Materialverluste der zehn Metalle

In einer Matrix wurden die Ergebnisse zu den Materialverlusten und den Umweltbelastungen synoptisch für die zehn Metalle zusammengefasst, geordnet nach Metall und Prozess (Phase des Lebenszyklus). Diese Matrix liefert damit eine tabellarische Übersicht über die Lokalisierung der Herausforderungen. Es wurde eine Bewertung der Umweltbelastung und der Materialverluste jeweils auf Ordinalniveau vorgenommen, welche per Farbschema dargestellt ist. Bei den Materialverlusten erfolgte die Bewertung entsprechend einer prozentualen Klassierung der Materialverluste. Die Matrizen sind auf den beiden folgenden Seiten dargestellt.

**MaRes AS2.1 - Matrix zu den Umweltbelastungen der einzelnen Metalle**

	Gewinnung	Aufbereitung	Verarbeitung	Produktion	Produktion von spezifischen Produkten	Nutzung	Recycling	Downcycling	Deponien	andere Senken / Umwelt	
Ag	<b>generell:</b> Landschaftsveränderungen durch Flächeninanspruchnahme <b>sulfidische Erze:</b> Grundwasserbelastung (AMD)	<b>Silbererz:</b> Belastung von Abwasser und Luft mit Natrunionit möglich <b>Kupfererz:</b> Abwasserbelastung mit Schwefelsäure, SO <sub>2</sub> - und As-Emissionen	CO-Emissionen möglich		<b>Fotografie-Produkte:</b> Belastung von Abwasser bzw. Klärschlamm	<b>Fotografie:</b> Belastung durch nicht sachgerecht entsorgte Fotochemikalien möglich	siehe Aufbereitung	Keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	
Au	<b>generell:</b> Landschaftsveränderungen durch Flächeninanspruchnahme <b>Gediegenes Gold:</b> Emissionen von Schwermetallen in Wasser, Sprenggase <b>Sylvanit / Calaverit:</b> Sprenggase	<b>Amalgammethode:</b> Quecksilberemissionen in Luft <b>Cyanidlaugung:</b> Emissionen von Cyaniden in aquatische Systeme möglich <b>Carbon-Pulp-Prozess:</b> Emission von Laugen möglich <b>Miller-Verfahren:</b>	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	<b>Schmuck:</b> Keine relevanten Belastungen <b>Elektro- und Elektronikgerätschaften:</b> je nach Recyclingtechnik div. Emissionen (???) <b>Dentalmedizin:</b> keine Angaben <b>Diverse Anwendungsbereiche:</b> vgl. Herstellung	Keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	
Ga	nicht relevant	Wasserbelastungen durch Gallium, verunreinigte Säuren, Komplexbildner (Kohlenwasserstoffe); Quecksilberemissionen in Luft keine quantitativen Angaben	Raffination: Wasserbelastung durch Säureeintrag; Luftbelastung durch Lösungsmittel keine quantitativen Angaben	Halbleiterprod.: Luftbelastung durch Arsenwasserstoff (unwahrscheinlich) sowie Gallium- und Arsenstaub	-	keine Angaben	<b>Aufschluss:</b> Wasserbelastung durch Salzsäure (10 l HCl konz./kg GAs Abfall), H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% (10 l/kg GAs Abfall); Luftbelastung durch Arsenwasserstoff möglich <b>Extraktion:</b> Wasserbelastung durch Salzsäure (10 l HCl konz./kg GAs Abfall)	Keine Angaben	Wasserbelastung durch Gallium (fischgefährdend)	keine Angaben	
In	nicht relevant	<b>Rösten Zn-Produktionsrückstände:</b> SO <sub>2</sub> -Emissionen (bei sulfid. Erzen) <b>Säureextraktion von Zn/Rückständen:</b> Schwefelsäure, HCl, seq. Lösungsmittel <b>Ausfällung:</b> NaHSO <sub>4</sub> <b>Basen-Extraktion:</b> NaOH (konz.) <b>Schwefelwasserstoff-Abtrennung:</b> H <sub>2</sub> S; Belastung durch Cd, As, Ti und Ammoniumsulfid <b>elektrolyt. Raffination:</b> Chlorungen-Emissionen <b>Festbottleneaustauschverfahren:</b> Ammoniak in Abwasser <b>Ionenaustauscher mit Flüssig-Flüssig-Extraktion:</b> org. Lösungsmittel in Abwasser	<b>Jarosit-Prozess:</b> Emissionen unklar	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	ITO-Sputter-Target: keine bekannt	keine Angaben	unbekannt	keine Angaben
Mn		<b>THG:</b> 12 kg CO <sub>2</sub> -Äq./t Mn <b>Versauerung:</b> 0,25 kg SO <sub>2</sub> -Äq./t <b>Terrestrische Eutrophierung:</b> 0,042 kgPO <sub>4</sub> -Äq./t <b>KfA:</b> 4,25 t/t <b>Flächenverbrauch:</b> 0,172 m <sup>2</sup> /t		<b>THG:</b> 2.490 kg CO <sub>2</sub> -Äq./t Mn <b>Versauerung:</b> 15,8 kg SO <sub>2</sub> -Äq./t <b>Terrestr. Eutrophierung:</b> 1,80 kg PO <sub>4</sub> -Äq./t <b>KfA:</b> 4,25 t/t <b>Flächenverbrauch:</b> 0,49 m <sup>2</sup> /t	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
Ni	<b>Sulfidische Erze:</b> Sprenggase (0,077 kg Sprengstoff / 1 kg Ni) Dieselabgase (0,2 l Diesel / 1 kg Ni) CO <sub>2</sub> , ca. 0,56 kg/kg (inkl. Dieselabgase) Abwasser, Abraum, AMD <b>Laterite:</b> Dieselabgase (0,2 l Diesel / 1 kg Ni) Sprenggase (selten) Grubenwasser; Flächeninanspruchnahme, Abraum (50-100 % der Erzmenge) <b>Durchschnittliche Weltproduktion:</b> Abraum und Berge 32 kg / kg Ni davon nicht genutzte Berge 16 kg / kg Ni Abgase ca. 0,56 kg CO <sub>2</sub> / kg Ni	<b>Sulfidische Erze:</b> Aufbereitungsberge Flächeninanspruchnahme AMD bei Eisersulfiden Wasserverschmutzung durch gelöste Schwermetalle, Säuren, Thioester, Schwefelwasserstoff, Floationsmittel (0,039 kg / kg Ni) <b>Laterite:</b> keine Angaben <b>Durchschnittliche Weltproduktion:</b> Aufbereitungsberge 46 kg / kg Ni davon nicht genutzt 20,4 kg / kg Ni	<b>Verhüttung sulfidischer Erze:</b> CO, ca. 3,3 kg/kg Ni, Anodenschlamm 0,11 kg/kg Ni Schwefelsäure (konz) 8,3 kg/kg (ggf. SO <sub>2</sub> -Emissionen) Laugereückstände 0,23 kg/kg, Flugstaub 0,28 kg/kg <b>Verhüttung der Laterite:</b> CO, ca. 29 kg/kg, Laugereückstände 9,65 kg/kg Ni Flugstaub 1,05 kg/kg Ni <b>Durchschnittliche Weltproduktion:</b> CO, 16 kg/kg Ni, Schwefelsäure 8,4 kg/kg Ni Laugereückstände 4,2 kg/kg Ni, Flugstaub 0,7 kg/kg Ni		<b>Raffination:</b> unbekannt keine Angaben <b>Produktion von Nickel 99,5%:</b> THG-Emissionen 11,2 kg/kg Ni KEA 194 MJ/kg Ni	Rückgewinnung von Neuschrotten keine Angaben	plus Schrott-handel keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben	
Pd	Landschaftsveränderung durch Flächeninanspruchnahme Gesamte Extraktion: 23 Mio. t extrahiertes Gesten	SO <sub>2</sub> -Äq. 1,545 t/ Pd 360.000 t SO <sub>2</sub> -Äq.	keine Umweltbelastungen	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine relevanten Umweltbelastungen durch Pd	keine Angaben	
Sn		<b>THG:</b> 9.450 kg CO <sub>2</sub> -Äq./t Sn (???) <b>Versauerung:</b> 259 kg SO <sub>2</sub> -Äq./t Sn <b>Terrestrische Eutrophierung:</b> 12 kgPO <sub>4</sub> -Äq./t Sn <b>Kumulierter Kohstoffaufwand:</b> 70,7 t/ Sn <b>Flächenverbrauch:</b> 71 m <sup>2</sup> /t		<b>THG:</b> 7.273 kg CO <sub>2</sub> -Äq./t Sn <b>Versauerung:</b> 161 kg SO <sub>2</sub> -Äq./t Sn <b>Terrestrische Eutrophierung:</b> 8,8 kgPO <sub>4</sub> -Äq./t Sn <b>KfA:</b> 4,7 t/ Sn <b>Flächenverbrauch:</b> 47 m <sup>2</sup> /t	keine Angaben	keine Angaben	<b>PVC-Stabilisator:</b> Diffuser Abtrag, Innenraumluft/Staub, toxische Belastung <b>Bisozid:</b> Toxische Wirkung in aquatischer Umwelt	keine Angaben	keine Angaben	keine relevanten Umweltbelastungen	I.All. Rückläufig, doch keine spezifischen Angaben
Ti	<b>generell:</b> Landschaftsveränderungen durch Flächeninanspruchnahme (Extraktion, Abfälle) <b>Titaneit:</b> Luftbelastung durch Sprenggase, Grundwasserbelastung <b>Rutil:</b> Störung von Oberflächengewässern <b>Selten:</b> siehe Landschaftsveränderungen keine quantitativen Angaben	Chlorierung, Wasserbelastung durch Fluoranthracen und Schwefelsäure, Luftbelastung durch Chlor keine quantitativen Angaben	<b>Reduktion, Raffination, Umschmelzen:</b> keine quantitativen Angaben	bei spanender Bearbeitung: Wasserbelastung durch Kühlschmiermittel keine quantitativen Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine relevanten Umweltbelastungen	keine relevanten Umweltbelastungen
Zn	<b>Sulfidische Erze:</b> Sprenggase (0,077 kg Sprengstoff / 1 kg Ni) Dieselabgase (0,2 l Diesel / 1 kg Ni) CO <sub>2</sub> , ca. 0,56 kg/kg (inkl. Dieselabgase), Abwasser, Abraum, AMD <b>Laterite:</b> Dieselabgase (0,2 l Diesel / 1 kg Ni) Sprenggase (selten), Grubenwasser			<b>THG:</b> 2.834 kg CO <sub>2</sub> -Äq./t <b>Versauerung:</b> 10,5 kg SO <sub>2</sub> -Äq./t <b>Terrestrische Eutrophierung:</b> 1,8 kg PO <sub>4</sub> -Äq./t <b>KfA:</b> 7,75 t/t <b>Flächenverbrauch:</b> 0,69 m <sup>2</sup> /t	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	

Legende: Verteilung der Environmental Pressures entlang des Lebenszyklus per Metall, nach Einschätzung der Bearbeiter

hochrelevante Umweltbelastungen
relevante Umweltbelastungen
mäßig relevante Umweltbelastungen
mäßig-geringe relevante Umweltbelastungen
geringrelevante Umweltbelastungen
Umweltbelastungen nicht von Relevanz

	Gewinnung	Aufbereitung	Verarbeitung	Produktion	Produktion von sekundären Produkten	Nutzung	Recycling	Downcycling	Deponien	andere Sanften / Umwelt
<b>Hg</b>	2.400 t/a Silbererz: 120-1470 t/a Blei- und Kupfererz: unbekannt Blei-Erz-Fällung in-Milieu-Verfahren c21 t/a		keine	Industrielle Fertigung: sehr gering Schwack, Silbererz, Wäasser: gering Photografie: Verbrauch nicht quantifiziert		ca. 10.000 t/a	ca. 1.400 t/a	na	18700 t/a	1000 t/a
<b>Au</b>	ca. 250 t/a	unbekannt	unbekannt	Schwack: 100 t/a übrige Anweisungen: unbekannt	na	Sammelverluste EAG: 90-244 t/a	EAG: 72-221 t/a Dezemetalle: ~ 2 t/a Recycling der Produkte: ~ 20 t/a	na	EAG: 210 t/a Schwack: 100 t/a Goldbindende Hochtemperatur: ~ 200 t/a	na
<b>Ga</b>	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt
<b>Li</b>	na	35-45 % der industriellen Zersetz: 500-700 t/a	unbekannt	Säureextraktion von Zinkblei: 1% zu 5% verbleiben in Rückständen, sonstige Prozesse vermischbar 300-500 t/a deponiert in Rückständen (im allg. mit Sinter Verluste, die später abgebaut)	LCD-Produktion: gering	Elektronikschrott: unbekannt	Altschrott, Hausabfall: gering	na	na	na
<b>Mn</b>	ca. 4.000.000 t/a		ca. 1.900.000 t/a	Einsatz zur Stahlherstellung: 40000 t/a Schlackenabfall bei Edelstahlherstellung: ca. 100.000 t/a	na	Chem. Industrie: ~300.000 t/a Nicht-recycelte Batterien: 400.000 t/a ca. 100.000 t/a	na	Einsatz in Stahl: ca. 544.000 t/a	na	na
<b>Ni</b>	Sulfidische Erze: 0 % Laterite: 0 % bzw. 5 % Gesamtertrag: 107.000 t/a	Sulfidische Erze: ca. 70.000 t/a Laterite: keine Gesamtertrag: ca. 70.000 t/a	Verbleib sulfidischer Erze: Rückstände in Schwacke 5 % Sinter Pyrometall: Schlackenverlust 5 % COER Hydrometall: Rückstände nach Lagerprozessen 10 % Durchschnittliche Weltproduktion: 24.000 t/a (2000)	Refining: Industriell ca. 20.000 t/a	vermischbar	unbekannt	Einträge in Deponie: 100.000 t/a	Eintrag in niedrigwertige Metalle: ca. 90.000 t/a	na	na
<b>Pb</b>	-	-	-	-	-	Autokatalysatoren: ~1 t/a EAG: 9-23 t/a Dezemetalle: 12 t/a	Autokatalysatoren: 110 t/a Industrie-Abfallprodukte: 13 t/a EAG: 7-21 t/a Dezemetalle: ca. 12 t/a Schwack: vermischbar	na	EAG: 9-21 t/a Dezemetalle: 12 t/a	na
<b>Sn</b>	ca. 40.000 t/a		ca. 3.000 t/a		na	Chemikalien: ca. 47.000 t/a Wellblech-Verpackungen: 40.000 t/a Leder: unbekannt Legierungen: vermischbar	na	Wellblech-Verpackungen: 18.000 t/a	na	na
<b>Ti</b>	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	unbekannt	na	unbekannt	na	na	na
<b>Zn</b>	ca. 1.600.000 t/a		ca. 900.000 t/a		na	ca. 1.300.000 t/a	ca. 1.300.000 t/a	na	na	na

Legende: Verteilung der Materialverluste entlang des Lebenszyklus von Metall, nach Einschränkung der Bearbeitung

	China (Kilogramm)	Silber	Gold	Galium	Indium	Messing	Nickel	Palladium	Zinn	Titan	Zink
Produktion (Materialverluste)	20,000	24,270	895	-	-	7,500,000	670,000	800,0	150,000	-	5,100,000
Produktion (Materialverluste)	10,000	12,000	500	-	-	1,600,000	100,000	120,0	120,000	-	3,600,000
Produktion (Materialverluste)	50,000	12,130	400	-	-	3,750,000	330,500	90,0	70,000	-	2,500,000
Produktion (Materialverluste)	25,000	6,000	200	-	-	2,000,000	180,000	40,0	30,000	-	1,200,000
Produktion (Materialverluste)	10,000	3,000	100	-	-	1,100,000	110,000	15,0	10,000	-	600,000
Produktion (Materialverluste)	50,000	2,400	80	-	-	750,000	60,000	10,0	15,000	-	500,000

Materialverluste sind in %, nicht in t/a angegeben.

Im Folgenden werden für jedes Metall ausgewählte Ergebnisse dargestellt; zuerst bezogen auf die Umweltbelastungen, dann auf die Materialverluste.

#### **5.4.1 Gallium**

##### *Umweltbelastungen*

Bei der Gewinnung von Gallium fallen keine relevanten spezifischen Umweltbelastungen an. Gallium wird als Nebenprodukt bei der Aluminiumoxidproduktion gewonnen und ist dabei von ökonomisch untergeordneter Bedeutung, so dass damit verbundene Umweltbelastungen konventionsgemäß weitgehend dem Hauptprodukt zugerechnet werden. Bei der Aufbereitung und der Raffination können Gallium, verunreinigte Säuren sowie ggf. Komplexbildner in aquatische Systeme freigesetzt werden, daneben Luftverschmutzung durch Quecksilberdämpfe sowie Lösungsmittel. Während der Produktion von galliumhaltigen Halbleitern kann Gallium- und Arsenstaub freigesetzt werden. Beim Recycling kann eine Belastung aquatischer Systeme durch Salzsäure und Luftverschmutzung durch Arsenwasserstoff auftreten.

In Deponien kann die Ausschwemmung von Gallium Fischbestände gefährden (eine Einschätzung der Belastung auf Basis der derzeitigen verfügbaren Informationen ist nicht möglich).

##### *Materialverluste*

Zu Gallium konnten in dieser Studie keine ausreichenden Angaben zu Metallverlusten ermittelt werden.

#### **5.4.2 Gold**

##### *Umweltbelastungen*

Die bedeutendsten Umweltbelastungen wurden in der Gewinnung und Aufbereitung festgestellt. Bei der Primärproduktion bedingen die großen Gesamtextraktionsmengen<sup>39</sup> (ca. 1.400 Mio. Tonnen) sehr starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Darüberhinaus treten bei der Gewinnung Emissionen von Schwermetallen auf. Verschiedene Aufbereitungspfade können verschiedene umweltbelastende Emissionen

---

<sup>39</sup> Die „Gesamtextraktion“ wurde als Produkt des TMR und der Produktionsmenge des Metalls errechnet. Die in Kap. 5.4 aufgeführten Angaben zu Gesamtextraktionen basieren für alle Metalle auf Basis der globalen Produktionsmengen von 2007.



in aquatische Systeme bedingen, so Quecksilber bei der Amalgammethode, Cyanid bei der Cyanidlaugung, sowie Säuren oder Laugen. Desweiteren werden bei der Goldrückgewinnung von EE-Schrotten technologieabhängige Emissionen erwartet.

#### *Materialverluste*

Die jährlichen Gesamtverluste von Gold werden zu ca. 800 t/a abgeschätzt (ca. 30% der Fördermenge). Erhebliche Verluste entstehen bei der Gewinnung, wo ca. 230 t/a (30 %) über den Abraum verloren gehen. Die bedeutendsten Verluste treten beim Rezyklieren von Elektro-Altgeräten auf, sowohl durch Sammelverluste (30 %), als auch durch Verluste bei der technischen Rückgewinnung. Die Unsicherheiten der Verluste sind hier ausgesprochen groß und sollten näher untersucht werden. Zudem geht durch mangelhaftes Recycling auch Gold in diversen anderen Produkten (inkl. der Dentalmedizin) verloren. Relevant ist ausserdem der Goldverlust bei der Schmuckproduktion, der auf 100 t/a geschätzt wird.

### **5.4.3 Indium**

#### *Umweltbelastungen*

Da Indium als Nebenprodukt gewonnen wird – überwiegend bei der Zinkproduktion – fallen bei seiner Gewinnung keine relevanten spezifischen Umweltbelastungen an (bzw. werden diese konventionsgemäß dem Hauptprodukt zugerechnet). Die Aufbereitung ist aufwendig und erfordert eine umfangreiche Reihe von Chemikalien, beispielsweise Schwefelsäure, Natriumhydrogensulfit, Natriumhydroxid, Schwefelwasserstoff, VOC, organische Lösungsmittel und Chlorgas, die bei unsachgemäßem Einsatz oder Störfällen potenziell die Umwelt belasten können. Beim Rösten sulfidischer Erze treten zusätzlich Schwefeldioxid-Emissionen auf. Außerhalb der Aufbereitung sind keine relevanten Umweltbelastungen bekannt.

#### *Materialverluste*

Die Indiumverluste sind nicht ausreichend bekannt. Der Anteil, der bei der Aufbereitung der indiumführenden Zinkerze bei der Zinkproduktion verlorenggeht (also vor der Indiumgewinnung) umfasst ca. 500-700 t/a. Daneben gehen auch indiumführende Neuschrotte verloren, da global (!) noch kein entsprechendes Angebot für ein Recycling besteht.

#### 5.4.4 Mangan

##### *Umweltbelastungen*

Die bekannten Umweltbelastungen sind auf die Primärproduktion konzentriert. Die Gesamtextraktionsmengen (ca. 150 Mio. Tonnen) bedingen starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Zudem fallen pro Tonne Mangan hinsichtlich Versauerung ca. 17 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente an, hinsichtlich terrestrischer Eutrophierung 1,8 kg PO<sub>4</sub>-Äquivalente und hinsichtlich Treibhausgaseffekts 2,5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente – alle drei fast ausschließlich in der Verarbeitung und Produktion. Der spezifische TMR beträgt 13 t/t Mangan, der KRA beträgt 10 t/t Mangan bei einem Flächenverbrauch von 0,66 m<sup>2</sup>/t Mangan. Rund zwei Drittel des KRA und des Flächenverbrauchs werden den Phasen Verarbeitung und Produktion zugeordnet.

Relevante Umweltbelastungen in den nachfolgenden Prozessen sind nicht bekannt.

##### *Materialverluste*

Nach den Berechnungen dieser Arbeit beträgt der gesamte jährliche Manganverlust bis zu 7,5 Mio. Tonnen (ca. 59 % der Fördermenge), davon tritt mehr als die Hälfte bei Gewinnung und Aufbereitung auf (4 Mio. Tonnen), vor allem im Feinkornbereich infolge mangelhafter Klassierung. Es handelt sich um den größten Materialverlust von den untersuchten Metallen. Bei der Verarbeitung in der Edelstahlproduktion gehen ca. 1,8 Mio. Tonnen (24 %) verlustig. Daneben gehen je ca. 10 % des Gesamtverlustes während des Stahlrecyclings (downcycling) sowie durch dissipative Verwendung bzw. feinverteilten Einsatz (chemische Industrie bzw. Batterien) verloren). Nur ein geringer Anteil von 2 % tritt bei der eigentlichen Stahlherstellung auf (als Schlackebildner bei der Stahlherstellung bzw. beim Legieren von Edelstählen).

#### 5.4.5 Nickel

##### *Umweltbelastungen*

Bei der Primärproduktion bedingen die Gesamtextraktionsmengen (ca. 230 Mio. Tonnen) starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Die spezifischen Umweltbelastungen von Nickel sind sehr abhängig von den Ausgangserzen (die Reserven der sulfidischen und der lateritischen Erze sind ähnlich bedeutend). Insbesondere durch den Abbau von Lateriten werden relativ große Flächen in Anspruch genommen. Bei sulfidischen Erzen können saure Grubenwässer (AMD) von Abraum und den Aufbereitungsbergen zu einer lokalen Belastung mit Schwermetallen und Versauerung von Grund- und Oberflächenwässern führen; Abraum und Berge betragen

durchschnittlich ca. 120 t/t Nickel. Infolge der Aufbereitung der sulfidischen Erze tritt Wasserverschmutzung durch Schwermetalle, Säure und Thiosalze auf. Bei der Verhüttung fallen Laugereirückstände und Flugstäube (beide vor allem bei Lateriten) sowie Anodenschlämme und Schwefelsäure (vor allem sulfidische Konzentrate) auf. Cadmium, Quecksilber und Blei können in die Luft oder aquatische Systeme freigesetzt werden.

Relevante Umweltbelastungen in den nachfolgenden Prozessen sind nicht bekannt.

#### *Materialverluste*

Die jährlichen Verluste von Nickel machen insgesamt ca. 680.000 t/a aus (ca. 45 % der Fördermenge). Fast 40 % treten im Recycling- bzw. Abfallbereich auf: Zwei Drittel davon gehen auf die Deponien, ein Drittel per *downcycling* in niedrigwertige Legierungen verloren. Knapp 170.000 t/a treten bei der Gewinnung und ca. 70.000 t/a bei der Aufbereitung auf. Weitere 74.000 t gehen bei der Verhüttung verloren. Industrieabfälle fallen mit 20.000 t/a (3 %) nicht ins Gewicht.

### **5.4.6 Palladium**

#### *Umweltbelastungen*

Bei der Primärproduktion bedingen die Gesamtextraktionsmengen starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Der TMR beträgt ca. 100.000 t/t Palladium, was eine Gesamtextraktion von ca. 23 Mio. Tonnen Primärmaterial jährlich bedingt. Bei der Aufbereitung aus den sulfidischen Erzen entstehen große Mengen Schwefeldioxid, pro Tonne ca. 1,5 t SO<sub>2</sub>-Äquivalent, die regional zu saurem Regen führen können.

Relevante Umweltbelastungen in den nachfolgenden Prozessen sind nicht bekannt.

#### *Materialverluste*

Da Palladium als Nebenprodukt gewonnen wird, werden während der Primärproduktion keine Verluste festgestellt, sondern lediglich in Nutzung und Recycling. Von den 180 t/a Verlust treten 80 % im Recycling auf. Mit 110 t/a ist der Verlust in Katalysatoren, die nach der Entsorgung nicht ordnungsgemäß rezykliert werden, mit Abstand der größte Beitrag. Es folgen die Elektroaltgeräte mit 7-21 t/a sowie die Industriekatalysatoren mit über 13 t/a. Dentalmedizin ist hier vernachlässigbar. Die übrigen 20 % gehen in der Nutzungsphase verloren, ein Großteil durch Elektroaltgeräte und Dentalmedizin; hier ist der Beitrag der Autokatalysatoren vernachlässigbar.

### 5.4.7 Silber

#### *Umweltbelastungen*

Bei der Gewinnung von Silber wird durch die Gesamtextraktion (ca. 150 Mio. Tonnen pro Jahr) stark in die Landschaft eingegriffen. Werden sulfidische Erze abgebaut, können saure, schwermetallhaltige Bergbauwässer die Umwelt, insbesondere das Grundwasser, belasten. Bei der Aufbereitung treten je nach Ausgangserz verschiedene Belastungen auf: Während bei Silbererzen die Belastung von Natriumcyanid bedeutend ist, dominieren bei Bleierzen die Bleistäube und bei Kupfererzen die Abwasserbelastung mit Schwefelsäure. Bei der Verarbeitung von Silber zu Halbzeug und Silberlegierungen können im Rahmen des Schmelzprozesses Kohlenmonoxid-Emissionen aufkommen.

Im Rahmen der Produktion und Nutzung dominiert die dissipative Verwendung des Silbers in der Fotografie; die Belastung durch Nanopartikel aus Silber wird aktuell intensiv diskutiert.

#### *Materialverluste*

Die jährlichen Gesamtverluste von Silber werden zu ca. 24.000 t/a bestimmt (was der Fördermenge des reinen Metalls entspricht); mangels Lagerbildung gelangt daher das gewonnene Silber quasi vollständig in die Deponien und die Umwelt bzw. andere Senken. Mehr als 75 % (19.000 t/a) davon gehen in der Nutzungsphase verloren. Während der Gewinnung der Erze gehen ca. 10 % über den Abraum verloren. Die restlichen Verluste teilen sich auf das Recycling und die Aufbereitung. Die Verluste bei der Aufbereitung, meist Rückstände in Lösungen, sind relativ unsicher, doch werden bezogen auf den Gesamtverlust unter 6 % abgeschätzt.

### 5.4.8 Titan

#### *Umweltbelastungen*

Im Rahmen der Gewinnung von Titan ist von bedeutender Landschaftsveränderung durch Flächeninanspruchnahme auszugehen. Die Gesamtextraktionsmenge von Primärmaterial beträgt ca. 1.600 Mio. Tonnen. Je nach hauptsächlichem Mineral der Titanerze dominieren unterschiedliche Umweltbelastungen, darunter die Störung von Oberflächengewässern (Rutil) sowie Grundwasserabsenkung und die Luftbelastung durch Sprenggase (Ilmenit). Bei der Aufbereitung treten Luftbelastungen durch Chlor und Wasserbelastungen durch Flotationschemikalien und Schwefelsäure auf. Die Wasserbelastung durch Kühlschmiermittel bei der spanenden Bearbeitung wird als

relativ gering eingeschätzt.

Relevante Umweltbelastungen in den nachfolgenden Prozessen sind nicht bekannt.

#### *Materialverluste*

Zu Titan konnten in dieser Studie keine ausreichenden Angaben zu Metallverlusten ermittelt werden.

### **5.4.9 Zink**

#### *Umweltbelastungen*

Die bekannten Umweltbelastungen sind auf die Primärproduktion konzentriert. Bei der Primärproduktion bedingen die Gesamtextraktionsmengen (ca. 230 Mio. Tonnen) starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Pro Tonne Zink fallen hinsichtlich Treibhausgasen ca. 2,9 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente an und hinsichtlich Versauerung 36 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente, wovon 80-85 % den beiden Phasen Verarbeitung und Produktion zuzuordnen ist und der Rest den Phasen Gewinnung und Aufbereitung. Bei der terrestrischen Eutrophierung fallen pro Tonne Zink ca. 1,9 kg PO<sub>4</sub>-Äquivalente an, davon gut die Hälfte in Gewinnung und Aufbereitung. Der KRA beträgt 17 t/t Zink bei einem Flächenverbrauch von ca. 0,86 m<sup>2</sup>/t Zink. Bei beiden Belastungen überwiegt der Anteil, der aus der Gewinnung und Aufbereitung stammt (65 % bzw. 86 %). Bei hydro-metallurgischen Prozessen werden zudem VOC und Säurenebel potentiell freigesetzt. Relevante Umweltbelastungen in den nachfolgenden Prozessen sind nicht bekannt.

#### *Materialverluste*

Die jährlichen Zinkverluste sind mit 5.100.000 t/a (ca. 47 % der Fördermenge) die zweitgrößten der untersuchten Metalle. Je ein Viertel treten in der Nutzung und dem Recycling auf (je 1.300.000 t/a). Die Zinkverluste bei der Gewinnung und Aufbereitung machen mit über 1.600.000 t/a den größten Beitrag aus. Bei der Verarbeitung und Produktion fallen immerhin noch 900.000 t/a an.

## 5.4.10 Zinn

### *Umweltbelastungen*

Die bekannten Umweltbelastungen sind auf die Primärproduktion konzentriert. Bei der Primärproduktion bedingen die Gesamtextraktionsmengen (ca. 640 Mio. Tonnen) sehr starke Eingriffe in die jeweilige Landschaft. Pro Tonne Zinn fallen hinsichtlich Treibhausgasen ca. 17 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente an, hinsichtlich Versauerung 420 kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente und hinsichtlich terrestrischer Eutrophierung 21 kg PO<sub>4</sub>-Äquivalente. Der KRA beträgt ca. 1.200 t/t Zinn bei einem Flächenverbrauch von ca. 120 m<sup>2</sup>/t Zinn. Die Umweltbelastungen verteilen sich auf ca. 60 % auf die Phasen Gewinnung und Aufbereitung, der Rest auf Verarbeitung und Produktion.

Beim Einsatz in Bioziden in Form von Organozinnverbindungen sind toxische Wirkungen auf aquatische Systeme berichtet. Diffuser Abtrag aus PVC-Stabilisatoren kann die Innenraumluft toxisch belasten. Weitere Umweltbelastungen sind nicht bekannt.

### *Materialverluste*

Die jährlichen Gesamtverluste betragen für Zinn ca. 150.000 t/a (ca. 42 % der Fördermenge). Die Materialverluste treten überwiegend in der Nutzungsphase auf: Gegen 60 % der 150.000 t/a gehen dort durch verschiedene Nutzungen verloren, vor allem als diffuser Abtrag von PVC-Stabilisatoren, aber auch in Form von Weißblechverpackungen. Der zweitgrößte Anteil sind Zinnverluste beim Abbau, die ca. 30 % der Gesamtverluste ausmachen. Demgegenüber sind die Verluste in der Verarbeitung und Produktion mit 3.000 t/a vernachlässigbar (nur 2 %). Weitere 12 % treten beim Recycling von Weißblechverpackungen auf.

## 5.5 Diskussion der Ergebnisse

### 5.5.1 Methodische Einschränkungen

#### *Problematik der Vielfalt von Prozessen*

Die Prozesse des Referenz-Metallsystems unterscheiden sich für die verschiedenen Metalle teils deutlich. Das bedeutet, dass sich die Darstellungen der Stoffflusssysteme unterscheiden würden, würde man für jedes der Metalle eine individuell angepasste (Stofffluss-)Analyse anstreben. Das Ziel einer synoptischen Darstellung der Ergebnisse erfordert daher strukturiertes Vorgehen. Die Schwierigkeit besteht darin, die Vergleich-

barkeit zu erhalten und ausreichend Raum für die Darstellung der metallspezifischen Eigenheiten bereitzustellen.

Von zentraler Bedeutung war die Anforderung, die Prozessdefinitionen für die einzelnen Metalle geeignet zu wählen. So weichen die Herstellungsprozesse der teils sehr verschiedenen Metalle voneinander ab. Zudem koexistieren im Allgemeinen jeweils mehrere Verfahren zur Gewinnung eines bestimmten Metalls, was eine Verallgemeinerung erschwert. Im Extremfall sind diese Verfahren lagerstättentypspezifisch definiert, was die Vielfältigkeit weiter erhöht und eine kompakte Dokumentation wesentlich erschwert. Bei dieser Untersuchung, in der auch die Vergleichbarkeit zwischen den Metallen eine große Rolle spielte, wurde ein sogenanntes „Standardsystem“ gewählt, das anschließend in Maßen den Anforderungen des Metalls individuell angepasst werden konnte (Abbildung 5.1). Dieses Vorgehen stellt die angestrebte Vergleichbarkeit sicher, ohne die Systeme in ein starres Korsett zu drängen und die Verständlichkeit zu erschweren. Als weitere Maßnahme wurde, sofern keine Angaben zur Häufigkeit des Einsatzes der einzelnen Prozesse vorlagen, die Bedeutung der Prozesse eingeschätzt und entsprechend selektiert. Letztlich floss auch die Datenverfügbarkeit bzw. Intensität der wissenschaftlichen Bearbeitung der Prozesse (in Fachartikeln) in diese Einschätzung mit ein.

#### *Koppelproduktion*

Werden innerhalb eines Prozesses mehrere Produkte hergestellt (in der Regel ein Hauptprodukt und ggf. ein bis mehrere Nebenprodukte), so werden in Lebenszyklusanalysen die Umweltbelastungen etc. den einzelnen Produkten anteilmäßig zugerechnet. Dies kann nach dem Gewicht der Produkte erfolgen, bei Metallen, insbesondere seltenen, wertvollen Metallen, wird in der Regel nach dem ökonomischen Wert der Produkte alloziert.

Bei einigen der untersuchten Metalle handelt es sich um Koppelprodukte. Da in dieser Untersuchung keine kompletten Lebenszyklusanalysen durchgeführt wurden, musste diese Problematik vereinfacht behandelt werden. Bei der Recherche wurden die vorliegenden Fälle in der Form übernommen, wie sie in der Literatur vorlagen. In der Regel handelt es sich um monetäre Allokationen.

#### *Dynamische Systeme und heterogene Berichtszeiträume*

Die technischen Verfahren und noch mehr die umgesetzten Stoffmengen verändern sich zuweilen relativ rasch. Es handelt sich also bei den Metallsystemen also um Momentaufnahmen von dynamischen Systemen, die sich in Einzelfällen auch im Jahresrhythmus markant ändern können.

Die Stoffflusssysteme bilden für die Flüsse und Lager im Allgemeinen das aktuellste Jahr ab, für das Daten verfügbar sind (in der Regel ca. 2008). Gleichzeitig wurde bei der Datenauswahl versucht, für jedes der Stoffflusssysteme möglichst einheitliche Bezugsjahre zu verwenden. Da die Datenlage unvollständig ist, musste teils auf Daten abweichender Bezugsjahre zurückgegriffen werden, um Datenlücken zu minimieren. Bei der Diskussion der Metallsysteme, insbesondere bei Vergleichen zwischen den Metallsystemen, ist diese Gefahr einer Fehlinterpretation aufgrund verschiedener Bezugsjahre zu berücksichtigen.

### *Datenlücken*

Eine Eigenschaft von „seltene Metalle“ ist, dass die Datenlage zu ihnen bzw. die Verlässlichkeit der Daten eingeschränkt ist – teils in ausgeprägtem Maße. Recherchen waren entsprechend aufwändig, und häufig musste trotzdem zum Erreichen des Ziels Kompromisse eingegangen werden. Dies bedeutet, dass zum Teil auch ältere Angaben (Referenzen) aufgenommen wurden, oder welche, die nur für eine bestimmte Region gültig sind und anschließend hochgerechnet werden mussten auf die Welt. Wo globale Daten fehlten, wurden europäische bzw. deutsche Daten hochgerechnet.

Aufgrund der eingeschränkten Datenlage und des zuvor beschriebenen iterativen, zielorientierten Vorgehens erheben diese Untersuchungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Selbst dort wo ausreichend Daten vorhanden sind, ist in manchen Fällen mangels Konsistenz keine vollständige Bilanzierung möglich. Bezogen auf die Übersichtsmatrix bedeutet dies, dass trotz bestmöglicher Zusammenfassung die Darstellung teils lückenhaft bleibt.

Datenlücken sind im Rahmen dieser Untersuchungen transparent dokumentiert. Sie sind ein Ergebnis, das während der Diskussion genutzt werden kann.

## **5.5.2 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungen zu den zehn Metallen**

### **Materialverluste**

Die voranstehenden Ergebnisse aus Kap. 5.4 sind Basis für eine metallübergreifende qualitative Diskussion der Verbesserungspotentiale und fördern zudem das Problemverständnis hinsichtlich des Umgangs mit Metallen. Die Stoffflusssysteme der einzelnen Metalle variieren wie erwartet stark. Im Folgenden sind ausgewählte,



metallübergreifende Ergebnisse<sup>40</sup> erläutert. Bezogen auf die Materialverluste ergab sich folgendes, differenziertes Bild:

- *Relative Materialverluste aus der Nutzungs- und Recyclingphase:* Dies sind die jährlichen Materialverluste aus Nutzung und Recycling bezogen auf den jährlichen Metallinput in den Prozess „Nutzung“; es handelt sich also um das minimale Recyclingpotenzial<sup>41</sup>, das während Nutzungsphase und Recycling besteht<sup>42</sup> (es würde durch weitere im Inland angesiedelte Prozesse erhöht). Die Werte schwanken um den Faktor Acht; so betragen sie bei Zinn über 70 %, bei Gold weniger als 10 %;
- *Relative Gesamtmaterialverluste:* Dies sind die gesamten jährlichen Materialverluste entlang des Lebensweges bezogen auf den jährlichen Input in die Nutzung. Sie betragen zwischen ca. 110 % bei Mangan und ca. 20 % bei Gold; es handelt sich also um das maximale Recyclingpotenzial, das global besteht.

Die Verluste der anderen Metalle liegen jeweils zwischen den genannten Extremwerten. Die Studie klärte zudem auf, in welchen Lebenszyklusabschnitten die relevanten Materialverluste auftreten (Tab. 5-1, Kap. 5.4 Matrizen zu Umweltbelastungen/Materialverlusten der zehn Metalle).

Bei einer Bewertung der Materialverluste zwischen den Metallen und entlang der Prozesskette ist von entscheidender Bedeutung, dass die Umweltrelevanz der Materialverluste variiert (sowohl zwischen Metallen, als auch entlang der Prozesskette<sup>43</sup>); für einen Vergleich der spezifischen Umweltbelastungen, welche den Materialverlusten zugeordnet werden können, ist die bisherige Datenlage nicht ausreichend. Hier sind weitere Arbeiten zur Verbesserung der Datenlage erforderlich.

---

<sup>40</sup> Weitergehende Ansätze zur Minimierung der Materialverluste, beispielsweise Dematerialisierung oder Produktionsintegrierter Umweltschutz) können nicht im Rahmen der vorliegenden Studie beurteilt werden und erfordern zusätzliche Untersuchungen.

<sup>41</sup> Der Begriff „Recyclingpotential“ bezieht sich auf die aktuell vorherrschende Nutzungsweise

<sup>42</sup> Insofern befindet sich dieses Potenzial im Einflussbereich nationaler Politik, im Gegensatz zu den Potenzialen von Prozessen, die im Ausland statt finden und im "relativen Gesamtmaterialverlust" zusätzlich enthalten sind.

<sup>43</sup> Die Umweltbelastungen sind sowohl metallspezifisch, als auch prozessspezifisch: Der "ökologische Rucksack" eines Kilogramms Gold, das in die Nutzung geht, ist deutlich höher, als eines Kilogramms Gold, das in die Aufbereitung geht (die Umweltbelastungen kumulieren entlang der Prozesskette).

Tab. 5.1: Übersicht über die Verluste und den jährlichen Gesamtmaterialverlust der untersuchten Metalle<sup>44</sup>. Werte gerundet auf 5 %. Die Symbole kennzeichnen die Bedeutung der Verluste aus den einzelnen Prozessen: xxx = Anteil grösser 25 %, xx = Anteil zwischen 25 und 10 %, x = kleiner 10 %, o = keine nennenswerten Verluste, k.A. = keine Angabe.

	Au	In	Mn	Ni	Pd	Ag	Zn	Sn
Gewinnung	xxx	k.A.	o	xxx	xx	xx	k.A.	o
Aufbereitung	k.A.	xxx	xxx	xx	x	xx	xxx	xx
Verarbeitung	k.A.	k.A.	xxx	xx	x	k.A.	k.A.	x
Produktion <sup>45</sup>	xx	x	x	x	x	k.A.	xx	
Nutzung	x	x	xx	xxx	xx	xxx	X	xxx
Recycling <sup>46</sup>	xxx	x	k.A.	k.A.	xxx	xx	k.A.	k.A.
Relativer jährlicher Verlust [%]	15-20	50	110	40-45	65	35	30	80-85

## Umweltbelastungen

In der nachfolgenden Tabelle sind Schlussfolgerungen zu den Ergebnissen der einzelnen Metalluntersuchungen tabellarisch zusammengefasst (Tab. 5.2). Dabei ist die Reihenfolge der Metalle nach der „Größenordnung der Umweltrelevanz“ sortiert, hier definiert als Anteil des *globalen TMR des spezifischen Metalls* am *globalen TMR aller Metalle* (d. h. aufsummiert über die 60 untersuchten Metalle ergibt). Die Abfolge zeigt an, dass im Vergleich zwischen den untersuchten Metallen die Metalle Indium und Gallium eine relativ geringe Umweltrelevanz aufweisen, im Gegensatz dazu Gold, Titan und Zinn eine relativ hohe Umweltrelevanz.

<sup>44</sup> Für eine Beurteilung der Verluste von Gallium und Titan lagen keine ausreichenden Ergebnisse vor, auf eine Darstellung wurde daher verzichtet.

<sup>45</sup> Produktion umfasst gegebenenfalls die Raffination.

<sup>46</sup> Inklusive sogenanntem *downcycling*, bei dem das Metall seine spezifische Funktionalität verliert. In der Regel ist damit ein deutlicher Wertverlust verbunden.

Die zehn Metalle lassen sich nach bisherigem Kenntnisstand gemäß Schwerpunkt der Umweltbelastung entlang des Lebenszyklus in drei Gruppen einteilen (vgl. Matrizen, Kap. 5.4):

1. Edelmetalle Gold, Silber und Palladium: Die Umweltbelastung konzentriert sich auf die Gewinnung und Aufbereitung. Bei Silber kommt es daneben zu auch Emissionen infolge der Nutzung (Fotografie, Nanopartikel).
2. Zinn und Zink sowie die Stahlveredler Nickel und Mangan: Bei diesen Metallen sind die relevanten Umweltbelastungen auf die Gewinnung, Aufbereitung, Verarbeitung und Produktion zurückzuführen.
3. Die Nebenprodukte Gallium und Indium: Bei Ihnen konzentriert sich die Umweltbelastung auf die Aufbereitung (die Umweltbelastung bei der Gewinnung wird den Hauptprodukten zugeordnet).

Tab. 5-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen zu den Metallen. Die Größenordnung der Umweltrelevanz ist ausgedrückt als relativer Anteil des globalen TMR des Metalls am globalen TMR aller Metalle, wobei der globale  $TMR_{Me}$  das Produkt aus Produktionsmenge<sub>Metall</sub> (2007) und  $TMR_{Metall}$  ist.

<b>Metallspezifisches Fazit</b>		
<b>Größenordnung der Umweltrelevanz: relativer Anteil am globalen TMR aller Metalle x 10<sup>6</sup></b>		
<b>Ti</b>	Sehr hohe Primärextraktion; 95 % des Titans werden als Titandioxid letztlich dissipativ eingesetzt; dadurch offenes Durchflusssystem	35.000
<b>Au</b>	Umweltrelevanz durch großen ökologischen Rucksack; relevante Verluste bei Gewinnung sowie bei Sammlung und Aufbereitung insbesondere von Elektronikgeräten	29.000
<b>Sn</b>	Hohe Primärextraktion; Weißblechrecycling bildet Senke	14.000
<b>Ni</b>	Recycling weitgehend umgesetzt über Spezialstähle; relevante Verluste durch nicht genutzte Bergbauabfälle	5.100
<b>Zn</b>	Ein Drittel des Zinks wird als Korrosionsschutz für Eisenblech und Baustahl eingesetzt, womit zwangsläufig dissipative Verluste einhergehen. Zudem fördert die Zinkerzgewinnung Cadmium zu Tage	5.000
<b>Pd</b>	Wesentliche Verluste über Autokatalysatoren, weniger über WEEE	4.100
<b>Ag</b>	Überwiegender Einsatz in industriell gefertigten Produkten, insbesondere Elektronik, führt zu Verlusten	3.300
<b>Mn</b>	Praktisch keine Rezyklierung, endet in der Schlacke der Stahlaufbereitung; dadurch linearer Durchsatz	3.200
<b>In</b>	Nebenprodukt hauptsächlich der Zinkproduktion	49
<b>Ga</b>	Nebenprodukt der Aluminiumproduktion; Einsatz in geringen Mengen, vermutlich auch künftig stagnierend; keine Umweltrelevanz	24

Die Ergebnisse der Metalluntersuchungen bieten – trotz Lücken – einen geeigneten Ansatzpunkt zum Entwickeln der politischen Handlungsoptionen auf Basis des Problemverständnisses, das anhand dieser Untersuchungen entwickelt werden konnte. Dabei ist festzuhalten, dass zwar jedes Metall seine spezifischen *hot spots* der Umweltbelastungen und Verluste aufweist, es jedoch einige generelle Strategien gibt, von denen Handlungsoptionen abgeleitet werden können; die metallspezifischen *hot spots* sind im Folgenden eingerückt dargestellt:

- Bei vorwiegend dissipativ eingesetzten Metallen (Titan, Mangan) bzw. bei signifikant dissipativen Einsatzbereichen (Zinn, Zink) handelt es sich um offene Durchflusssysteme, deren Verluste nur über ein verändertes Design der Endprodukte bzw. deren dauerhaftere Gestaltung oder effizientere Nutzung verringert werden kann.
  - Mangan: hohe Effizienzsteigerung hauptsächlich nur über sparsameren Einsatz von manganhaltigem Stahl möglich.
  - Titan: deutliche Effizienzsteigerungen vermutlich nur über dauerhaftere Beschichtungen und Farben, längere Nutzungsdauern von damit behandelten Produkten und die Verwendung anderer Farben als „strahlendes Weiß“
  - Zinn: Weißblechrecycling bildet Senke, daher sollte die Substitution durch andere Verpackungsmaterialien verstärkt geprüft werden.
  - Zink: Der Einsatz als Korrosionsschutz für Eisenblech und Baustahl führt zwangsläufig zu dissipativen Verlusten, die sich nur durch einen sparsameren Einsatz dieser Materialien und eine Substitution durch korrosionsbeständigere Materialien verringern lassen.
- Generell können die Umweltbelastungen und Verluste durch die untersuchten Metalle über eine effizientere Gestaltung und Verwendung der Endprodukte verringert werden, wenn diese zur Verminderung der stofflichen Nachfrage führt. Es kann auch durchaus sein, dass eine effektive Handlungsoption außerhalb des jeweiligen Metallsystems zu suchen ist (z.B. bei Mangan, wo ein effizienterer Einsatz der damit ausgerüsteten Stähle entscheidend ist).
  - Nickel: Eine deutliche Verminderung der Umweltbelastungen durch die Nickelkette ist letztlich nur über effizienteren Einsatz von nickelhaltigen enthaltenden Vor- und Fertigprodukten möglich.
- Verschiedene wertvolle Metalle werden in relativ geringen Mengen pro Produkt in den gleichen Produktgruppen eingesetzt. Dadurch ergibt sich die Chance, diese Stoffflüsse durch gemeinsame Sammlung, Verwertung und gezieltes Recycling einerseits zu bündeln und andererseits als Sekundärrohstoff für die Substitution von Primärmaterial einzusetzen. Dies betrifft die Metalle Gold, Silber, Palladium, Zinn und Indium in Altfahrzeugen und ihren Komponenten (Katalysatoren) und in Elektro- und Elektronikabfällen.
  - Palladium: Wesentliche Verluste über Autokatalysatoren, weniger über WEEE; für beides müssen Sammlung und Aufbereitung verbessert und die Zuführung zu hochwertigem Recycling sichergestellt werden (vgl. MaRes Arbeitsschritt 2.2).

- Silber: Überwiegender Einsatz in industriell gefertigten Produkten, insbesondere Elektronik, führt zu Verlusten; hier müssen Sammlung, Aufbereitung und Recycling (WEEE, behandelte Textilien) sowie das Produktdesign verbessert werden (ggfs. mit Substitution von Silber).
- In Einzelfällen können Aufbereitungsrückstände, die bislang aus ökonomischen Gründen deponiert oder zwischengelagert wurden, künftig nutzbar gemacht werden und so zur Ressourcenschonung beitragen (z.B. Indium, Silber). Zu diesem Zweck ist auf eine prophylaktische geeignete Trennung der Rückstände zu achten.
- Indium: Nutzung von bislang ungenutzten Haldeninhalten der Zinkaufbereitung; produktionsinternes Recycling schon sehr ausgeprägt; EoL-Recycling erst künftig relevant und potenziell lohnenswert über steigende Mengen in WEEE, wozu verbesserte Sammlung, Aufbereitung und Recyclingprozesse nötig sind.



## 6 Handlungsoptionen

In Kombination mit den spezifischen in den zehn Studien im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Recyclingpotenzialen<sup>47</sup> wurde Handlungsbedarf festgestellt. Im Folgenden werden entsprechende Handlungsoptionen angeführt, die darauf zielen, die Umweltbelastungen und Materialverluste zu mindern.

Zu diesem Zweck wurde ein Screening von abgeschlossenen Studien durchgeführt. Wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Artikel sowie Berichte wurden gezielt nach Handlungsoptionen metallübergreifend untersucht. Die empirischen Ergebnisse wurden inhaltlich zu folgendem, nicht abschließendem Set von Handlungsoptionen zusammengestellt:

- Erhöhung der Sammelmenge von Altprodukten, die seltene Metalle in relevanten Mengen enthalten, in Deutschland und im Ausland; zum Beispiel von Elektroaltgeräten, die signifikante Mengen an Palladium, Gold und Silber enthalten, sowie von Altbatterien hinsichtlich ihres Mangan Gehaltes;
  - Lötzinn-Rezyklierungsrate könnte mit der Ausweitung von WEEE steigen;
- Aufbau bzw. Adaption bestehender produktgruppenspezifischer Sammelsysteme z.B. für Kraftfahrzeuge oder IKT, in Entwicklungsländern durch staatliche oder privatwirtschaftliche Programme, um ein anschließendes Recycling unter Anwendung der *best available techniques* vor Ort oder in entwickelten Ländern<sup>48</sup> zu ermöglichen; dabei Bewahrung funktionierender Sammelsysteme mit günstigen Beschäftigungseffekten und Verminderung von Gesundheits- und Umweltbelastungen im informellen Recyclingsektor;
- Aufbau von länderübergreifenden Redistributionssystemen für Schrotte spezifischer Produktgruppen, welche für die Bewirtschaftung seltener Metalle relevant sind; zum Beispiel sollten im Rahmen der Ausweitung der Produktverantwortung für Katalysatoren in Altfahrzeugen die Sammelleistung in Ländern unterstützt werden, wo die Materialverluste am größten sind. Mögliche Maßnahmen sind die logistische

---

<sup>47</sup> Es ist zu beachten, dass die Materialverluste in dieser Studie als "theoretisches" (das bedeutet maximal zu vermutendes) Potenzial zur Verminderung von Verlusten angesehen werden. In einem weiteren Schritt sollten daher die verschiedenen technologischen und institutionellen Möglichkeiten hinsichtlich des „praktischen“ Potenzials bewertet werden, die Materialverluste zu verringern.

<sup>48</sup> Bei der Verschiffung von demontierten und selektierten Schrottbestandteilen zu (europäischen) BAT-Recyclinganlagen spricht man von *best of two worlds approach* BAT. BAT bedeutet *best available techniques*.



Unterstützung von Sammelsystemen, Fachschulungen oder Abnahmevereinbarungen; mögliche Adressaten sind Hersteller von Fahrzeugen und/oder Katalysatoren bzw. Recyclingspezialfirmen (via freiwillige Selbstverpflichtung) (vgl. Arbeitsschritt 2.2); Anreiz für die Adressaten könnte die Sicherstellung langfristiger Sekundärrohstofflieferungen sein;

- Förderung einer tiefergehenden händischen bzw. automatisierten Zerlegung und Sortierung von Altgeräten, die eine seltene Metalle in relevanter Menge enthalten und bei denen die Rückgewinnungsrate erhöht werden kann, z.B. von Elektronikschrotten (Laufwerke, Netzteile) oder Kfz. Hierfür muss in weiteren Projekten präzisiert werden, welche Bauteile die größten Potenziale beinhalten;
- Monitoring der Altgüterströme und der rückgewonnenen Metallmengen zur Ergebniskontrolle (Effektivität und Effizienz des Recyclings);
- Monitoring der Schnittstellen der Recyclingketten zur Erhöhung der Markttransparenz, dabei Einbezug aller am Aufbereitungsprozess beteiligten Akteure (Sammlung, Behandlung, Recycling);
- Aufbau eines kontinental bis regional angepassten Angebots von produkt-spezifischen Behandlungs- und Recyclingprozessen, das weltweit die Effektivität der Rückgewinnung seltener und edler Metalle durch differenzierte Behandlung der Altprodukte und Zuführung zu hochtechnischen Recyclinganlagen verbessert;
- Regelmäßige Bilanzierung der Behandlungsprozesse hinsichtlich seltener Metalle mit dem Ziel der Prozessoptimierung zur Aufkonzentrierung von seltenen Metallen in Recyclingfraktionen;
- Vergleichende Analyse und Bewertung von Re-Use und Recycling im Hinblick auf Rohstoffverbrauch und Umweltbelastungen unter Beachtung regionaler und produktgruppenspezifischer Unterschiede der Recyclingsysteme;
- Klassifizierung und Zertifizierung von Recyclingtechnologien nach Kriterien der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung (Minderung des Rohstoffaufwandes und der Umweltbelastungen im Vergleich zur Primärroute);
- Kooperative Governance mit dem Ziel, verbindliche Qualitätsstandards der Behandlung und des Recyclings zu erreichen, ggf. Zertifizierung der Akteure (vgl. MaRes Arbeitsschritt 2.2);
- Formulierung eines nationalen bzw. internationalen Ziels zur Verminderung des Primärrohstoffverbrauchs von Metallen unter Einbezug der zur Produktion

importierter Güter über die gesamte Produktionskette hinweg eingesetzten Rohstoffe, dabei Fokus auf ausgewählte Sektoren, in denen relevante Recyclingpotenziale bestehen (z.B. die Rückgewinnung eines bestimmten Anteils des Goldes aus Elektroaltgeräten und/ oder der Einsatz einer Mindestmenge von Sekundärmetallen in der Produktion);

- Lokalisierung von Marktversagen und Erarbeiten von möglichen Rahmenbedingungen, die die Markteinführung effektiver, aktuell unrentabler Behandlungs- und Recyclingsysteme für seltene Metalle ermöglichen.

Daneben ist die geographische Komponente der Stoffflüsse seltener Metalle zu berücksichtigen: Gewinnung, Produktion, Nutzung und das Recycling von Alt- und Neuschrotten sind im Allgemeinen räumlich heterogen verteilt. Aufgrund der geringen Umsatzmengen bei den seltenen Metallen und der hohen Investitionskosten für Hightech-Recyclinganlagen sind nur relativ wenige zentrale Recyclinganlagen rentabel. Der Rückführung der seltenen Metalle nach der letzten Nutzung in die Rückgewinnung kommt damit eine wichtige Rolle zu. Die Herausforderung besteht darin, die Abfallphase von Altprodukten – vor allem wertstoffhaltiger Elektrokleingeräte – so zu organisieren, dass sie möglichst vollständig gesammelt werden. Neben der Sammlung ist die Behandlung vor dem eigentlichen Recycling entscheidend: Hier müssen die Altprodukte so sortiert und separiert werden, dass die seltenen Metalle möglichst vollständig in Fraktionen gelangen, die dann den hochspezialisierten Recyclinganlagen zugeführt werden. Es ist also aus ressourcenpolitischer Sicht erforderlich, insbesondere die grenzüberschreitenden Metallströme effektiv und effizient zu lenken und Sammel- und Behandlungssysteme aufzubauen, die eine hinreichende Sammlung und Aufbereitung sicherstellen.

Da bei jedem Lebenszyklus der Produkte erneut Verluste auftreten, kommt neben dem Recycling der tatsächlichen Produktlebensdauer<sup>49</sup> für die Erhöhung der systemweiten Ressourceneffizienz potenziell eine relevante Rolle zu. Häufig konkurriert jedoch die Verlängerung der Produktlebensdauer mit Fortschritten in der Energieeffizienz, Fortschritten in der Leistungsfähigkeit der Produkte oder auch dem Modeaspekt von Produkten. Zur Bewertung aktueller Entwicklungen von Produktlebensdauern hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Materialeffizienz wird vorgeschlagen, Szenarioanalysen durchzuführen.

---

<sup>49</sup> Gemeint ist hier im Gegensatz zur technischen Lebensdauer der Zeitraum vom Kauf bis zum Eintritt in das Abfallsystem.

Die Wissensbasis zu den umweltrelevanten, seltenen Metallen konnte im Rahmen von MaRes Arbeitsschritt 2.1 wesentlich erweitert und zusammengefasst werden. Trotzdem handelt es sich um einen Zwischenstand, da noch relevante Kenntnislücken und Unsicherheiten bestehen, die durch detailliertere Stoffflussanalysen auf Basis des bisher Erreichten näher untersucht werden sollten. Die größten Kenntnislücken hinsichtlich der Materialverluste bestehen bei den Metallen Gallium und Titan. Bezüglich der Umweltbelastungen über den Lebensweg bestehen bei allen Metallen relevante Lücken.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

### 7.1 Metalle / Chemische Elemente<sup>50</sup>

Ag Silber

Au Gold

Ga Gallium

In Indium

Mn Mangan

Ni Nickel

Pd Palladium

Sn Zinn

Ti Titan

Zn Zink

### 7.2 Physikalische Einheiten

°C Grad Celsius

a Jahr

cm<sup>3</sup> Kubikzentimeter

g Gramm

h Stunde

---

<sup>50</sup> Weitere Kurzformen von Metallen sind in Tab. 10.2 aufgeführt.

kg	Kilogramm
km	Kilometer
GJ	Gigajoule ( $10^9$ Joule)
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
lb.	<i>Pound</i> (englische Gewichtseinheit, 0,45359 kg)
M	molar
mm	Millimeter
Mt	Megatonne ( $10^6$ Tonnen)
ppm	Teile von einer Million (von engl.: <i>parts per million</i> )
t	Tonne
TWh	Terawattstunde
$\mu\text{m}$	Mikrometer

### 7.3 Weitere Abkürzungen

Bei Abkürzungen, die aus dem Englischen stammen, ist die Originalbezeichnung kursiv aufgeführt.

AGS	Ausschuss für Gefahrenstoffe
AMD	<i>Acid Mine Drainage</i>
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BAT	beste verfügbare Technik ( <i>best available technique</i> )
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bzw.	beziehungsweise
CIS-Solarzelle	Kupfer-Indium-Disulfid-Solarzelle
CIGS-Solarzelle	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Solarzelle
CO <sub>2</sub> -Äq.	CO <sub>2</sub> -Äquivalente (analog für SO <sub>2</sub> - und PO <sub>4</sub> -Äquivalente)
ED	Effektive Dosis
EE-Schrott	Elektro- und Elektronikgeräte-Schrott
EoL	End-of-Life
EU	Europäische Union
EuE	<i>End-use Equipment</i> . Produkte, die Energie aufnehmen, hier: Elektro- und Elektronikprodukte
f.o.b.	frei Schiff ( <i>free on board</i> )
IC	Integrierte Schaltungen ( <i>integrated circuits</i> )
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
ITRI	<i>International Tin Research Institute</i>

IuK	Information und Kommunikationstechnologie
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KRA	Kumulierter Rohstoffaufwand
LCD	Flüssigkristallanzeige ( <i>liquid crystal display</i> )
LD	letale Dosis
LED	Leuchtdiode ( <i>light emitting diode</i> )
LME	<i>London Metal Exchange</i>
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MaRes	Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung (Projektname)“
Med	Medizintechnik
Mia.	Milliarde
Mio.	Million
MAK	maximale Arbeitsplatzkonzentration
MLCC	Keramikvielschicht-Chipkondensatoren
MVA	Müllverbrennungsanlage
N/A	entfällt bzw. keine Angabe ( <i>not applicable</i> )
Nano	Nanotechnologie
NE-Metall	Nichteisenmetall
NiMH	Nickel-Metallhydrid
o.J.	ohne Jahresangabe (bei Referenzen)
OLED	organische Leuchtdiode ( <i>organic light emitting diode</i> )

PGM	Platingruppenmetalle
PU	Polyurethan
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid
Pkw	Personenkraftwagen
REE	Seltenerdmetalle ( <i>Rare Earth Elements</i> )
RoHS	Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten ( <i>Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, commonly named: Restriction of Hazardous Substances Directive</i> )
STN-Display	Displaytyp auf Basis von <i>Super-Twisted-Nematic</i> -Zellen
TFT-Display	Dünnschichttransistor-Display ( <i>thin-film transistor</i> )
TMR	Globaler Materialaufwand ( <i>Total Material Requirement</i> )
TRGS	Technische Regel für Gefahrenstoffe
UBA	Umweltbundesamt
US\$	US-Dollar
USA	Die Vereinigten Staaten ( <i>United States of America</i> )
USGS	Geologischer Dienst der Vereinigten Staaten ( <i>United States Geological Survey</i> )
VOC	flüchtige organische Verbindungen ( <i>volatile organic compounds</i> )
WEEE	Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall ( <i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i> )





## 8 Glossar

Das Glossar erläutert Begriffe hinsichtlich ihrer Bedeutung. Häufig haben Begriffe verschiedene Bedeutungen oder werden in verschiedenen Fachgebieten unterschiedlich verwendet. Das folgende Glossar soll eine einheitliche Nutzung der Begriffe in diesem Bericht sicherstellen und den Lesern die Abgrenzung zu Begriffen mit ähnlicher Bedeutung verdeutlichen.

---

**Abraum:** Material, das beim Abbau von Erzen und anderen mineralischen Rohstoffen im Rahmen der Extraktion anfällt, nicht verwertet werden kann und daher an der Mine abgelagert wird.

**Anwendungsbereich:** Unter Anwendungsbereichen werden (Wirtschafts-)Sektoren, bzw. Produktgruppen verstanden.

**Altschrott:** Schrotte, die nach der Nutzung metallener Produkte beim Endverbraucher anfallen. Im Gegensatz zu Neuschrotten sind sie in der Regel weniger sortenrein.

**dissipative Verwendung** (bezogen auf Metalle): eine unumkehrbare Verstreuung von Metall infolge seiner Verwendung (in der Regel in die Umwelt oder in andere Stoffe), z. B. durch Verbrauch bzw. Verschleiß. Ein Rezyklieren ist bei diesem Typ der Verwendung extrem erschwert, unter den gegebenen Umständen praktisch verunmöglicht.

**Elektro- und Elektronikschrott:** Gesamtmenge an zur Entsorgung/ Wiederverwertung anfallende Elektro- und Elektronikgeräte (BUWAL 2004).

**Element:** Unter Elementen werden die chemischen Elemente verstanden. Diese sind zur Übersicht im Periodensystem der Elemente aufgeführt. Die Elemente sind durch die Anzahl der Protonen pro Atom charakterisiert.

**Erz:** Ein Erz ist ein natürliches Mineralgemenge, aus dem im industriellen Maßstab Metalle gewonnen werden können (Meyers 1983).

**Feinverteilung von Metallen:** eine Feinverteilung (feine Verteilung) von Metall liegt dann vor, wenn das Metall in der Technosphäre derart verteilt ist, dass eine Rückgewinnung aufwendig ist und damit die Rezyklierbarkeit eingeschränkt. Dies ist der Fall, wenn es auf eine Vielzahl von (kleinen) Produkten verteilt ist (feine Verteilung)

von Produkten), wenn es innerhalb der Produkte in geringen Konzentrationen vorliegt, oder in Form der Produkte dissipativ eingesetzt wird.

**Geologische Verfügbarkeit:** Unter (Lagerstätten-)geologischer Verfügbarkeit versteht man in der Regel die zeitliche Reichweite der Reserven bzw. Ressourcen als Maß für das Bereitsein von Lagerstätten zum künftigen Abbau von Rohstoffen.

**Globaler Materialaufwand (engl.: *Total Material Requirement, TMR*):** Der Globale Materialaufwand umfasst die Summe aller Primärmaterialentnahmen aus der natürlichen Umwelt, die mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produkts oder der Bereitstellung einer Dienstleistung verbunden sind bzw. diesen ursächlich zugewiesen werden können; dieser Parameter erfasst sowohl die genutzte Rohstoffentnahme als auch die ungenutzte Extraktion.

**Halbmetall:** Halbmetalle sind diejenigen Elemente, die sowohl metallische, als auch nichtmetallische Eigenschaften verzeichnen. Dies ist zumeist darin begründet, dass sie in einer metallischen und einer nichtmetallischen Modifikation vorkommen. Beispiele sind Arsen, Selen und Beryllium.

**Kumulierter Energieaufwand:** Der kumulierte Energieaufwand (KEA) gibt die Gesamtheit der Primärenergie an, die mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produkts oder einer Dienstleistung entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann.

**Kumulierter Rohstoffaufwand:** Der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA; engl.: *Raw Material Equivalent, RME*). Der KRA ist die Summe aller Rohstoffaufwendungen, die mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produkts oder einer Dienstleistung entstehen bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden können; dieser Parameter bezieht sich ausschließlich auf die genutzte Rohstoffentnahme.

**Metall:** Metalle zeichnen sich durch die metallische Bindung aus. Hierbei sind die Valenzelektronen in der Regel delokalisiert.

**Mineral:** „Mineral“ ist ein Sammelbegriff für alle aus chemischen Elementen – vor allem anorganischen Elementen – bestehenden Substanzen der Erdkruste, des Erdmantels und der Planeten sowie der Meteoriten (Meyers 1983). Mineralien sind chemisch einheitliche, feste und natürlich entstandene Stoffe (Schröter et al. 1987). Die Zahl der Mineralien liegt in der Größenordnung von 2.000 bis 3.000, wobei ca. 300 häufig sind (Meyers 1983). Sie sind zumeist kristallin – manchmal auch amorph bzw. elementar strukturiert. Mineralien können sowohl nach ihrem Salztyp (Oxide, Silicate, Sulfide) als auch den wichtigsten Bestandteilen gruppiert werden. Die wichtigsten Tantalmineralien

sind beispielsweise Tantalit  $\text{Fe}(\text{TaO}_3)_2$  und Columbit  $\text{Fe}(\text{Nb}_2\text{O}_6) \cdot (\text{Mn}, \text{Fe})[(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6]$  als Mischsalz.

**Neuschrott:** Schrotte, die im Rahmen von Produktionsprozessen der metallverarbeitenden Industrie entstehen (Industrieschrotte), beispielsweise beim Drehen oder Fräsen. Sie sind im Vergleich zu Altschrotten in der Regel homogener und werden häufig mit relativ geringen Verlusten rezykliert.

**Platingruppenmetalle:** Platingruppenmetalle (PGM) ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von Metallen mit dem Platin ähnlichen Eigenschaften. Je nach Kontext variiert die Zusammensetzung der Gruppe. Hier bezieht sich der Begriff PGM auf die sechs Metalle Platin, Iridium, Osmium, Palladium, Rhodium und Ruthenium<sup>51</sup>. Die Verwendung des Begriffs weicht damit von der chemischen Definition der Platingruppenmetalle (zehnte Gruppe des Periodensystems) ab und wird synonym mit dem Begriff „Platinmetalle“ verwendet.

**Seltenerdmetalle, auch Seltene Erden oder Metalle der seltenen Erden (engl.: *rare earth elements*, REE, auch *rare earth metals*):** Seltenerdmetalle werden aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften unter dieser Sammelbezeichnung zusammengefasst. Sie kommen in der Natur in der Regel als Oxide vor und werden deshalb auch als „Erden“ bezeichnet. Aufgrund ihrer Elektronenstruktur sind sie metallurgisch nur schwer voneinander zu trennen. Die REE umfassen Scandium, Yttrium und die Gruppe der Lanthanoide (benannt nach dem Element Lanthan, an die sie sich im Periodensystem der Elemente anschließen), das sind Cer, Praseodym, Neodym, Promethium (instabil), Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium.

**Reservenbasis (engl.: *reserve base*):** „That part of an identified resource that meets specified minimum physical and chemical criteria related to current mining and production practices, including those for grade, quality, thickness, and depth. The reserve base is the in-place demonstrated (measured plus indicated) resource from which reserves are estimated“ (USGS 2006, Appendix C).

**Reserven (engl.: *reserves*):** „That part of the reserve base which could be economically extracted or produced at the time of determination. The term reserves need not signify that extraction facilities are in place and operative. Reserves include only recoverable materials; thus, terms such as “extractable reserves” and “recoverable

---

<sup>51</sup> analog der Definition im benachbarten Projekt „Weltweite Wiedergewinnung von PGM“, MaRes Arbeitsschritt 2.2

reserves” are redundant and are not a part of this classification system“ (USGS, 2006 Appendix C)<sup>52</sup>.

**Ressourcen (engl.: resources):** „A concentration of naturally occurring solid, liquid, or gaseous material in or on the Earth’s crust in such form and amount that economic extraction of a commodity from the concentration is currently or Potenziially feasible“ (USGS 2006, Appendix C)<sup>52</sup>.

**Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, kurz: Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe (engl.: Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, commonly named: Restriction of Hazardous Substances Directive, RoHS):** Es handelt sich um die EG-Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27.01.2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Sie regelt die Verwendung von Gefahrstoffen in Geräten und Bauteilen, darunter auch bleifreie Verlotungen und giftige Flammhemmer. Praktisch werden durch die RoHS Grenzwerte für Schadstoffe definiert.

**Rohstoff:** Rohstoffe sind natürliche Ressourcen, die bis auf die Lösung aus ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren haben. Sie werden aufgrund ihres Gebrauchswertes aus der Natur gewonnen und entweder direkt konsumiert oder als Arbeitsmittel und Ausgangsmaterialien für weitere Verarbeitungsstufen in der Produktion verwendet.

**Seltene Metalle:** Eine Definition von „seltene Metalle“ ist in der Literatur bisher nicht konsensual verfügbar. Der Begriff „selten“ ist diesbezüglich nicht definiert. „Selten“ verweist im Allg. auf Relativierungen zwischen Dingen. Es ist wesentlich, dass diese Relativierung für spezifische Sachverhalte unterschiedlich zu handhaben sind. Als Relativierungen für „selten“ im Kontext des Metallscreenings sind folgende Kategorien möglich: im geringen Umfange vorkommend (geringe Ressourcen oder Reserven), begrenzte Verfügbarkeit bei dem derzeitigen Nutzungsumfang (geringe statische oder dynamische Reichweite), Nutzung des Metalls in geringen Umfange, Nutzung des Metalls in nur wenigen Produkten, hohe oder stark gestiegene Preise für die Metalle oder Vorkommen der Metalle in nur wenigen Ländern. Im Rahmen des Metallscreenings wurden die folgenden Kriterien für „selten“ gewählt: geringe Reserven, geringe statische Reichweite sowie Nutzung im geringen Umfange. Die Analyse zeigte jedoch, dass es notwendig ist, bei den „seltene Metalle“ noch eine Binnendifferenzierung der „Seltenheit“ zu machen. Hierbei wurden die folgenden

---

<sup>52</sup> Die Begriffe Ressourcen und Reserven werden in der Literatur teils unscharf verwendet.

Kategorien gewählt: äußerst seltene Metalle, sehr seltene Metalle, seltene Metalle, häufigere Metalle, häufige Metalle und Massenmetalle.

**Salze:** Salze zeichnen sich durch eine Ionenbindung aus. Hierbei erfolgt ein Elektronenübergang von einem elektropositiven Element / Verbindung zu einem elektronegativen Element. Es gibt einfache Salze wie Natriumchlorid (NaCl) und komplexe Salze wie Magnesiumperchlorat ( $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ ). Von den Salzen sind die Komplexverbindungen zu unterscheiden, die einen anderen Bindungstyp darstellen.

**Stoff:** In der Chemie wird der Begriff „Stoff“ im Allgemeinen verwendet, um die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Materie zu subsumieren (Schröter et al. 1987). Er umfasst damit Elemente, Verbindungen, Metalle und Salze.

**Verbindungen:** Verbindungen sind der Zusammenschluss von Elementen durch unterschiedliche Bindungsarten (ionisch, metallisch, kovalent = Verbindungen erster Ordnung bzw. in Komplexen als Mischformen der Bindungsarten = Verbindungen höherer Ordnung). Es gibt organische Verbindungen und anorganische Verbindungen sowie Mischformen derselben (zumeist in Komplexen, Salzen der organischen Verbindungen).

**Wafer:** Als *Wafer* (engl. für „Waffel“ oder „Oblate“) werden in der Mikroelektronik, Photovoltaik und Mikrosystemtechnik kreisrunde oder quadratische, ca. 1 mm dicke Scheiben bezeichnet. Sie werden aus ein- oder polykristallinen (Halbleiter-)Rohlingen, sogenannten Ingots, hergestellt und dienen in der Regel als Substrat (Grundplatte) für elektronische Bauelemente, unter anderem für integrierte Schaltkreise (IC, *Chip*), mikromechanische Bauelemente oder photoelektrische Beschichtungen.



## 9 Referenzen

- Bachmann, G./ Grimm, V. / Hoffknecht, A. / Luther, W. / Ploetz, C./ Reuscher, G. / Teichert, O. / Zweck, A. (2007): Nanotechnologien für den Umweltschutz. VDI Technologiezentrum GmbH; Düsseldorf
- Behrendt, S. / Kreibich, R. / Lundie, S. / Pfitzner, R. / Scharp M (1998): Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte; Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- BGR [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (2005): Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metalle und Nichtmetallrohstoffe; Hannover
- Bleischwitz, R. (2006): Internationale Rohstoffmärkte: steigende Preise, wachsendes Konfliktpotential, und neue Formen von Governance; in: Deibel, T. et al. (Ed.): Globale Trends 2007. Jahrbuch der Stiftung Entwicklung und Frieden, 305-321
- BMWA [Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit] (2005): Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation und zu möglichen rohstoffpolitischen Handlungsoptionen; Berlin
- BMW i [Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie] (1999): Auswirkungen der weltweiten Konzentrierung in der Bergbauproduktion auf die Rohstoffversorgung in der deutschen Wirtschaft. Kurzfassung. Bericht Nr. 463; Berlin
- BMW i [Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie] (2005): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 09/05 des BMW i
- Bringezu, S. / van de Sand, I. / Schütz, H. / Bleischwitz, R. / Moll, S. (2009): Analysing global resource use of national and regional economies across various levels; in: Bringezu, S. / Bleischwitz, R. (Eds.): Sustainable Resource Management, 10-51
- BUWAL [Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft] (Ed.) (2004): Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott: Stoffflussanalyse. Umweltgefährdende Stoffe. Schriftenreihe Umwelt Nr. 374
- EC [European Commission] (2008): Commission Staff Working Document accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: The Raw Materials Initiative – Meeting our Critical Needs for Growth and Jobs in Europe
- Elektro (o.J.): Lexikon; <http://www.elektro.de/lexikon.php> (Oktober 2006, Mai 2008)
- Elko (o.J.): Elektronik-Kompendium; <http://www.elektronik-kompendium.de> (Oktober 2006, Mai 2008)



- Enquete-Kommission [Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages] (1994): Die Industriegesellschaft gestalten; Bonn: Economica Verlag
- FAZ [Frankfurter Allgemeine Zeitung] (2004): Marktmanipulation – Die Gebrüder Hunt verzoeken sich am Silbermarkt. Artikel vom 24.02.2004;  
<http://www.faz.net/s/Rub4B891837ECD14082816D9E088A2D7CB4/Doc~E6218B9BD7CC74781AA7C5014A314D7F5~ATpl~Ecommon~Scontent.html>  
(FAZ.net) (Oktober 2006)
- Hagelüken, C. (2007): Eco-efficient Metals Recovery from Mobile Phones. Umicore, Hoboken, Belgium
- Hoppe, A. (o.J.): Periodensystem der Elemente; <http://www.periodensystem.info>  
(Oktober 2011)
- Lenntech (2008): Lenntech Periodic Chart of Elements;  
<http://www.Lenntech.com/deutsch/PSE.htm> (April 2008)
- Luther, W. / Zweck, A. (2006): Anwendungen der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen. Ergebnisse der Fachtagung Zukünftige Technologien, VDI Technologiezentrum; Düsseldorf
- Luther, W. (2007): Der Einsatz von Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung; Wiesbaden
- Matthes, F. / Ziesing, H.-J. (2005): Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung. Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Grünen; Berlin
- NRC [National Research Council] (2008): Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. National Research Council of the National Academies, Division on Earth and Life Studies, Board on Earth Sciences and Resources, Committee on Critical Mineral Impacts on the U. S. Economy and Committee on Earth Resources; Washington, D.C.: The National Academies Press
- OECD [Organisation for Economic Cooperation and Development] (2008): Measuring Material Flows and Resource Productivity: The OECD Guide; Paris
- Reynolds, D. B. (1999): The Mineral Economy: How Prices and Costs can Falsely Signal Decreasing Scarcity. *Ecological Economics*, Vol. 31, Nr. 1: 155-166
- Ruby: Lanthanoide. Vorlesung an der Universität Freiburg;  
[http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle\\_7\\_1.html](http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_7_1.html) (Oktober 2006).
- Rutherford (2006): Lexikon der Elemente;  
[http://www.uniterra.de/rutherford/tab\\_hauf.htm](http://www.uniterra.de/rutherford/tab_hauf.htm) (Oktober 2006, Juni 2008)
- Schulmeister, S. (2008): Spekulanten machen das Öl teuer. taz vom 20.06.2008

- Schulmeister, S. / Schratzenstaller, M. / Picek, O. (2008): A General Financial Transaction Tax – Motives, Revenues, Feasibility and Effects. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien; <http://www.wifo.ac.at> (Juni 2008)
- Schütz, H. / Bringezu S. (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen. Erstellung eines Glossars zum „Ressourcenbegriff“ und Berechnung von fehlenden Kennzahlen des Ressourcenverbrauchs für die weitere politische Analyse. Umweltbundesamt (Ed.), Texte 02/08
- Soldera, M. (1995): Öko-Computer: Vergleich eines Öko-PC mit einem herkömmlichen PC anhand von LCA. Projektarbeit an der Ingenieurschule Chur
- Spiegel (2008): Kleine Teilchen, großes Risiko. Spiegel Nr. 24/2008; Hamburg: 148-150
- Tilton, J. E. (2003): On Borrowed Time? Assessing the Threat of Mineral Depletion. *Resources for the Future*
- USGS (2002/2004): Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States – Commodity Data for Selenium (2004), Tantalum (2002), Indium (2004), Columbinum (2002) and Rare Earth (2004); U.S. Geological Survey, Washington D.C.; <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140> (Oktober 2006)
- USGS (2008): Mineral Commodities (diverse Metalle); <http://minerals.usgs.gov/minerals> (April 2008)



## 10 Anhang

### 10.1 Anhang 1 – Produktions- und Reservenmengen der Metalle

Die folgenden Tabellen zeigen für jedes Metall bzw. jede Metallgruppe eine Übersicht über die Produktionsmengen, die Reserven und die Reservenbasis. Zusätzlich wird der relative Anteil der Länder an der globalen Produktion für das Jahr 2007 und an den globalen Reserven ausgewiesen. Neben den Produktionszahlen für 2007 wird zur Veranschaulichung der Volatilität diejenigen für 2006 aufgeführt (Tab. 10-1). Alle Angaben sind in Tonnen, soweit nicht anders angegeben.

Die Daten zu den Produktionsmengen sind den Mineral Commodity Summaries des U. S. Geological Surveys, entnommen; für das Jahr 2007 sind Schätzungen angegeben. Wo nicht verfügbar wurde auf andere Quellen zurückgegriffen (Lenntech, Rutherford, Ruby), wobei es sich im Allgemeinen auch hier um Schätzungen handelt. Die Zellen mit Daten aus solchen anderen Quellen sind hellgrau markiert.

Wo die Mengenangaben sich auf Mineralien bzw. chemische Verbindungen beziehen, (z.B. bei den Seltenen Erden, Bariumsulfat, Calciumoxid, Titanoxid, Hafniumoxid), wurden die Daten zur Produktions- bzw. der Reservenmenge auf den Metallgehalt umgerechnet. Dies wurde aus methodischen Gründen auch für jene Metalle durchgeführt, welche tatsächlich in Form von Verbindungen genutzt werden (z.B. Titanoxid und Calciumoxid).

Tab. 10-1: Produktion und Reserven von Metallen: Tabellen pro Metall nach Ländern

Aluminium / Bauxit	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Australien	62.300.000	64.000.000	34 %	5.800.000.000	23 %	7.900.000.000
China	21.000.000	32.000.000	17 %	700.000.000	3 %	2.300.000.000
Brasilien	21.000.000	24.000.000	13 %	1.900.000.000	8 %	2.500.000.000
Guinea	14.500.000	14.000.000	7 %	7.400.000.000	30 %	8.600.000.000
Indien	12.700.000	13.000.000	7 %	770.000.000	3 %	1.400.000.000
Jamaika	14.900.000	14.000.000	7 %	2.000.000.000	8 %	2.500.000.000
Kasachstan	4.800.000	4.900.000	3 %	360.000.000	1 %	450.000.000
Russland	6.600.000	6.000.000	3 %	200.000.000	1 %	250.000.000
Surinam	4.920.000	5.000.000	3 %	580.000.000	2 %	600.000.000
Venezuela	5.500.000	5.500.000	3 %	320.000.000	1 %	350.000.000
Griechenland	2.450.000	2.400.000	1 %	600.000.000	2 %	650.000.000
Guyana	1.400.000	2.000.000	1 %	700.000.000	3 %	900.000.000
USA	N/A	N/A	N/A	20.000.000	0 %	40.000.000
andere Länder	5.460.000	6.800.000	4 %	3.400.000.000	14 %	4.000.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>178.000.000</b>	<b>190.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>5.000.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>32.000.000.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion. Für 2007 sind die Werte geschätzt.

Aluminium / Metall	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	9.350.000	12.000.000	32 %			
Russland	3.720.000	4.200.000	11 %			
Kanada	3.050.000	3.100.000	8 %			
USA	2.284.000	2.600.000	7 %			
Australien	1.930.000	1.900.000	5 %			
Brasilien	1.498.000	1.700.000	4 %			
Indien	1.100.000	1.400.000	4 %			
Norwegen	1.330.000	1.100.000	3 %			
Südafrika	895.000	900.000	2 %			
Vereinigte Arabische Emirate, Dubai	730.000	900.000	2 %			
Bahrain	872.000	870.000	2 %			
Venezuela	610.000	630.000	2 %			
Mosambik	564.000	560.000	1 %			
Deutschland	537.000	520.000	1 %			
Tadschikistan	414.000	500.000	1 %			
Island	320.000	400.000	1 %			
andere Länder	4.510.000	4.500.000	12 %			
<b>Welt gesamt</b>	<b>33.700.000</b>	<b>38.000.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Werte für die Aluminiumschmelzelektrolyse. Für 2007 sind die Werte geschätzt.

Antimon	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	110.000	110.000	81 %	790.000	38 %	2.400.000
Bolivien	6.600	7.000	5 %	310.000	15 %	320.000
Südafrika	6.000	6.000	4 %	44.000	2 %	200.000
Russland (abbauwürdig)	3.500	4.000	3 %	350.000	17 %	370.000
Tadschikistan	2.000	2.000	1 %	50.000	2 %	150.000
Thailand	940	1.500	1 %	420.000	20 %	450.000
Guatemala	1.000	1.000	1 %	N/A		N/A
USA	—	—		—		90.000
andere Länder	4.000	4.000	3 %	150.000	7 %	330.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>134.000</b>	<b>135.000</b>	<b>100 %</b>	<b>2.100.000</b>	<b>100 %</b>	<b>4.300.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion. Die Produktionsdaten für 2007 sind geschätzt.

Arsen / Arsentrioxid	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	30.000	30.000	51 %			
Chile	11.800	11.500	19 %			
Marokko	6.900	6.900	12 %			
Peru	3.500	3.500	6 %			
Kasachstan	1.500	1.500	3 %			
Russland	1.500	1.500	3 %			
Mexiko	1.750	1.400	2 %			
Belgien	1.000	1.000	2 %			
France	1.000	1.000	2 %			
andere Länder	800	1.000	2 %			
<b>Welt gesamt</b>	<b>59.800</b>	<b>59.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Produktion von Arsentrioxid. Die Produktionsdaten für 2007 sind geschätzt. Die Reserven und Reservenbasis sind vermutlich 20- bzw. 30-mal so hoch wie die jährliche Weltproduktion. Die Reservenbasis der Vereinigten Staaten wird auf 80.000 t geschätzt. Keine anderen länderspezifischen Daten vorhanden.

Barium / Bariumsulfat	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	4.400.000	4.400.000	55 %	62.000.000	33 %	360.000.000
Indien	950.000	1.000.000	13 %	53.000.000	28 %	80.000.000
Marokko	350.000	600.000	8 %	10.000.000	5 %	11.000.000
USA	589.000	540.000	7 %	15.000.000	8 %	45.000.000
Iran	290.000	250.000	3 %	N/A		N/A
Mexiko	206.000	250.000	3 %	7.000.000	4 %	8.500.000
Türkei	180.000	160.000	2 %	4.000.000	2 %	20.000.000
Kasachstan	120.000	120.000	2 %	N/A		150.000.000
Vietnam	120.000	120.000	2 %	N/A		N/A
Deutschland	90.000	85.000	1 %	1.000.000	1 %	1.500.000
Bulgarien	80.000	80.000	1 %	N/A		N/A
Russland	63.000	65.000	1 %	2.000.000	1 %	3.000.000
Algerien	53.000	60.000	1 %	9.000.000	5 %	15.000.000
Brasilien	50.000	50.000	1 %	2.100.000	1 %	5.000.000
United Kingdom	50.000	50.000	1 %	100.000	0 %	600.000
Thailand	120.000	5.000	0 %	9.000.000	5 %	15.000.000
France	30.000	N/A	N/A	2.000.000	1 %	2.500.000
andere Länder	220.000	210.000	3 %	14.000.000	7 %	160.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>7.960.000</b>	<b>8.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>190.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>880.000.000</b>

Anmerkung: Werte für Kasachstan und Produktionsdaten 2007 geschätzt. Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion.

Beryllium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA	155	100	77 %			
China	20	20	15 %			
Mosambik	6	6	5 %			
andere Länder	N/A	N/A	N/A			
<b>Welt gesamt</b>	<b>180</b>	<b>130</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion sind geschätzt. Die Produktion in anderen Ländern (x) ist gemäß USGS 2008 weniger als eine halbe Einheit. Es sind keine genauen Angaben zu Reserven und Reservenbasis verfügbar.

<b>Bismut</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	3.000	3.000	53 %	240.000	75 %	470.000
Mexiko	1.180	1.200	21 %	10.000	3 %	20.000
Peru	950	960	17 %	11.000	3 %	42.000
Kanada	190	190	3 %	5.000	2 %	30.000
Kasachstan	140	140	2 %	5.000	2 %	10.000
Bolivien	70	70	1 %	10.000	3 %	20.000
USA	-	-		14.000	4 %	
andere Länder	170	160	3 %	39.000	12 %	74.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>5.700</b>	<b>5.700</b>	<b>100 %</b>	<b>320.000</b>	<b>100 %</b>	<b>680.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion und 2007 geschätzt.

<b>Blei</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	1.200.000	1.320.000	37 %	11.000.000	14 %	36.000.000
Australien	686.000	640.000	18 %	24.000.000	30 %	59.000.000
USA	429.000	430.000	12 %	7.700.000	10 %	19.000.000
Peru	313.000	330.000	9 %	3.500.000	4 %	4.000.000
Mexiko	120.000	110.000	3 %	1.500.000	2 %	2.000.000
Kanada	82.000	75.000	2 %	400.000	1 %	5.000.000
Indien	67.000	75.000	2 %	N/A		N/A
Schweden	77.000	75.000	2 %	500.000	1 %	1.000.000
Irland	62.000	55.000	2 %	N/A		N/A
Kasachstan	48.000	50.000	1 %	5.000.000	6 %	7.000.000
Polen	51.000	50.000	1 %	N/A		5.400.000
Marokko	45.000	45.000	1 %	500.000	1 %	1.000.000
Südafrika	48.000	45.000	1 %	400.000	1 %	700.000
andere Länder	240.000	250.000	7 %	24.000.000	30 %	30.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>3.470.000</b>	<b>3.550.000</b>	<b>100 %</b>	<b>79.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>170.000.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion und 2007 geschätzt.



<b>Cadmium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
Südkorea	3.250	3.600	18 %	—	—	—
China	3.000	3.400	17 %	99.000	20 %	280.000
Kanada	1.710	2.100	11 %	23.000	5 %	84.000
Japan	2.290	2.100	11 %	—	—	—
Kasachstan	2.000	2.000	10 %	41.000	8 %	89.000
Mexiko	1.400	1.600	8 %	21.000	4 %	39.000
Russland	1.100	1.210	6 %	12.000	2 %	37.000
Deutschland	640	640	3 %	—	—	8.000
Niederlande	570	570	3 %	—	—	—
Indien	450	500	3 %	21.000	4 %	49.000
Peru	420	420	2 %	54.000	11 %	87.000
Australien	400	390	2 %	66.000	13 %	260.000
USA	700	W		43.000	9 %	67.000
andere Länder	1.370	1.370	7 %	110.000	22 %	200.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>19.300</b>	<b>19.900</b>	<b>100 %</b>	<b>490.000</b>	<b>100 %</b>	<b>1.200.000</b>

Anmerkung: Werte für die Raffinadeproduktion und 2007 geschätzt. Werte für die amerikanische Produktion 2007 aufgrund von Datenschutz nicht veröffentlicht.

Calcium / Calciumoxid	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	160.000.000	170.000.000	61 %			
USA	21.000.000	20.200.000	7 %			
Japan(nur gebrannter Kalk)	8.900.000	8.900.000	3 %			
Russland	8.200.000	8.500.000	3 %			
Deutschland	7.000.000	7.000.000	3 %			
Brasilien	6.900.000	6.900.000	2 %			
Mexiko	5.700.000	5.800.000	2 %			
Italien <sup>9</sup>	4.800.000	4.800.000	2 %			
Türkei (Verkäufe)	3.600.000	3.400.000	1 %			
France	3.500.000	3.000.000	1 %			
Bulgarien	2.500.000	2.500.000	1 %			
Kanada	2.410.000	2.500.000	1 %			
Iran	2.500.000	2.500.000	1 %			
Belgien	2.400.000	2.400.000	1 %			
Österreich	2.000.000	2.000.000	1 %			
Rumänien	2.000.000	2.000.000	1 %			
United Kingdom	2.000.000	2.000.000	1 %			
Polen	2.000.000	1.800.000	1 %			
Südafrika (Verkäufe)	1.600.000	1.600.000	1 %			
andere Länder	22.000.000	19.000.000	7 %			
<b>Welt gesamt</b>	<b>271.000.000</b>	<b>277.000.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Werte für die weltweite Kalkproduktion (CaO), Werte für 2007 geschätzt. Die Reserven werden von USGS als vollkommen ausreichend für alle in der Tabelle genannten Länder bezeichnet.

**Cäsium:** Cäsium wird nicht frei gehandelt, weshalb auch keine Produktionsdaten vorliegen. Vermutlich wird Cäsium speziell für einzelne Anwender wie z.B. die Erdölindustrie hergestellt. Es wird vor allem aus Pollucite (Aluminiumsilikat) gewonnen. Die Reserven werden auf ca. 70.000 t geschätzt.

Chrom	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA	-	-		110.000	0 %	120.000
Südafrika	7.418.000	7.500.000	38 %	160.000.000	34 %	270.000.000
Indien	3.600.000	3.600.000	18 %	25.000.000	5 %	57.000.000
Kasachstan	3.600.000	3.600.000	18 %	290.000.000	61 %	470.000.000
andere Länder	4.970.000	5.000.000	25 %	N/A		N/A
<b>Welt gesamt</b>	<b>19.600.000</b>	<b>20.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>475.110.000</b>	<b>100 %</b>	<b>N/A</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion und 2007 geschätzt. Daten zur Produktion in den Vereinigten Staaten 2007 wurden aufgrund von Datenrestriktionen nicht veröffentlicht. Die Angaben der Länderanteile sowie des Eintrags „Welt gesamt“ beziehen sich auf die Summe der vorliegenden Daten. Diese sind jedoch nicht vollständig.

Cobalt	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA	—	—		33.000	0 %	860.000
Kongo (Kinshasa)	28.000	22.500	36 %	3.400.000	49 %	4.700.000
Kanada	7.000	8.000	13 %	120.000	2 %	350.000
Australien	7.400	7.500	12 %	1.400.000	20 %	1.700.000
Sambia	8.000	7.000	11 %	270.000	4 %	680.000
Russland	5.100	5.000	8 %	250.000	4 %	350.000
Kuba	3.800	4.000	6 %	1.000.000	14 %	1.800.000
China	2.300	2.300	4 %	72.000	1 %	470.000
Frankreich (Neukaledonien)	1.900	2.000	3 %	230.000	3 %	860.000
Marokko	1.500	1.500	2 %	20.000	0 %	N/A
Brasilien	1.200	1.200	2 %	29.000	0 %	40.000
andere Länder	1.300	1.300	2 %	130.000	2 %	1.100.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>67.500</b>	<b>62.300</b>	<b>100 %</b>	<b>7.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>13.000.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion und 2007 geschätzt. Aufgrund seiner Staatszugehörigkeit wurde Neukaledonien unter dem Eintrag Frankreich aufgeführt.

Eisen / Eisenerz	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltprod. 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
[t], sofern nicht anders angegeben						
China	588.000.000	600.000.000	32 %	7.000.000.000	10 %	15.000.000.000
Brasilien	318.000.000	360.000.000	19 %	8.900.000.000	12 %	14.000.000.000
Australien	275.000.000	320.000.000	17 %	10.000.000.000	14 %	28.000.000.000
Indien	140.000.000	160.000.000	8 %	4.200.000.000	6 %	6.200.000.000
Russland	102.000.000	110.000.000	6 %	14.000.000.000	19 %	31.000.000.000
Ukraine	74.000.000	76.000.000	4 %	9.000.000.000	12 %	20.000.000.000
USA	53.000.000	52.000.000	3 %	2.100.000.000	3 %	4.600.000.000
Südafrika	41.000.000	40.000.000	2 %	650.000.000	1 %	1.500.000.000
Kanada	34.000.000	33.000.000	2 %	1.100.000.000	2 %	2.500.000.000
Schweden	23.000.000	24.000.000	1 %	2.200.000.000	3 %	5.000.000.000
Kasachstan	19.000.000	23.000.000	1 %	3.300.000.000	5 %	7.400.000.000
Iran	20.000.000	20.000.000	1 %	1.000.000.000	1 %	1.500.000.000
Venezuela	23.000.000	20.000.000	1 %	2.400.000.000	3 %	3.600.000.000
Mexiko	11.000.000	12.000.000	1 %	400.000.000	1 %	900.000.000
Mauretanien	11.000.000	11.000.000	1 %	400.000.000	1 %	1.000.000.000
andere Länder	67.000.000	70.000.000	4 %	6.200.000.000	8 %	17.000.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.800.000.000</b>	<b>1.900.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>73.000.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>60.000.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionswerte 2007 sind geschätzt. Die Angaben zu Reserven und Reservenbasis sind in Roheisen und Eisengehalt gegliedert. Die in der Tabelle angegebenen Reservedaten beziehen sich auf den Eisengehalt. Die Weltreserven von Roheisen belaufen sich auf 150.000.000.000 t und die Angaben zur Reservenbasis von Roheisen Welt gesamt sind 340.000.000.000 t.

Eisen / Roheisen	Produktion Roheisen 2006	Produktion Roheisen 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
[t], sofern nicht anders angegeben						
China	404.000.000	465.000.000	49 %			
Japan	84.000.000	87.000.000	9 %			
Russland	52.000.000	50.000.000	5 %			
USA	38.000.000	36.000.000	4 %			
Ukraine	33.000.000	36.000.000	4 %			
Brasilien	35.000.000	35.000.000	4 %			
Deutschland	47.000.000	31.000.000	3 %			
Südkorea	28.000.000	30.000.000	3 %			
France	13.000.000	13.000.000	1 %			
Italien	12.000.000	11.000.000	1 %			
United Kingdom	11.000.000	11.000.000	1 %			
andere Länder	108.000.000	132.000.000	14 %			
<b>Welt gesamt</b>	<b>865.000.000</b>	<b>940.000.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Werte für 2007 sind geschätzt.

Eisen / Stahl	Produktion Stahl 2006	Produktion Stahl 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	419.000.000	482.000.000	37 %			
Japan	116.000.000	120.000.000	9 %			
Russland	71.000.000	70.000.000	5 %			
USA	98.000.000	98.000.000	7 %			
Ukraine	41.000.000	43.000.000	3 %			
Brasilien	33.000.000	32.000.000	2 %			
Deutschland	47.000.000	33.000.000	3 %			
Südkorea	48.000.000	51.000.000	4 %			
France	20.000.000	14.000.000	1 %			
Italien	32.000.000	21.000.000	2 %			
United Kingdom	14.000.000	10.000.000	1 %			
andere Länder	231.000.000	350.000.000	27 %			
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.170.000.000</b>	<b>1.320.000.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Werte für 2007 geschätzt.

**Gallium:** Die wesentlichen Produzenten von Gallium sind China, Deutschland, Japan und die Ukraine. Kleinere Produzenten sind Ungarn, Kasachstan, Russland und Slowakei. Sie produzierten in 2007 ca. 80 t Gallium. Gallium wird vor allem als Beiprodukt aus Bauxit oder aus den Rückständen der Zinkerzaufbereitung gewonnen. Obwohl die Bauxitvorkommen sehr groß sind, kann Gallium nicht in großem Umfang aus Bauxit gewonnen werden. Hingegen wird Gallium in größerem Umfang aus Schrotten gewonnen. Beispielsweise hat Japan in 2006 8 t Gallium hergestellt und 90 t Gallium aus Schrott zurückgewonnen.

Germanium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduktion 2007	Reserven	Anteil an Weltreserven	Reservenbasis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA	4,5	4,6	5 %	N/A		N/A
andere Länder	85,5	95	95 %	450		500
<b>Welt gesamt</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>100 %</b>	<b>N/A</b>		<b>N/A</b>

Anmerkung: Werte für die Raffinerieproduktion und Produktionsdaten 2007 geschätzt.

<b>Gold</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Australien	244	280	11 %	5.000	12 %	6.000
Südafrika	272	270	11 %	6.000	14 %	36.000
China	245	250	10 %	1.200	3 %	4.100
USA	252	240	10 %	2.700	6 %	3.700
Peru	203	170	7 %	3.500	8 %	4.100
Russland	159	160	6 %	3.000	7 %	3.500
Indonesien	164	120	5 %	1.800	4 %	2.800
Kanada	104	100	4 %	1.300	3 %	3.500
andere Länder	818	920	37 %	17.000	40 %	26.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>2.460</b>	<b>2.500</b>	<b>100 %</b>	<b>42.000</b>	<b>100 %</b>	<b>90.000</b>

Anmerkung: Werte für die Bergbauproduktion (Goldinhalt) und Produktionsdaten 2007 geschätzt. Die Rubrik „andere Länder“ umfasst nicht alle übrigen Länder, weswegen Datenlücken möglich sind.

<b>Hafnium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA				68.000	11 %	97.000
Australien				180.000	30 %	600.000
Brasilien				44.000	7 %	91.000
China				N/A		N/A
Indien				42.000	7 %	46.000
Südafrika				280.000	46 %	290.000
Ukraine				N/A		N/A
andere Länder				N/A		N/A
<b>Welt gesamt</b>				<b>610.000</b>	<b>100 %</b>	<b>1.100.000</b>

Anmerkung: Die Reservedaten beziehen sich auf HfO<sub>2</sub>.

Indium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	350	250	49 %	8.000	73 %	10.000
Südkorea	50	85	17 %	—		—
Kanada	50	50	10 %	150	1 %	560
Japan	55	50	10 %	—		—
Belgien	30	30	6 %	s. andere Länder		s. andere Länder
Russland	16	17	3 %	80	1 %	250
France	10	10	2 %	s. andere Länder		s. andere Länder
Peru	6	6	1 %	360	3 %	580
USA	—	—		280	3 %	450
andere Länder	15	15	3 %	1.800	16 %	4.200
<b>Welt gesamt</b>	<b>580</b>	<b>510</b>	<b>100 %</b>	<b>11.000</b>	<b>100 %</b>	<b>16.000</b>

Anmerkung: Die Werte der Raffinerieproduktion und Produktionsdaten sind für 2007 geschätzt. China hat erstmalig seine Reserven und Reservebasis in 2008 ausgewiesen.

Kalium/ Kaliumoxid	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Kanada	8.360.000	11.000.000	33 %	4.400.000.000	53 %	11.000.000.000
Russland	5.720.000	6.300.000	19 %	1.800.000.000	22 %	2.200.000.000
Belarus	4.605.000	5.400.000	16 %	750.000.000	9 %	1.000.000.000
Deutschland	3.620.000	3.700.000	11 %	710.000.000	9 %	850.000.000
Israel	2.200.000	2.000.000	6 %	40.000.000	0 %	580.000.000
USA	1.100.000	1.200.000	4 %	90.000.000	1 %	300.000.000
Jordan	1.036.000	1.100.000	3 %	40.000.000	0 %	580.000.000
China	600.000	700.000	2 %	8.000.000	0 %	450.000.000
Chile	450.000	450.000	1 %	10.000.000	0 %	50.000.000
Spanien	437.000	450.000	1 %	20.000.000	0 %	35.000.000
United Kingdom	480.000	450.000	1 %	22.000.000	0 %	30.000.000
Brasilien	405.000	410.000	1 %	300.000.000	4 %	600.000.000
Ukraine	65.000	65.000	0 %	25.000.000	0 %	30.000.000
andere Länder	—	—		50.000.000	1 %	140.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>29.100.000</b>	<b>33.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>8.300.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>18.000.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte sind für K<sub>2</sub>O angegeben. Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Reserven im Toten Meer sind jeweils zur Hälfte auf Israel und Jordanien verteilt. Die US-amerikanischen Daten sind auf Grund von Datenschutzgründen ungenau.

Kupfer	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Chile	5.360.000	5.700.000	37 %	150.000.000	31 %	360.000.000
Peru	1.049.000	1.200.000	8 %	30.000.000	6 %	60.000.000
USA	1.200.000	1.190.000	8 %	35.000.000	7 %	70.000.000
China	890.000	920.000	6 %	26.000.000	5 %	63.000.000
Australien	859.000	860.000	6 %	24.000.000	5 %	43.000.000
Indonesien	816.000	780.000	5 %	35.000.000	7 %	38.000.000
Russland	725.000	730.000	5 %	20.000.000	4 %	30.000.000
Kanada	607.000	585.000	4 %	9.000.000	2 %	20.000.000
Sambia	476.000	530.000	3 %	19.000.000	4 %	35.000.000
Polen	512.000	470.000	3 %	30.000.000	6 %	48.000.000
Kasachstan	457.000	460.000	3 %	14.000.000	3 %	20.000.000
Mexiko	338.000	400.000	3 %	30.000.000	6 %	40.000.000
andere Länder	1.835.000	1.800.000	12 %	65.000.000	13 %	110.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>15.100.000</b>	<b>15.600.000</b>	<b>100 %</b>	<b>490.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>940.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

Lithium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Chile	8.200	9.400	38 %	3.000.000	73 %	3.000.000
Australien	5.500	5.500	22 %	160.000	4 %	260.000
Argentinien	2.900	3.000	12 %	N/A		N/A
China	2.820	3.000	12 %	540.000	13 %	1.100.000
Russland	2.200	2.200	9 %	N/A		N/A
Kanada	707	710	3 %	180.000	4 %	360.000
Zimbabwe	600	600	2 %	23.000	1 %	27.000
Portugal	320	320	1 %	N/A		N/A
Brasilien	242	240	1 %	190.000	5 %	910.000
USA	W	W		38.000	1 %	410.000
Bolivien	—	—		—		5.400.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>23.500</b>	<b>25.000</b>	<b>100 %</b>	<b>4.100.000</b>	<b>100 %</b>	<b>11.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf den Metallgehalt in der Bergbauproduktion. Die Produktionsdaten sind für 2007. Die Angaben für die Weltproduktion enthalten nicht die US-amerikanischen Produktionsdaten. Die Angaben für die US-amerikanischen Daten fehlen aus Datenschutzgründen. Alle Angaben für Argentinien und Australien sind geschätzt. Die Werte beziehen sich.



Magnesium / Magnesit	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	1.370.000	1.870.000	41 %	380.000.000	17 %	860.000.000
Türkei	922.000	930.000	20 %	65.000.000	3 %	160.000.000
Nordkorea	345.000	350.000	8 %	450.000.000	20 %	750.000.000
Russland	346.000	350.000	8 %	650.000.000	30 %	730.000.000
Österreich	202.000	200.000	4 %	15.000.000	1 %	20.000.000
Griechenland	144.000	150.000	3 %	30.000.000	1 %	30.000.000
Spanien	144.000	150.000	3 %	10.000.000	0 %	30.000.000
Australien	137.000	140.000	3 %	100.000.000	5 %	120.000.000
Slowakei	115.000	115.000	3 %	45.000.000	2 %	320.000.000
Brasilien	111.000	110.000	2 %	45.000.000	2 %	65.000.000
Indien	107.000	105.000	2 %	14.000.000	1 %	55.000.000
USA	W	W		10.000.000	0 %	15.000.000
andere Länder	117.000	120.000	3 %	390.000.000	18 %	440.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>4.060.000</b>	<b>4.600.000</b>	<b>100 %</b>	<b>2.200.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>3.600.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Magnesitproduktion. Die Produktionsdaten sind für 2007 geschätzt. Die Angaben für die Weltproduktion enthalten nicht die US-amerikanischen Produktionsdaten. Die Angaben für die US-amerikanischen Daten fehlen aufgrund von Datenrestriktionen.

Mangan	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Südafrika	2.300.000	2.300.000	20 %	100.000.000	22 %	4.000.000.000
Australien	2.190.000	2.200.000	19 %	62.000.000	13 %	160.000.000
China	1.600.000	1.600.000	14 %	40.000.000	9 %	100.000.000
Gabun	1.350.000	1.550.000	13 %	20.000.000	4 %	160.000.000
Brasilien	1.370.000	1.000.000	9 %	35.000.000	8 %	57.000.000
Ukraine	820.000	820.000	7 %	140.000.000	30 %	520.000.000
Indien	811.000	650.000	6 %	56.000.000	12 %	150.000.000
Mexiko	133.000	130.000	1 %	4.000.000	1 %	9.000.000
USA	—	—		—		—
andere Länder	1.360.000	1.360.000	12 %	gering		gering
<b>Welt gesamt</b>	<b>11.900.000</b>	<b>11.600.000</b>	<b>100 %</b>	<b>460.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>5.200.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion. Die Produktionsdaten sind für 2007 geschätzt, ebenso die Produktionsdaten von China, Gabun, Indien, der Ukraine und der Weltproduktion für 2006. Die Daten der Reservenbasis von Mexiko und der Ukraine enthalten auch vermutete Ressourcen.

Molybdän	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA	59.800	59.400	32 %	2.700.000	31 %	5.400.000
China	43.900	46.000	25 %	3.300.000	38 %	8.300.000
Chile	43.278	41.100	22 %	1.100.000	13 %	2.500.000
Peru	17.209	17.500	9 %	140.000	2 %	230.000
Kanada	7.270	8.000	4 %	450.000	5 %	910.000
Mexiko	2.500	4.000	2 %	135.000	2 %	230.000
Russland	3.100	3.100	2 %	240.000	3 %	360.000
Armenien	3.000	3.000	2 %	200.000	2 %	400.000
Iran	2.000	2.500	1 %	50.000	1 %	140.000
Mongolei	1.200	1.500	1 %	30.000	0 %	50.000
Usbekistan	600	500	0 %	60.000	1 %	150.000
Kasachstan	250	400	0 %	130.000	2 %	200.000
Kirgisien	250	250	0 %	100.000	1 %	180.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>184.000</b>	<b>187.000</b>	<b>100 %</b>	<b>8.600.000</b>	<b>100 %</b>	<b>19.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion. Die Produktionsdaten sind für 2007 geschätzt. Die Daten für Russland und Usbekistan sind generell geschätzt.

Natrium / Natriumsulfat	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA				860.000.000	26 %	1.400.000.000
Kanada				84.000.000	3 %	270.000.000
Mexiko				170.000.000	5 %	230.000.000
Spanien				180.000.000	5 %	270.000.000
Türkei				100.000.000	3 %	N/A
andere Länder				1.900.000.000	58 %	2.400.000.000
<b>Welt gesamt</b>				<b>3.300.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>4.600.000.000</b>

Anmerkung: Die Angaben beziehen sich auf Natriumsulfate. Produktionsdaten sind nicht verfügbar.

<b>Nickel</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Russland	320.000	322.000	19 %	6.600.000	10 %	9.200.000
Kanada	233.000	258.000	16 %	4.900.000	7 %	15.000.000
Australien	185.000	180.000	11 %	24.000.000	36 %	27.000.000
Indonesien	140.000	145.000	9 %	3.200.000	5 %	13.000.000
Frankreich (Neukaledonien)	103.000	119.000	7 %	7.100.000	11 %	15.000.000
Kolumbien	94.100	99.500	6 %	830.000	1 %	1.100.000
Philippines	58.900	88.400	5 %	940.000	1 %	5.200.000
China	82.100	80.000	5 %	1.100.000	2 %	7.600.000
Kuba	75.000	77.000	5 %	5.600.000	8 %	23.000.000
Brasilien	82.500	75.300	5 %	4.500.000	7 %	8.300.000
Dominikanische Republik	46.500	47.000	3 %	720.000	1 %	1.000.000
Südafrika	41.600	42.000	3 %	3.700.000	6 %	12.000.000
Botswana	38.000	35.000	2 %	490.000	1 %	920.000
Griechenland	21.700	20.100	1 %	490.000	1 %	900.000
Venezuela	20.000	20.000	1 %	560.000	1 %	630.000
Zimbabwe	8.820	9.000	1 %	15.000	0 %	260.000
USA	—	—	—	—	—	150.000
andere Länder	34.300	41.000	2 %	2.100.000	3 %	5.900.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.580.000</b>	<b>1.660.000</b>	<b>100 %</b>	<b>67.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>150.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion. Die Produktionsdaten sind für 2007 geschätzt. Frankreich beinhaltet unter anderem die Produktion und Reserven von Neukaledonien.

<b>Niob</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Brasilien	40.000	40.000	89 %	2.600.000	96 %	2.600.000
Kanada	4.167	4.200	9 %	62.000	2 %	92.000
Australien	200	200	0 %	21.000	1 %	320.000
Ruanda	80	80	0 %	N/A		N/A
Nigeria	35	40	0 %	N/A		N/A
Mosambik	29	30	0 %	N/A		N/A
Äthiopien	11	10	0 %	N/A		N/A
USA	—	—	—	—	—	N/A
andere Länder	18	20	0 %	N/A		N/A
<b>Welt gesamt</b>	<b>44.500</b>	<b>45.000</b>	<b>100 %</b>	<b>2.700.000</b>	<b>100 %</b>	<b>3.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

<b>Palladium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Russland	98,4	95	41 %	6.200	9 %	6.600
Südafrika	85	93	40 %	63.000	89 %	70.000
Kanada	14	18	8 %	310	0 %	390
USA	14,4	13,5	6 %	900	1 %	2.000
Zimbabwe	4	4,4	2 %		0 %	
Kolumbien	N/A	N/A			0 %	
andere Länder	8,21	8,1	3 %	800	1 %	850
<b>Welt gesamt</b>	<b>224</b>	<b>232</b>	<b>100 %</b>	<b>71.000</b>	<b>100 %</b>	<b>80.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Reservedaten beziehen sich auf die Platinmetallgruppe (PGM). Alle Angaben sind in Kilogramm. Die Reservedaten für Kolumbien und Zimbabwe sind in der Gruppe „andere Länder“ enthalten.

<b>Platin</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Südafrika	170	183	80 %	63.000	89 %	70.000
Russland	29	27	12 %	6.200	9 %	6.600
Kanada	9	8,5	4 %	310	0 %	390
Zimbabwe	5,1	5,4	2 %		0 %	
USA	4,29	3,4	1 %	900	1 %	2.000
Kolumbien	1,1	1,1	0 %		0 %	
andere Länder	2,19	1,5	1 %	800	1 %	850
<b>Welt gesamt</b>	<b>221</b>	<b>230</b>	<b>100 %</b>	<b>71.000</b>	<b>100 %</b>	<b>80.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Reservedaten beziehen sich auf die Platinmetallgruppe (PGM). Alle Angaben sind in Kilogramm. Die Reservedaten für Kolumbien und Zimbabwe sind in der Gruppe „andere Länder“ enthalten.

Quecksilber	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	1.100	1.100	73 %	—		—
Kirgisien	250	250	17 %	7.500	16 %	13.000
USA	N/A	N/A		—		7.000
Algerien	—	—		—		3.000
Italien	—	—		—		69.000
Spanien	—	—		—		90.000
andere Länder	125	150	10 %	38.000	83 %	61.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.480</b>	<b>1.500</b>	<b>100 %</b>	<b>46.000</b>	<b>100 %</b>	<b>240.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

Rhenium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[kg], sofern nicht anders angegeben					
Chile	19,8	22,9	46 %	1.300	52 %	2.500
Kasachstan	8	8	16 %	190	8 %	250
USA	8,1	7,3	15 %	390	16 %	4.500
Peru	5	5	10 %	45	2 %	550
Kanada	1,7	1,7	3 %	32	1 %	1.500
Russland	1,4	1,4	3 %	310	12 %	400
Armenien	1,2	1,2	2 %	95	4 %	120
andere Länder	2	2	4 %	91	4 %	360
<b>Welt gesamt</b>	<b>47,2</b>	<b>49,5</b>	<b>100 %</b>	<b>2.500</b>	<b>100 %</b>	<b>10.000</b>

Anmerkung: Angaben in Kilogramm. Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten beziehen sich auf die geschätzte Menge des Rheniums, das in Verbindung mit Kupfer und Molybdän wieder hergestellt wurde. Die Daten für Chile sind geschätzte Werte, die sich auf die Wiederherstellung von Röstresten von Belgien, Chile und Mexiko beziehen.

Selen	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Japan	735	740	48 %	—		—
Kanada	300	300	19 %	6.000	7 %	10.000
Belgien	200	200	13 %	—		—
Chile	84	84	5 %	16.000	20 %	37.000
Philippines	65	65	4 %	2.000	2 %	3.000
Finnland	62	62	4 %	—		—
Peru	50	50	3 %	5.000	6 %	8.000
Schweden	20	20	1 %	—		—
Indien	13	13	1 %	—		—
Deutschland	12	12	1 %	—		—
USA	W	W		10.000	12 %	19.000
andere Länder	N/A	N/A		43.000	52 %	92.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.540</b>	<b>1.550</b>	<b>100 %</b>	<b>82.000</b>	<b>100 %</b>	<b>170.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Raffinerieproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Daten für die Weltgesamtproduktion enthalten keine Produktionsdaten der Vereinigten Staaten. Außer in den genannten Ländern wird raffiniertes Selen in Australien, China, Kasachstan, Russland und England produziert. Hierzu liegen jedoch keine Daten vor.

Seltene Erden	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	119.000	120.000	97 %	27.000.000	31 %	89.000.000
Indien	2.700	2.700	2 %	1.100.000	1 %	1.300.000
Brasilien	730	730	1 %	48.000	0 %	84.000
Malaysia	200	200	0 %	30.000	0 %	35.000
USA	—	—		13.000.000	15 %	14.000.000
Australien	—	—		5.200.000	6 %	5.800.000
Gemeinschaft Unabhängiger Staaten	N/A	N/A		19.000.000	22 %	21.000.000
Thailand	—	—		N/A		N/A
andere Länder	N/A	N/A		22.000.000	25 %	23.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>123.000</b>	<b>124.000</b>	<b>100 %</b>	<b>88.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>150.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten sind geschätzt.

<b>Silber</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Peru	3.470	3.400	17 %	36.000	13 %	37.000
Mexiko	2.700	3.000	15 %	37.000	14 %	40.000
China	2.600	2.700	13 %	26.000	10 %	120.000
Australien	1.727	2.000	10 %	31.000	11 %	37.000
Chile	1.600	1.400	7 %	N/A		N/A
Polen	1.300	1.300	6 %	51.000	19 %	140.000
USA	1.140	1.220	6 %	25.000	9 %	80.000
Kanada	980	1.200	6 %	16.000	6 %	35.000
Südafrika	87	90	0 %	N/A		N/A
andere Länder	4.600	4.200	20 %	50.000	19 %	80.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>20.200</b>	<b>20.500</b>	<b>100 %</b>	<b>270.000</b>	<b>100 %</b>	<b>570.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

<b>Strontium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Spanien	200.000	200.000	33 %			
China	180.000	190.000	32 %			
Mexiko	125.000	125.000	21 %			
Türkei	60.000	60.000	10 %			
Argentinien	7.500	7.500	1 %			
Iran	7.500	7.500	1 %			
Pakistan	1.900	3.500	1 %			
Marokko	2.700	2.700	0 %			
USA	—	—		—		1.400.000
Tadschikistan	N/A	N/A				
<b>Welt gesamt</b>	<b>585.000</b>	<b>600.000</b>	<b>100 %</b>	<b>6.800.000</b>		<b>12.400.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Daten für China sind geschätzt.

<b>Tantal</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Australien	850	850	61 %	40.000	31 %	84.000
Brasilien	250	250	18 %	88.000	68 %	90.000
Kanada	68	70	5 %	3.000	2 %	>3.000
Äthiopien	70	70	5 %	N/A		N/A
Mosambik	70	70	5 %	N/A		N/A
Ruanda	62	60	4 %	N/A		N/A
USA	—	—		—		unbedeutend
andere Länder	32	30	2 %	N/A		N/A
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.400</b>	<b>1.400</b>	<b>100 %</b>	<b>130.000</b>	<b>100 %</b>	<b>180.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Produktionsdaten beinhalten nicht das Tantal, das in Zinn Absonderungen enthalten ist.

<b>Tellur</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Kanada	75	75	56 %	700	3 %	1.500
Peru	33	35	26 %	1.600	8 %	2.800
Japan	24	25	19 %	N/A		N/A
USA	W	W		3.000	14 %	6.000
andere Länder	N/A	N/A		16.000	76 %	37.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>132</b>	<b>135</b>	<b>100 %</b>	<b>21.000</b>	<b>100 %</b>	<b>47.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Raffinerieproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Reservedaten beinhalten Tellur, das in Kupfervorkommen enthalten ist. Außer in den genannten Ländern wird raffiniertes Tellur in Australien, Belgien, China, Deutschland, Kasachstan, auf den Philippinen und in Russland produziert. Hierzu liegen jedoch keine Daten vor. Die Weltgesamtproduktion beinhaltet keine US-amerikanischen Produktionsdaten.

<b>Thallium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
USA				32	8 %	120
andere Länder	10	10	100 %	350	92 %	530
<b>Welt gesamt</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>100 %</b>	<b>380</b>	<b>100 %</b>	<b>650</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Schätzungen basieren auf dem Thalliumgehalt von Zinkerzen. Es sind keine Angaben für die US-Produktion vorhanden, aber Flugstaub und Residuen von der Schmelze unedler Metalle aus denen Thalliummetalle und -verbindungen wiederhergestellt werden können, sind nach Kanada, Frankreich, England und in andere Länder exportiert worden.



Titan / Titandioxid	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Australien	1.537.000	1.549.000	25 %	149.000.000	20 %	191.000.000
Südafrika	1.167.000	1.181.000	19 %	71.300.000	10 %	244.000.000
Kanada	791.000	816.000	13 %	31.000.000	4 %	36.000.000
China	500.000	500.000	8 %	200.000.000	27 %	350.000.000
Norwegen	380.000	380.000	6 %	37.000.000	5 %	60.000.000
Indien	331.000	358.000	6 %	92.400.000	13 %	230.000.000
Ukraine	330.000	337.000	6 %	8.400.000	1 %	15.500.000
USA	300.000	300.000	5 %	6.400.000	1 %	60.800.000
Vietnam	230.000	200.000	3 %	1.600.000	0 %	14.000.000
Brasilien	133.000	133.000	2 %	44.200.000	6 %	86.500.000
Mosambik	—	103.000	2 %	16.480.000	2 %	21.570.000
Sierra Leone	13.000	80.000	1 %	2.500.000	0 %	3.600.000
andere Länder	108.000	109.000	2 %	66.400.000	9 %	151.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>5.800.000</b>	<b>6.100.000</b>	<b>100 %</b>	<b>730.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>1.500.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion von Ilmenit und Rutil und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Bergbauproduktion in Kanada, Norwegen und Südafrika von Ilmenit dient vor allem der Herstellung von eisenhaltiger Titanasche.

Titan / Metall	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Japan	37.800	39.000	28 %			
China	18.000	32.000	23 %			
Russland	32.000	32.000	23 %			
Kasachstan	23.000	25.000	18 %			
Ukraine	10.000	10.000	7 %			
USA	W	W				
Australien	—	—				
Belgien	—	—				
Kanada	—	—				
Finnland	—	—				
Frankreich	—	—				
Deutschland	—	—				
Italien	—	—				
Mexiko	—	—				
Spanien	—	—				
United Kingdom	—	—				
andere Länder	—	—				
<b>Welt gesamt</b>	<b>121.000</b>	<b>138.000</b>	<b>100 %</b>			

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Schwammproduktion und die Kapazitätsdaten sind geschätzt. Die Angaben für China, Kasachstan, Russland und die Ukraine sind geschätzt. Die Weltgesamtproduktionsdaten enthalten keine US-amerikanischen Produktionsdaten.

<b>Vanadium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Südafrika	22.000	23.000	39 %	3.000.000	23 %	12.000.000
China	17.500	18.500	32 %	5.000.000	38 %	14.000.000
Russland	15.100	16.000	27 %	5.000.000	38 %	7.000.000
USA	—	—		45.000	0 %	4.000.000
andere Länder	1.100	1.100	2 %	N/A		1.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>55.700</b>	<b>58.600</b>	<b>100 %</b>	<b>13.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>38.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

<b>Wolfram</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	79.000	77.000	86 %	1.800.000	62 %	4.200.000
Russland	4.000	4.400	5 %	250.000	9 %	420.000
Kanada	2.560	2.600	3 %	260.000	9 %	490.000
Österreich	1.300	1.300	1 %	10.000	0 %	15.000
Bolivien	870	870	1 %	53.000	2 %	100.000
Portugal	780	800	1 %	4.700	0 %	62.000
Korea. North	600	600	1 %	N/A		35.000
USA	—	W		140.000	5 %	200.000
andere Länder	1.680	2.040	2 %	420.000	14 %	740.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>90.800</b>	<b>89.600</b>	<b>100 %</b>	<b>2.900.000</b>	<b>100 %</b>	<b>6.300.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

<b>Yttrium</b>	<b>Produktion 2006</b>	<b>Produktion 2007</b>	<b>Anteil an Weltproduk- tion 2007</b>	<b>Reserven</b>	<b>Anteil an Welt- reserven</b>	<b>Reserven- basis</b>
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	8.800	8.800	99 %	220.000	41 %	240.000
Indien	55	55	1 %	72.000	13 %	80.000
Brasilien	15	15	0 %	2.200	0 %	6.200
Malaysia	4	4	0 %	13.000	2 %	21.000
USA	k.A.	k.A.	k.A.	120.000	22 %	130.000
Australien	k.A.	k.A.	k.A.	100.000	19 %	110.000
Sri Lanka	k.A.	k.A.	k.A.	240	0 %	260
andere Länder	k.A.	k.A.	k.A.	17.000	3 %	20.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>8.900</b>	<b>8.900</b>	<b>100 %</b>	<b>540.000</b>	<b>100 %</b>	<b>610.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion weltweit, die Produktionsdaten für 2007 sind geschätzt, Angaben für Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Zink	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	2.600.000	2.800.000	27 %	33.000.000	18 %	92.000.000
Peru	1.200.000	1.500.000	14 %	18.000.000	10 %	23.000.000
Australien	1.380.000	1.400.000	13 %	42.000.000	23 %	100.000.000
USA	727.000	740.000	7 %	14.000.000	8 %	90.000.000
Kanada	710.000	680.000	6 %	5.000.000	3 %	30.000.000
Mexiko	480.000	480.000	5 %	7.000.000	4 %	25.000.000
Kasachstan	400.000	400.000	4 %	14.000.000	8 %	35.000.000
andere Länder	2.500.000	2.500.000	24 %	49.000.000	27 %	87.000.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>10.000.000</b>	<b>10.500.000</b>	<b>100 %</b>	<b>180.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>480.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Produktionsdaten beziehen sich auf den Gehalt von Zink in Konzentraten und Erz für den direkten Transport.

Zinn	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
China	125.000	130.000	43 %	1.700.000	28 %	3.500.000
Indonesien	90.000	85.000	28 %	800.000	13 %	900.000
Peru	38.000	38.000	13 %	710.000	12 %	1.000.000
Bolivien	18.000	18.000	6 %	450.000	7 %	900.000
Brasilien	12.000	12.000	4 %	540.000	9 %	2.500.000
Russland	3.000	4.000	1 %	300.000	5 %	350.000
Vietnam	3.500	3.500	1 %	N/A		N/A
Kongo (Kinshasa)	2.800	3.000	1 %	N/A		N/A
Malaysia	3.000	3.000	1 %	1.000.000	16 %	1.200.000
Australien	2.000	2.200	1 %	150.000	2 %	300.000
Portugal	200	200	0 %	70.000	1 %	80.000
Thailand	200	200	0 %	170.000	3 %	200.000
USA	—	—		—		40.000
andere Länder	4.000	4.000	1 %	180.000	3 %	200.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>302.000</b>	<b>300.000</b>	<b>100 %</b>	<b>6.100.000</b>	<b>100 %</b>	<b>11.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt.

Zirkonium	Produktion 2006	Produktion 2007	Anteil an Weltproduk- tion 2007	Reserven	Anteil an Welt- reserven	Reserven- basis
	[t], sofern nicht anders angegeben					
Australien	491.000	550.000	44 %	9.100.000	24 %	30.000.000
Südafrika	398.000	405.000	33 %	14.000.000	37 %	14.000.000
China	170.000	170.000	14 %	500.000	1 %	3.700.000
Ukraine	35.000	35.000	3 %	4.000.000	11 %	6.000.000
Brasilien	26.000	26.000	2 %	2.200.000	6 %	4.600.000
Indien	21.000	21.000	2 %	3.400.000	9 %	3.800.000
USA	W	W		3.400.000	9 %	5.700.000
andere Länder	38.000	32.000	3 %	900.000	2 %	4.100.000
<b>Welt gesamt</b>	<b>1.180.000</b>	<b>1.240.000</b>	<b>100 %</b>	<b>38.000.000</b>	<b>100 %</b>	<b>72.000.000</b>

Anmerkung: Die Werte beziehen sich auf die Bergbauproduktion und die Produktionsdaten 2007 sind geschätzt. Die Reservedaten beziehen sich auf ZrO<sub>2</sub>.



Tab. 10-2: Weltweite Produktionsmengen, Reservemengen und statische Reichweite<sup>53</sup> von Metallen, jeweils bezogen auf das Jahr 2007; die statische Reichweite wurde durch Division der Reserven durch die Produktionsmengen berechnet

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Ag	Silber	20.500	20.200		270.000	570.000	13	weltweite Bergbauproduktion
Al	Aluminium	38.000.000	33.700.000		11.250.000.000	13.500.000.000	296	weltweite Hüttenproduktion nach USGS; Reserven / Reservenbasis für Bauxit (25.000.000.000 t bzw. 32.000.000.000 t), umgerechnet auf Aluminium
As	Arsen	59.000	59.800		885.000	885.000	15	weltweite Hüttenproduktion; die Reserven und Reservenbasis sind nur unzureichend erforscht. Die Reserven und die Reservenbasis sollen ca. 20-30 mal die Jahresproduktion umfassen, weshalb für die Reserven bzw. für die Reservenbasis jeweils ein Faktor 15 angenommen wurde; die Reserven der USA betragen 80.000 t.
Au	Gold	2.500	2.460		42.000	90.000	17	weltweite Bergbauproduktion
Ba	Barium	4.720.000	4.696.400		112.100.000	519.200.000	24	weltweite Bergbauproduktion als Baryt/Bariumsulfat; Bariumsulfatproduktion umgerechnet auf Bariummetall (Faktor 0,59)
Be	Beryllium	130	180		15.900	80.000	122	weltweite Bergbauproduktion; Reserven und Ressourcen sind nur unzureichend erforscht; die Reserven beziehen sich nur auf die Reserven der USA, d.b. die weltweiten Reserven sind wesentlich größer

<sup>53</sup> Erläuterungen zur Tabelle: siehe Anhang 1 – Erläuterungen zu weltweiten Produktionsmengen, Reservemengen und statischen Reichweiten.

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Bi	Bismut	5.700	5.700		320.000	680.000	56	weltweite Bergbauproduktion
Ca	Calcium	236.000.000	241.000.000		äußerst groß	äußerst groß	sehr groß	Angaben nur für Kalk (CaO) und Zement (Calciumaluminiumsilikat), keine Statistiken für Kalzium verfügbar; Werte umgerechnet auf Calciumgehalt (Faktor 0,87)
Cd	Cadmium	19.900	19.300		490.000	1.200.000	25	weltweite Raffinerieproduktion
Ce	Cer	19.550	siehe REE	7.990	siehe REE	siehe REE	siehe REE	keine Statistiken bei USGS; geschätzte Werte der Produktion von Ceroxid nach Lenntech (23.000 t) (ohne Jahresangabe), Produktion von Ceroxid gemäß Rutherford 9.400 t; Produktionswerte von Ceroxid umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor für Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,85)
Co	Cobalt	62.300	67.500		7.000.000	13.000.000	112	weltweite Bergbauproduktion
Cr	Chrom	20.000.000	19.600.000		475.000.000	800.000.000	24	weltweite Bergbauproduktion; Ressourcen größer als 12.000.000.000 t; die Reserven sind nur für Indien, USA, Kasachstan und Südafrika ausgewiesen, d.b. die weltweiten Reserven sind wesentlich größer
Cs	Cäsium	20	N/A		70.000	110.000	3.500	keine Statistiken zur Produktion bei USGS; Produktion nach Lenntech (20 t) (ohne Jahresangabe); Reserven von USGS auf Basis von Pollucite (Ca-Na-Aluminiumsilikat) berechnet. Sie beziehen sich vermutlich auf den Metallgehalt.
Cu	Kupfer	15.600.000	15.100.000		490.000.000	940.000.000	31	weltweite Bergbauproduktion
Dy	Dysprosium	100	N/A		siehe REE	siehe REE	siehe REE	keine Statistiken für Dysprosium bei USGS; geschätzte Werte der Produktion nach Lenntech (ohne Jahresangabe); unsicher ist, ob sich die Werte auf Oxide beziehen; s.a. REE

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
		[t]					[a]	
Er	Erbium	500	N/A	100	siehe REE	siehe REE	siehe REE	keine Statistiken gemäß USGS; geschätzte Werte bewegen sich zwischen 100 t, nach Ruby, und 500 t, nach Lenntech (ohne Jahresangaben); keine validen Statistiken für Erbium, s. a. REE
Eu	Europium	100	N/A		150.000	siehe REE	1500	keine Jahresangaben der Daten, geschätzte Werte von Lenntech, vermutlich als Metall; keine Statistiken für Europium bei USGS; s.a. REE
Fe	Eisen	940.000.000	865.000.000		73.000.000.000	160.000.000.000	78	Produktionsangaben für Roheisen; bei Reserven und Ressourcen Eisenanteil im Erz
Ga	Gallium	80	80		15.000	N/A	188	Gallium wird zumeist aus Bauxit gewonnen, welches durchschnittlich 50 ppm Ga enthält; Galliumreserven können somit über Bauxitreserven bestimmt werden, so dass diese nach Daten von USGS (2008) ca. 15.000 t betragen
Gd	Gadolinium	400	N/A	100	1.000.000	siehe REE	2500	keine Statistiken bei USGS; geschätzte Werte nach Ruby, weniger als 100 t und nach Lenntech ca. 400 t (ohne Jahresangabe); s.a. REE
Ge	Germanium	90	100	80	N/A	N/A	N/A	weltweite Raffinerieproduktion nach USGS (90 t) bzw. Lenntech (80 t)
Hf	Hafnium	50		5	427.000	770.000	8540	Produktionsdaten nach Lenntech ohne Jahresangaben; nach Rutherford werden nur 5 t pro Jahr hergestellt (unklar ob Metall oder Oxid); Reserven an HfO <sub>2</sub> : 610.000 t; Ressourcen: 1.100.000 t, beides nach USGS; umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor für HfO <sub>2</sub> : 0,7)



Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Hg	Quecksilber	1.480	1.500		46.000	240.000	31	weltweite Bergbauproduktion; für China, den wichtigsten Produzenten, fehlen Reservenangaben
Ho	Holmium	100	siehe REE	10	40.000	siehe REE	400	keine Statistiken bei USGS; geschätzte Werte der Produktion nach Lenntech (10 t) und nach Rutherford (< 100 t); s.a. REE
In	Indium	510	580		11.000	16.000	22	weltweite Raffinerieproduktion
Ir	Iridium	3	siehe PGM		siehe PGM	siehe PGM	siehe PGM	geschätzter Wert nach Lenntech; keine Statistiken zu Iridium bei USGS; Wilburn gibt die Reserven für Iridium in China zu ca. 12,4 t an (USGS, o.J.: 42) (keine Jahresangaben); s.a. PGM
K	Kalium	18.150.000	16.005.000		4.565.000.000	9.900.000.000	252	keine Statistiken für Kalium, Angaben beziehen sich auf K <sub>2</sub> O; Produktionsdaten von K <sub>2</sub> O, umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor 0,55); die Metallproduktion von Kalium beträgt nach Rutherford 200 t
La	Lanthan	10.200	siehe REE	7.225	5.100.000	siehe REE	500	keine Statistiken für Lanthan bei USGS; die Produktion an Lanthanoxid beträgt nach Rutherford 8.500 t, nach Lenntech 12.000 t; Reserven in Form von Lanthanoxid nach Lenntech, umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor für La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,85)
Li	Lithium	25.000	23.500		4.100.000	11.000.000	164	andere Schätzungen bestimmen die Reservenbasis auf bis zu 13.000.000 t

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Mg	Magnesium	1.334.000	1.177.400		638.000.000	1.044.000.000	478	weltweite Bergbauproduktion: Reserven und Reservenbasis von Magnesit ( $MgCO_3$ ) nach USGS; Angaben hinsichtlich Magnesit, umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor 0,29)
Mn	Mangan	11.600.000	11.900.000		460.000.000	5.200.000.000	40	weltweite Bergbauproduktion
Mo	Molybdän	184.000	187.000		8.600.000	19.000.000	47	weltweite Bergbauproduktion
Na	Natrium	2.019.400			627.000.000	874.000.000	310	die Produktionsangabe bezieht sich auf die weltweite Produktion von Natriumsulfat (2004) (5,75 Mt) und Natriumkarbonat (40,3 Mt), nach USGS; als Beiprodukt der chemischen Industrie fallen 1,5 bis 2 Mt Natriumsulfat an; die Angabe der Reserven bezieht sich auf natürliches Natriumsulfat, hingegen ist die Produktion von Natronlauge nicht berücksichtigt; Natrium ist in Form von NaCl zudem als natürliches Meersalz in äußerst großen Mengen vorhanden, ebenso als Steinsalz in terrestrischen Lagerstätten; Angaben umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor 0,19 für Sulfat bzw. 0,23 für Karbonat)
Nb	Niob	45.000	44.000		2.700.000	3.000.000	60	weltweite Bergbauproduktion; nur die Reserven und Ressourcen der wichtigsten Förderländer sind untersucht
Nd	Neodym	6.020	siehe REE	2.494	6.880.000	siehe REE	1.143	keine Statistiken bei USGS; geschätzte Werte für die Oxide nach Lenntech (ohne Jahresangabe), Produktion nach Ruby/Rutherford: 2.900 t (ohne Jahresangabe); Produktion und Reserven umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor für $Nd_2O_3$ : 0,86); s.a. REE

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Ni	Nickel	1.660.000	1.580.000		67.000.000	150.000.000	40	weltweite Bergbauproduktion
Os	Osmium	0,1	siehe PGM		siehe PGM	siehe PGM	siehe PGM	keine Statistiken bei USGS; Produktion gemäß Lenntech (ohne Jahresangabe); Reserven in China nach Wilburn ca. 12,4 t (s. USGS, o.J.: 42); s .a. PGM
Pb	Blei	3.550.000	3.470.000		79.000.000	170.000.000	22	weltweite Bergbauproduktion
Pd	Palladium	232	224	195	siehe PGM	siehe PGM	siehe PGM	weltweite Bergbauproduktion; die Angaben zu den Reserven beziehen sich bei USGS auf alle PGM; Kanada, Russland, Südafrika und die USA decken 95 % der Weltproduktion ab; die BGR schätzt die Produktion von Palladium in 2003 auf 195 t
PGM	Platin- gruppen- metalle (Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Osmium, Iridium)	445	462		71.000	80.000	160	weltweite Bergbauproduktion von Platin und Palladium; Wilburn und Bleiwas geben die Reserven für das Jahr 2002 mit 14.000 t PGM an, davon ca. 12.000 t in Südafrika; die Reservenangaben beziehen sich bei USGS (o.J.) auf alle PGM; PGM werden vor allem aus drei Quellen gewonnen: als Primärressourcen, als Nebenprodukt aus der Nickel- und Kupferherstellung sowie durch Recycling; in Südafrika werden die PGM vor allem aus Primärressourcen, in Russland und Kanada während der Nickel-Kupfer-Produktion gewonnen; die Produktionsmengen der PGM betragen im Jahr 2002: Platin ca. 10.000 kg (325.000 oz), Palladium 7.900 kg (255.000 oz), Rhodium 1.300 kg (42.000 oz) (USGS: PGM World Supply and Demand 2001-2007)

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
		[t]					[a]	
Pm	Promethium	N/A	N/A		N/A	N/A	N/A	keine Statistiken bei USGS; Promethium ist aufgrund seiner ungeraden Kernladungszahl nicht stabil
Pr	Praseodym	2.500	siehe REE		2.000.000	siehe REE	800	keine Statistiken bei USGS; geschätzte Werte für Produktion und Reserven nach Lenntech (o.J.); Angaben beziehen sich vermutlich auf Oxide des Praseodyms, umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor für Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,88); s.a REE
Pt	Platin	230	221	200	30.000	siehe PGM	130	weltweite Bergbauproduktion; Lenntech schätzt die Reserven von Platin auf 30.000 t; die Angaben zu den Reserven beziehen sich bei USGS auf alle PGM; Kanada, Russland, Südafrika und die USA decken 97 % der Produktion ab; die BGR schätzt die Produktion von Platin in 2003 auf 200 t
Rb	Rubidium	N/A	N/A		N/A	N/A	N/A	Rubidium wird aus Lepidolit (Lithiummineral) und Pollucite (Ca-Na-Aluminiumsilikat) gewonnen, v.a. in Kanada als Nebenprodukt der Gewinnung von Lithiumsalzen; die Reserven sollen sehr reichhaltig sein
Re	Rhenium	50	47		2.500	10.000	51	weltweite Bergbauproduktion
REE	Seltene Erden	123.000	124.000		88.000.000	150.000.000	715	weltweite Bergbauproduktion, nur Daten für China, Indien, Brasilien und Malaysia liegen vor

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Rh	Rhodium	16	siehe PGM	23	3.000	siehe PGM	188	keine Statistiken bei USGS; Produktion nach Lenntech (o.J.); die BGR schätzt die Weltproduktion in 2003 auf 23,3 t; Wilburn gibt die Produktion von Südafrika in 2001 zu 14 t an, von Russland mit ca. 4 t; Wilburn weist die Reserven in China zu ca. 6,2 t aus (USGS, o.J., Wilburn, o.J.: 42)
Ru	Ruthenium	12	siehe PGM		5.000	siehe PGM	417	keine Statistiken bei USGS; Produktion und Reserven nach Lenntech (o.J.); Wilburn gibt die Reserven für Ruthenium in China zu 12,4 t an (USGS, o.J., Wilburn, o.J.: S.42); s.a. PGM
Sb	Antimon	135.000	134.000		2.100.000	4.300.000	16	weltweite Bergbauproduktion
Sc	Scandium	50	N/A	0,05	N/A	N/A	N/A	keine Statistiken bei USGS; nach Rutherford (o.J.): geschätzte Produktionsmenge 50 t; Lenntech gibt eine Produktionsmenge von 50 kg an. Nach Lenntech wird Scandium als Nebenprodukt der Urananreicherung bzw. der Produktion anderer Metalle gewonnen, überwiegend in China
Se	Selen	1.540	1.500		82.000	170.000	53	weltweite Raffinerieproduktion; Selen wird vor allem aus Kupferschlämmen gewonnen; für Japan, den wichtigsten Produzenten, liegen keine Angaben zu den Reserven vor
Sm	Samarium	1.800	siehe REE	630	1.800.000	siehe REE	1.000	keine Statistiken bei USGS; Ruby schätzt die Produktion (Weltbedarf) auf 2.000 t Samariumoxid bzw. 1.800 t Samarium; Werte für Produktion und Reserven umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor 0,9); s.a. REE
Sn	Zinn	300.000	302.000		6.100.000	11.000.000	20	weltweite Bergbauproduktion

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Sr	Strontium	600.000	585.000		6.800.000	12.000.000	11	weltweite Bergbauproduktion
Ta	Tantal	1.400	1.400		130.000	180.000	93	weltweite Bergbauproduktion; für die meisten afrikanischen Produzenten liegen keine Angaben der Reserven und Reservenbasis vor
Tb	Terbium	100	siehe REE	10	300.000	siehe REE	3.000	keine Statistiken bei USGS; für Produktion und Reserven geschätzte Werte nach Lenntech (o.J.); nach Ruby ist die Produktion geringer als 100 t pro Jahr; unsicher, ob Bezug auf Terbiumoxid oder metallisches Terbium; s.a. REE
Te	Tellur	135	132		21.000	47.000	156	weltweite Raffinerieproduktion
Ti	Titan	6.858.000	7.141.000		846.000.000	1.740.000.000	123	Produktion und Reserven von Titandioxid (Produktion inkl. Titanschwamm) gemäß USGS, umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor TiO <sub>2</sub> : 0,6); die Produktion von Titandioxid (inkl. USA) betrug 11,7 Mio. t in 2007 und 11,2 Mio. t in 2006, die weltweite Produktion von Titanschwamm (ohne USA) betrug 138.000 t in 2007 bzw. 112.000 t in 2006; Titan und Titandioxid werden vor allem aus Ilmenit und Rutil gewonnen; die Herstellung von Titanschwamm ist sehr aufwändig und nur durch hohen Einsatz von Energie und anderer Ressourcen möglich (unter anderem Magnesium)
Tl	Thallium	10	10		380	650	38	weltweite Bergbauproduktion nach USGS; allerdings wird Thallium vor allem aus Flugasche der Kupfer-, Zink- und Bleiverhüttung gewonnen

Abk.	Metall	Produktion 2007 (USGS /andere)	Produktion 2006 (USGS)	Produktion (andere)	Reserven 2007 (USGS 2008 / andere)	Reservenbasis 2007 (USGS 2008)	Statische Reichweite	Bemerkungen
				[t]			[a]	
Tm	Thulium	100	siehe REE	50	100.000	siehe REE	1.000	keine Statistiken bei USGS; für Produktion (50 t) und Reserven geschätzte Werte nach Lenntech (o.J.); nach Rutherford ist die Produktion bzw. Nutzung geringer als 100 t pro Jahr; unsicher, ob Bezug auf Thuliumoxid oder metallisches Thulium (Werte nicht umgerechnet auf Metallgehalt)
V	Vanadium	58.600	55.700		13.000.000	38.000.000	222	weltweite Bergbauproduktion
W	Wolfram	89.600	90.800		2.900.000	6.300.000	32	weltweite Bergbauproduktion
Y	Yttrium	7.031	7.031		426.600	482.000	853	Werte umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor $Y_2O_3$ : 0,79); s.a. REE
Yb	Ytterbium	100	siehe REE	50	1.000.000	siehe REE	10.000	für Produktion und Reserven geschätzte Werte nach Lenntech (o.J.); nach Ruby ist die Produktion geringer als 100 t pro Jahr; unsicher, ob Bezug auf Ytterbiumoxide oder metallisches Ytterbium (Werte nicht umgerechnet auf Metallgehalt); s.a. REE
Zn	Zink	10.500.000	10.000.000		180.000.000	480.000.000	17	weltweite Bergbauproduktion
Zr	Zirkon	873.200	917.600		28.120.000	53.280.000	32	Produktion und Reserven von $ZrO_2$ , umgerechnet auf Metallgehalt (Faktor $ZrO_2$ : 0,74); die weltweite Bergbauproduktion gemäss USGS (ohne USA) betrug 1,24 Mio. t in 2007 und 1,18 Mio. t in 2006; die Reserven betragen ca. 38.000.000 t und die Ressourcen ca. 72.000.000 t $ZrO_2$

Tab. 10-3: Geographische Konzentration der weltweiten Produktion (Primärproduktion) und der Reserven

Metall	Produktion	Reserven
Aluminium (Bauxit)	Australiens Anteil an der Weltproduktion liegt bei 34 %. Zusammen mit China und Brasilien liegt der Produktionsanteil bei fast 65 %.	Guinea verfügt über 30 % der Aluminiumreserven. Guinea und Australien verfügen zusammen über 50 % der Weltreserven.
Aluminium (Metall)	Der Anteil Chinas an der Weltaluminiumproduktion beträgt 32 %. Russland (11 %), Kanada (8 %) und die USA (7 %) haben zusammen einen Produktionsanteil von 26 %, so dass die Produktion dieser vier Länder insgesamt fast 60 % der Weltproduktion ausmacht.	
Antimon	China ist für 81 % der Weltproduktion von Antimon verantwortlich. Bolivien, Südafrika und Russland verfügen zusammen über 12 % der Produktion.	China hat einen Anteil von 38 % an den Weltreserven. Thailand verfügt über 20 %, Russland über 17 % und Bolivien über 15 % der Reserven. Zusammen verfügen diese vier Länder über 90 % der Weltreserven.
Arsen (Arsentrioxid)	China produziert über 50 % Arsentrioxid. Zusammen mit Chile (19 %) und Marokko (12 %) haben diese drei Länder einen Anteil von über 80 % an der Weltproduktion.	
Barium (Bariumsulfat)	China hat einen Anteil an der Bariumsulfatweltproduktion von 55 %. Zusammen mit Indien (13 %), Marokko (8 %) und den USA (7 %) beträgt der Anteil über 80 %.	China (33 %) und Indien (28 %) verfügen zusammen über 60 % der Weltreserven. Die USA, Marokko, Algerien, Thailand und Mexiko verfügen zusammen über 27 % der Reserven.
Beryllium	Die USA verfügen über einen Produktionsanteil von 77 %. China produziert 15 % und Mosambik 5 %. Zusammen haben diese drei Länder einen Anteil von 97 % an der Weltproduktion.	
Bismut	China hat einen Anteil von 53 % an der Weltproduktion. Zusammen mit Mexiko (21 %) und Peru (17 %) ist die Weltproduktion mit über 90 % weitgehend auf diese drei Länder konzentriert.	China verfügt über 75 % der Weltreserven.
Blei	China hat einen Anteil von 37 % an der Weltproduktion. Australien (18 %), die USA (12 %) und Peru (9 %) verfügen zusammen über einen Anteil von fast 40 %. Diese vier Länder haben zusammen einen Anteil von fast 80 % an der Weltproduktion.	Australien verfügt über 30 % der Weltreserven. China (14 %), die USA (10 %), Kasachstan (6 %) und Peru (4 %) verfügen zusammen über 34 % der Reserven. Zusammen verfügen diese fünf Länder über 60 % der Weltreserven.
Cadmium	Südkorea mit 18 % und China mit 17 % haben die höchsten Anteile an der Weltcadmiumproduktion. Kanada und Japan verfügen über jeweils 11 %, Kasachstan über 10 % sowie Mexiko über 8 % und Russland über 6 %. Diese sieben Länder haben zusammen einen Anteil von über 80 % der Weltproduktion.	China verfügt über 20 % der Weltreserven. Weitere nennenswerte Reserven befinden sich in Australien (13 %), Peru (11 %), den USA (9 %) und Kasachstan (8 %). Diese fünf Länder verfügen insgesamt über 60 % der Weltreserven.



Metall	Produktion	Reserven
Calcium (Calciumoxid)	Chinas Anteil an der Weltproduktion beträgt 61 %. Die USA haben einen Anteil von 7 % und Japan, Russland und Deutschland jeweils 3 %. Zusammen haben diese fünf Länder einen Anteil von fast 80 % an der Weltproduktion.	
Chrom	Südafrika hat einen Anteil von 38 % an der Weltchromproduktion. Indien und Kasachstan haben jeweils einen Anteil von 18 %, so dass diese drei Länder zusammen 74 % der Weltproduktion ausmachen.	USGS macht keine Angaben über die Weltreserven. Nach eigenen Berechnungen verfügt Kasachstan über 61 %, Südafrika über 34 % und Indien über 5 % der angegebenen Reserven.
Cobalt	Kongo (Kinshasa) hat einen Anteil von 36 % an der Weltproduktion. Weitere nennenswerte Anteile an der Weltproduktion haben Kanada mit 13 %, Australien mit 12 %, Sambia mit 11 %, Russland mit 8 % und Kuba mit 6%. Zusammen haben diese sechs Länder einen Anteil von 86 %.	Kongo (Kinshasa) verfügt über 49 % der Weltreserven. Australien verfügt über 20 % und Kuba über 14 % der Reserven, so dass diese drei Länder insgesamt über 80 % der Weltreserven verfügen.
Eisen (Eisenerz)	China hat einen Anteil von 32 % an der Weltproduktion, gefolgt von Brasilien mit 19 % und Australien mit 17 %. Diese drei Länder haben zusammen einen Produktionsanteil von fast 70 %. Mit Indien, Russland und der Ukraine liegt der Anteil bei insgesamt 86 %.	Russland verfügt über 19 % der Reserven, gefolgt von Australien mit 14 %, Brasilien und der Ukraine mit je 12 %, China mit 10 % und Indien und Kasachstan mit 6 % bzw. 5 %. Damit verfügen die genannten Länder über insgesamt 66 % der Reserven.
Eisen (Roheisen)	China hat einen Anteil von 49 % an der Weltproduktion von Roheisen. Zusammen mit Japan (9 %), Russland (5 %), den USA, der Ukraine und Brasilien mit einem Anteil von jeweils 4 % liegt der Anteil dieser sechs Länder bei insgesamt 75 %.	
Gold	Australien und Südafrika produzieren jeweils 11 % der weltweiten Goldproduktion, China und die USA jeweils 10 %. Diese vier Länder weisen zusammen einen Produktionsanteil von 42 % auf. Zusammen mit Peru (7 %), Russland (6 %), Indonesien (5 %) und Kanada (4 %) beträgt der Anteil dieser Länder an der Weltproduktion insgesamt 64 %.	Südafrika verfügt über 14 % der Weltreserven und Australien über 12 %, so dass beide Länder zusammen über ein Viertel der weltweiten Goldreserven verfügen. Zusammen mit Peru (8 %), Russland (7 %) und den USA (6 %) liegt der Anteil insgesamt bei knapp 50 %.
Hafnium (Hafniumdioxid)		Südafrika verfügt über 46 % und Australien über 30 % der Reserven.
Indium	Chinas Anteil an der Indiumproduktion liegt bei 49 %, gefolgt von Südkorea mit 17 %, Kanada und Japan mit je 10 % und Belgien mit 6 %. Zusammen haben diese fünf Länder einen Anteil an der Weltproduktion von 92 %.	China verfügt über 73 % der weltweiten Indiumreserven. Weitere relevante Anteile an besitzen Peru und die USA mit je 3 % und Russland und Kanada mit je 1 %.

Metall	Produktion	Reserven
Kalium (Kaliumoxid)	Kanada produziert 33 % der Weltproduktion. Zusammen mit Russland (19 %), Belarus (16 %), Deutschland (11 %) und Israel (6 %) kommen diese Länder auf einen Produktionsanteil von 85 %.	Kanada verfügt über 53 % der Weltreserven, gefolgt von Russland mit 22 %; zusammen verfügen diese beiden Länder somit 75 %. Belarus und Deutschland verfügen über je 9 % der weltweiten Reserven. Zusammen verfügen diese vier Länder über 93 %.
Kupfer	Chiles Anteil an der weltweiten Produktion beträgt 37 %. Der Anteil der USA und Perus beträgt je 8 %, und Australien und Indonesien haben jeweils einen Anteil von 6 %. Diese fünf Länder kommen zusammen auf einen Produktionsanteil von 65 %.	Chile verfügt über 31 % der weltweiten Weltreserven, gefolgt von den USA und Indonesien mit je 7 % und von Peru, Polen und Mexiko mit je 6%. Diese sechs Länder verfügen zusammen über 63 % der Weltreserven.
Lithium	Chile hat einen Anteil von 38 % an der weltweiten Lithiumproduktion. Australien produziert 22 %, Argentinien und China jeweils 12 % und Russland 9 %. Diese fünf Länder haben insgesamt einen Anteil von über 90 % an der Weltproduktion.	Chile verfügt über 73 % der Weltreserven. Es folgt China mit 13 %. Zusammen verfügen die beiden Länder über 86 % der Weltreserven.
Magnesium (Magnesit)	China hat einen Anteil von 41 % an der Weltproduktion. Die Türkei produziert 20 %, gefolgt von Nordkorea und Russland mit je 8 %. Diese vier Länder haben insgesamt einen Anteil von 77 % an der Weltproduktion.	Österreich verfügt über 30 %, Nordkorea über 20 % und China über 17 % der Weltreserven. Damit verfügen diese drei Länder über fast 70 % der Weltreserven.
Mangan	Südafrika verfügt über einen Anteil von 20 % an der Weltproduktion, gefolgt von Australien mit 19 %, China mit 14 % und Gabun mit 13 %. Damit produzieren diese vier Länder 66 % der Weltproduktion. Zusammen mit Brasilien (9 %), der Ukraine (7 %) und Indien (6 %) kommen diese Länder auf einen Anteil von fast 90 %.	Die größten Reserven liegen in der Ukraine (30 %), Südafrika (22 %), Australien (13 %) und Indien (12 %). Damit verfügen diese vier Länder über 77 % der Weltreserven.
Molybdän	Den höchsten Anteil an der Molybdänproduktion haben die USA mit 32 %, gefolgt von China mit 25 % und Chile mit 22 %. Damit haben diese drei Länder einen Anteil von fast 80 % an der Weltproduktion.	Die größten Reserven liegen in China (38 %), den USA (31 %) und Chile (13 %). Zusammen macht ihr Anteil über 80% der Weltreserven aus.
Natrium (Natriumsulfat)		Der Anteil der USA an den Weltreserven liegt bei 26 %. Zusammen mit Mexiko und Spanien (je 5 %) und Kanada und der Türkei (je 3 %) machen diese Länder einen Anteil von über 40 % aus.
Nickel	Russlands Anteil an der Nickelproduktion liegt bei 19 %, gefolgt von Kanada mit 16 % und Australien mit 11 %. Zusammen mit Indonesien (9 %), Neukaledonien (7 %) und Kolumbien (6 %) liegt der Anteil dieser Länder an der Weltproduktion bei fast 70 %.	Die größten Nickelreserven hat Australien mit 36 %. Neukaledonien verfügt über 11 %, Russland über 10 %, Kuba über 8 %, Brasilien und Kanada über jeweils 7 % und Südafrika über 6 %. Zusammen kommen diese sieben Länder auf einen Anteil von fast 85 %.
Niob	Den höchsten Anteil an der Produktion hat Brasilien mit 89 %. Kanada hat einen Anteil von 9 %. Brasilien und Kanada verfügen damit gemeinsam über einen Anteil an der Weltproduktion von 98 %.	96 % der Weltreserven liegen in Brasilien. Kanada verfügt über 2 % und Australien über 1 % der Weltreserven.

Metall	Produktion	Reserven
Palladium	Über 80 % der Produktion entfallen auf Russland (41 %) und Südafrika (40 %). Kanada produziert 8 % und die USA 6 %. Damit machen diese vier Länder einen Anteil von 95 % an der Weltproduktion aus.	Die Reserven werden nicht für Palladium, sondern kumuliert für die PGM ausgewiesen: Südafrika verfügt über 89 % der PGM-Weltreserven, Russland über 9 %. Damit verfügen diese beiden Länder über 98 % der PGM-Weltreserven.
Platin	Südafrika hat einen Anteil an der weltweiten Platinproduktion von 80 %. Zusammen mit Russland (12 %) liegt der Anteil der beiden Länder bei über 90 %.	Die Reserven werden nicht für Platin, sondern kumuliert für die PGM ausgewiesen: siehe Palladium.
Quecksilber	73 % der weltweiten Produktion entfallen auf China und 17 % auf Kirgisien. Diese beiden Länder haben somit einen Anteil von 90 % an der Weltproduktion von Quecksilber.	Kirgisiens Anteil an den Weltreserven beträgt 16 %. Es gibt keine Angaben zu den Weltreserven Chinas, dem weltgrößten Produzenten von Quecksilber.
Rhenium	Chile hat einen Anteil von 46 % an der weltweiten Produktion. Es folgen Kasachstan mit 16 %, die USA mit 15 % und Peru mit 10 %. Diese vier Länder verfügen somit über einen Anteil von fast 90 %.	Chile verfügt über 52 % der weltweiten Rheniumreserven. Es folgen die USA mit 16 %, Russland mit 12 % und Kasachstan mit 8 %. Damit verfügen diese vier Länder über fast 90 % der Weltreserven.
Selen	Japan produziert 48 % der weltweiten Selenproduktion. Kanada produziert 19 % und Belgien 13 %. Zusammen weisen diese drei Länder einen Anteil von 80 % an der Weltproduktion auf.	20 % der Reserven fallen auf Chile und 12 % auf die USA. Kanada verfügt über 7 %, Peru über 6 % und die Philippinen über 2 %. Zusammen verfügen diese Länder über fast 50 % der Weltreserven. Es sind keine Angaben zu den Reserven Japans verfügbar.
Seltene Erden	Chinas Anteil an der Weltproduktion liegt bei 97 %. Der Anteil Indiens liegt bei 2 % und derjenige Brasiliens bei 1 %.	China verfügt über 31 % der Weltreserven, die GUS über 22 %. Die USA verfügen über 15 % und Australien über 6 %. Zusammen verfügen diese Länder über 70 % der Weltreserven.
Silber	Peru hat einen Anteil von 17 % an der weltweiten Produktion, Mexiko von 15 %, China von 13 % und Australien von 10 %; diese vier Länder haben zusammen einen Anteil von über 50 %. Zusammen mit Chile (7 %), Polen, USA und Kanada (je 6 %) verfügen diese Länder über einen Anteil von 80 % an der weltweiten Produktion.	Polen hat mit 19 % den höchsten Anteil an den Silberreserven. Zusammen mit Mexiko (14 %), Peru (13 %) und Australien (11 %) liegt der Anteil dieser Länder bei fast 60 %. Zusammen mit China (10 %), USA (9 %) und Kanada (6 %) liegt der Anteil bei über 80 %.
Strontium	Spanien (33 %) und China (32 %) haben zusammen einen Anteil an der Weltproduktion von 65 %. Zusammen mit Mexiko (21 %) und der Türkei (10 %) liegt der Produktionsanteil bei 96 %.	
Tantal	Australiens Anteil an der Weltproduktion liegt bei 61 %. Zusammen mit Brasilien (18 %) liegt der Anteil bei fast 80 %.	Brasilien verfügt über einen Anteil von 68 % der Weltreserven und Australien über 31 %. Der Anteil dieser beiden Länder an den Weltreserven liegt daher bei nahezu 100 %.

Metall	Produktion	Reserven
Tellur	Zu den USA, die über die größten Reserven verfügen, liegen keine Produktionsdaten vor. Bezogen auf die veröffentlichten Produktionsdaten weist Kanada 56 % der Tellurproduktion auf. Zusammen mit Peru (26 %) und Japan (18 %) liegt der Anteil bezogen auf die veröffentlichten Daten bei 100 %.	Obwohl Kanada den größten Anteil an der Tellurproduktion besitzt, verfügt es nur über 3 % der Weltreserven. Peru verfügt über 8 % und die USA über 14 %. Der Anteil der drei größten Produzenten an den Weltreserven liegt damit bei lediglich 25 % der Weltreserven.
Thallium	Thallium wird vermutlich in einigen wenigen Ländern in geringem Umfang produziert.	Die wichtigste Thalliumquelle sind Zinkerze. Die Reserven von Thallium sind daher vermutlich ähnlich denen der Zinkreserven verteilt.
Titan (Metall)	Japan (28 %), China und Russland (je 23 %) haben zusammen einen Produktionsanteil von über 70 %. Zusammen mit Kasachstan (18 %) und der Ukraine (7 %) liegt der Anteil bei nahezu 100%.	
Titan (Titandioxid)	Australien (25 %), Südafrika (19 %) und Kanada (13 %) produzieren zusammen fast 60 % des Titandioxids. Mit China (8 %), Norwegen, Indien und der Ukraine (je 6%) beträgt der Anteil an der Weltproduktion insgesamt über 80 %.	China (27 %) und Australien (20 %) verfügen zusammen über fast 50 % der Weltreserven. Zusammen mit Indien (13 %), Südafrika (10 %) und Brasilien (6 %) liegt der Anteil dieser Länder an den Weltreserven bei fast 80 %.
Vanadium	Südafrika hat einen Anteil von 39 % an der Weltproduktion. Zusammen mit China (32 %) und Russland (27 %) liegt der Anteil an der Weltproduktion bei nahezu 100 %.	China und Russland verfügen jeweils über 38 % der Weltreserven, Südafrika über 23 %. Damit liegt der Anteil dieser drei Länder zusammen bei nahezu 100 %.
Wolfram	Chinas Anteil an der Weltproduktion beträgt 86 %, Russland folgt mit einem Anteil von 5 % und Kanada mit 3 %.	China verfügt über 62 % der Weltreserven. Zusammen mit Russland und Kanada mit Anteilen von jeweils 9 % plus den USA von 5 % verfügen diese vier Länder über einen Anteil von über 85 %.
Yttrium	China erzeugt nahezu 99 % der Weltproduktion.	China verfügt über 41 %, die USA über 22 % und Australien über 19 % der Weltreserven. Der Anteil dieser drei Länder beträgt insgesamt 82 % der Weltreserven.
Zink	China (27 %), Peru (14 %) und Australien (13 %) produzieren insgesamt über 50 % der Weltproduktion. Es folgen in der Liste der grössten Produzenten die USA mit 7 %, Kanada mit 6 % und Mexiko mit 5 %. Zusammen machen diese sechs Länder einen Anteil an der Weltproduktion von über 70 % aus.	Australien hat mit 23 % den größten Anteil an den Weltreserven. Zusammen mit China (18 %), den USA und Kanada (je 8 %) beträgt der Anteil dieser vier Länder an den Weltreserven insgesamt fast 60 %.
Zinn	China hat mit 43 % den größten Anteil an der Weltproduktion. China und Indonesien (28 %) produzieren zusammen über 70 % der Weltproduktion. Es folgen Peru (13 %) und Bolivien (6 %). Insgesamt machen diese vier Länder einen Produktionsanteil von 90 % aus.	Chinas Anteil an den Weltreserven beträgt 28 %. Zusammen mit Malaysia (16 %), Indonesien (13 %), Peru (12 %) und Brasilien (9 %) beträgt der Anteil dieser fünf Länder an den Weltreserven nahezu 80 %.

Metall	Produktion	Reserven
Zirkonium	Australiens Anteil an der Weltproduktion beträgt 44 %. Zusammen mit Südafrika (33 %) und China (14 %) liegt der Anteil an der Weltproduktion bei über 90 %.	Südafrika hat mit 37 % den größten Anteil an den Weltreserven. Die Reserven von Südafrika und Australien (24 %) machen zusammen mehr als 50 % der Weltreserven aus. Zusammen mit den weiteren Reserven der Ukraine (11 %), Indien und den USA (je 9 %) machen die Reserven dieser fünf Länder einen Anteil von 80 % der Weltreserven aus.

## 10.2 Anhang 2 – Anwendungen, feinverteilter Metalleinsatz und dissipative Verwendung<sup>54</sup>

### Erläuterungen zur Tabelle:

**Anwendungsbereiche (Verwendung nach Sektoren):** Die Angaben wurden den *Mineral Commodity Summaries* (U.S. Geological Survey) des Jahrgangs 2008 entnommen. Da für einige Metalle Informationen zur globalen Verwendung fehlen, wurden gegebenenfalls Daten aufgeführt, die die Verwendung in den Vereinigten Staaten beschreiben. Diese sind als erste, teils signifikant vereinfachte Näherung anzusehen, da die Verwendung von Metallen abhängig von den (landesspezifischen) Produktionsstrukturen ist und damit die globale Verwendung von derjenigen in den Vereinigten Staaten im Allgemeinen abweicht. Für einige Metalle liegen keinerlei Angaben vor (weder weltweit noch für die Vereinigten Staaten).

**Metalleinsatz:** Information, in welchen Sektoren oder für welche Produktgruppen die Metalle weltweit bzw. in den Vereinigten Staaten eingesetzt werden; auch hier dient der Datensatz zu den Vereinigten Staaten als erste Näherung für den weltweiten Metalleinsatz, falls dieser nicht beschrieben ist.

**Feine Verteilung von Metallen / Dissipative Produktnutzung:** Eine feine Verteilung eines Metalls liegt vor, wenn das Metall mit anderen Stoffen derart vermischt ist, dass eine Rückgewinnung ausgesprochen problematisch ist. Beispielsweise gilt dies für Bariumsulfat als Füllstoff in Kunststoffen oder als Glasbildner mit vielen anderen Oxiden zusammen in Bildröhren. Ferner liegt eine feine Verteilung vor, wenn das Metall in sehr geringen Mengen in andere Stoffe eingebettet wird (z.B. Antimon als Flammhemmer in Kunststoffen oder Gallium als Halbleiter). Schließlich werden unter „dissipativer Produktnutzung“ Verwendungen verstanden, die auf Verschleiß bzw. Verbrauch des Metalls ausgerichtet sind (z.B. Kaliumnitrat oder Kupfersulfat als Düngemittel, feuerfeste Steine aus Zirkon).

Eine feine Verteilung von Metallen *durch feine Verteilung von Produkten* liegt vor, wenn ein Metall entweder in sehr vielen unterschiedlichen Anwendungsbereichen genutzt wird (z.B. Zink in der Galvanisierung, in Legierungen, als Konstruktionswerkstoff, in EuE-Bauteilen, als Füllstoff oder als Futtermittel) oder wenn ein Metall (im wichtigsten Anwendungsbereich) in einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte genutzt wird (z.B. Kupfer in den diversen Produkten der EuE-Branche).

---

<sup>54</sup> Erläuterungen zur Tabelle: siehe Anhang 1 – Produktion und Reserven der Metalle nach Ländern

In der Spalte Dissipativität (Diss.) erfolgt die Kennzeichnung der Dissipativität gemäss den verschiedenen Einsatzweisen (vgl. Kap. 2.2.6): FV: feine Verteilung (unterteilt in deutlich (FV-d) und weniger deutlich (FV)); KFV: keine feine Verteilung; ub: bisher „unbestimmt“; dissipative Produktnutzung (Eintrag kursiv).

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Aluminium	Aluminium ist vor allem ein Konstruktionsmetall, welches sowohl in reiner Form als auch in Legierungen mit Kupfer, Nickel und Zink eingesetzt wird. Seine größten Anwendungsfelder liegen im Bauwesen, Fahrzeugbau und bei Verpackungen (Rutherford: Aluminium).		38 % Transport; 22 % Verpackungsmaterial; 16 % Gebäudebau; 7 % Elektrizität; 7 % Maschinenbau; 7 % Gebrauchsgüter; 3 % Sonstiges (USGS 2008)	KFV
Antimon	Antimon wird vor allem als Legierungsbestandteil zum Härten von Metallen, in der Reifenherstellung als Kautschukadditiv, als Flammschutzmittel in Kunststoffen sowie für Farben und Pigmente verwendet (USGS: Antimony).	75 % Flammschutzmittel (Angerer et al. 2008)	40 % feuerhemmende Mittel; 22 % Verkehrswesen (inkl. Batterien); 14 % Chemikalien; 11 % Keramik und Glas; 13 % andere Einsätze (USGS 2008)	FV-d
Arsen	Das Halbmetall wird vor allem zur Härtung von Stahl (z.B. Munition, 1 % Arsenzusatz, oder Bleischrot) und zur Härtung von Bleibatterien eingesetzt. Arsen verringert die Reibung von Lagern und ist auch in Auswuchtgewichten vorhanden. Weltweit wird es außerdem für den Pflanzenschutz, als Düngemittel und als Holzschutzmittel (chromiertes Kupferarsenat) eingesetzt. Ein wichtiges neues Feld sind Solarzellen. Weitere Anwendungen sind Infrarottechnologie und optische Materialien sowie andere Halbleiterprodukte (USGS: Arsenic). Auch in Feuerwerk wird es verwendet.			FV
Barium	Die wichtigste Verwendung von Barium ist in Form von Bariumsulfat als Füllstoff in Farben, Kunststoffen und Gummi. Weitere Anwendungen sind Schutzanstriche und Beschwerungsmittel in der Gas- und Ölförderung. Aufgrund seiner Dichte absorbiert es sehr gut Elektronenstrahlung, weshalb es in Nuklearanlagen und bei Röntgeneinrichtungen verwendet wird. Ebenso wird es in größeren Mengen im Schirmglas von Fernsehern eingesetzt. Spezifische Anwendungen sind Bremsklötze, Gummipuffer für LKW, Versiegelungsmittel für Autolacke, Zementverstärker für Pipelines. Reinstes Baryt wird als Kontrastmittel verwendet.			FV
Beryllium	Beryllium dient als Legierungsbestandteil von Kupfer, da es dessen mechanische Festigkeit deutlich erhöht. Es wird zumeist in LuK-Produkten (Computer, Automobilelektronik, Luftfahrt) verwendet (USGS 2008). Beryllium wird auch in der Reaktortechnik eingesetzt (Neutronenfänger) (Rutherford: Beryllium).		50 % für LuK-Produkte; 50 % für Luftfahrt, Militär, Automobilelektronik und anderes (USGS 2008)	FV-d



Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Bismut	Bismut wird vor allem als Additiv für Stahllegierungen, als Fluss- und Lötmetall, in Munition sowie in der Chemie und Pharmazie eingesetzt. Seit dem Verbot von Blei in Wasserrohren wird Bismut auch bei Rohrleitungen als Lötmetall eingesetzt. Ein anderes wichtiges Wachstumsfeld sind Zink-Bismut-Schichten bei der Galvanisierung. Darüber hinaus wird Bismut für Keramik und Kristallwaren verwendet.		47 % Stahladditive; 34 % schmelzbare Legierungen, Lötmetalle und Munition; 18 % Chemie und Pharmazie (USGS 2008)	FV-d
Blei	Blei wird vor allem für Automobilbatterien (Starterbatterien und Elektrofahrzeuge) und für leistungsstarke Notbatterien (Krankenhäuser, Telekommunikation) verwendet. In Gläsern und Keramiken werden Bleioxide verwendet. Kompakte Verwendungen sind Gewichte, Strahlungsschilde (Röntgeneinrichtungen), Spezialrohre, Kabelmäntel, spezielle Baumaterialien (z.B. Dachabdeckungen). Bedeutende dissipative Verwendungen sind Munition, Chemikalien, Pigmente sowie Keramik und Gläser.		98 % Batterien (USGS 2008)	KFV
Cadmium	Weltweit wird Cadmium vor allem in aufladbaren Batterien (NiCd-Akkumulatoren) eingesetzt. Darüber hinaus wird es immer noch zur Kunststoffärbung und als Stabilisator von Kunststoffen eingesetzt (USGS 2008). Es wird zudem in sicherheitsrelevanter Elektrik (Bahn) eingesetzt. Eine neue wichtige Anwendung sind PV-Zellen.		83 % für Batterien; 8 % für Pigmente; 7 % Beschichtungen; 7 % Kunststoffstabilisierer; 2 % Legierungen, PV u.a.	FV-d
Calcium	Calcium wird vor allem für die Baustoffindustrie (Zement) eingesetzt sowie für Gläser und Keramiken.			KFV
Cäsium	Die Bedeutung des Einsatzes von Cäsium ergibt sich durch die Emissionen von Elektronen bei Einwirkung von Photonen (Photoeffekt), weshalb es vor allem in optischen Bauteilen (Infrarotdetektoren, Nachtsichtgeräte, PV-Zellen) verwendet wird. Cäsiumformiat wird in der Öl- und Gasindustrie bei Hochdruckquellen als Drillagens verwendet. Atomuhren nutzen die Schwingung von Cäsium zur Zeitbestimmung. Deren Genauigkeit ist für die Raumfahrt, GPS-Systeme, Internet- und Mobilfunkübertragung von großer Bedeutung. Cäsiumisotope werden in der Krebsbehandlung verwendet. Weitere Felder der radioaktiven Cäsiumverbindungen sind die Sterilisation (Nahrung, Abfälle) (USGS). Cäsium verstärkt Hydrierungskatalysatoren (Lenntech).			KFE

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Cer	Das Metall Cer wird zur Färbung von Gläsern und als Legierungsbestandteil von Stählen und Aluminium eingesetzt. Eine besonders wichtige Anwendung sind Autokatalysatoren (Ceroxid). Wichtig ist auch die Verwendung von roten Cer-Pigmenten als Farbstoff für Kunststoffe anstelle von Cadmium. Cer wird auch in Flachbildschirmen, Energiesparlampen und Compact-Disks verwendet. Spezielle Anwendungen liegen in der Reaktortechnik, Zündsteine für Feuerzeuge (Schröter et al.), Bogen- und Gaslampen (Gasglühkörper), Permanentmagneten und Glaspolituren.			FV
Chrom	Chrom wird vor allem zur Oberflächenbehandlung (Verchromung) und zur Herstellung von Ferro-Chrom-Stählen eingesetzt. Weitere Anwendungen sind Pigmente, Glasfärbung (grünes Glas), Gerbung und Katalysatoren (Rutherford: Chrom). Auch Videokassetten enthalten Chrom.	93 % Stahlindustrie; 3 % chemische Industrie; 3 % Gießerein (Sande); 1% Feuerfestmaterialien (Angerer et al. 2008)		ub
Cobalt	Das Metall wird vor allem in Stahllegierungen eingesetzt, da hierdurch temperaturbeständige und ferromagnetische Stähle gewonnen werden können. Besonders wichtig dabei sind Gasturbinen (v.a. Luftfahrt). Weitere wichtige Felder sind Schneidwerkzeuge (Carbide) und chemische Erzeugnisse.	30 % Stahllegierungen; 22 % Batterien; 11 % Katalysatoren; 11 % Hartmetalle (Schneidwerkzeuge); 9 % Pigmente; 8 % Chemikalien; 7 % Magnete; 2 % Sonstiges (Angerer et al. 2008)	2008: 45 % für Legierung von Flugzeuggasturbinen; 32 % Chemikalien; 14 % Metallprodukte; 9 % Carbide (Schneidwerkzeuge) (USGS 2008); 2006: 65 % für Stähle und andere metallische Nutzungen; 9 % für Carbide (Schneidwerkzeuge); 26 % für chemische Erzeugnisse (USGS 2006)	ub
Dysprosium	Das Metall wird mit weniger als 100 t pro Jahr nur in geringem Umfang hergestellt und genutzt. Das Metall wird in verschiedenen Legierungen, in Spezialmagneten und in der Kerntechnik verwendet (Rutherford: Dysprosium). Siehe auch seltene Erden.			KFV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Eisen	Eisen in Form von Stählen wird überwiegend für konstruktive Zwecke und im Verkehrswesen eingesetzt (Gebäude, Kraftfahrzeuge, Infrastrukturen). In EE-Produkten findet es sich neben Aluminium zu diesen Zwecken in größeren Mengen. Weiterhin ist Eisen in Transformatoren (zumeist als Ferrite) enthalten.		21 % Lagerhallen; 17 % Konstruktion; 13 % Verkehr und Kraftfahrzeuge; 2 % Behälter; 47 % Sonstiges (USGS 2008)	KFV
Erbium	Das Metall wird mit weniger als 100 t pro Jahr nur in geringem Umfang hergestellt und genutzt. Das Metall wird in der Kerntechnik und in Titanlegierungen eingesetzt sowie zum Färben von Gläsern und Emailen (Rutherford: Erbium). Weiterhin wird es in Katalysatoren und zum Polieren von Glas eingesetzt. Ebenso dient es der besseren Verarbeitung von Vanadium (Lenntech)			KFV
Europium	Das Metall wird mit weniger als 100 t pro Jahr nur in geringem Umfang hergestellt und genutzt. Es wird in der Reaktortechnik als Neutronenabsorber verwendet (Rutherford: Europium).			KFV
Gadolinium	Das Metall wird mit weniger als 100 t pro Jahr nur in geringem Umfang hergestellt und genutzt.			
Gallium	Gallium wird vor allem zur Herstellung von verschiedenen Halbleitern genutzt. Wichtige neue Anwendungen sind die Optoelektronik (Laserdioden, Photodetektoren), LED und Solarzellen. Auch in der Forschung wird in den USA viel Gallium eingesetzt.		66 % für IC; 20 % Opto- elektronik (u.a. LED, PV, Laser-Dioden); 14% Forschung, Spezialstähle u.a. (USGS 2008)	FV-d
Germanium	Germanium wird vor allem zur Herstellung von verschiedenen Halbleitern genutzt (Transistoren, IC). Ein neues wichtiges Anwendungsfeld sind Solarzellen. Germaniumoxid erhöht die Brechzahl von Gläsern, weshalb es in Weitwinkelobjektiven und Infrarotgläsern eingesetzt wird. Von sehr großer Bedeutung ist die Verwendung von Germanium in Glasfasern im Bereich der Telekommunikation. Weitere Einsatzfelder sind Polymerkatalysatoren, Chemotherapie und Leuchtstoffe. Hochreines Gallium wird für Strahlungsdetektoren zur Sicherheitskontrolle auf Flughäfen eingesetzt werden.	35 % Glasfaser- anwendungen; 30 % Infrarotanwendungen; 15 % Polymer- katalysatoren; 15 % Elektronik und PV; 5 % anderes (USGS 2008).	50 % Infrarotanwendungen; 30 % Glasfaser- anwendungen; 15 % Elektronik und PV; 5 % Sonstiges (USGS 2008)	KFV
Gold	Gold wird vor allem zur Schmuckherstellung und als Goldreserve genutzt. Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld ist die Zahntechnik. Aufgrund seiner ausgezeichneten Leitfähigkeit findet es sich auch in elektrischen Kontakten und somit in EE-Bauteilen sowie in CDR.		84 % Schmuck; 10 % Dentalbedarf und anderes; 6 % Elektro- industrie (USGS: Gold)	KFV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Hafnium	Hafnium wird zur Herstellung von Spezialstählen verwendet, die u.a. in der Reaktortechnik eingesetzt werden (Rutherford: Hafnium). Im geringen Umfang wird es in der Beleuchtungstechnik und in EuE-Produkten verwendet.			ub
Holmium	Das Metall wird nur in geringem Umfang genutzt. Es wird in verschiedenen Legierungen für starke Magnete verwendet. Weiterhin soll es in der Reaktortechnik verwendet werden, da es thermische Neutronen einfangen kann.			FV
Indium	Indium wird vor allem für leitfähige und transparente Beschichtungen in Flachbildschirmen (LCDs)(Indium-Zinn-Oxid). Ein weiteres wichtiges und zunehmend bedeutendes Einsatzfeld sind Solarzellen (Lauermann 1998). Als Dotierungsmittel findet es sich in Halbleitern (Transistoren), LED und Infrarot-Detektoren. Ebenso wird es für Lötmittel und Legierungen verwendet.	84 % ITO-Beschichtungen (zumeist LCD); 8 % Legierungen; 6 % sonstiges; 2 % Halbleiter und elektronische Komponenten (Angerer et al. 2008)	70 % Beschichtungen (zumeist LCD); 12 % EuE-Bauteile (inkl. PV); 12 % Lötmittel und Legierungen; 6 % Forschung und anderes (USGS 2008)	FV-d
Iridium	Die mengenmäßig wichtigste Anwendung sind Katalysatoren zur Abgasreinigung. Ebenso wird es in elektronischen Anwendungen genutzt (Wilburn, o.J.). Das Metall härtet Platin und wird vielfach als Legierung eingesetzt (u.a. für das Ur-Meter). Darüber hinaus findet es aufgrund seiner chemischen Stabilität Anwendung in Laborgeräten der Chemie, der Chlor-Alkali-Elektrolyse (Elektrodenschutz) und als vielfältig einsetzbarer Katalysator. Osmium-Iridium-Stähle sind besonders hart und biegsam (Füllfedern, Kompassnadeln).	0,7 t EuE (2002) (Wilburn, o.J.: S.67)		KFV
Kalium	Kaliumsalze werden als Dünger verwendet. Andere Anwendungen von Kalium (z.B. Zuschlagsstoff für Gläser) fallen dagegen kaum ins Gewicht. Metallisches Kalium wird als Kühlmittel in Kernreaktoren verwendet.		85 % Düngemittel (Kaliumcarbonat) (USGS 2008)	FV-d

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Kupfer	Das Metall Kupfer ist das wichtigste Metall zur Leitung von elektrischem Strom, da Kupfer sehr gute Eigenschaften aufweist wie elektrische Leitfähigkeit und Formbarkeit. Von Bedeutung ist auch die Legierungsbildung mit Zink und Zinn, die zu gut gießbaren und bearbeitbaren Formteilen führt. Weitere wesentliche Anwendungsfelder sind die Bereiche Bau (Rohre, Armaturen, Dachabdeckungen), Kraftfahrzeuge (Leitungen, Formteile), Maschinenbau (Guss- und Formteile in Maschinen) und Industrie (Rohre, Reaktoren und Armaturen). Messingprodukte werden auch im Haushalt häufig verwendet. Mengenmäßig wenig bedeutsame Verwendung sind die Landwirtschaft (Kupfersulfat) und Beschichtungen (z.B. Schiffsfarben). Die Verwendung von Kupfer ist jedoch sehr unterschiedlich in den verschiedenen Regionen. Beispielsweise wird in Europa und den USA mehr Kupfer im Gebäudebereich verwendet, in Asien hingegen vor allem für EuE-Produkte.	Angaben jeweils für USA/Europa/Asien: 43 %/40 %/15 % Gebäude; 12 %/8 %/15 % Verkehr; 9 %/7 %/11 % Konsumprodukte; 25 %/38 %/50 % EuE; 11 %/9 %/9 % Maschinen und Ausrüstung (Angerer et al. 2008)	51 % Gebäude; 19 % Elektrik; 10 % Transportmittel; 11 % Konsumprodukte; 9 % Industriemaschinen und Ausrüstung (sowohl Kupfer als auch Legierungen) (USGS 2008)	KFV
Lanthan	Das Metall wird nur in geringem Umfang eingesetzt. Als Oxid wird es zur Färbung von Gläsern und zur Herstellung von Speziallinsen (Infrarotlinsen, Kameralinsen Teleskope) verwendet. In geringen Mengen verbessert es die Formbarkeit von Stählen. Lanthanverbindungen dienen auch als Leuchtstoff in Bildröhren, Leuchtstofflampen und Energiesparlampen. Außerdem wird es als Kernmaterial von Lichtbogen-Kohleelektroden eingesetzt. In der Erdölindustrie dient es zur Stabilisierung von Zeolithkatalysatoren.			FV
Lithium	Die wichtigste Anwendung sind Lithium-Metall-Akkumulatoren. Lithiumcarbonat wird für Glasuren und als Flussmittel für Emaille genutzt. Darüber hinaus ist es für organische Synthesen von herausragender Bedeutung (Stearate in Waschmitteln und Kosmetika). Weitere Anwendungen sind Schmierfette, Lagermetalle (mit Lithium gehärtete Bleilager, Bahnmetalle) und Leichtmetalle für die Luft- und Raumfahrt (mit Aluminium). Auch in der Kältetechnik werden LiBr-Wassergemische als Arbeitsmittel verwendet. In der Medizin basieren einige Psychopharmaka auf Lithiumbasis. Aufgrund seiner metallischen Eigenschaften (leichtentzündlich) wird es als Metall nur sehr wenig verwendet, findet jedoch Anwendung in der Metallurgie (Entschwefelung, Entstickung, Desoxygenation, Entkohlung).	20 % Batterien; 20 % Keramik und Gläser; 16 % Schmierfette; 9 % Pharmazie und Polymere; 8 % Klimatechnik; 6 % Aluminiumherstellung; 21 % Sonstiges (USGS 2008)		FV-d
Lutetium				ub

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Magnesium	Die wichtigsten Verwendungen von Magnesium sind feuerfeste Steine für Hütten- und Industrieprozesse (MgO) und korrosionsfeste Leichtmetalllegierungen mit Aluminium (Flugzeug- und Fahrzeugbau). Das Metall wird auch als Reduktionsagens zur Herstellung anderer Metalle (Zr, Cu, Cr, Ti, U, Ni) eingesetzt. In der Medizin wird MgO als Neutralisierungsmittel für Magensäure und MgSO <sub>4</sub> als Wundpulver eingesetzt. Letzteres wird auch als Füllstoff für Papier und Gummi verwendet. Andere wichtige Verwendungen von Mg-Sulfaten sind Leichtbauplatten und Düngemittel.		43 % Al-Mg-Legierungen (Verpackungen, Kraftfahrzeuge u.a.); 37 % Gussstücke; 10 % Stahlindustrie (Entschwefelung); 10 % Sonstiges (USGS 2008)	KFV
Mangan	Das Metall wird vor allem für Stahllegierungen eingesetzt (USA: 24 % Konstruktionsstahl; 10 % Maschinenstahl; 10 % Verkehrsstahl). Weiterhin wird Mangan zur Herstellung von Trockenbatterien genutzt. Weniger wichtige Anwendungen sind der Ackerbau und die Viehzucht (Nahrungsergänzung, Düngemittel) sowie Farbstoff für Ziegelsteine.		44 % Stahlherstellung (USGS 2008)	ub
Molybdän	Das Metall wird vor allem zur Herstellung von hochfesten und hitzebeständigen Stählen (Turbinen) eingesetzt.		81 % Stahlherstellung (USGS 2008)	ub
Natrium	Die wichtigste Natriumverbindung ist Natriumchlorid, aus der Chlor hergestellt wird. Andere Natriumverbindungen wie das Carbonat, das Sulfat, das Sulfit u.a. sind bedeutende Hilfsmittel in chemischen Prozessen, der Zelluloseherstellung, als Füllstoff für Papier oder die Sodaverwendung bei der Glasherstellung. Natrium wird im großen Umfang auch in Seifen verwendet sowie in der Textilherstellung. Im Verhältnis hierzu fallen die übrigen Einsätze von Natrium kaum ins Gewicht.		Natriumsulfat: 46 % Seifen und Detergentien; 13 % Papierherstellung; 13 %; Textilherstellung; 12 % Gläser; 7 % Teppichreiniger; 11 % Sonstiges (USGS 2008). Natriumcarbonat: 50 % Glasherstellung; 29 % Chemikalien; 9 % Seifen und Detergentien; 4 % Nahrung; 3 % Sonstiges; 2 % Papierherstellung; 1 % Wasserbehandlung (USGS 2008)	FV-d

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Neodym	Die wichtigste Anwendung von Neodym sind Legierungen mit Eisen und Bor zur Herstellung von Permanentmagneten, die in Fahrzeugen, in Datenspeichern und Lautsprechern eingesetzt werden. Neodym wird als Leuchtstoff in Fernsehern, Leuchtstofflampen und Energiesparleuchten eingesetzt. In Feuerzeugen ist es im Feuerstein enthalten. Neodym wird zur Färbung von Gläsern und Emailen eingesetzt. In Schweißbrillengläsern absorbiert es das gelbe Licht. In Sonnenbrillen wird es wegen seiner violetten Färbung eingesetzt.			FV
Nickel	Nickel wird vor allem in der Stahlherstellung eingesetzt (Edelstahl, Stahlegierungen) und in anderen Legierungen (Neusilber mit Kupfer und Zink, Monell-Metall mit Kupfer oder Konstantan). Durch Vernickelung werden Stähle oberflächengeschützt. Als Legierung findet es sich sehr häufig in EE-Bauteilen. Ebenso wird es in Münzen verwendet. Wichtig ist auch seine Verwendung in Nickel-Cadmium-Batterien (Akkus). Der Anteil für EE-Produkte und -bauteile belief sich in 2006 in den USA auf ca. 13 % des Nickelverbrauchs. In 2007 war der Endverbrauch für Nickelprodukte (v.a. Stähle) wie folgt: 30 % Verkehr, 15 % chemische Industrie, 10 % elektrische Ausrüstung, 9 % Konstruktion, 8 % Metallprodukte, 8 % Haushaltsvorrichtungen, 7 % Petroleumindustrie.		86 % Stahlherstellung; 10 % Vernickelung; 4 % Sonstiges (USGS 2008)	ub
Niob	Niob wird vor allem als Legierungsbestandteil für korrosionsfeste Stähle verwendet. Niobmetall und Nioblegierungen werden in der Luft- und Raumfahrt genutzt. Auf dem US-amerikanischen Markt wird fast 100% für die Stahlherstellung eingesetzt (USGS: Niob). Mit Germanium zusammen wird es zur Herstellung von Supraleitern eingesetzt (Rutherford: Niob). Aufgrund seiner elektrischen Eigenschaften wird es auch in Kondensatoren verwendet.		100 % Stahlherstellung (USGS 2008)	ub
Osmium	Das Metall wird vor allem zur Härtung von Stählen eingesetzt. Einsatzfelder sind Injektionsnadeln, Federn von Füllfederhaltern und Schreibkugeln von Kugelschreibern, Kompassnadeln und mechanische Bauteile hochwertiger Uhren. Früher wurde es auch für Glühdrähte eingesetzt (Rutherford: Osmium). Für einige chemische Reaktionen wird es als Hydrierungskatalysator verwendet. In der Medizin wird eine Platin-Osmium-Legierung für Herzschrittmacher und -klappen verwendet.			KFV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Palladium	Palladium wird vor allem in der Zahntechnik als Legierung mit Silber eingesetzt. Es dient weiterhin in der chemischen Industrie als Hydrierungskatalysator (u.a. Fetthärtung), da es leicht Hydride mit Wasserstoff bildet. Im elektronischen Sektor wird Palladium für Kondensatoren und Widerstandskörper genutzt (Wilburn, o.J.). Platinmischungen sowie Platin-Rhodium-Mischungen werden für elektrisch-resistente Heizelemente genutzt, die sich in Geräten wie Feuerzeugen, Impulsdrahtzündern, Nylonscheren, Schweißgeräten, Gewinde für Schalldämpfer sowie medizinische Geräte finden.	158 t Kfz-Katalysatoren; 22,1 t Palladium für EuE; 8,1 t Schmuck (2002) (Wilburn, o.J.: S.67)		KFV
Platin	Das Metall Platin wird in großem Umfang zur Herstellung von Schmuck verwendet, auch in legierter Form. Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld von Platin sind Katalysatoren zur Abgasreinigung in Kfz. Auch elektrische Komponenten, Elektroden und Thermoelemente enthalten teilweise Platin. Besonders häufig wird es in Festplatten genutzt, weshalb auch Computer, Spielkonsolen und Navigationsgeräte Platin enthalten.	88 t Schmuck; 78 t Kfz-Katalysatoren; 11,8 t EuE (2002) (Wilburn, o.J.: S.67)		KFV
Platingruppenmetalle (Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Osmium, Iridium)	PGM werden als Katalysatoren in der Industrie (Hydrierung, Salpetersäureherstellung, Silikonherstellung, Luftreinigung, CO-Abbau, Petroleumkatalysatoren für Benzinraffination), im Fahrzeugbau (Autokatalysatoren) und für Schmuckwaren genutzt. Weiterhin finden sie in legierter Form Verwendung in der Dentaltechnik. Auch in elektronischen Bauteilen, Komponenten und Computerfestplatten werden PGM eingesetzt. Ein mögliches wichtiges Zukunftsfeld sind Brennstoffzellen, in denen PGM die Redoxreaktion katalysieren. Platin und Rhodium werden vor allem für elektrische Anwendungen und Iridium, Palladium und Ruthenium für elektronische Anwendungen genutzt. Besonders wichtig ist Platin bei Festplatten, beispielsweise Spielkonsolen. Auch Navigationsgeräte enthalten somit Platin. Nach Wilburn (o.J.) wurden ca. 22,1 t Palladium, 11,8 t Platin, 4,5 t Ruthenium, 0,7 t Iridium und 0,2 t Rhodium für EuE verbraucht (Wilburn, o.J.: S.67).			ub



Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Praseodym	Das Metall Praseodym wird in Legierungen für Permanentmagneten und in Elektroden von Lichtbogenlampen verwendet. Magnesiumlegierungen mit Praseodym werden in Flugzeugturbinen verwendet. Einige seiner Verbindungen werden als Leuchtstoffe in Bildröhren, Leuchtstofflampen und Energiesparleuchten verwendet. Die Salze werden zur Gelbfärbung von Gläsern und Emailen verwendet. Der Einsatz von Praseodym in Feuersteinen von Feuerzeugen ist möglicherweise die wichtigste Verwendung (Lenntech, Rutherford).			FV
Promethium	Das zu den Lanthaniden gehörende Metall Promethium fällt bei der Uranspaltung an. Es wird in „Atombatterien“ für Satelliten und Herzschrittmachern genutzt (Rutherford: Promethium, Lenntech).			KFV
Quecksilber	Quecksilber ist ein giftiges Metall, weshalb seine Verwendung in den Industriestaaten nur in wenigen Feldern erfolgt. Die wichtigsten Verwendungen von Quecksilber sind die Dentaltechnik (Amalgam), Knopfzellen (inzwischen in vielen Ländern verboten) sowie die Chlor-Alkali-Elektrolyse (auslaufende Produktionsform). Quecksilber ist auch in einigen Pestiziden enthalten. Daneben wird es auch in der (illegalen) Goldwäsche eingesetzt, z.B. in Südamerika. Geringe Mengen an Quecksilbersalzen werden in Reinigungsmitteln, Hautaufhellungscremes und Seifen verwendet, aber auch im Feuerwerk.			FV
Rhenium	Rhenium wird vor allem für Katalysatoren (Reforming-Prozesse der Erdölindustrie zur Herstellung von Benzin) und zur Herstellung von hochfesten Spezialstählen eingesetzt, wie sie in Turbinen erforderlich sind. Rhenium findet sich auch in Anwendungen mit hoher Temperaturbelastung wie z.B. in Heizelementen, Elektroden für Ionisierungen und Thermoelementen. Andere Anwendungen sind Elektromagnete, Kontakte sowie Schutzschichten für Metalle.		20 % Katalysatoren der Erdölindustrie; 60 % Turbinenstähle (USGS 2008)	ub

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Rhodium	Rhodium wird überwiegend dort genutzt, wo hohe Temperaturen und aggressive Medien vorliegen. Das Metall wird vor allem für Katalysatoren zur Abgasreinigung in Kfz und im Monsanto-Prozess (Essigsäureherstellung) eingesetzt. Weiterhin wird es für hochreflektierende Spiegel bzw. Schweinwerfer eingesetzt (Rutherford: Rhodium). Auch in einigen elektrischen Anwendungen wird Rhodium genutzt (Wilburn, o.J.). Andere Anwendungen sind hochfeste und temperaturstabile Kupplungen, Zündkerzen für Flugzeuge, Brennelemente von Heizungen, Lager oder widerstandsfähige Drähte. Platin-Rhodium-Legierungen werden für elektrisch leitende und temperaturstabile Heizelemente genutzt, die sich in Geräten wie Feuerzeugen, Impulsdrahtzündern, Nylonscheren und Schweißgeräten finden. Ebenso wird es für Gewinde in Schalldämpfern sowie in medizinischen Geräten eingesetzt.	85 % für Autokatalysatoren (Lenntech, o.J.); 0,2 t EuE (2002) (Wilburn, o.J.: S.67)		FV-d
Rubidium	Das Metall Rubidium wird in sehr geringem Umfang verwendet. Rubidium wird in Elektro- und Elektronikbauteilen verwendet (Glasfasertechnik, Photozellen, Vakuumröhren). Es wird auch in Nachtsichtgeräten, als Standard für spektrochemische Verfahren (AAA) und bei der DN/A-Analyse genutzt. Rb-82 wird für Herzuntersuchungen verwendet. Im Feuerwerk wird es für rote Effekte genutzt. Mögliche Zukunftsanwendungen sind Ionentriebwerke und Arbeitsmittel in Gasturbinen.			FV
Ruthenium	Das Metall Ruthenium wird vor allem für Katalysatoren verwendet z.B. zur Entfernung von Schwefelwasserstoff in Erdöl-Raffinerien, zur Herstellung von Ammoniak oder von Essigsäure. Ruthenium wird auch in elektronischen Anwendungen für Kontakte und Chip-Widerstände verwendet (Wilburn, o.J.: S.64). Andere Anwendungen sind Elektroden zur Chlorherstellung und die Korrosionsverbesserung von Titan. Ruthenium wird aufgrund seiner härtenden Eigenschaften häufig in geringen Mengen zur Legierung eingesetzt. Es absorbiert Licht über das sichtbare Spektrum hinaus, so dass es für die Solarforschung interessant sein könnte.	50 % Elektroindustrie; 40 % chemische Industrie (Lenntech); 4,5 t für EuE (2002) (Wilburn, o.J.: S.67)		ub
Samarium	Samarium wird eingesetzt zum Dotieren von Laserkristallen, zur Herstellung von Spezialgläsern, von Keramiken und von Neutronenabsorbieren in Kernreaktoren (Rutherford: Samarium). Samariumkatalysatoren werden bei der Dehydrierung und Dehydrogenierung von Ethanol eingesetzt. Samarium-Cobalt-Legierungen bilden Permanentmagnete. Samarium wird auch in Elektroden von Lichtbogenlampen verwendet.			FV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Scandium	Scandium wird vor allem als Legierungsmetall für Aluminium genutzt, um hochstabile Sportgeräte und bruchfeste Leichtmetalle für die Luft- und Raumfahrt herzustellen. Es wird zudem für leuchtstarke Halogenlampen, in Lasern und für Magnetspeicher genutzt. Als Leuchtmittel findet es sich in Fernsehern, Leuchtstoffröhren und Energiesparlampen. Scandium wird auch zur Glaspolitur verwendet.			ub
Selen	Selen wird in der Halbleitertechnik und für Solarzellen eingesetzt. Seine guten photoelektrischen Eigenschaften führen auch zur Verwendung in der (älteren) Kopiertechnik (Belichtungstrommeln). Andere Verwendungen sind die Vulkanisierung von Gummi und die Keramik- und Glasherstellung (Entfernung des Grünstichs durch Eisen bzw. Minderung der Wärmedurchlässigkeit von Glasfassaden). Als Pigment mit Cadmium erzeugt es eine rubinrote Farbe z.B. in Ampeln. Als Legierungszusatz ermöglicht es die bessere Verarbeitung von Kupfer, Blei und Stahllegierungen. Ebenso dient es als Zusatz zur Verbesserung von metallischen Beschichtungsverfahren und zur Mangangewinnung. Selen wird auch in Anti-Schuppenshampoos und als Nahrungsergänzungsmittel bzw. in der Landwirtschaft bei selenarmen Böden verwendet.	35 % Glasherstellung; 20 % Chemikalien und Pigmente; 12 % Elektronik und Kopiertechnik; 33% Sonstiges; (2003)(Matons und George 2005)		FV-d
Seltene Erden	Zu den seltenen Erden zählen Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Terbium, Ytterbium und Lutetium. Die wichtigsten Minerale der Seltene Erden sind Bastnäsit ( $CeFCO_3$ ) und Thortveitit ( $(Y,Sc)_2Si_2O_7$ ). Der Einsatz erfolgt nur in kleinen Mengen, dafür aber in sehr vielen Anwendungsgebieten. Die wichtigsten sind Kfz-Abgaskatalysatoren, Katalysatoren der Erdölindustrie, metallische Zusätze für Legierungen, Glasreiniger und Leuchtstoffe (Bildröhren, Monitore, Radarschirme etc.). Ein Vergleich der Verwendungsdaten für frühere Jahre zeigt, dass die eingesetzten Mengen innerhalb weniger Jahre um 50 % schwanken können.		25 % Kfz-Abgas-katalysatoren; 22 % Erdölindustrie/Katalysatoren; 20 % Legierungen; 11 % Glasreiniger und Keramik; 10 % Leuchtstoffe; 10 % Magnete; 3 % Medizin und Laser (2006) (USGS 2008)	FV-d

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Silber	Silber wird vor allem für Schmuckgegenstände, Münzen, Bestecke und Fotochemikalien genutzt. Aus Schmuckgegenständen wird es inzwischen sehr häufig recycelt (Rutherford: Silber). Mit der Ausweitung der digitalen Fotografie und modernen Printverfahren wird auch die Anwendung für Fotochemikalien zurückgehen. Weiterhin werden größere Mengen von Silber auch in EE-Produkten eingesetzt. Silber wird in geringen Mengen auch in Batterien, Solarzellen, kleinsten Funkantennen (RFID für Dokumente) und Spiegeln verwendet. In der Medizin wird es im Amalgam (Hg-Ag) und für sterilisierende Wundverbände genutzt, sowie zur Wasserdesinfektion und auf Telefongehäusen (?), da es bakterizid wirkt.	31 % Schmuck und Silberwaren; 22 % Elektrik und Elektronik; 16 % Fotografie; 12 % Sonstiges; 8 % Exchange Traded Funds; 5 % Katalysatoren; 4 % Hartlotlegierungen; 1 % Münzen (2007) (Fortis 2008)		KFV
Strontium	Strontiumoxid wird vor allem als Glasbildner in Gläsern, z.B. für Bildschirmgläser von Fernsehgeräten und für Keramiken eingesetzt. Weitere Anwendungen sind Magnete, Legierungen, Pigmente, Füllstoffe und die Zinkherstellung. Auch für die Pyrotechnik wird Strontium verwendet. In früheren Jahren war in den USA der wichtigste Einsatz Bildröhrenglas.		43 % Pyrotechnik; 26 % Eisenoxid-Keramik-Magnete; 10 % Legierungen; 7 % Pigmente und Füllstoffe; 6 % Zinkherstellung; 8 % Sonstiges (USGS 2008)	FV-d
Tantal	Die wichtigste Verwendung von Tantal ist die Nutzung der kapazitiven Eigenschaften in miniaturisierten Kondensatoren für kleine Elektrogeräte wie Handys, Pager, Laptops, Hörgeräte, Navigationsgeräte u.a. Weiterhin wird Tantal in größeren Mengen in Form von Carbiden für Schneidwerkzeuge in der Metallbearbeitung eingesetzt. In der Medizin werden Tantallegierungen für Implantate verwendet.	50-60 % EuE bzw. Kondensatoren (TIC, USGS 2008, o.J.)		FV-d
Tellur	Das Halbmetall Tellur wird vor allem als Legierungsbestandteil zur besseren Bearbeitung für Stähle und Kupfer verwendet. Es härtet auch Blei und verhindert dessen Ermüdung. Weiterhin wird es als Katalysator für die Gummiherstellung und bei der Faserherstellung genutzt. In EuE-Bauteilen findet es sich in Photozellen und thermoelektrischen Bauteilen. Auch in PV-Zellen wird es eingesetzt. Eine weitere Anwendung ist die Färbung von Glas und Keramik.			KFV
Terbium	Terbium wird vor allem in der Lasertechnologie, für Halbleiter und für Speichermedien genutzt. Als Leuchtstoff findet es sich in Bildröhren. Weiterhin wird es in Hochtemperatur-Brennstoffzellen genutzt.			KFV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Thallium	Thallium ist hochgiftig, weshalb es auch als Rattengift eingesetzt wurde. Thallium wird in Hochtemperatur-Supraleitern, als Filter für die Mobilfunkkommunikation und in speziellen EE-Bauteilen eingesetzt. Thalliumlinsen werden in der Infrarottechnik und Akkusto-Optik verwendet. In Gläsern erhöht Thallium den Brechungsindex. Im Bergbau werden Thalliumadditive zur Trennung von Mineralien in Schwimm-Sink-Verfahren eingesetzt. Isotope von Thallium werden bei spektrometrischen Herzuntersuchungen eingesetzt.			KFV
Thulium	Thulium wird nur in Spezialbereichen eingesetzt, z.B. als Strahlenquelle für transportable Röntgengeräte (Rutherford: Thulium). Siehe auch seltene Erden.			KFV
Titan	Das Metall Titan wird in Form von Metalllegierungen in sehr vielen konstruktiven und verkehrstechnischen Bereichen eingesetzt, vor allem wegen seiner chemischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften. Besonders wichtige Eigenschaften sind sein geringes Gewicht und seine Korrosionsbeständigkeit. Insbesondere für die Luft- und Raumfahrt ist es ein wichtiger Konstruktionswerkstoff. Schätzungsweise 76% des gesamten Einsatzes in den USA gelangen in diesen Bereich. Andere Anwendungsbereiche sind die Rüstungsindustrie, chemische Industrie, Sportwaren, Energieerzeugung und Meerestechnik. In wesentlich größeren Mengen wird es jedoch als Färbemittel (Titanweiß) bzw. als weißer Füllstoff verwendet.		57 % Farben; 26 % Kunststoffe (Farben); 13 % Papier (weißer Füllstoff); 4 % Sonstiges (TiO <sub>2</sub> -Verwendung, USGS 2008). 76 % Luft- und Raumfahrt; 24 % Sonstiges (Titan, USGS 2008)	FV-d
Vanadium	Vanadium wird vor allem zur Herstellung hochfester Stähle eingesetzt. Ein weiterer wichtiger Einsatz sind Katalysatoren zur Herstellung von Schwefelsäure und Maleinsäure.		91 % Stahlindustrie; 9 % Sonstiges (Katalysatoren) (USGS 2008)	ub
Wolfram	Wolfram wird vor allem in Form von Carbiden zur Herstellung von Schneidwerkzeugen eingesetzt. Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld ist die Herstellung von hochfesten und hitzebeständigen Stählen. Weitere Anwendungen sind Elektroden, Kabel, Schweißtechnik, Wärmeerzeugung und Chemikalien. Wolfram wird für Glühdrähte und zahlreiche EuE-Anwendungen in geringem Umfang genutzt.		50 % Carbide; 50 % Sonstiges (USGS: Tungsten).	FV-d
Ytterbium	Ytterbium wird für rostfreie Spezialstähle genutzt. (Rutherford: Ytterbium). Auch in der Zahnmedizin werden Ytterbiumlegierungen verwendet. Ytterbium wird zudem als Leuchtstoff und für keramische Kondensatoren verwendet.			KFV

Metall	Anwendungsbereiche	Metalleinsatz weltweit	Metalleinsatz USA	Diss.
Yttrium	Yttrium wird als Legierungsmetall in Kombination mit einigen Metallen (Aluminium, Magnesium, Stahl) verwendet. Yttrium-haltige Werkstoffe weisen schon bei Temperaturen von -180°C Supraleitfähigkeit auf (Rutherford: Yttrium). Yttriumoxid ist ein wichtiger Leuchtstoff in Bildröhren, was vermutlich der wichtigste Einsatz ist. In Gläsern erhöht es die Hitze- und Schlagfestigkeit. Y-Oxid wird auch in Kameralinsen genutzt. Ebenso findet es sich in einigen EuE-Bauteilen. Weitere Anwendungen finden sich in der Landwirtschaft, chemische Industrie, der Gummiindustrie, aber auch im Bereich Farben (Rostschutzfarben).		84 % Lampen und Kathodenstrahlröhren (Bildröhren); 7 % Elektronik; 7 % Keramik; 2% metallurgische Verwendung	FV-d
Zink	Das Metall Zink wird vor allem zum Verzinken von Eisen (Oberflächenbehandlung) verwendet. In Messing (Legierung mit Kupfer) findet es breite Anwendungsfelder im Maschinen- und Apparatebau sowie in Kraftfahrzeugen und in Armaturen. Weiterhin wird es in Batterien (Zn-Kohle-Batterien) verwendet (Rutherford: Zink). Auch in vielen EE-Bauteilen wird Zink eingesetzt.		55 % Galvanisierung, 21 % Legierungen, 16 % Messing und Bronzen, 8 % Sonstiges (USGS 2008)	FV-d
Zinn	Zinn wird vor allem zur Herstellung von Weißblech (Dosen), Bronzen und Stanniol verwendet. Als Bestandteil der Bronzen findet sich Zinn in nahezu allen größeren Produkten. Im IuK-Bereich dient es als Lötzinn (Rutherford: Zinn). Ebenso wird es in Solarzellen eingesetzt (ITO).	50 % Lote; 18 % Weißblech; 14 % Chemikalien; 6 % Legierungen , 12 % Sonstiges (Angerer et al. 2008)	26 % Dosen und Verpackungen; 24 % Elektrik; 10 % Konstruktion; 10 % Verkehrswesen; 30 % Sonstiges (USGS 2008)	FV-d
Zirkon	Zirkon wird als Legierungsmetall für korrosionsfeste Stähle und zusammen mit Niob für Supraleiter eingesetzt. Wichtige Anwendungsfelder von Zr-Oxid sind Schmuck (Zirkonia), Keramik sowie feuerfeste Erzeugnisse. Zirkon wird als Metall vor allem in der Reaktortechnik eingesetzt (Brennstabumhüllungen).			FV



### 10.3 Anhang 3 – Einsatz von Metallen in ausgewählten Anwendungsbereichen

Tab. 10-4: Einsatz von Metallen in den Anwendungsbereichen Elektro- und Elektronikprodukte sowie Informations- und Kommunikationstechnologie

Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Aluminium	In Elektrogeräten wie Fernseher oder Computer wird Al zumeist in größeren Mengen für konstruktive Zwecke verwendet. Aluminiumoxid ist als Glasbildner in Bildröhren vorhanden (Behrendt 1998). Aluminiummetall, Aluminiumfolie oder Al-Oxide werden vielfach in Kondensatoren bzw. als Bechermaterial verwendet (Elko: Kondensatoren).
Antimon	Antimonoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas. Außerdem findet es in der Halbleitertechnik sowie in Photozellen Anwendung (Kreibich 2004).
Arsen	Arsen wird zur Dotierung bei der Halbleiterherstellung eingesetzt z.B. in IC, Leuchtdioden und Fotowiderständen (Elko: LTR-Fotowiderstände). Darüber hinaus wird es als Legierungsmetall in Bleibatterien eingesetzt. Arsenoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas sowie in Leuchtstoffen. In Solarzellen können die Halbleitereigenschaften auch durch Arsendotierung erzielt und in Tandemzellen genutzt werden. Die Elektroindustrie verwendet hochreines Arsen (99.9999 %) für Gallium-Arsenid- Halbleiter, die für Solarzellen, Raumfahrt und Telekommunikation verwendet werden (USGS).
Barium	Barium wird in Gläsern und Keramiken als Oxid eingesetzt wie z.B. für Bildschirmgläser von Fernsehgeräten.
Beryllium	Kupferleitungen mit Berylliumlegierungen werden vor allem dort eingesetzt, wo Kabelbewegungen oder Schwingungen auftreten. Beryllium wird auch als Leuchtstoff in Fernsehgeräten eingesetzt (Behrendt et al. 1998).
Bismut	In IuK-Produkten wird Bismut-Oxid in Keramiken oder Gläsern eingesetzt. In EE-Bauteilen wird es als Bleilegierung in Drosseln eingesetzt. Bismut wird auch als Leuchtstoff für Fernsehgeräte eingesetzt (Behrendt et al. 1998).
Blei	Blei wird zur Ummantelung von Elektrokabeln genutzt (Rutherford: Blei). Mengenmäßig relevant ist Bleioxid in Bildschirmgläsern von Fernsehgeräten (Behrendt et al. 1998). Als Lötzinn (SbPb) wird es in allen Elektrogeräten eingesetzt. Eine Analyse von Computern ergab, dass in Rechnern ca. 30 g und in Bildschirmen ca. 17 g Blei (hierbei ohne Bildschirmglas) verwendet wurden (Soldera 1995). Fotowiderstände können PbS oder PbSe enthalten (Elko: LTR-Fotowiderstände). Gemäß der RoHS-Richtlinien dürfen einige Metalle, darunter auch Blei, seit Juli 2006 nicht mehr eingesetzt werden. Kyocera zum Beispiel hat aufgrund der RoHS-Richtlinie schon in 2004 bleifreie Displays für Industriekunden auf den Markt gebracht.
Cadmium	In Elektrobauteilen mit hohen Sicherheitsstandards (Bahntechnik) wird Cadmium teilweise aufgrund der erhöhten Sicherheitsanforderungen verwendet. Cadmium wird auch als Leuchtstoffe für Fernsehgeräte eingesetzt (Behrendt et al. 1998). Darüber hinaus wird Cadmium auch in Cadmium-Tellurid-Solarzellen verwendet (Lauer mann 1998). Fotowiderstände können CdS enthalten (Elko: LTR-Fotowiderstände). Gemäß der RoHS-Richtlinien dürfen einige Metalle, darunter auch Cadmium, seit Juli 2006 nicht mehr in Elektro- und Elektronikprodukten eingesetzt werden.
Calcium	Calciumoxid wird als Glasbildner in Bildschirmgläsern von Fernsehgeräten eingesetzt (Behrendt et al. 1998).



Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Cäsium	Cäsium wird aufgrund des Photoeffekts für Nachtsichtgeräte und photoelektrische Zellen eingesetzt (Rutherford: Cäsium, USGS: Cesium). Cäsium wird auch in Photozellen beispielsweise von Fernsehkameras eingesetzt (Kreibich 2004).
Cer	Ceroxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas und wird auch in der Lasertechnologie eingesetzt. Weitere Anwendungen sind Flachbildschirme und Compact-Discs (siehe auch seltene Erden).
Chrom	In einigen Herstellungsprozessen von PV-Zellen werden Chromate eingesetzt. NTC-Heißleiter (temperaturabhängige Halbleiterwiderstände) enthalten Chromate (Elko: NTC-Heißleiter). Gemäß der RoHS-Richtlinien dürfen einige Metalle, darunter auch sechswertiges Chrom, seit Juli 2006 in nicht mehr in Elektro- und Elektronikprodukten eingesetzt werden.
Cobalt	Cobalt wird aufgrund seiner ferromagnetischen Eigenschaften häufig in Generatoren und Elektromotoren eingesetzt (Rutherford: Cobalt). Cobalt wird auch als Leuchtstoff in Fernsehgeräten eingesetzt (Behrendt et al. 1998).
Dysprosium	
Eisen	Eisen findet sich in Transformatoren (Ferrite) und vielen anderen EE-Bauteilen (Spulen, Relais)(Elko: Spulen). Eisenoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas.
Erbium	Erbium wird als Dotierungsmaterial für Faser-Verstärker bei Lichtwellenleitern eingesetzt (Elektro: Lichtwellenleiter) (siehe auch seltene Erden).
Europium	Europium wird für extrem dünne Schichten von Supraleiterlegierungen genutzt. In Fernsehern wird es in Form von Eu-dotiertem $Y_2O_2S$ als Leuchtstoff eingesetzt (Behrendt et al. 1998, Ruby, o.J.). Eu-dotiertes $Y_2O_3$ wird in Energiesparlampen eingesetzt (Ruby, o.J.) (siehe auch seltene Erden).
Gadolinium	Gadolinium findet Verwendung in Elektronikbauteilen, Magneten, in der Magnetooptik und der Neutronenradiographie (Rutherford: Gadolinium). Tb-Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S wird als grüner Leuchtstoff für Radarbildschirme eingesetzt (Ruby, o.J.) (siehe auch seltene Erden).
Gallium	Gallium wird vor allem zur Herstellung von verschiedenen Halbleitern (z.B. IC mit Galliumarsenidphosphid und Leuchtdioden mit Galliumarsenid oder -phosphid) eingesetzt (Rutherford: Gallium; Elko: LED). Darüber hinaus ist es inzwischen ein wichtiges Metall für die Optoelektronik und für Solarzellen. Galliumarsenid-Solarzellen haben einen hohen Wirkungsgrad und werden wegen ihrer Strahlungsresistenz an Satelliten eingesetzt. Sie können zudem zum Bau von Tandemsolarzellen (Doppelschichtzellen) verwendet werden (Lauermann 1998). Gallium wird zudem als Dotierungsmaterial für Halbleiter z.B. in IC eingesetzt.
Germanium	Germanium findet sich in Transistoren, Gleichrichtern, Tunnelioden und Fotowiderständen (Rutherford: Gallium; Elko: Halbleiter, Widerstände).
Gold	Gold findet sich in Form dünner Schichten auf CDR's (Eurometaux, o.J.). Zur mengenmäßigen Anwendung in Mobiltelefonen: siehe Platin
Hafnium	Einsatzgebiete von Hafnium sind Hochdruckglühlampen, in Form von Hafniumnitrid als Elektrode in Vakuumröhren und in Form von Hafniumoxid in der Halbleiterproduktion (Elektro: Hafnium).
Holmium	In IuK-Produkten wird Holmium in Farbfernsehgeräten als Leuchtstoff eingesetzt (Rutherford: Holmium). Holmium wird für Magnetblasenspeicher und Leuchtstofflampen verwendet (siehe auch seltene Erden).

Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Indium	Indium wird in vielfältiger Weise in IuK-Produkten genutzt wie z.B. für Flüssigkristall-Displays und Flachbildschirme, da Indiumzinnoxid lichtdurchlässig und stromleitend ist, so dass es als „Leitungsdraht“ auf Solarzellen oder LCDs verwendet werden kann, ohne die Sichtbarkeit zu beeinflussen. Weitere Anwendungen sind leistungsstarke Transistoren (USGS: Indium), IC auf Indiumarsenidphosphid-Basis, Tunnelioden sowie Leuchtdioden (Al-Ga-In-Phosphat, In-Ga-Nitrogen, siehe Elko: Halbleiter). Darüber hinaus wird es in elektroluminiszenten Lampen, Halbleitern für Infrarot-Detektoren und die Photovoltaik eingesetzt. Indium wird in der Halbleitertechnik als Dotierungsmaterial eingesetzt. Daher können beispielsweise Photowiderstände InAs und Feldplatten Indiumantimonid enthalten (Elko: LTR-Fotowiderstände/Feldplatten). Indium wird auch in Hallsonden zur Messung von Magnetfeldern verwendet. In Solarzellen findet es Einsatz in Kupfer-Indium-Diselenid-Dünnschichtzellen (Lauermann 1998).
Iridium	Iridium wird in Thermoelementen für den Einsatz bei hohen Temperaturen verwendet (Elektro: Thermoelemente).
Kalium	Kaliumoxid wird in Bildröhren als Glasbildner eingesetzt (Behrendt et al. 1998).
Kupfer	Kupfer wird vor allem für Leitungsdrähte und Kabel eingesetzt. Weiterhin wird es in Spulen und Drosseln, Transformatoren, Elektromotoren und Generatoren genutzt. Fernsehgeräten enthalten bis zu ca. 3 % Kupfer (Behrendt et al. 1998), in Computern sind es 5-7 % und in Monitoren bis zu 8 % (jeweils Gewichtsprozent) (Soldera 1995). Zur mengenmäßigen Verwendung von Kupfer in Mobiltelefonen: siehe Platin. In der Kommunikationstechnik kann Kupfer bei der leitungsgebundenen Signalübertragung durch Siliziumoxid (Glasfasern) ersetzt werden.
Lanthan	Lanthan wird in Thermistoren zur Vermeidung von Überhitzung eingesetzt (Ruby, o.J.). Lanthan wird auch in Elektroden von Ni-Metallhydrid-Akkus eingesetzt.
Lithium	Lithium wird als Oxid in geringen Mengen in Bildröhrenglas eingesetzt. Die wichtigste Anwendung in IuK-Produkten sind Li-Ionen-, Lithium-Polymer- und Lithium-Metall-Akkus.
Lutetium	Lutetium wird in Szintillator-Kristallen für die Positronen-Emissions-Tomographie verwendet. Eines der prominentesten Beispiele ist mit Cer dotiertes Lutetiumoxyorthosilikat (LSO).
Magnesium	Magnesium wird in vielen EE-Bauteilen eingesetzt. Magnesium-Oxide werden in Bildröhren genutzt.
Mangan	Für die IuK-Industrie ist Mangan bei der Herstellung von Trockenbatterien und Akkumulatoren von Bedeutung (Alkali-Mangan-Zellen).
Molybdän	In Lampen wird es für Glühfäden sowie als Katalysator eingesetzt (Rutherford: Molybdän). In elektronischen Bauteilen findet es Verwendung in SMD-Dioden (Behrendt et al. 1998).
Natrium	Natriumoxid findet sich als Glasbildner in Bildröhren (Behrendt et al. 1998).
Neodym	In speziellen EE-Produkten findet sich Neodym in Neodym-Lasern. Neodym wird auch als Leuchtstoff in Farbfernseherröhren und Leuchtstofflampen eingesetzt. Daneben wird Neodym auch in Elektroden von Ni-Metallhydrid-Akkus eingesetzt. Siehe auch seltene Erden. In Verbindung von Neodym mit Eisen und Bor entstehen Permanent-Magnete, die in modernen Fahrzeugen, Speichermedien digitaler Daten und in Lautsprechern eingesetzt werden ( <a href="http://www.lennotech.com">www.lennotech.com</a> ).

Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Nickel	Für die IuK-Industrie ist Nickel bei der Herstellung von Ni-Cd-Akkumulatoren weltweit von Bedeutung, die für Hochstrom-Anwendungen (Elektrogeräte) häufig besser geeignet sind als Ni-Metallhydrid-Akkus (Elko: Nickel-MH-Akkus). In elektronischen Bauteilen findet Nickel Verwendung in z.B. SMD-Kondensatoren (Behrendt et al. 1998).
Niob	In der IuK-Industrie wird Niob u.a. in miniaturisierten Hochleistungskondensatoren eingesetzt (Behrendt et al. 1998).
Osmium	Für medizinische Implantate und künstliche Herzklappen wird eine Legierung aus 90 % Platin und 10 % Osmium genutzt. Darüber hinaus wird Osmium in Herzschrittmachern eingesetzt.
Palladium	Das Metall Palladium wird in Silberlegierungen in der Zahntechnik verwendet. In elektronischen Bauteilen wird es in SMD-Kondensatoren eingesetzt (Behrendt et al. 1998). Zur mengenmäßigen Anwendung in Mobiltelefonen: siehe Platin. Brennstoffzellen könnten zu einem wichtigen Anwendungsfeld in der Zukunft werden.
Platin	In Mobiltelefonen finden sich nennenswerte Mengen von Platin. Eine Untersuchung über den Edelmetallgehalt von Handys zeigte, dass der Metallgehalt in modernen Handys bei ca. 25 % liegt (ohne Batterien und Ladegerät) (Sullivan 2006), dabei vor allem Kupfer, Eisen, Nickel, Silber und Zink sowie geringe Mengen an Aluminium, Gold, Blei, Mangan, Palladium, Platin und Zinn. Bezüglich der wertvollen Metalle wurden in einem Handy folgende Mengen festgestellt: 16 g Kupfer, 0,35 g Silber, 0,034 g Gold, 0,015 g Palladium und 0,00034 g Platin. Diese teilweise sehr geringen Mengen pro Handy summieren sich durch den boomenden Markt zu großen Mengen auf. Bei einem Bestand von ca. 630 Millionen Handys in 2005 beträgt der Anteil der wertvollen Metalle ca. 10.000 t Kupfer, 224 t Silber, 20,9 t Gold, 9,4 t Palladium und 0,22 t Platin. Der Gesamtwert dieser wertvollen Metalle liegt bei 400 Mio. US\$ (Annahme von mittleren Preisen über die Nutzungszeit). Platindünnschichten verbessern die Speicherkapazität von Festplatten (Eurometaux, o.J.).
Platingruppenmetalle (Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Osmium, Iridium)	Platingruppenmetalle finden sich in elektronischen Komponenten und Computerfestplatten, Videogeräten, Katalysatoren, Geräten zur Glasherstellung, in zahnärztlichen Legierungen, in der Medizin und für den Zahnersatz. Im elektronischen Sektor wird Palladium für Kondensatoren und Widerstandskörper und Platin für Computerfestplatten verwendet sowie für Elektroden, Brennstoffzellen und Thermoelemente. Platinlegierungen, sowie Platin-Rhodium-Legierungen werden für elektrisch-resistente Heizelemente genutzt, wie sie in Geräten wie Feuerzeugen, hot wire ignition, Nylonscheren, Schweißungsgeräten, Gewinden für muffler furnaces sowie medizinischen Geräten verwendet werden. Weltweit wurden in 2002 22.100 kg (710.000 oz) Palladium, 11.800 kg (380.000 oz) Platin, 4.500 kg (145.000 oz) Ruthenium, 680 kg (22.000 oz) Iridium und 200 kg (6.000 oz) Rhodium für elektrische Geräte eingesetzt. Daneben wird es in den in Entwicklung befindlichen Miniatur-Brennstoffzellen für Handys, Laptops und anderen tragbaren elektronischen Geräte eingesetzt, sowie in Brennstoffzellen wasserstoffbetriebener Fahrzeuge. Für Zahnersatz wurden in 2002 23.000 kg (750.000 oz) eingekauft. Geringe Mengen Platin wurden außerdem für Medikamente gegen Krebs und medizinische Implantate genutzt. Die Nachfrage nach Metallen der Platingruppe im elektronischen Sektor nimmt durch einen steigenden Bedarf an höheren Speicherkapazitäten für Computer zu (USGS: PGM World Supply and Demand 2001-2007).
Praseodym	
Promethium	

Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Quecksilber	Quecksilber wird vor allem als Amalgam (Legierung mit Silber) in der Zahntechnik verwendet. Zur Beleuchtung werden bei hohen Lichtstärken auch Quecksilberdampf-lampen verwendet (Rutherford: Quecksilber). Eine wichtige Anwendung waren Quecksilber-Knopfzellen mit Quecksilberoxid, die seit 2001 verboten sind, doch immer noch weltweit produziert werden. In Laptops wird die Hintergrundbeleuchtung der Displays durch Kaltkathodenröhren erreicht (Wikipedia 2006: Quecksilberdampflampe). Gemäß RoHS-Richtlinien dürfen einige Metalle, darunter Quecksilber, seit Juli 2006 nicht mehr eingesetzt werden. Eine Ausnahme hiervon sind Kompaktleuchtstofflampen, bei denen Quecksilber in einer Höchstmenge von 5 mg pro Lampe erlaubt ist. Einige Unternehmen haben auf die RoHS frühzeitig reagiert, z.B kamen bereits früh quecksilberfreie Displays auf den Markt.
Rhenium	In Elektroprodukten findet Rhenium Anwendung für elektrische Kontakte, Elektromagnete und Elektronenröhren (USGS: Rhenium). Weitere Anwendungen sind Glühdrähte und Thermobauteile (Rutherford: Rhenium, USGS: Rhenium).
Rhodium	Rhodium wird in der Lasertechnik für Spiegel eingesetzt. In EuE-Produkten wird es nur in geringem Umfang eingesetzt.
Rubidium	Rubidium wird in Fotozellen verwendet (Rutherford: Rubidium). Weitere Anwendungen finden sich in der Laser- und Glasfasertechnologie. Daneben wird es in Nachtsichtgeräten eingesetzt (USGS: Rubidium).
Ruthenium	
Samarium	Samarium wird in Form intermetallischer Verbindungen mit Cobalt als Permanentmagnet genutzt, z.B. in allen kleinen Motoren.
Scandium	Scandium wird in Magnetspeichern verwendet. Ausserdem wird es Lasertechnologie verwendet (USGS: Scandium).
Selen	Selen wird in der Halbleitertechnik verwendet und in Solarzellen eingesetzt.
Seltene Erden	Seltene Erden werden in Elektroprodukten vor allem als Leuchtstoffe in Leuchtstofflampen eingesetzt. Die wichtigsten Leuchtstoffe sind vermutlich Cer, Erbium und Ytterbium (siehe auch Ruby, o.J.). Daneben findet es sich auch in Permanentmagneten. Zudem wird es eingesetzt in der Glasfasertechnologie und in Supraleitern. Lanthan und Neodym werden auch in Elektroden von Ni-Metallhydrid-Akkus eingesetzt. Überdies spielen Seltene Erden auch eine Rolle bei der Hochtemperatursupraleitung.
Silber	Silber wird in Batterien und EE-Bauelementen (SMD-Kondensatoren) eingesetzt. In PV-Zellen werden „Finger“ aus Silber zur Herstellung der Kontakte verwendet (Solarserver, o.J.). Silber wird in Fernsehgeräten als Leuchtstoffe verwendet. In elektronischen Bauteilen findet es Verwendung in SMD-Kondensatoren (Behrendt et al. 1998). Zur mengenmäßigen Anwendung in Mobiltelefonen: siehe Platin. Silber findet sich als Dünnschicht auf CDR (Eurometaux, o.J.).
Strontium	Strontium findet sich in großen Mengen in den Bildschirmgläsern von Bildröhren.
Tantal	Anwendungen von Tantal sind Implantate, da es nicht toxisch ist (Rutherford: Tantal).
Tellur	Anwendungen von Tellur in EE-Bauteilen sind Fotozellen und termoelektrischen Bauteile. Cadmium-Tellurid wird auch für Solarzellen in kleinerem Maßstab eingesetzt (Lauer mann 1998). Gleichfalls wird Tellur in optischen Speichermedien (CD-RW) verwendet. Tellur kann auch in Peltier-Elementen zur Kühlung von IC verwendet werden.
Terbium	Terbium wird als Leuchtstoff in der Lasertechnologie eingesetzt, daneben auch in Form von Tb-Fe-Co-Legierungen in magneto-optischen 'Mini-Discs'. Bei wiederbeschreibbaren CD wird die Magnetisierung mittels Laser gelöscht, indem die Curie-Temperatur überschritten wird (siehe auch Ruby, o.J.). Vgl. seltene Erden

Metall	Einsatzbereiche in den Branchen EuE und IuK
Thallium	Anwendungen von Thallium sind Filter für kabellose Kommunikation, Strahlungsmesser und Spezialgläser für Infrarot und zur Lichtbrechung in der Akkusto-Optik. Weitere Anwendungen finden sich in Medizinprodukten (USGS: Thallium). Thallium wird auch für die Hochtemperatursupraleitung (Forschung) als wichtig erachtet.
Thulium	
Titan	Seit kurzem wird Titanoxid als Nanobeschichtung eingesetzt. In IuK-Produkten wird es vermutlich nur sehr selten eingesetzt. NTC-Heißleiter (temperaturabhängige Halbleiterwiderstände) können Zink-Titanate enthalten und PTC-Kaltleiter können Titan-Keramik enthalten (Elko: NTC-Heißleiter). Titanoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas.
Vanadium	
Wolfram	Wolfram wird für Glühdrähte in Lampen verwendet (Rutherford: Wolfram). Weitere Anwendungen sind Elektroden, Kabel und Elektrokomponenten (USGS: Tungsten). Wolframoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas.
Ytterbium	Ytterbium wird als Leuchtstoff in Fernsehgeräten eingesetzt (Behrendt et al. 1998). Siehe auch seltene Erden.
Yttrium	Yttrium vor allem in leuchtstarken Lampen und Kathodenstrahlröhren (Fernseher) eingesetzt. Darüber hinaus wird es in Dauermagneten genutzt. Andere Anwendungen von Yttrium sind Sauerstoffsensoren für Kfz, Signalkontrollen für Mikrowellenradar, Laser in der digitalen Kommunikation und nichtlinearen Optik. Eu-dotiertes $Y_2O_3$ wird in Energiesparlampen eingesetzt. Eu-dotiertes $Y_2O_2S$ dient als roter Leuchtstoff in Monitoren und Fernsehern (Ruby, o.J.).
Zink	Zink-Kohle-Batterien sind wichtige Trockenbatterien. Darüber hinaus wird Zink in Elektroprodukten und EE-Bauteilen sehr häufig eingesetzt, wodurch es zu den mengenmäßig relevanten Metallen zu zählen ist. Zinkoxid findet sich als Zusatz in Bildröhrenglas und bei den Leuchtstoffen (Behrendt et al. 1998).
Zinn	Zinn wird vor allem als Lötzinn für EE-Produkte verwendet. Viele EE-Bauteile enthalten Zinn (z.B. Kondensatoren mit Zinnfolien).
Zirkon	Als Füllstoff ist Zirkon es in Blitzlichtern vorhanden (Rutherford: Zirkon). In Fernsehgeräten findet es sich als Oxid in Bildröhrenglas.

Tab. 10-5: Einsatz von Metallen im Anwendungsbereich Medizin

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aluminium wird als Medikament gegen Sodbrennen eingesetzt. Viele der so genannten Antiazida enthalten eine Aluminiumverbindung als Hauptwirkstoff (vgl. <a href="http://www.ktipp.ch/themen/beitrag/1019766/Warnung_vor_Alu-Pillen">http://www.ktipp.ch/themen/beitrag/1019766/Warnung_vor_Alu-Pillen</a>).</li> <li>Aluminium–Kaliumsulfat (Alaun): Alaun hemmt Blutungen des Zahnfleisches und bei Rasierschnitten, es fördert die Wundheilung am Zahnfleisch, es wirkt gegen Entzündungen der Mundschleimhäute und kann entzündete Rachenschleimhäute lindern (vgl. <a href="http://medikamente.onmeda.de/Wirkstoffe/Aluminium-Kaliumsulfat.html">http://medikamente.onmeda.de/Wirkstoffe/Aluminium-Kaliumsulfat.html</a>).</li> <li>Aluminiumacetat <math>\text{Al}(\text{CH}_3\text{-COO})_3</math> (essigsäure Tonerde) wird für entzündungshemmende Umschläge verwendet.</li> </ul>		

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Antimon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antimon-V-Verbindungen finden Anwendung als Medikament bei einer Leishmaniose (Krankheitsbilder Kala-Azar, Orientbeule und amerikanische Haut- und Schleimhaut-Leishmaniose). Die fünfwertigen Verbindungen sind deutlich aktiver als die dreiwertigen Antimonverbindungen. Medikamente hierzu sind Natriumstibo[V]-gluconat (Pentostam®) und N-Methylglucaminantimonat[V] (Glucantime®) (vgl. <a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>)</li> <li>Antimon-III-Verbindungen: Als Tropfenmittel sind Antimon[III]-lithiumthiomalat (Anthiomaline®) und Natriumstibo[III]-captat gebräuchliche Verbindungen; letzteres ist ein Derivat der Dimercaptobernsteinsäure.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antimonsulfid-[99mTc]-Technetium-Lösung wird als kolloidale Lösung zur Röntgendarstellung von Leber, Milz und Knochenmark sowie zur Lymph-Scintigraphie verwendet (<a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>).</li> </ul>	
Arsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arsen besitzt nur eine untergeordnete therapeutische Bedeutung (<a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>).</li> </ul>		
Barium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bariumsulfat wird positives Kontrastmittel beim Röntgen verwendet. Als Kontrastmittel in der Projektionsradiografie eignen sich unlösliche Bariumsalze als Aufschwemmung. Barium wird gewöhnlich für den Verdauungstrakt verwendet (<a href="http://www.radiodiagnostik-akhwien.at/index.aspx?PID=98">http://www.radiodiagnostik-akhwien.at/index.aspx?PID=98</a>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bariumsulfat wird in medizinischen Kunststoffen eingesetzt. Unklar ist, ob es sich um einen bloßen Füllstoff für die Kunststoffe handelt.</li> </ul>
Blei	Bleivergiftungen		<ul style="list-style-type: none"> <li>Blei ist ein wichtiges Metall zur Abschirmung von Röntgenstrahlen.</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Cadmium			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadmiumsulfid und -selenid sind Farbstoffe, die in Kunststoffzahnprothesen verwendet, doch zunehmend durch synthetische Phenolderivate verdrängt werden. Es gibt bisher keine Hinweise, dass die Verwendung Nebenwirkungen hat (z.B. Kontaktstomatitiden durch die Cadmiumverbindungen (vgl. <a href="http://www.zahn-studio.at/04_produkte/con_005.html">http://www.zahn-studio.at/04_produkte/con_005.html</a>)).</li> </ul>
Cäsium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cäsium-137 wird in der Strahlentherapie als radioaktiver Strahler verwendet (Teletherapie und Brachytherapie (vgl. <a href="http://www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a>)).</li> </ul>	
Calcium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calciumcarbonat wird in Kombination mit Colecalciferol (Vitamin D) bei Calciummangel bzw. durch Calciummangel verursachte Beschwerden verabreicht, um den den Knochen- und Zahnaufbau zu fördern (vgl. <a href="http://www.livingzen.de/showroom/calcium/calciumshowroom.htm">www.livingzen.de/showroom/calcium/calciumshowroom.htm</a>).</li> <li>• Calciumabkömmlinge z.B. Calipotriol, Calitriol sind neuere lokale Wirkstoffe in der Psoriasisstherapie (lokal, Präparate: Psorcutan, Daivonex).</li> </ul>		



Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Chrom			<ul style="list-style-type: none"> <li>Chrom wird in Form von Chrom-Cobalt-Molybdän-Legierungen in der Zahnprothetik verwendet (Teleskopkronen). Die Legierungen sollten mindestens 25 Gewichtsprozent Cr und 4 Gewichtsprozent Mo enthalten. Cobalt-Chrom-Legierungen sind heute Standard beim Modelguss (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>
Cobalt		<ul style="list-style-type: none"> <li>Cobalt-60 wird in der Strahlentherapie als radioaktiver Strahler verwendet (Teletherapie und Brachytherapie) (vgl. <a href="http://www.hmuv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hmuv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cobalt wird in Form von Chrom-Cobalt-Molybdän-Legierungen in der Zahnprothetik verwendet (Teleskopkronen). Cobalt-Chrom-Legierungen sind heute Standard beim Modelguss (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>
Dysprosium			
Eisen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eisenhaltige Präparate wie Eisenfumarat werden als Antianämika (Eisenmangel) verabreicht, um die Erythrozytenbildung zu fördern.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eisenoxidnanopartikel werden zur Darstellung des retikulo-endothelialen Systems etwa in der Diagnostik von Leberkrankheiten (Tumore, Metastasen, Zysten, Hämangiome) genutzt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eisen wird in der Kieferorthopädie in Form von FeCrNi-Legierungen und bei herausnehmbaren Provisorien als Klammerdrähte genutzt (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>).</li> </ul>
Erbium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Erbium-169 wird bei der Behandlung entzündlicher Gelenkerkrankungen (Radiosynoviorthese) eingesetzt (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>).</li> </ul>	
Gadolinium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gadoliniumverbindungen (Chelate) werden in Magnetresonanztomographie als Kontrastmittel in der medizinischen Diagnostik (z.B. zur Früherkennung von Brustkrebs und Niereninsuffizienz) verwendet.</li> </ul>	

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Gallium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gallium-67-citrat wird in der Szintigraphie zur Identifikation von Tumoren eingesetzt.</li> <li>Gallium-68 wird in der PET-Diagnostik zur Tumorerkennung eingesetzt (vgl. <a href="http://www.dkfz.de/de/radiochemie/Projekte/ProjektE0302.html">http://www.dkfz.de/de/radiochemie/Projekte/ProjektE0302.html</a>).</li> </ul>	
Germanium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carboxyethylgermanium-Sesquioxid (<math>\text{GeCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}</math>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wird von der alternativen Medizin zur verbesserten Sauerstoffversorgung und zur Entgiftung empfohlen. In Deutschland sind die Präparate verboten, da es keinen klinisch Nachweis zur Wirksamkeit gibt (vgl. <a href="http://www.zentrum-der-gesundheit.de/organisches-germanium-ia.html">http://www.zentrum-der-gesundheit.de/organisches-germanium-ia.html</a> und <a href="http://www.nlnv.de/front_content.php?client=1&amp;lang=1&amp;idcat=47&amp;idart=236&amp;m=&amp;s=">http://www.nlnv.de/front_content.php?client=1&amp;lang=1&amp;idcat=47&amp;idart=236&amp;m=&amp;s=</a>).</li> </ul>		
Gold	<ul style="list-style-type: none"> <li>Goldpräparate wie z.B. Tauredon wurden lange Zeit bei Rheuma-Erkrankungen verabreicht. Es war sehr wirksam, hatte aber schwere Nebenwirkungen. Inzwischen wird es nur noch bei Patienten verwendet, die wirksamere Präparate wie Methotrexat nicht vertragen (vgl. <a href="http://www.rbb-online.de/fernsehen/magazine/beitrag.jsp?key=rbb_beitrag_4265662.html">www.rbb-online.de/fernsehen/magazine/beitrag.jsp?key=rbb_beitrag_4265662.html</a>).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gold wird vor allem für Zahnersatz verwendet (Brücken, Kronen) (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> <li>Gegenüber Zahngold gibt es vereinzelt Kontaktallergien (Natriumthiosulfataurat).</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Indium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Indium-111 wird in Verbindung mit Yttrium-90 bei non-Hodgin's Lymphome zur Strahlendiagnostik verwendet (vgl. <a href="http://www.zevalin.ch/pages/index.cfm?dom=1003&amp;prub=1255&amp;p=1">http://www.zevalin.ch/pages/index.cfm?dom=1003&amp;prub=1255&amp;p=1</a>).</li> </ul>	
Iridium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iridium- und Rhodiumverbindungen sind als Zytotoxika für die Krebsbehandlung patentiert. Die Rhodium-Komplexe zeigten bei den untersuchten Zelllinien (Brust- und Darmkrebs) bis zu hundertfach höhere Zytotoxizität als Cisplatin (vgl. <a href="http://www.rubitec-patente.de/patente/medizin-medizintechnik.html">www.rubitec-patente.de/patente/medizin-medizintechnik.html</a>).</li> </ul>		
Kalium (Kalisalze)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kaliumpräparate werden bei kaliummangelbedingten Krankheiten wie Herzrhythmusstörungen, Bluthochdruck, Verstopfungen, Ödemen, Muskelschwäche, Krämpfen, Ermüdungs- und Erschöpfungszuständen verordnet (vgl. <a href="http://www.qualimed.de/kalium.html">www.qualimed.de/kalium.html</a>).</li> </ul>		
Kupfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kupfersulfat dient als wirksames Brechmittel (<a href="http://www.novamex.de/nnb/vitaminspur/Spurenelemente/spurkupf.html">http://www.novamex.de/nnb/vitaminspur/Spurenelemente/spurkupf.html</a>).</li> </ul>		
Lanthan			<ul style="list-style-type: none"> <li>Lanthan wird in einer Legierung mit Titan für Operationsbestecke verwendet, da es korrosionsvermeidend und gut sterilisierbar ist.</li> </ul>
Lithium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lithiumsalze wirken hervorragend bei Depressionen. Sie werden in großem Umfang eingesetzt.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Lithiumbatterien werden in der Medizintechnik in Herzschrittmachern eingesetzt. Die Feststoffbatterien halten bis zu zehn Jahre.</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Magnesium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnesium wird bei Krämpfen der Wadenmuskulatur bei Kopfschmerzen, Verstopfung, Fettsucht, Leber- und Gallenleiden sowie Blutstauungen als Medikament und als Nahrungsergänzungsmittel angewendet (vgl. <a href="http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Magnesium">www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Magnesium</a>).</li> </ul>		
Mangan		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manganverbindungen (Mangan-DPDP) werden zur Identifizierung von Tumoren und Metastasen als Kontrastmittel für die Leber und die Bauchspeicheldrüse eingesetzt (vgl. <a href="http://www.thieme-connect.com/ejournals/abstract/radu2d/doi/10.1055/s-2006-925412;jsessionid=5A50F1C808E1FFE0F1FB880571E49277.jvm3">http://www.thieme-connect.com/ejournals/abstract/radu2d/doi/10.1055/s-2006-925412;jsessionid=5A50F1C808E1FFE0F1FB880571E49277.jvm3</a>).</li> </ul>	
Molybdän		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mo99-Tc99m wird häufig in der diagnostischen Nuklearmedizin verwendet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Molybdän wird in Form von Chrom-Cobalt-Molybdän-Legierungen in der Zahnprothetik verwendet (Teleskopkronen). Die Legierungen sollten mindestens 25 Gewichtsprozent Cr und 4 Gewichtsprozent Mo enthalten (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>
Natrium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natriumsalze werden vor allem als Infusionslösungen verwendet.</li> </ul>		
Nickel			<ul style="list-style-type: none"> <li>Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) finden bei kieferorthopädischen Drähten ("Nitinol-Draht") und Wurzelkanalinstrumenten Verwendung (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Niob			<ul style="list-style-type: none"> <li>Niob findet sich als Legierungsmetall in der Zahnprothetik (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>
Osmium			<ul style="list-style-type: none"> <li>Osmium wird in einer Legierung mit Platin (10 % Osmium, 90 % Platin) für Herzklappen verwendet. Auch in Herzschrittmachern ist diese Legierung enthalten (vgl. <a href="http://www.goldseiten.de/content/wissen/info-osmium.php">http://www.goldseiten.de/content/wissen/info-osmium.php</a>)</li> </ul>
Palladium			<ul style="list-style-type: none"> <li>Als provisorischer, festsitzender Zahnersatz ("Langzeitprovisorium") werden Silberlegierungen eingesetzt, die als Legierungsmetall häufig Palladium führen (AgPd). Aufgrund des hohen Weltmarktpreises ist der Palladiumeinsatz aber nicht mehr wirtschaftlich (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> <li>Palladium wird in Legierungen für künstliche Gelenke eingesetzt</li> </ul>
Platin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Platin wird vor allem in Form von Cis-Platin als eines der wichtigsten zellteilungshemmenden Medikamente (Zytostatika) zur Behandlung von Krebserkrankungen eingesetzt, obwohl es erhebliche Nebenwirkungen hat (vgl. <a href="http://www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca04-02/hucke.html">www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca04-02/hucke.html</a>). Cis-Platin wird auch beim malignen Melanom in der Chemotherapie verwendet</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Platin wird in einer Legierung mit Osmium (10 % Osmium, 90 % Platin) für Herzklappen verwendet. Auch in Herzschrittmachern soll diese Legierung enthalten sein (vgl. <a href="http://www.goldseiten.de/content/wissen/info-osmium.php">http://www.goldseiten.de/content/wissen/info-osmium.php</a>)</li> </ul>
Promethium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Promethium in der medizinischen Diagnostik, jedoch unsicher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promethium wurde früher als Energiequelle für Herzschrittmacher verwendet (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/JB05_BIV.pdf">www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/JB05_BIV.pdf</a>)</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Quecksilber	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quecksilberverbindungen werden als Haut- und Schleimhautdesinfizienten eingesetzt (vgl. <a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz in Thermometern als Ausdehnungsflüssigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silberamalgame sind eine Legierung aus Quecksilber, Silber und Zinn, welche für Zahnfüllungen verwendet wird. In 2000 wurden in Deutschland schätzungsweise 20 t Amalgam verarbeitet (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>
Rhenium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhenium-186-HEDP wird als Radiopharmaka zur Schmerztherapie bei Skelettmetastasen zur Behandlung entzündlicher Gelenkerkrankungen (Radiosynoviothese) eingesetzt (vgl. <a href="http://www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a>)</li> <li>• Rhenium-188 wird bei der Verengungen von Blutgefäßen (endovaskulären Brachytherapie) eingesetzt (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>)</li> </ul>	
Rhodium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhodium und Iridiumverbindungen sind als Zytotoxika für die Krebsbehandlung patentiert. Diese Rhodium-Komplexe zeigten bei den untersuchten Zelllinien (Brust- und Darmkrebs) bis zu 100fach höhere Zytotoxizität als Cis-Platin (vgl. <a href="http://www.rubitec-patente.de/patente/medizin-medizintechnik.html">www.rubitec-patente.de/patente/medizin-medizintechnik.html</a>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhodium-106 wird zur Therapie von Augentumoren verwendet (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>)</li> </ul>	
Ruthenium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruthenium-106 wird zur Therapie von Augentumoren verwendet (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>)</li> </ul>	

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Samarium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Samarium-153 wird als Radiopharmaka zur Schmerztherapie bei Skelettmetastasen verwendet (vgl. <a href="http://www.hm.ulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hm.ulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a>)</li> </ul>	
Selen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selen findet sich in einer Reihe von Medikamenten gegen Hauterkrankungen. Es wird als therapieunterstützendes Medikament bei der Behandlung der Kleienpilz- und Schuppenflechte angewandt (vgl. <a href="http://www.onmeda.de/lexika/naehrstoffe/spurenelemente/selen.html">www.onmeda.de/lexika/naehrstoffe/spurenelemente/selen.html</a>)</li> <li>• Selen oder Selenverbindungen sollen Nebenwirkungen von Chemo- und Strahlentherapien mindern (vgl. <a href="http://www.medizin-2000.de/news/2002/selenmangel.html">www.medizin-2000.de/news/2002/selenmangel.html</a>)</li> <li>• Selen wird auch in Nahrungsergänzungsmitteln (Vitamin-tabletten) verwendet, da es Herz- und Kreislauf-leiden entgegenwirkt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selen findet in Antischuppen-Shampoos Verwendung</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Silber	<ul style="list-style-type: none"> <li>Silberverbindungen werden als Haut- und Schleimhautdesinfizienten eingesetzt (<a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Silberbromid ist der licht- u. röntgenempfindliche Bestandteil von Röntgenfilmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Silberamalgame sind eine Legierung von Quecksilber, Silber und Zinn, welches für Zahnfüllungen verwendet wird. In 2000 wurden schätzungsweise 20 t Amalgam in Deutschland verarbeitet (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> <li>Silberlegierungen, meist in Legierung mit Palladium (AgPd), wurden als provisorischer, festsitzender Zahnersatz ("Langzeitprovisorium") verwendet. Aufgrund des hohen Weltmarktpreises ist der Palladiumeinsatz aktuell nicht wirtschaftlich (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> <li>Silber in nanoskaliger Form wird zunehmend für Wundverbände und Pflaster eingesetzt, da es keimtötend ist (vgl. <a href="http://wound.smith-nephew.com/at/node.asp?NodId=3242">http://wound.smith-nephew.com/at/node.asp?NodId=3242</a>)</li> <li>Silber in nanoskaliger Form wird möglicherweise auch für Keramiken und Beschichtungen in Krankenhäusern verwendet werden können, da es in dieser Form keimtötend ist</li> <li>Silberbeschichtete Kleidung wird auch für Neurodermitiker verwendet</li> <li>Silber als Metallfolie wird bei Verbrennungen eingesetzt</li> </ul>



Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Strontium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strontium-90 wird in der Strahlentherapie als radioaktiver Strahler verwendet, unter anderem bei Verengungen von Blutgefäßen (Teletherapie und Brachytherapie). Strontium-89-Chlorid wird als Radiopharmaka zur Schmerztherapie bei Skelettmastasen eingesetzt (vgl. <a href="http://www.hmuv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hmuv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a>, <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>)</li> <li>• Früher wurden Kontaktstrahler mit radioaktivem Strontium-Yttrium zur Strahlentherapie von Angiomen verwendet. Hierbei traten jedoch starke Nebenwirkungen auf, vor allem bei Kindern in den Gelenkfugen</li> </ul>	
Tantal			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tantal wird in größerem Umfang für Implantate (Knochennägel, Gelenkimplantaten, Klammern, Schrauben, ggf. Stents) eingesetzt (vgl. <a href="http://www.bvmed.de/innovationspool/Produktarten/Implantate/innovation/Hueftpfannenkomponente_aus_Material_mit_knochenaehnlicher_Struktur.html">http://www.bvmed.de/innovationspool/Produktarten/Implantate/innovation/Hueftpfannenkomponente_aus_Material_mit_knochenaehnlicher_Struktur.html</a>, <a href="http://www.rohstoffwelt.de/news/artikel.php?sid=4004">http://www.rohstoffwelt.de/news/artikel.php?sid=4004</a>)</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Technetium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Antimonsulfid-[99mTc]-Technetium-Lösung wird in der Nuklearmedizin als kolloidale Lösung zur Darstellung von Leber, Milz und Knochenmark sowie zur Lymph-Szintigraphie verwendet. Es ist das am häufigsten verwendete Radionuklid in der Nuklearmedizin (vgl. <a href="http://www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3">www.hmulv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=1b72ab7a9fae17490fb40b77fa0a9ed3</a> und <a href="http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm">www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2000-10/titel.htm</a>)</li> </ul>	
Thallium		<ul style="list-style-type: none"> <li>Thallium-201 wird in der Herz- und Tumordiagnostik verwendet</li> </ul>	

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Titan			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titan wird in großem Umfang für Implantate verwendet, da es keine immunologischen Reaktionen hervorruft. In der chirurgischen Orthopädie wird es in Hüftendoprothesen, Hüftköpfe und Kniegelenke eingesetzt. In der Mittelohrchirurgie wird es als Material für Gehörknöchelchenersatz-Prothesen und für Paukenröhrchen verwendet</li> <li>• Titan wird in einer Legierung mit Lanthan für Operationsbestecke verwendet, da es korrosionsvermeidend und gut sterilisierbar ist</li> <li>• Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) finden bei kieferorthopädischen Drähten ("Nitinol-Draht") und Wurzelkanalinstrumenten Verwendung (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>).</li> <li>• Titan wird für Zahnimplantate und Implantathilfsteile, Wurzelstifte und festsitzenden Zahnersatz verwendet (Kronen, Brücken, vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> <li>• Titan wird als Substitut bei Allergiereaktionen auf Legierungsmetalle in Brillengestellen. Titan bewirkt keine Kontaktallergien</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Yttrium		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yttrium-90 wird bei Radiotherapien und Radioimmuntherapien maligner Tumore eingesetzt (z.B. bei Leber- und Darmkrebs)</li> <li>• Die Radiosynoviorthese (RSO) mit dem <math>\beta</math>-strahlenden Nuklid Yttrium-90 ist ein etabliertes Verfahren zur lokalen Therapie entzündlich-rheumatischer Erkrankungen der Gelenke</li> <li>• Yttrium-90 wird in Verbindung mit Indium-111 bei non-Hodgin's Lymphome zur Strahlendiagnostik verwendet (vgl. <a href="http://www.zevalin.ch/pages/index.cfm?dom=1003&amp;prub=1255&amp;p=1">http://www.zevalin.ch/pages/index.cfm?dom=1003&amp;prub=1255&amp;p=1</a>)</li> <li>• Yttrium-90 wird bei der Behandlung von Verengungen von Blutgefäßen (endovaskuläre Brachytherapie) eingesetzt (vgl. <a href="http://www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html">www.bfs.de/de/bfs/presse/pr02/pr0228.html</a>)</li> </ul>	
Zink	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zink wird vielfach als Nahrungsergänzungsmittel verwendet, da es für zahlreiche biochemische Prozesse relevant ist</li> <li>• Zink ist ein wichtiges Mittel zur Behandlung von Hauterkrankungen (vgl. <a href="http://www.om-praxis.net/orthomolekular/b-erstinforstinfo_seitschek.html">www.om-praxis.net/orthomolekular/b-erstinforstinfo_seitschek.html</a>)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zink wird in Sonnenschutzcremes eingesetzt</li> <li>• In der Orthopädie werden Zinkleinverbände verwendet</li> <li>• Zinkperoxid wird als Desinfektionsmittel verwendet</li> </ul>
Zinn			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silberamalgam ist eine Legierung von Quecksilber, Silber und Zinn, welches für Zahnfüllungen verwendet wird. In 2000 wurden schätzungsweise 20 t Amalgam in Deutschland verarbeitet (vgl. <a href="http://www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm">www.zahnwissen.de/frameset_lexi.htm</a>)</li> </ul>

Metall	Medikamente (M)	Diagnostik (D) / Strahlentherapie (S)	Prothetik (P) und sonstiges (S)
Zirkon			<ul style="list-style-type: none"><li>• Zirkonoxid wird für Gehör-, Finger- und Hüftendoprothesen sowie Hüftgelenkprothesen verwendet.</li><li>• Zirkonoxid wird in der Dentaltechnik für Stifte, Implantate und Kronen- und Brückenversorgungen eingesetzt (vgl. <a href="http://www.schoenheit-und-medizin.de/zaehne/zahnersatz/implantate-zirkonoxid.html">http://www.schoenheit-und-medizin.de/zaehne/zahnersatz/implantate-zirkonoxid.html</a>)</li></ul>

## 10.4 Anhang 4 – Thematische Überblicke über dissipative Verwendung und feinverteilten Einsatz von Metallen

Im Rahmen des Screenings (vgl. Kap. 2.2.6) wurden dissipative Verwendungen und feinverteilte Einsätze entlang verschiedener Produktgruppen bestimmt und in den folgenden Tabellen zusammengestellt. In zahlreichen Fällen liegen keine Daten vor. Es ist zudem davon auszugehen, dass diese Zusammenstellung nicht vollständig ist und weiterführende Untersuchungen auch weitere dissipative Verwendungen etc. offenlegen würden.

### Stähle, Carbide und Oberflächenbeschichtungen

Die Stahlindustrie setzt zahlreiche Metalle zur Herstellung von Spezialstählen ein. Die wichtigsten Legierungsmetalle sind Chrom, Cobalt, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Vanadium, Bismut und Wolfram (Carbide). Rhenium wird in geringerem Umfang zur Herstellung von Spezialstählen eingesetzt. Magnesium wird zur Entschwefelung in größerem Umfang eingesetzt.

Tab. 10-6: Einsatz von Metallen als Zusatzstoffe bei der Herstellung von Stahllegierungen<sup>55</sup> (2007), bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Die erläuternden Begriffe, die hinter den Prozentzahlen angeführt sind, beschreiben den Einsatz so genau als möglich und sind daher nicht systematisch begründet

Metall	Einsatz weltweit	Einsatz in den USA
Chrom	93% Stahlherstellung (Angerer et al. 2008)	
Cobalt	30 % Stahlherstellung; 11 % Hartmetalle (Schneidwerkzeuge) (Angerer et al. 2008)	45 % Stahlherstellung (Flugzeuggas-turbinen); 14 % Metallprodukte, 9 % Carbide (Schneidwerkzeuge)
Magnesium		10 % Stahlherstellung
Mangan		44 % Stahlherstellung
Molybdän		81 % Stahlherstellung
Nickel		86 % Stahlherstellung; 10 % Vernickelung
Niob		100 % Stahlherstellung

<sup>55</sup> In der Metallurgie werden Legierungen als Gemenge mit metallischem Charakter bezeichnet, die aus zwei oder mehr Elementen bestehen, von denen mindestens eines Metall ist. Stähle sind deshalb Legierungen genauso wie Bronzen (Kupferlegierungen) oder Carbide (Gemenge von Kohlenstoff und Metall). Vielfach werden einzelne Legierungsbestandteile auch als Additive bezeichnet wenn sie in geringen Mengen beigelegt werden um spezifische Eigenschaften der Legierung zu erreichen.

Metall	Einsatz weltweit	Einsatz in den USA
Rhenium		60 % Stahlherstellung (Turbinenstähle)
Vanadium		91 % Stahlherstellung
Bismut		47 % Stahladditive
Wolfram		50 % Carbide; 50 % Sonstiges

Quelle: USGS (2008)

Darüber hinaus werden verschiedene Metalle in Form von Legierungen, Beschichtungen, Gussstücken oder Produktionshilfsmitteln in der Metallindustrie eingesetzt (Tab. 10-7).

Tab. 10-7: Einsatz von Metallen zur Herstellung von Legierungen (inkl. Stahllegierungen) und zur Oberflächenbeschichtung, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Daten für 2007 sofern nicht anders angegeben

Metall	Einsatz weltweit	Einsatz in den USA
Cadmium		7 % Beschichtungen
Magnesium		43 % Al-Mg-Legierungen (Verpackungen, Kraftfahrzeuge u.a.); 37 % Gussstücke;
Seltene Erden		20 % Legierungen (2006)
Strontium		10 % Legierungen; 6 % Zinkherstellung
Titan		76 % Luft- und Raumfahrt; 24 % Sonstiges
Zink		55 % Galvanisierung, 21 % Legierungen, 16 % Messing und Bronzen
Zinn	18 % Weißblech; 6 % Legierungen (Angerer et al. 2008)	26 % Dosen und Verpackungen, 10 % Konstruktion; 10 % Verkehrswesen

Quelle: USGS (2008)

## Katalysatoren

Zahlreiche Metalle werden als Katalysatoren eingesetzt. Hierbei sind jedoch zwei unterschiedliche Nutzungen zu unterscheiden. Zum einem gibt es Katalysatoren, die in großtechnischen Produktionsanlagen (Erdölindustrie, chemische Industrie, Rauchgasreinigung) genutzt werden. Diese werden aufgrund des Metallgehalts und des Wertes des Katalysators üblicherweise einem Recycling zurückgeführt. Zum anderen gibt es

Massenprodukte wie z.B. Automobilkatalysatoren, in denen zwar nur geringe Mengen der Metalle eingesetzt werden, die aber in sehr großen Stückzahlen hergestellt werden. In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen identifizierten Metalle aufgeführt (Tab. 10-8).

Tab. 10-8: Einsatz von Metallen in Katalysatoren, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsdatum 2007 sofern nicht anders angegeben.

Metall	Einsatz weltweit	Einsatz in den USA
Cäsium	Hydrierungskatalysatoren	
Cer	Einsatz in Autokatalysatoren	
Cobalt	11 % Katalysatoren	
Germanium	15 % Polymerkatalysatoren	
Iridium	Katalysatoren (unter anderem Chlor-Alkalielektrolyse)	
Lanthan	Stabilisierung von Zeolithkatalysatoren der Erdölindustrie	
Palladium	Hydrierungskatalysatoren (Fetthärtung)	
Platin	88 t Schmuck; 78 t Kfz-Katalysatoren (2002) (Wilburn o.J.: S.67)	
Rhenium		20 % Katalysatoren der Erdölindustrie
Rhodium	85 % für Autokatalysatoren (Lenntech o.J.)	
Ruthenium	Katalysator zur Entfernung von H <sub>2</sub> S in Erdöl, zur Herstellung von Ammoniak oder Essigsäure	
Samarium	Katalysator zur Ethanolumwandlung	
Seltene Erden		25 % Kfz-Abgaskatalysatoren; 22 % Erdölindustrie / Katalysatoren (2006)
Silber	5 % Katalysatoren (2007) (Fortis 2008)	
Tellur	Katalysatoren für die Gummiindustrie	
Vanadium		9 % Sonstiges (Katalysatoren für Schwefel- und Maleinsäure)

Quelle: USGS (2008)



## Metallverbrauch durch Nutzung

Einige Metalle werden unter anderem durch die Nutzung von Produkten verbraucht<sup>56</sup>, teils mit direktem Eintrag in die Biosphäre. Hierbei handelt es sich – in Form von Salzen – um Natrium, das in Waschmitteln eingesetzt wird, um Kalium, das in der Landwirtschaft in großem Umfang eingesetzt wird<sup>57</sup>, sowie um Strontium für die Pyrotechnik. Auch Kupfersulfat oder Silbernitrat (Wasserdesinfektion) werden direkt in die Biosphäre eingebracht, doch diese Nutzungen haben eine sehr untergeordnete Bedeutung im Verhältnis zur gesamten Produktionsmenge des jeweiligen Metalls. Ein Sonderfall ist auch der Einsatz von Aluminium als Verpackungsmaterial (Aluminiumfolie). Ca. 22 % der Verwendung von Aluminium in den Vereinigten Staaten wird als Verpackungsmaterial genutzt. Einige quantifizierbare Nutzungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (Tab. 10-9).

Tab. 10-9: Einsatz ausgewählter Metalle mit dissipativer Nutzung und Verbrauch, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten. Datenbasis für die Vereinigten Staaten, bezogen auf das Jahr 2007

Metall	Einsatz in den USA
Aluminium	22 % für Verpackungsmaterial
Kalium	85 % Düngemittel (Kaliumcarbonat)
Natrium	Natriumsulfat : 46 % Seifen und Detergentia; 13 % Papierherstellung; 13 % Textilherstellung; 12 % Gläser; 7 % Teppich-Reiniger, 11 % sonstiges (USGS 2008) Natriumcarbonat : 50 % Glasherstellung; 29 % Chemikalien; 9 % Seifen und Detergentia; 4 % Nahrung; 3 % sonstiges; 2 % Papierherstellung; 1 % Wasserbehandlung
Strontium	43 % Pyrotechnik (Strontiumsalze)

Quelle: USGS (2008)

## EuE-Produkte

Neben dem Bau- und Verkehrswesen sowie dem Maschinenbau werden in Elektro- und Elektronikprodukten der größte Teil der Metalle eingesetzt. In den vergangenen Jahren stiegen die Anforderungen in Bezug auf Funktionen und Miniaturisierung zunehmend, und gleichzeitig wurden immer mehr Metalle in die Produktion einbezogen. Heute finden sich nahezu alle Metalle in den EuE-Produkten (vgl. Kap. 3.1). Wegen der Vielfalt der EuE-Produkte, der auf globaler Ebene unzureichenden Rezyklierung dieser Produkte sowie der geringen Mengen, in denen die Metalle in den EuE-Produkten vorkommen, handelt es sich hierbei um eine dissipative Nutzung. Es zeigen

<sup>56</sup> Diese Einsatzweise beschreibt die dissipative Produktnutzung im engeren Sinne (s. Kap. 2.2.6).

<sup>57</sup> Weitere in der Landwirtschaft eingesetzte Metalle sind Kupfer und Zink.

sich jedoch auch deutliche Schwerpunkte beim Einsatz der Metalle in diesem Bereich. In der folgenden Tabelle sind relevante Nutzungen aufgeführt. Hierbei wurden jedoch nur Metalle aufgenommen, zu denen auch Daten zum sektorenbezogenen Einsatz vorlagen. Es ist davon auszugehen, dass weitaus mehr Metalle hier hinzuzurechnen sind. Eine vertiefte Untersuchung des Bereichs EuE wurde in einem späteren Schritt durchgeführt, deren Ergebnisse in Kap. 3.1 zusammengefasst sind.

Tab. 10-10: Dissipative Nutzung von Metallen in EuE-Produkten, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben.

Metall	Einsatz in den USA	Einsatz weltweit
Antimon	40 % feuerhemmende Mittel	75 % Flammschutzmittel (Angerer et al. 2008)
Beryllium	50 % für IuK-Produkte; 50 % für Luftfahrt, Militär, Automobilelektronik und anderes	
Bismut	34 % schmelzbare Legierungen	
Cadmium	83 % für Batterien; 7 % Kunststoffstabilisierer	
Cobalt		22 % Batterien; 7 % Magnete (Angerer et al. 2008)
Gallium	66 % für IC; 20 % Optoelektronik (unter anderem LED, PV, Laser-Dioden)	
Germanium	50 % Infrarotanwendungen; 30 % Glasfaseranwendungen; 15 % Elektronik und PV	35 % Glasfaseranwendungen; 30 % Infrarotanwendungen; 15 % Elektronik und PV (USGS 2008).
Gold	6 % Elektroindustrie	
Indium	70 % Beschichtungen (zumeist LCD); 12 % EuE-Bauteile (inkl. PV); 12 % Lötmittel und Legierungen	84 % ITO-Beschichtungen (zumeist LCD); 2 % Halbleiter und elektronische Komponenten; (Angerer et al. 2008)
Kupfer	19 % Elektrik (sowohl Kupfer als auch Legierungen)	EuE USA 25 %, EuE Europa 38 %, EuE Asien 50 %; (Angerer et al. 2008)
Platin		11,8 t EuE (2002) (Wilburn o.J., 67)
Selen		12 % Elektronik und Kopiertechnik (2003) (Matons / George 2005)
Seltene Erden	10 % Leuchtstoffe; 10 % Magnete; 3 % Medizin und Laser (2006)	
Silber		22 % Elektrik und Elektronik (2007) (Fortis 2008)
Strontium	26 % Eisenoxid-Keramik-Magnete	
Tantal		50-60 % EuE bzw. Kondensatoren (TIC o.J., USGS 2008)
Yttrium	84 % Lampen und Kathodenstrahlröhren (Bildröhren); 7 % Elektronik	
Zinn	24 % Elektrik	50 % Lote (Angerer et al. 2008)

Quelle: USGS (2008)

## Pigmente, Füllstoffe, Kunststoffstabilisierer und chemische Industrie

Einige Metalle wie Antimon, Cadmium, Cobalt und Strontium werden im großen Umfang für die Herstellung von Pigmenten, als Füllstoffe für Kunststoffe oder als Stabilisierer für Kunststoffe genutzt. Zu anderen bekannten Füllstoffen wie Bariumsulfat, Magnesiumsulfat, Natriumsulfat und Zinkverbindungen liegen keine Daten vor. Darüber hinaus werden verschiedene Metalle in der chemischen Industrie in großem Umfang eingesetzt. In Pigmenten finden sich zudem Cer, Chrom, Erbium, Lanthan, Rubidium, Scandium und Tellur. Einige Nutzungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (Tab. 10-11).

Tab. 10-11: Pigmente, Kunststoffstabilisierer und chemische Nutzungen der Metalle, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben

Metall	Einsatz in den USA	Einsatz weltweit
Antimon	40 % feuerhemmende Mittel; 14 % Chemikalien	75 % Flammschutzmittel (Angerer et al. 2008)
Cadmium	8 % für Pigmente; 7 % Kunststoffstabilisierer	
Cobalt	32 % Chemikalien	9% Pigmente; 8% Chemikalien
Selen		20% Chemikalien und Pigmente (2003) (Matons / George 2005)
Strontium	7 % Pigmente und Füllstoffe	
Titan	57 % Farben; 26 % Kunststoffe (Farben); 13 % Papier (weißer Füllstoff) (TiO <sub>2</sub> )	
Bismut	18 % Chemie und Pharmazie	
Zinn		14 % Chemikalien (Angerer et al. 2008)

Quelle: USGS (2008)

## Glasindustrie

Die Glasindustrie ist ein wichtiger Abnehmer von Metalloxiden. Der wichtigste Glasbildner ist Siliziumdioxid, dem verschiedene Metalloxide zugesetzt werden, um spezifische Eigenschaften der Gläser zu erhalten. In den Frontgläsern von Bildröhren werden beispielsweise größere Mengen von Bleioxiden oder Strontiumoxid verwendet. Weitere Oxide, vor allem in Spezialgläsern eingesetzt, sind diejenigen von Gallium und Samarium. Für Glasuren werden unter anderem Lithiumverbindungen eingesetzt. Bei der Glasherstellung werden große Mengen an Natriumcarbonat und Scandiumoxid eingesetzt. Als Glasreiniger, zum Polieren, werden Seltene Erden eingesetzt.

Tab. 10-12: Einsatz ausgewählter Metalle in der Glasindustrie, bezogen auf den gesamten Einsatz des Metalls weltweit bzw. in den Vereinigten Staaten. Bezugsjahr: 2007, sofern nicht anders angegeben

Metall	Einsatz weltweit	Einsatz in den USA
Antimon		11 % Keramik und Glas
Bleioxid	bis vor einiger Zeit hoher Anteil an der Bleiverwendung	
Selen	35 % Glasherstellung (2003) (Matons / George 2005)	
Seltene Erden		11 % Glasreiniger und Keramik (2006)
Strontium		2005 noch wichtigste Strontiumverwendung für Gläser

Quelle: USGS (2008)

### Schmuck und Dentalbedarf

Die Edelmetalle werden in großem Umfang in der Schmuckindustrie sowie im Dentalbereich genutzt. Hierbei handelt es sich vor allem um Silber, Gold und Platin. Allerdings wird auch Quecksilber in Amalgamlegierungen in größeren Mengen eingesetzt. In der folgenden Tabelle sind die vorliegenden Werte zusammengefasst (Tab. 10-13).

Tab. 10-13: Metalle in der Schmuckindustrie, wo möglich bezogen auf die gesamte Verwendung des Metalls in den Vereinigten Staaten bzw. weltweit. Bezugsjahr 2007 soweit nicht anders angegeben.

Metall	Einsatz in den USA	Einsatz weltweit
Gold	84 % Schmuck; 10 % Dentalbedarf und anderes	
Platin		88 t Schmuck; (2002) (Wilburn, o.J, 67)
Silber		31 % Schmuck und Silberwaren; 1 % Münzen (2007) (Fortis 2008)

Quelle: USGS (2008)