



Kritische Rohstoffe für Deutschland

„Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“

Im Auftrag der KfW Bankengruppe

Anhang zum Abschlussbericht

Lorenz Erdmann

Siegfried Behrendt

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

Moira Feil

adelphi, Berlin

Berlin, den 30. September 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Datenblätter für das Screening	7
1.1	Aluminium (Al)	8
1.2	Antimon (Sb)	9
1.3	Baryt	10
1.4	Bauxit	11
1.5	Bentonit	12
1.6	Beryllium (Be)	13
1.7	Bismut (Bi)	14
1.8	Blei (Pb)	15
1.9	Borat	16
1.10	Chrom (Cr)	17
1.11	Cobalt (Co)	18
1.12	Diamant	19
1.13	Diatomit	20
1.14	Eisen (Fe)	21
1.15	Flussspat	22
1.16	Gallium (Ga)	23
1.17	Germanium (Ge)	24
1.18	Gips	25
1.19	Glimmer	26
1.20	Graphit	27
1.21	Hafnium (Hf)	28
1.22	Ilmenit und Rutil	29
1.23	Indium (In)	30
1.24	Kalk	31
1.25	Kaolin	32
1.26	Kupfer (Cu)	33
1.27	Lithium (Li)	34
1.28	Magnesit	35
1.29	Magnesium (Mg)	36
1.30	Mangan (Mn)	37

1.31	Molybdän (Mo)	38
1.32	Nickel (Ni).....	39
1.33	Niob (Nb).....	40
1.34	Palladium (Pd).....	41
1.35	Perlit und Vermiculit	42
1.36	Phosphat	43
1.37	Platin (Pt).....	44
1.38	Rhenium (Re).....	45
1.39	Selen (Se)	46
1.40	Seltene Erden.....	47
1.41	Silber (Ag)	48
1.42	Silicium (Si)	49
1.43	Strontium (Sr).....	50
1.44	Talk und Speckstein	51
1.45	Tantal (Ta).....	52
1.46	Tellur (Te).....	53
1.47	Titan (Ti).....	54
1.48	Vanadium (V)	55
1.49	Wolfram (W)	56
1.50	Zink (Zn).....	57
1.51	Zinn (Sn).....	58
1.52	Zirkon	59
2	Rohstoffprofile	60
2.1	Antimon	61
2.1.1	Verwendung und Nachfrage.....	61
2.1.2	Vorräte und Angebot	63
2.1.3	Marktstruktur und -dynamik.....	66
2.1.4	Materialeffizienz	69
2.2	Gallium	71
2.2.1	Verwendung und Nachfrage.....	71
2.2.2	Vorräte und Angebot	73
2.2.3	Marktstruktur und -dynamik.....	74
2.2.4	Materialeffizienz	77
2.3	Germanium.....	79

2.3.1	Verwendung und Nachfrage.....	79
2.3.2	Vorräte und Angebot	81
2.3.3	Marktstruktur und -dynamik.....	84
2.3.4	Materialeffizienz	86
2.4	Indium	89
2.4.1	Verwendung und Nachfrage.....	89
2.4.2	Vorräte und Angebot	91
2.4.3	Marktstruktur und -dynamik.....	93
2.4.4	Materialeffizienz	95
2.5	Kupfer.....	97
2.5.1	Verwendung und Nachfrage.....	97
2.5.2	Vorräte und Angebot	99
2.5.3	Marktstruktur und -dynamik.....	102
2.5.4	Materialeffizienz	104
2.6	Molybdän.....	107
2.6.1	Verwendung und Nachfrage.....	107
2.6.2	Vorräte und Angebot	109
2.6.3	Marktstruktur und –dynamik.....	111
2.6.4	Materialeffizienz	114
2.7	Niob.....	116
2.7.1	Verwendung und Nachfrage.....	116
2.7.2	Vorräte und Angebot	118
2.7.3	Marktstruktur und –dynamik.....	120
2.7.4	Materialeffizienz	122
2.8	Rhenium.....	124
2.8.1	Verwendung und Nachfrage.....	124
2.8.2	Vorräte und Angebot	125
2.8.3	Marktstruktur und -dynamik.....	127
2.8.4	Materialeffizienz	130
2.9	Seltene Erden.....	131
2.9.1	Verwendung und Nachfrage.....	131
2.9.2	Vorräte und Angebot	135
2.9.3	Marktstruktur und -dynamik.....	139
2.9.4	Materialeffizienz	143
2.10	Wolfram.....	146
2.10.1	Verwendung und Nachfrage.....	146
2.10.2	Vorräte und Angebot	148
2.10.3	Marktstruktur und -dynamik.....	150
2.10.4	Materialeffizienz	152

3	Governance-Indikatoren für ausgewählte Länder	154
4	Literaturverzeichnis	155
5	Liste der Interviews und persönlichen Mitteilungen	165
6	Abkürzungen und Glossar	166

1 Datenblätter für das Screening

1.1 Aluminium (Al)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,047	0,047	0,073	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010, Wilken 2011	Max: ohne Sekundärrohstoffe global
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,109	0,109	0,109	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,059	0,059	0,059	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Verkehr, Bau, EE, M&A, L&R; Kostenfaktor; Träger für Ga und V
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Leichtbau, IKT&EE
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,51	0,51	0,51	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Raffinade (unlegiert)	0,21	0,21	0,54	BGR RoSit 2010; EC 2010, OECD 2010; Weltbank 2010	Import 66 % GIN, 10,1 % GHA, 8,3 % BRA; SR Max: RUS wie für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Primärproduktion	0,14	0,14	0,36	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 33,8 % CHN, 9,7 % RUS, 8 % CAN; SR Max: wie CHI und RUS für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,58	0,58	0,58	USGS MCS 2010	Reserven vgl. Bauxit
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Raffinade	0,30	0,30	0,30	www.aluminiumleader.com 2011	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	173 a	173 a	173 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,34	0,27	0,44	EC 2010	Recyclingquote 35 %; Min: Verpackungen 0,3 statt 0,7; Max: Gebäude 0,7 statt 0,3

1.2 Antimon (Sb)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,085	0,085	0,095	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalte z.T. mit FOEN 2007
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,327	0,327	0,327	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,092	0,092	0,092	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Branchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Flammschutzmittel (Kunststoffe, Textil, Möbel, etc.), Antimonblei
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Kfz-Leichtbau, thermoelektrische Kfz-Generatoren
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,64	0,64	0,64	EC 2010	essentiell für manche Flammschutzmittel (Kunststoffe)
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Trioxid	0,40	0,40	0,40	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 41,7 % CHN, 27,1 % FRA, 23,1 % BEL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,76	0,76	0,76	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 91,4 % CHN, 1,8 % BOL, 1,8 % RUS
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,74	0,74	0,74	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 37,6 % CHN, 20 % THA, 16,7 % RUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,51	0,41	0,51	www.mmta.co.uk 2011	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	11 a	11 a	11 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	überwiegend Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,67	0,66	0,67	EC 2010	Recyclingquote 11 %; in Glas und in Pigment nahezu unmgl.

1.3 Baryt

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Baryt	0,053	0,053	0,053	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Baryt	0,102	0,102	0,102	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Baryt	0,219	0,219	0,219	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Strahlenschutz, Gewicht, Gas/Öl-Bohrungen, Medizin
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,94	0,94	0,94	EC 2010	essentiell für Gas/Öl-Bohrungen, Medizin
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Baryt	0,29	0,28	0,72	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 32 % AUT, 18,5 % CAN, 17,9 % CHN; Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Baryt	0,23	0,23	0,51	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 74,7 % CHN, 5,2 % RUS, 4 % CAN; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Baryt	0,62	0,62	0,62	USGS MCS 2010	Reserven 64,3 % CHN, 8,9 % RUS, 5 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Baryt	0,40	0,30	0,50	BGR 2007, BGR RoSit 2010	Sachtleben Bergbau 25 %, zuzüglich unbekannt (u.a. CHN, IND, USA)
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Baryt	21 a	21 a	22 a	USGS MCS 2010	Max: zzgl. 10 Mio t Reserven für BUL; IRN, KAZ, VNM
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Baryt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,72	0,72	0,98	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. in Gebäuden, Medizin, Gummi/Glas nahezu unmgl.; Max: Gas/Öl-Bohrungen 1 statt 0,7

1.4 Bauxit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Bauxit	0,015	0,008	0,015	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Min: ohne Aufbereitungsverluste nach Wellmer/Wagner (2006)
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Bauxit	0,411	0,411	0,411	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Bauxit	0,395	0,395	0,395	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Grundstoffindustrie
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	vgl. Aluminium
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,94	0,94	0,94	EC 2010	essentiell für Aluminium, kalzinierten Zement, Stahl
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Bauxit	0,27	0,27	0,27	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 66 % GIN, 10,1 % GHA, 8,3 % BRA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Bauxit	0,11	0,11	0,19	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 30 % AUS, 17,1 % CHN, 10,7 % BRA; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Bauxit	0,58	0,58	0,58	USGS MCS 2010	Reserven 27,4 % GIN, 23 % AUS, 7,8 % VNM
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Bauxit	0,40	0,40	0,40	BGR 2007, BGR RoSit 2010	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Bauxit	132 a	132 a	132 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Bauxit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	1,00	0,99	1,00	EC 2010	Recyclingquote 0 %; insb. in Aluminiumproduktion nahezu unmgl.

1.5 Bentonit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Bentonit	0,067	0,067	0,067	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Bentonit	0,081	0,081	0,081	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Bentonit	0,160	0,160	0,160	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	Bentonit	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Tiefbau, Füllmaterial, Reinigung
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	Bentonit	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	Bentonit	0,53	0,53	0,53	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Bentonit	0,09	0,09	0,09	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 41,4 % NLD, 14,3 % CZE, 13,4 % ITA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Bentonit	0,09	0,09	0,09	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 41,9 % USA, 8,1 % GRC, 7,7 % TUR
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Bentonit	0,58	0,58	0,58	USGS MCS 2010	k.A.; Annahme wie Weltproduktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Bentonit	0,65	0,60	0,70	BGR 2007, BGR RoSit 2010	Süd-Chemie und IKO-Minerales 58 %, zuzüglich unbekannt (u.a. USA, GRC, TUR)
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Bentonit	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Bentonit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,96	0,72	0,96	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in Gießereisand und Eisenerz-Pelletierung nahezu unmgl.; Min: Gießereisand und Eisenerz-Pelletierung 0,7 statt 1

1.6 Beryllium (Be)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,001	0,001	0,001	StaBuA 2011, USGS MCS 2010, ibc 2010	Europa verbraucht 150 t von 350 t 2011; keine Hinweise auf Produktion in D; Verbrauchsanteil formal 0,001
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Abfälle und Schrott	2,000	2,000	2,000	StaBuA 2011	unsicher Angabe, formale Schätzung
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Abfälle und Schrott	0,500	0,500	0,500	StaBuA 2011	unsicher Angabe, formale Schätzung
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010	High Tech (IKT, Automotive, L&R, M&A, Verteidigung), Cu-Legierung
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009	IKT, AKW, Leichtbau, Medizin, Spezialkeramik
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,79	0,75	0,95	ibc 2010	essentiell für Aerospace und Verteidigung Max: IKT 1 statt 0,7
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	alle Formen	0,21	0,21	0,54	StaBuA 2011, EC 2010, OECD 2010; Weltbank 2010	Import 100 % USA; SR Max: Annahme Restriktionen USA wegen Rüstung
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Minenproduktion Metall-Inhalt	0,14	0,14	0,64	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 89,3 % USA, 10,2 % CHN, 0,5 % MAR; SR Max: Restriktionen USA wegen Rüstung und CHN wie bei anderen Rohstoffen
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,80	0,70	0,90	USGS MCS 2010	Reserven 65 % USA; k.A. nur USA 15.900 t Be-Gehalt Reserven und 80.000 t Ressourcen
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall	1,00	0,90	1,00	OECD 2009	2-4 Anbieter weltweit
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	161 a	81 a	241 a	USGS MCS 2010	abhängig von Reserveschätzung
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	Max: nur Abbau von Beryll, ohne Nebenproduktextraktion
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,78	0,70	0,78	EC 2010	Recyclingquote 19 %; in Gummi/Plastik/Glas nahezu unmgl.

1.7 Bismut (Bi)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,122	0,122	0,136	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall, roh, inkl. Schrott	-0,356	-0,356	-0,356	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall, roh, inkl. Schrott	-0,292	-0,292	-0,292	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	Raja, B.V.R. 2009 (Global Bismut Metal Market)	Spezialchemikalien, Metall. Additive, Weichlote IKT
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	intensiv	sensitiv	ISI/IZT 2009	IKT, Thermoelektrische KfZ-Generatoren, HTS, neue AKW-Kühlmittel
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,58	0,58	0,68	Raja, B.V.R. 2009 (Global Bismut Metal Market)	essentiell für Medikamente Max: Metallurgie 0,7 statt 0,3
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall, roh, inkl. Schrott	0,12	0,12	0,22	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 36,5 % BEL, 21,3 % GBR, 19,3 % CHN; Recyclingquote 10 %, vermutlich alles reimportiert aus Pb-Produktion, SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Minenproduktion Metall-Inhalt	0,27	0,27	0,60	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 64,9 % CHN, 15,2 % MEX, 12,5 % PER; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,82	0,82	0,82	USGS MCS 2010	Reserven 75 % CHN, 3,4 % PER, 3,1 % jeweils MEX, BOL
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall	0,75	0,70	0,80	MCP Homepage 2011	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	42 a	42 a	42 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,68	0,65	0,86	eigene Schätzung	Max: Chemikalien 1 statt 0,7

1.8 Blei (Pb)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,042	0,042	0,094	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Max: ohne globales Recycling Gehalte z.T. nach Ayres et al. 2006 und FOEN 2007
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Raffinade (unleigert)	-0,048	-0,048	-0,048	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Raffinade (unleigert)	0,045	0,045	0,045	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	ILZG 2011 (End Uses of Lead), StaBuA 2010	Akkus, Strahlenschutz, Träger von Sb, Bi, In, Cd, Ge
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	AKW
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,91	0,89	0,94	ILZG 2011 (End Uses of Lead), Erdmann et al. 2004	essentiell für Starterbatterie
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,05	0,05	0,05	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 29,3 % SWE, 19,8 % AUS, 12,3 % IRL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,15	0,15	0,34	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 39,1 % CHN, 16,8 % AUS, 10,7 % USA; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,54	0,54	0,54	USGS MCS 2010	Reserven 29,1 % AUS, 15,2 % CHN, 9,7 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,19	0,19	0,19	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	21 a	21 a	21 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,13	0,12	0,16	eigene Schätzung	Recyclingquote 55 %; in Munition, Pigmenten und chemischen Verbindungen nahezu unmgl.

1.9 Borat

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Borat	0,001	0,001	0,001	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Borat	-0,447	-0,447	-0,447	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Borat	-0,431	-0,431	-0,431	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Glasfaser (Bausektor, IKT), Glas- und Keramik
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max: Bewertung von Glasfaser (Bausektor, IKT) als Zukunftstechnologie
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,72	0,72	0,72	EC 2010	essentiell für Glas, LaWi und Metallurgie
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Borat, auch kalziniert	0,18	0,18	0,18	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 48,3 % TUR, 37,6 % BEL, 6,7 % ARG
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Borat	0,15	0,15	0,15	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 31,5 % USA, 31,5 % TUR, 12,4 % ARG
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Borat	0,71	0,71	0,71	USGS MCS 2010	Reserven 30,3 % TUR, 20,2 % USA, 20,2 % RUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Borat	0,83	0,75	0,90	Rio Tinto Borax 2011	Rio Tinto Borax und Tinto Mines 75 % zuzüglich unbekannt
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Borat	31 a	31 a	39 a	USGS MCS 2010	Min: Reserven zzgl. BOL, CHN, KAZ und Produktionsmenge USA wie TUR
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Borat	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,88	0,85	0,89	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in Glas/Keramik nahezu unmgl.

1.10 Chrom (Cr)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,015	0,015	0,017	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,211	0,211	0,211	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,189	0,189	0,189	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	rostfreie Stähle , Chemie
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	hochkorrosionsfest Legierungen (offshore Wind, Meerwasserentsalzung, CCS, maritime Tech.)
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,97	0,97	0,97	EC 2010	essentiell für korrosionsfeste Stähle
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Ferrochrom	0,19	0,19	0,19	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 64,3 % ZAF, 17,5 % KAZ, 6,8 % NDL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,26	0,26	0,26	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 40,7 % ZAF, 16,4 % IND, 15,3 % KAZ
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,89	0,89	0,89	USGS MCS 2010	Reserven 45 % KAZ, 32,5 % ZAF, 11 % IND
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,50	0,50	0,50	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	17 a	15 a	17 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,32	0,31	0,32	EC 2010	Recyclingquote 13 %

1.11 Cobalt (Co)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,045	0,045	0,054	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Max: mit Aufbereitungsverlusten
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,338	0,338	0,338	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,213	0,213	0,213	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, Sta-BuA 2010	Katalyse, Elektrode, Akkus, Spezialstähle
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Li-Ionen-Akku, Hochwarme Legierungen
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,90	0,90	0,90	EC 2010	Li-Akkus und Metallurgie essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,05	0,05	0,05	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 21,9 % GBR, 16,5 % CAN, 15,8 % BEL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,21	0,21	0,21	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 40,8 % COD, 11,3 % CAN, 9,1 % ZMB
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,82	0,82	0,82	USGS MCS 2010	Reserven 51,5 % COD, 22,7 % AUS, 7,6 % CUB
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,16	0,16	0,16	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	87 a	87 a	87 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,58	0,33	0,61	EC 2010	Recyclingquote 16 %; Max: Batterien 0,7 statt 0,3

1.12 Diamant

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	0,003	0,003	0,007	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	-0,352	-0,352	-0,352	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	-0,343	-0,343	-0,343	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Schneidwerkzeug Bauwesen, M&A; Schmuck
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max: Bewertung von M&A als Zukunftstechnologie
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,00	0,00	0,00	USGS MYB 2010, USGS MCS 2010	synthetischer Diamant in DEU produziert
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	0,07	0,07	0,07	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 35,6 % GBR, 22 % BEL, 10,2 % NDL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	0,22	0,22	0,32	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 30,6 % COD, 20,8 % RUS, 20,8 % AUS; SR Max: wie RUS für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	0,63	0,63	0,63	USGS MCS 2010	Reserven: 25 % COD, 21,7 % BWA, 15,8 % AUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	0,83	0,75	0,90	MIT 2008	DeBeers und Alrosa 80 % zzgl. unbekannt
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	8 a	8 a	9 a	USGS MCS 2010	Max: zzgl. Reserven USA
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Diamant, natürlich (Industrie)	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,50	0,40	0,70	eigene Schätzung	unsichere generische Schätzung

1.13 Diatomit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Diatomit	0,022	0,022	0,022	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Diatomit	0,377	0,377	0,377	BGR RoSit 2008, 2010; USGS MYB 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Diatomit	-0,031	-0,031	-0,031	BGR RoSit 2008, 2010; USGS MYB 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Filtermittel
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,30	0,30	0,30	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Diatomit	0,10	0,10	0,10	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 43,2 % DNK, 17,9 % MEX, 15,3 % USA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Diatomit	0,11	0,11	0,21	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 34,7 % USA, 20 % CHN, 10,5 % DNK; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Diatomit	0,25	0,25	0,25	USGS MCS 2010	Reserven 13,6 % USA, 6 % CHN
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Diatomit	0,15	0,10	0,20	USGS MCS 2010	Schätzung; weit diversifiziert
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Diatomit	416 a	416 a	833 a	USGS MCS 2010	groß; Faktor 2 für unausgewiesene Reserven
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Diatomit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,83	0,83	0,83	EC 2010	Recyclingquote 0 %; als Zementadditiv nahezu unmgl.

1.14 Eisen (Fe)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,035	0,035	0,035	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	zzgl. Gehalte nach Ayres et al. 2006
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	-0,014	-0,014	-0,014	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	-0,036	-0,036	-0,036	BGR RoSit 2008, 2010	wenig relevant
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Verkehr, Bauwesen, M&A, EE; Kostenfaktor; Träger für Spezialstähle
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,70	0,70	0,70	EC 2010	Essentiell als Bau- und Konstruktionsmaterial
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,16	0,16	0,16	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 54,2 % BRA, 16,7 % CAN, 10,4 % SWE
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,16	0,16	0,16	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 37,1 % CHN, 16 % BRA, 15,4 % AUS
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,17	0,17	0,35	USGS MCS 2010	Reserven 18,8 % UKR, 15,6 % RUS, 13,8 % CHN
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Erz & Konz.	0,34	0,34	0,69	BGR 2007, BGR RoSit 2010, World Steel Association 2008	Max: Seehandel (Schmitz 2010)
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	72 a	72 a	72 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,30	0,24	0,38	EC 2010	Recyclingquote 22 %; Max: Rohre und Konstruktionsmaterial 0,7 statt 0,3 Min: Haushalte 0,3 statt 0,7

1.15 Flussspat

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Flussspat	0,068	0,068	0,068	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Flussspat	0,095	0,095	0,095	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Flussspat	0,155	0,155	0,155	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Fluorchemikalien, Flussmittel (Eisen und Stahl, Aluminium)
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max: Bewertung von Fluorchemikalien als Zukunftstechnologie
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,90	0,90	0,90	EC 2010	essentiell für Flusssäure (HF)
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Säurespat (ohne Hüttenspat)	0,28	0,28	0,28	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 36,1 % ZAF, 22,5 % NAM, 19,7 % CHN
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Flussspat	0,46	0,46	0,46	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 49,7 % CHN, 16,2 % MEX, 5,8 % MNG
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Flussspat	0,37	0,37	0,37	USGS MCS 2010	Reserven 14,6 % ZAF, 14,6 % MEX, 7,5 % CHN
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Flussspat	0,30	0,20	0,40	BGR 2007, BGR RoSit 2010	Sachtleben Bergbau 14 %, zuzüglich unbekannt (CHN, MEX)
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Flussspat	38 a	38 a	43 a	USGS MCS 2010	Max: Reserven zzgl. USA, RUS, MAR
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Flussspat	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	Max: Förderung beim Abbau von Phosphat und anderen Erzen
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,67	0,54	0,67	EC 2010	Recyclingquote 0 %; Min: Stahl und Aluminium mit 0,3 statt 0,7

1.16 Gallium (Ga)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,200	0,150	0,250	BGR RoSit 2010 USGS MCS 2010	Außenhandelsunsicherheit, Produktion nach Recapture Metals 2011 (Homepage)
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Ga-Raffinade	1,000	1,000	1,000	BGR RoSit 2008, 2010	nur Produktion angesetzt
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Ga, In, TI	0,103	0,103	0,103	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010	IKT&EE, L&R
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sehr sensitiv	sehr sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009	LED, IKT, PV
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,74	0,74	0,74	EC 2010	nur in F&E essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Ga, In, TI	0,08	0,08	0,08	BGR RoSit 2009 (2010); EC 2010, OECD 2010; Weltbank 2010	Import 40,1 % GBR, 15,7 % USA, 14,3 % SVK Recyclingquote 0 %
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Ga-Raffinade	0,14	0,14	0,31	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 33,8 % CHN, 25 % JPN, 6,8 % USA k.A., CHN und USA als Aluminium; JPN geschätzt; SR Max: wie CHN für andere Metalle
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Ga in Erz	0,58	0,58	0,58	USGS MCS 2010	k.A.; als Bauxit
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Ga-Raffinade	0,50	0,40	0,60	BGR 2007 / NN 2005; andere: Shandong Aluminium (CHI), Dowa Mining (JAP)	grobe Schätzung
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Ga in Erz	4576 a	4576 a	4576 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Ga in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,84	0,84	0,84	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in ICs nahezu unmgl.

1.17 Germanium (Ge)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,200	0,150	0,250	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Außenhandelsunsicherheit Produktion nach StaBuA 2010 geschätzt
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,240	0,240	0,240	StaBuA 2010, StaBuA 2011	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,180	0,180	0,180	StaBuA 2011	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	IR Optik (Sensorik), Glasfaserkabel
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sehr sensitiv	sehr sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Glasfaser, IKT, IR, PV, thermoelektrische KfZ-Generatoren
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,80	0,80	0,80	EC 2010	essentiell für Glasfaser
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,69	0,69	0,77	StaBuA 2011; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 82,8 % CHN, 12,7 % USA; SR Max: wie RUS für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall	0,61	0,61	0,61	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 71,4 % CHN, 3,6 % RUS, 3,3 % USA
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,46	0,46	0,46	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 18,6 % USA, 16,5 % CHN, 10,5 % AUS; nur USA spezifisch; CHN und AUS wg. Zn
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall	0,71	0,71	0,71	Vulcan 2009a	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	17 a	17 a	28 a	USGS MCS 2010	Max: zzgl. anderer Reserven
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,67	0,67	0,76	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in IR-Optik nahezu unmgl.; Max: Glasfaser 1 statt 0,7

1.18 Gips

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Gips- und Anhydritstein (inkl. REA-Gips)	0,044	0,044	0,044	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Gips- und Anhydritstein (inkl. REA-Gips)	-0,136	-0,136	-0,136	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Gips- und Anhydritstein (inkl. REA-Gips)	-0,445	-0,445	-0,445	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Bausektor, Landwirtschaft
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	minimal im Formbau
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,70	0,70	0,70	EC 2010	essentiell für Zement und Modellbau
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Gips- und Anhydritstein	0,00	0,00	0,00	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 37,8 % FRA, 27,4 % AUT, 17,2 % NDL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Gips- und Anhydritstein	0,13	0,13	0,27	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 28,9 % CHN, 9,1 % USA, 7,5 % IRN; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Gips- und Anhydritstein	0,46	0,46	0,46	USGS MCS 2010	k.A. wie Produktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Gips- und Anhydritstein	0,40	0,20	0,60	BMW 2010a	Schätzung; ca. 35 Betriebe mit Gips & Anhydrit Förderung (ohne REA)
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Gips- und Anhydritstein	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Gips- und Anhydritstein (inkl. REA-Gips)	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	Min: Fokus auf Bergbau statt REA
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,75	0,75	0,75	EC 2010	Recyclingquote 1 %; in Zement und LaWi nahezu unmgl.

1.19 Glimmer

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Glimmer	0,079	0,079	0,079	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Glimmer	0,115	0,115	0,115	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Glimmer	0,127	0,127	0,127	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Bohrmittel, Bauwesen, Blattglimmer: IKT
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max:Blattglimmer für Elektrik und Elektronik
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,50	0,30	0,70	USGS MYB 2007g	generische Schätzung zwischen 0,3 und 0,7
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Glimmer	0,19	0,19	0,34	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 29,5 % IND, 29,4 % CHN, 20,5 % FRA; Max: wie CHI für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Glimmer (natürlich, Bruch)	0,12	0,12	0,12	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 26,4 % RUS, 22,2 % USA, 18,2 % FIN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Glimmer (natürlich, Bruch)	0,67	0,67	0,67	USGS MCS 2010	k.A. Annahme wie Produktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Glimmer (natürlich, Schicht/Bruch)	0,15	0,10	0,20	BGR 2007, BGR RoSit 2010	Schätzung;; weit diversifiziert
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Glimmer (natürlich, Schicht/Bruch)	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Glimmer (natürlich, Schicht/Bruch)	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	Quelle uneindeutig (Scrap & Flake / Sheet)
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,63	0,63	0,68	eigene Schätzung	

1.20 Graphit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Graphit	0,048	0,048	0,048	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Graphit	0,017	0,017	0,017	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Graphit	0,152	0,152	0,152	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	EAF Stahl, IKT&EE
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	ggf. BSZ, Elektromobilität, AKW, PV, Klimatisierung
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,50	0,50	0,50	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Graphit	0,22	0,20	0,52	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 59,8 % CHN, 10,3 % k.A., 8,8 % AUS; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe; SR Min: USA statt IND
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Graphit	0,27	0,27	0,57	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 72,3 % CHN, 12,5 % IND, 6,9 % BRA; Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Graphit	0,89	0,89	0,89	USGS MCS 2010	Reserven 77,5 % CHN, 7,3 % IND, 4,4 % MEX
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Graphit	0,69	0,48	0,69	IRCA Online 2010	7-8 Anbieter weltweit, Angaben zu Kapazität und Produktion inkonsistent
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Graphit	63 a	63 a	63 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Graphit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,77	0,69	0,77	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. in Elektrik nahezu unmgl.

1.21 Hafnium (Hf)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,003	0,003	0,003	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	keine Hinweise auf Hf-Produktion oder Recycling in D
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Rohform, Abfälle und Schrott, Pulver	0,392	0,392	0,392	StaBuA 2011	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Rohform, Abfälle und Schrott, Pulver	1,077	1,077	1,077	StaBuA 2011	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	begrenzt	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010	IKT&EE, L&R, AKW, Verteidigung; Nutzer unbekannt
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	intensiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009	IKT, AKW
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,70	0,53	0,77	Munnoch o.J. (Hafnium) Avon Metals Ltd.	essentiell in Chemikalien Max: HfO ₂ 1 statt 0,7, AKW 0,7 statt 0,3
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Rohform, Abfälle und Schrott, Pulver	0,13	0,13	0,17	StaBuA 2011; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 75 % FRA, 13 % GBR, 7,4 % UKR; SR Max: wie UKR für andere Rohstoffe
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,10	0,10	0,14	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	vgl. Zirkon, SR Max: wie CHI für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,90	0,90	0,90	Shalатов et al. 2008	Reserven 54,5 % AUS, 26,4 % ZAF, 8,8 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,62	0,62	0,62	BGR 2007	vgl. Zirkon
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	146 a	146 a	292 a	USGS MCS 2010	Produktion: k.A.; Metall + DEU, UK; BRA, CHI, RUS, USA, UKR, RSA; Min: Metall; Reserven: HfO ₂ , CHI, INS, UKR, andere k.A.; (U, Th Aktivität als Grenze)
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,77	0,66	0,85	EC 2010	in HfO ₂ und Dünnschichten nahezu unmgl.; Max: AKW, HfO ₂ und Plasmaschneiden 1 statt 0,7

1.22 Ilmenit und Rutil

Indikator	Einheit	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	dimensionslos	Titanerz	0,119	0,113	0,119	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	dimensionslos	Titanerz	0,332	0,332	0,332	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	dimensionslos	Titanerz	0,337	0,337	0,337	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	dimensionslos	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Industriemineral, u.a. für Farbpigmente
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	dimensionslos	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	dimensionslos	alle Formen	0,32	0,32	0,32	EC 2010	vgl. Metall, keine Verwendung essentiell, bis auf zur Gewinnung von Titan-Metall
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	dimensionslos	Ilmenit	0,09	0,09	0,09	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 40 % NOR, 25,5 % CAN, 20,4 % ZAF
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	dimensionslos	Ilmenit und Rutil	0,07	0,07	0,07	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 25,5 % AUS, 18,3 % ZAF, 13,3 % CAN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	dimensionslos	Ilmenit und Rutil	0,61	0,61	0,61	USGS MCS 2010	Reserven 27,4 % CHN, 20,8 % AUS, 12,7 % IND
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	dimensionslos	Ilmenit und Rutil	0,53	0,53	0,53	BGR 2007, BGR RoSit 2010	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	a	Ilmenit und Rutil	114 a	114 a	114 a	USGS MCS 2010	aggregierte Berechnung für Ilmenit und Rutil
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	-	Ilmenit und Rutil	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	dimensionslos	alle Formen	0,91	0,91	0,91	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in Farben, Plastik und Papier nahezu unmögl.

1.23 Indium (In)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	In-Raffinade	0,030	0,015	0,045	BGR RoSit 2008, USGS MCS 2010	Außenhandelsunsicherheit Produktion nach USGS MYB 2010
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	In-Raffinade	0,100	0,100	0,100	BGR RoSit 2008, 2010	Angaben nur für Produktion, deshalb Schätzung wie Import
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Ga, In, TI	0,103	0,103	0,103	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	ITO auf PV&IKT, Halbleiter
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sehr sensitiv	sehr sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	PV, IKT
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,94	0,94	0,94	EC 2010	essentiell für Displays
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Ga, In, TI	0,08	0,08	0,08	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 40,1 % GBR, 15,7 % USA, 14,3 % SVK
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	In-Raffinade	0,48	0,48	0,48	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 54,4 % CHN, 13,2 % KOR, 11,4 % JPN; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	In in Erz	0,37	0,37	0,37	USGS MCS 2010	k.A., vgl. Zn
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	In-Raffinade	0,56	0,56	0,56	Asian Metals 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	In in Erz	17 a	17 a	17 a	USGS MCS 2008	BGR EE 2009 Ressourcenschätzung
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	In in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,71	0,70	0,71	EC 2010	Recyclingquote 0,3 %

1.24 Kalk

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Kalk- und Mergelstein für Zement und andere Zwecke	0,025	0,025	0,025	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Kalk- und Mergelstein für Zement und andere Zwecke	-0,020	-0,020	-0,020	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Kalk- und Mergelstein für Zement und andere Zwecke	-0,037	-0,037	-0,037	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Bausektor, Eisen & Stahl, Umweltschutz, Grundstoffe
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,80	0,80	0,80	EC 2010	essentiell für Eisen & Stahl, NE-Metalle, Umweltschutz, Chemikalien, LaWi
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Kalkstein für Zement	0,08	0,08	0,08	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 30,2 % BEL, 26,4 % AUT, 20,1 % POL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Kalkstein	0,20	0,20	0,50	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 60,8 % CHN, 6,7 % USA, 3,2 % JPN; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Kalkstein	0,71	0,71	0,71	USGS MCS 2010	k.A. wie Produktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Kalkstein	0,39	0,39	0,39	BMWi 2010a	ca. 20 Unternehmen in DEU
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Kalkstein	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Kalkstein	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,91	0,86	0,91	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. in Eisen- und Stahl- sowie Papierindustrie nahezu unmgl.

1.25 Kaolin

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Kaolin	0,116	0,116	0,116	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Kaolin	-0,090	-0,090	-0,090	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Kaolin	-0,192	-0,192	-0,192	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Füllstoff
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max: Bewertung von Glasfaser (Bausektor, IKT) als Zukunftstechnologie
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,78	0,78	0,78	EC 2010	als Ton allgemein; essentiell für Keramik
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Kaolin	0,07	0,07	0,07	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 27,3 % USA, 23,9 % GBR, 13,4 % BEL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Kaolin	0,09	0,09	0,09	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 17,5 % USA, 15,3 % UZB, 10,7 % CZE
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Kaolin	0,44	0,44	0,44	USGS MCS 2010	k.A. wie Produktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Kaolin	0,15	0,10	0,20	BGR 2007, USGS MCS 2010	Schätzung; weit diversifiziert
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Kaolin	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Kaolin	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,92	0,92	0,92	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in Keramik und Papier nahezu unmgl.

1.26 Kupfer (Cu)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,088	0,088	0,110	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Max: mit Aufbereitungsverlusten zzgl. Gehalte nach Gößling-Reisemann 2006 und Krüger 2006
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,163	0,163	0,163	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,165	0,165	0,165	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	EC 2010	Verkehr, IKT&EE, M&A, Bauwesen, Kostenfaktor; Träger für Co, Mo, Se, Te, Re
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009	Elektroauto, neue Industriemotoren, IKT, Magnetschwebebahn
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,56	0,56	0,56	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz. 382000 t Cu (Raffinade 832000 t Cu, auch CHL Top+RUS+BEL)	0,23	0,23	0,23	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 38 % RSA, 27,2 % ARM, 16,5 % COD
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,08	0,08	0,08	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 34,6 % CHL, 8,5 % USA, 8,2 % PER
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,48	0,48	0,48	USGS MCS 2010	Reserven 29,6 % CHL, 11,7 % PER, 7 % MEX
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,31	0,31	0,31	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	35 a	35 a	35 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,34	0,28	0,54	EC 2010	Recyclingquote 20 %; Max: Gebäude 0,7 statt 0,3 Min: EE 0,3 statt 0,7

1.27 Lithium (Li)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,100	0,050	0,150	BGR RoSit 2008, USGS MCS 2010	Unsicherheit Gehalt in Petalit u.a., Produktion unbekannt
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,108	0,108	0,108	BGR RoSit 2008, 2010	nur Außenhandel, Produktion k.A.
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,012	0,012	0,012	BGR RoSit 2008, 2010	nur Außenhandel, Produktion k.A.
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Elektrode, Akkus, Glasindustrie, Chemie
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Li-Ionen Akku
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,80	0,80	0,80	EC 2010	Batterien, G&K essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Carbonat	0,14	0,14	0,14	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 86,2 % CHL, 10,3 % USA, 3,5 % k.A.;
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Primärlithium	0,12	0,12	0,19	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 41,7 % CHL, 24,7 % AUS, 13 % CHN; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Primärlithium	0,90	0,90	0,90	USGS MCS 2010	Reserven 75,8 % CHL, 8,1 % ARG, 5,9 % AUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Primärlithium	0,77	0,77	0,77	BRGM 2009	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Primärlithium	380 a	388 a	390 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Primärlithium	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,85	0,74	0,85	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. in Glas und Keramik und als Schmiermittel nahezu unmgl.; Min: Batterien 0,3 statt 0,7

1.28 Magnesit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Magnesit	0,112	0,112	0,112	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Magnesit	0,586	0,586	0,586	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Magnesit	0,428	0,428	0,428	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Feuerfestmaterial (Glas, Keramik, Grundstoffe)
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Max: vgl. Magnesium-Metall
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,72	0,72	0,72	EC 2010	essentiell in LaWi
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Magnesit	0,34	0,34	0,34	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 37,5 % CHN, 27,1 % NDL, 6 % SVK
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Magnesit	0,51	0,48	0,52	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 53 % CHN, 11,1 % TUR, 6,4 % jeweils RUS und PRK; SR Max: wie CHN + RUS für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Magnesit	0,653	0,653	0,653	USGS MCS 2010	
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Magnesit	0,13	0,13	0,13	BGR 2007, BGR RoSit 2010	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Magnesit	358 a	358 a	424 a	USGS MCS 2010	Min: zzgl. Produktion USA 100.000 t
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Magnesit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,73	0,73	0,98	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. im Umweltschutz und in LaWi nahezu unmgl.; Max: Feuerfestmaterial 1 statt 0,7

1.29 Magnesium (Mg)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,059	0,059	0,087	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall	0,005	0,005	0,005	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall	0,079	0,079	0,079	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	L&R, Verkehr, M&A; breite Verwendung
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	unkritisch	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Leichtbau
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,82	0,82	0,82	EC 2010	Essentiell für Gusslegierungen im Kfz
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,34	0,34	0,34	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 37,5 % CHN, 27,1 % ND, 6 % SVK
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Primärproduktion	0,67	0,67	0,67	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 77,3 % CHN, 5,1 % RUS, 4,8 % ISR
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,65	0,65	0,65	USGS MCS 2010	vgl. Magnesit
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall	0,20	0,15	0,25	International Magnesium Association, MMTA 2010 /Roskill 2008	China unbekannt, vermutlich viele kleine Hersteller und mindestens ein größerer in China; nur 6 außerhalb Chinas
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	3181 a	3181 a	3428 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,41	0,41	0,62	EC 2010	Recyclingquote 14 %; Max: Guss 0,7 statt 0,3

1.30 Mangan (Mn)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,021	0,021	0,026	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	-0,064	-0,064	-0,064	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	-0,068	-0,068	-0,068	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle, Chemikalien
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Hochzugfeste Legierungen
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	1,00	1,00	1,00	EC 2010	essentiell für hochzugfeste Legierungen
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Ferromangan	0,08	0,08	0,08	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 24,5 % ZAF, 12,2 % NOR, 11,9 % ESP
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,19	0,19	0,19	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 21,8 % ZAF, 17,4 % AUS, 16,5 % CHN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,66	0,66	0,66	USGS MCS 2010	Reserven 25,9 % UKR, 24,1 % ZAF, 16,1 % AUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,25	0,25	0,25	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	41	41	42	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,34	0,30	0,34	EC 2010	Recyclingquote 19 %

1.31 Molybdän (Mo)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,061	0,061	0,074	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalt in Erz (Ecoinvent 2007)
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	-0,077	-0,077	-0,077	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,000	0,000	0,000	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle, Chemikalien
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	korrosionsfeste Stähle (Meerwasserentsalzung, Offshore)
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,71	0,71	0,71	EC 2010	Chlor-Resistenz essentiell in rostfreien Stählen
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,10	0,10	0,10	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 33,5 % BEL, 22,9 % GBR, 12,7 % ARM
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,35	0,35	0,35	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 37,2 % CHN, 25,6 % USA, 15,5 % CHL
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,82	0,82	0,82	USGS MCS 2010	Reserven 37,9 % CHN, 31 % USA, 12,6 % CHL
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,38	0,38	0,38	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	40 a	40 a	40 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,60	0,37	0,63	EC 2010	Recyclingquote 17 %; Min: rostfreier, volllegierter und Werkzeugstahl 0,3 statt 0,7

1.32 Nickel (Ni)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,063	0,063	0,093	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalte z.T. nach UBA 2001 und Dehoust 2007
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	-0,069	-0,069	-0,069	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	-0,054	-0,054	-0,054	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle, Akkus
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,90	0,90	0,90	EC 2010	
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Raffinade	0,34	0,34	0,34	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 38,1 % RUS, 19,8 % GBR, 13,3 % NOR
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,17	0,17	0,17	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 17,6 % RUS, 16,6 % CAN, 12,7 % AUS
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,56	0,56	0,56	USGS MCS 2010	Reserven 36,6 % AUS, 10 % PYF, 9,3 % RUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,46	0,46	0,46	BRGM 2009	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	45 a	45 a	45 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,36	0,35	0,36	EC 2010	Recyclingquote 32 %

1.33 Niob (Nb)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,079	0,079	0,090	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	partiell aggregiert mit Ta, Re unsichere Gehalte
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,135	0,135	0,135	BGR RoSit 2008, 2010	partiell aggregiert mit Ta, Re unsichere Gehalte
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,100	0,100	0,100	BGR RoSit 2008, 2010	korrigiert von 0,099 auf 0,1 wegen Aggregation
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, Sta-BuA 2010	Spezialstähle, IKT, technische Keramik
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Hochfeste und leichte Stähle
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,70	0,70	0,70	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,26	0,09	0,26	BGR RoSit 2010, OECD 2010; Weltbank 2010	Import 100 % k.A. SR Min: CDN statt BRA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,24	0,24	0,24	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 92,2 % BRA, 7 % CAN, 0,8 % k.A.
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,68	0,68	0,78	USGS MCS 2010	Reserven 66,7 % BRA, 1,1 % CAN; Top 3 fehlt
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,99	0,99	0,99	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	69 a	46 a	92 a	USGS MCS 2010	MW zwischen Min und Max = 2 * Min
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	Min: unklar bei Gewinnung mit Tantal
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,66	0,39	0,66	EC 2010	Recyclingquote 11 %; Min: Stahl 0,3 statt 0,7

1.34 Palladium (Pd)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,110	0,110	0,169	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	z.T. aggregiert als PGM
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall	0,155	0,155	0,155	BGR RoSit 2008, 2010	keine sinnvolle Zuteilung von Produktion und Abfall möglich
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall	3,208	3,208	3,208	BGR RoSit 2008, 2010	keine sinnvolle Zuteilung von Produktion und Abfall möglich
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Katalyse, IKT, Schmuck
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Diesel-Kat., synthetische Kraftstoffe
Substituierbarkeit (2008)	zusammen mit Pt	0,75	0,75	0,75	EC 2010	essentiell für Auto-Kat., IKT, Katalyse, Glasproduktion
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,26	0,26	0,26	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 28,6 % BEL, 26,6 % RUS, 11 % GBR
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,44	0,44	0,44	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 43 % RUS, 37 % ZAF, 7,4 % CAN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,99	0,99	0,99	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 88,7 % ZAF, 8,7 % RUS, 1,3 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,77	0,77	0,77	BGR 2007, BGR RoSit 2009 (2010)	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	340 a	340 a	348 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,53	0,28	0,53	EC 2010	Recyclingquote 35 %; Min: Auto-Kat. und EE 0,3 statt 0,7

1.35 Perlit und Vermiculit

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Perlit und Vermiculit	0,057	0,057	0,064	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Perlit und Vermiculit	0,030	0,030	0,030	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Perlit und Vermiculit	0,038	0,038	0,038	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Baustoff, Füllstoff
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,31	0,31	0,31	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Perlit und Vermiculit	0,18	0,18	0,18	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 73,8 % GRC, 14,1 % HUN, 9,7 % ZAF
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Perlit	0,10	0,10	0,10	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 22,7 % GRC, 18,8 % USA, 11,7 % TUR
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Perlit	0,18	0,18	0,18	USGS MCS 2010	Reserven 6,5 % GRC, 6,5 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Perlit	0,25	0,16	0,30	IPM Iperlit 2011, Cornerstone 2011	Schätzung; vermutlich diversifiziert
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Perlit und Vermiculit	331 a	320 a	331 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Perlit und Vermiculit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,94	0,94	0,94	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. im Bau-sektor nahezu unmgl.

1.36 Phosphat

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Phosphat (gemahlen und ungemahlen)	0,001	0,001	0,001	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Phosphat (gemahlen und ungemahlen)	-0,016	-0,016	-0,016	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Phosphat (gemahlen und ungemahlen)	-0,014	-0,014	-0,014	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Düngemittel, Basis- und Spezialchemikalien
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,95	0,93	0,97	Cordell 2008	essentiell als Dünge- und Futtermittel
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Phosphat (gemahlen und ungemahlen)	0,13	0,13	0,13	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 42,3 % NDL, 37,8 % ISR, 6,5 % MAR
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Phosphat	0,15	0,15	0,30	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 29,6 % CHN, 17,7 % USA, 14,6 % MAR und ESH; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Phosphat	0,68	0,68	0,68	USGS MCS 2010	35,6 % MAR, 23,1 % CHN, je 9,4 % JOR und ZAF
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Phosphat	0,39	0,39	0,39	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Phosphat	94 a	94 a	99 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Phosphat	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,95	0,95	0,95	EC 2010	in Dünge- und Futtermittel nahezu unmgf.

1.37 Platin (Pt)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,064	0,064	0,098	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	z.T. aggregiert als PGM
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall	-0,777	-0,777	-0,777	BGR RoSit 2008, 2010	keine sinnvolle Zuteilung von Produktion und Abfall möglich
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall	0,333	0,333	0,333	BGR RoSit 2008, 2010	keine sinnvolle Zuteilung von Produktion und Abfall möglich
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Katalyse, IKT, Schmuck, EE, Elektrode
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	intensiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Diesel-Kat, synthetische Kraftstoffe, BSZ
Substituierbarkeit (2008)	zusammen mit Pd	0,75	0,75	0,75	EC 2010	essentiell für Auto-Kat., IKT, Katalyse, Glasproduktion
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,13	0,13	0,13	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 42 % ZAF, 26,6 % BEL, 9,1 % USA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,26	0,26	0,26	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 77,2 % ZAF, 12,2 % RUS, 3,7 % CAN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,99	0,99	0,99	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 88,7 % ZAF, 8,7 % RUS, 1,3 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,66	0,66	0,66	BGR 2007, BGR RoSit 2009 (2010)	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	376 a	376 a	376 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,53	0,28	0,53	EC 2010	Recyclingquote 35 %; Min: Auto-Kat. und EE 0,3 statt 0,7

1.38 Rhenium (Re)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,097	0,097	0,112	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	partiell aggregiert mit Ta, Nb Max: mit Aufbereitungsverlusten
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,829	0,829	0,829	BGR RoSit 2008, 2010	schwer interpretierbar wegen Nb, Ta
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,790	0,790	0,790	BGR RoSit 2008, 2010	schwer interpretierbar wegen Nb, Ta
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	begrenzt	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle (L&R, M&A); nur HC Starck / Triebwerkhersteller
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	hochwärmefeste Legierungen
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,84	0,84	0,84	EC 2010	essentiell für Superlegierungen
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Re mit Nb	0,23	0,22	0,27	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 81,4 % BRA, 11,2 % EST, 4,9 % k.A.; SR Max: Top 3 RUS
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,13	0,13	0,13	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 48,8 % CHL, 14 % USA, 13,6 % KAZ
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,80	0,80	0,80	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 52 % CHL, 15,6 % USA, 12,4 % RUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,80	0,80	0,80	Vulcan 2010	Identität des Wertes mit Länderrisiko Reserven ist Zufall
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	44 a	44 a	44 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,54	0,54	0,54	EC 2010	Recyclingquote 13 %

1.39 Selen (Se)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,200	0,150	0,250	BGR RoSit 2010), USGS MCS 2010	Schätzung, da globale Produktion sehr unsicher (Min / Max: 2000 t / 2.900 t)
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall	-0,097	-0,097	-0,097	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall	0,044	0,044	0,044	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	Selenium-Tellurium Development Association 2010 (Applications for Selenium), StaBuA 2010	Glasindustrie, IKT, N&G
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	LED, PV
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,56	0,50	0,68	Selenium-Tellurium Development Association 2010 (Applications for Selenium)	essentiell in LaWi und Medizin
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,06	0,06	0,06	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 36,7 % SWE, 25,3 % CAN, 7,8 % FIN
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall	0,08	0,08	0,08	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	k.A. vgl. Cu
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,48	0,48	0,48	USGS MCS 2010	k.A. vgl. Cu
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,31	0,31	0,31	BGR 2007	k.A. vgl. Cu
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	30 a	30 a	44 a	USGS MCS 2010	globale Produktion sehr unsicher
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,83	0,79	0,83	eigene Schätzung	in Glas, Pigmenten, Dünge- und Futtermitteln, Medizin nahezu unmgl.

1.40 Seltene Erden

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,040	0,030	0,050	BGR RE 2009, BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Schätzung beruhend auf verschiedenen Angaben
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Seltene Erden Metalle	0,509	0,509	0,509	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Seltene Erden Metalle	0,493	0,493	0,493	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	IKT&EE, M&A, Grundstoffe, Katalyse, Spezialchemie
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sehr sensitiv	sehr sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	vgl. Rohstoffprofil
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,87	0,87	0,87	EC 2010	essentiell für Glas, Katalyse, Al- und Mg-Legierungen, Magnete, Leuchtstoffe, Keramik
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Seltene Erden Metalle	0,38	0,38	0,38	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 43,8 % AUT, 41,4 % CHN, 6,6 % SWE
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Seltene Erden Oxide	0,76	0,76	0,76	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 93 % CHN, 2,1 % IND, 0,5 % BRA
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Seltene Erden Oxide	0,69	0,69	0,69	USGS MCS 2010	Reserven 36,4 % CHN, 19,2 % GUS, 13,1 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Seltene Erden Oxide	0,76	0,76	0,76	BGR RE 2009	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Seltene Erden Oxide	767 a	767 a	798 a	USGS MCS 2010	Min: Produktion zuzüglich GUS und andere
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Seltene Erden Oxide	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	Min: Bewertung von Bayan Obo als Hauptprodukt
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,75	0,75	0,83	EC 2010	Recyclingquote 1 %; u.a. in Autokatalysatoren und in Glas nahezu unmgl.; Max: Batterien und Magnete 1 statt 0,7

1.41 Silber (Ag)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,105	0,105	0,125	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010, USGS MYB 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,812	0,812	0,812	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,254	0,254	0,254	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	IKT&EE (24 %); aber Schmuck (34 %), Fotografie und Spiegel dominieren (20 %)
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,71	0,71	0,71	EC 2010	für EE & IKT und Medizin kein Substitut
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall (roh, Pulver)	0,19	0,17	0,39	BGR RoSit 2009 (2010); EC 2010, OECD 2010; Weltbank 2010	Import 34,3 % k.A., 28 % KAZ, 11,8 % MAR; SR Max: k.A. – worst case strategisches Risiko CHN / WGI PER-CHL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Minenproduktion Metall-Inhalt	0,19	0,19	0,19	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 17,3 % PER, 15,2 % MEX, 13,1 % CHN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,46	0,37	0,46	USGS MCS 2010	Reserven 17,5 % CHL, 14,8 % PER, 13,8 % POL
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion Metall-Inhalt	0,18	0,18	0,18	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	19 a	19 a	23 a	USGS MCS 2010	Max: Reserven RUS 100.000 t
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,41	0,31	0,41	EC 2010	Recyclingquote 16 %

1.42 Silicium (Si)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,075	0,075	0,075	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010, BGS 2009a	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,383	0,383	0,383	BGR RoSit 2008, 2010, BGS 2009a	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,207	0,207	0,207	BGR RoSit 2008, 2010, BGS 2009a	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle, Al, Silane, PV, IKT
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	PV, IKT
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,75	0,57	0,83	eigene Schätzung	ggf. essentiell für Gusseisen, Al
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,10	0,10	0,10	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 26,5 % NOR, 20,6 % BRA, 17 % FRA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Si in Metall und FerroSilicium	0,57	0,57	0,57	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 64,9 % CHN, 9,8 % RUS, 4,2 % BRA
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	PrimärSilicium	0,30	0,30	0,30	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 15 % EGY, 10 % NOR, 5 % ESP
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	PrimärSilicium	0,20	0,10	0,25	USGS MYB 2010	Schätzung, stark diversifiziert
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	PrimärSilicium	> 101 a	> 101 a	> 101 a	USGS MCS 2010	groß; formale Eingabe 101 a
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	PrimärSilicium	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,63	0,63	0,78	eigene Schätzung	Max: Stahl 1 statt 0,7

1.43 Strontium (Sr)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,150	0,100	0,200	BGR RoSit 2009 (2010), USGS MCS 2010	Schätzung, da k.A.
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,000	-1,000	1,000	BGR RoSit 2007 (2008), 2009 (2010)	unbekannt, formaler Sensitivitätstest
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,000	-1,000	1,000	BGR RoSit 2007 (2008), 2009 (2010)	unbekannt, formaler Sensitivitätstest
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	begrenzt	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Glas, Keramik; nur Solvay als Produzent
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Ferritmagnete
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,68	0,63	0,79	eigene Schätzung	Max: essentiell für Pyrotechnik und Signale
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Celestit	0,16	0,16	0,16	BGR RoSit 2009 (2010); OECD 2010; Weltbank 2010	Import 100 % ESP
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,23	0,23	0,23	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 40,3 % CHN, 37,9 % ESP, 19,5 % MEX
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,98	0,98	0,98	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	k.A., wie Produktion
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,68	0,68	0,68	www.encyclopedia.com/topic/celestite.aspx 2011	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	14 a	14 a	14 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,46	0,42	0,50	eigene Schätzung	in Pigmenten und Füllstoffen nahezu unmg.

1.44 Talk und Speckstein

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Talk und Speckstein	0,043	0,043	0,048	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Talk und Speckstein	-0,076	-0,076	-0,076	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Talk und Speckstein	-0,058	-0,058	-0,058	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	EC 2010, StaBuA 2010	Füllstoffe
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,33	0,33	0,33	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Talk und Speckstein	0,07	0,07	0,07	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 29,2 % ND, 18,5 % FRA, 16,6 % AUS
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Talk und Pyrophyllit	0,12	0,12	0,26	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 28,4 % CHN, 10,6 % KOR, 9,1 % USA; SR Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Talk und Pyrophyllit	0,48	0,48	0,48	USGS MCS 2010	Reserven 20,5 % BRA, 16 % USA, 11,4 % JPN
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Talk	0,50	0,30	0,60	CM 2008	Schätzung; wahrscheinlich über 50 %
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Talk und Pyrophyllit	113 a	58 a	113 a	USGS MCS 2010	groß; Max: Faktor 2 für Bottom Up Angaben
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Talk und Pyrophyllit	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,92	0,92	0,92	EC 2010	Recyclingquote 0 %; u.a. in Papier, Kunststoff, Keramik und Farben nahezu unmgl.

1.45 Tantal (Ta)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,073	0,073	0,076	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	z.T. aggregiert mit Nb, Re
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,000	0,000	0,000	BGR RoSit 2008, 2010	schwer interpretierbar wegen Nb
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	-0,084	-0,084	-0,084	BGR RoSit 2008, 2010	schwer interpretierbar wegen Nb
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	begrenzt	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Kondensatoren, IKT, Stahl; nur H.C. Starck
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	IKT
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,40	0,40	0,40	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,26	0,09	0,43	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 100 % k.A. (BRA; AUS, COD)
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,12	0,12	0,12	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 47,6 % AUS, 15,4 % BRA, 8,5 % jeweils COD, RWA
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,73	0,66	0,81	USGS MCS 2010	Reserven 40,6 % BRA, 25 % AUS
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,61	0,61	0,75	BGR 2007	Top 3 fehlt
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	94 a	94 a	137 a	USGS MCS 2010	Max : zzgl. Reserven für COD, RWA, CAN und andere
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Nebenprodukt	USGS MCS 2010	unklar
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,63	0,51	0,82	EC 2010	Recyclingquote 4 %; Max: Kondensatoren 1 statt 0,7

1.46 Tellur (Te)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,164	0,164	0,164	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Tellur	0,688	0,688	0,688	StaBuA 2011	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Tellur	1,133	1,133	1,133	StaBuA 2011	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	begrenzt	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Halbleiter, PV; nur First Solar
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	sensitiv	sensitiv	sehr sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	PV, IKT, thermoelektrische KfZ-Generatoren
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,32	0,32	0,32	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Tellur	0,09	0,09	0,09	StaBuA 2011; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 50,8 % BEL, 31,1 % CAN, 7,4 % NDL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Tellur in Erz	0,08	0,08	0,08	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	k.A. vgl. Cu
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Tellur in Erz	0,48	0,48	0,48	USGS MCS 2010	k.A. vgl. Cu
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Tellur in Erz	0,31	0,31	0,31	BGR 2007	k.A. vgl. Cu
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	46 a	46 a	53 a	USGS MCS 2010	Reserven k.A. für JPN 3000 t
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,76	0,49	0,84	EC 2010	Recyclingquote 0 %; in Keramik und Medikamenten nahezu unmgl.; Min: Metallurgie 0,3 statt 0,7

1.47 Titan (Ti)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,105	0,105	0,105	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall (Pulver)	0,209	0,209	0,209	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall (Pulver)	0,360	0,360	0,360	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle (Verkehr, L&R, rostfrei), Medizintechnik, Abbau mit Zr und Hf
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Flugzeugleichtbau, hochwärmefeste Legierungen
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,32	0,32	0,32	EC 2010	keine Verwendung essentiell
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall (Pulver)	0,09	0,09	0,09	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 40 % NOR, 25,5 % CAN, 20,4 % ZAF
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Titan (Schwamm)	0,35	0,35	0,35	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 24,8 % CHN, 20,5 % JPN, 14,8 % RUS
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,61	0,61	0,61	USGS MCS 2010	vgl. Ilmenit & Rutil
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall	0,43	0,25	0,60	ILUKA 2010	sicher über 0,25, ggf. auch 0,5
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	2190 a	2190 a	2826 a	USGS MCS 2010	Min: zzgl. Produktion USA 45.000 t
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,22	0,22	0,22	EC 2010	Recyclingquote 6 %

1.48 Vanadium (V)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,098	0,098	0,098	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalt u.a. mit VANITEC 2011 und Hopf et al. 2006
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,314	0,314	0,314	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	-0,010	-0,010	-0,010	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Spezialstähle (L&R)
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Redox-Flow Elektrizitätsspeicher, hochfeste Stähle
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,45	0,45	0,45	EC 2010	essentiell in NE-Legierungen (u.a. Ti)
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Ferrovandium	0,14	0,14	0,14	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 56,1 % AUT, 12,1 % CZE, 8,8 % RUS
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,40	0,40	0,58	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 36 % CHN, 36 % ZAF, 26,1 % RUS; SR Max: wie CHN bei anderen Rohstoffen
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,93	0,93	0,93	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Reserven 35,7 % CHN, 35,7 % RUS, 21,4 % ZAF
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,40	0,40	0,40	BGR 2007,	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	234 a	252 a	252 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,66	0,49	0,68	EC 2010	Recyclingquote 0 %; Min: Vollegierung und Werkzeugstahl 0,3 statt 0,7

1.49 Wolfram (W)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,119	0,119	0,189	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	0,312	0,312	0,312	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,526	0,526	0,526	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	einzelne Schlüsselbranchen	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Schneidwerkzeuge (Bausektor, M&A), Spezialstähle
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	unkritisch	sensitiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	Hochpräzisions-Schneidwerkzeuge, Spezialstähle (warmfest, zugfest, formstabil)
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,77	0,77	0,77	EC 2010	essentiell in Superlegierungen und für Fertigungsprodukte
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Carbid	0,19	0,19	0,19	BGR RoSit 2009 (2010); OECD 2010; Weltbank 2010	Import 32 % AUT, 18,5 % CAN, 17,9 % CHN
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,65	0,65	0,65	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 74,7 % CHN, 5,2 % RUS, 4 % CAN
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,78	0,78	0,78	USGS MCS 2010	Reserven 64,3 % CHN, 8,9 % RUS, 5 % USA
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,50	0,25	0,50	TT-Final Presentation-site.ppt	viele Firmen in China, vermutlich über 50, aber ggf. auch nur über 25 %
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	48 a	48 a	50 a	USGS MCS 2010	Min: mit US-Produktion
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,45	0,21	0,45	EC 2010	Recyclingquote 37 %; Min: Carbide 0,3 statt 0,7

1.50 Zink (Zn)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,066	0,066	0,072	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalt z.T. nach Ayres et al. 2006
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Metall, nicht legiert (Rohzink)	-0,019	-0,019	-0,019	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Metall, nicht legiert (Rohzink)	-0,034	-0,034	-0,034	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	Volkswirtschaft	EC 2010, StaBuA 2010	Bausektor, Metall, Chemikalien; Träger Sb, Bi, Ge, Cd, In
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	unkritisch	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	IKT, PV
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,94	0,94	0,94	EC 2010	essentiell für Chemikalien (Gummi, Medikamente, ...)
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Erz & Konz.	0,10	0,10	0,10	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 27,5 % IRL, 19 % PER, 17,2 % USA
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,14	0,14	0,14	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 27,6 % CHN, 13,8 % PER, 12,8 % AUS
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,37	0,37	0,37	USGS MCS 2010	Reserven 16,5 % CHN, 10,5 % AUS, 9,5 % PER
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Minenproduktion	0,20	0,20	0,20	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Minenproduktion	17 a	17 a	17 a	USGS MCS 2010	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Minenproduktion	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,53	0,31	0,60	EC 2010	Recyclingquote 8 %; Min: Galvanik 0,3 statt 0,7

1.51 Zinn (Sn)

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	alle Formen	0,100	0,100	0,109	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	Gehalt z.T. Ecoinvent 2007
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	alle Formen	-0,021	-0,021	-0,021	BGR RoSit 2008, 2010	
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	alle Formen	0,038	0,038	0,038	BGR RoSit 2008, 2010	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Schlüsselbranchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	EC 2010, StaBuA 2010	Weichlote, Chemikalien, breite Verwendung
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	intensiv	intensiv	intensiv	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010	IKT
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,82	0,60	0,96	eigene Schätzung	Lötlegierungen, Messing und Bronze essentiell Min: Lötlegierungen 0,7 statt 1
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Metall	0,14	0,14	0,14	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 20,8 % PER, 19 % IDN, 16,5 % BEL
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Metall in Erz	0,25	0,25	0,43	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 36,8 % CHN, 32,1 % IDN, 13 % PER; Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Metall in Erz	0,53	0,53	0,53	USGS MCS 2010	Reserven 27,9 % CHN, 13,1 % IDN, 11,6 % PER
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Metall in Erz	0,40	0,40	0,40	BGR 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Metall in Erz	19 a	19 a	20 a	USGS MCS 2010	Max: zzgl. Reserven COD und VNM
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Metall in Erz	nur Hauptprodukt	nur Hauptprodukt	überwiegend Hauptprodukt	USGS MCS 2010	
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,63	0,33	0,65	eigene Schätzung	in Chemikalien nahezu unmgl.; Min: Lötlegierungen 0,3 statt 0,7

1.52 Zirkon

Indikator	Bezug	Wert	Min	Max	Quellen	Bemerkungen
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	0,021	0,021	0,022	BGR RoSit 2010, USGS MCS 2010	
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	27,5	27,5	27,5	BGR RoSit 2008, 2010	DEU seit 2008 Großimporteur
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	28,6	28,6	28,6	BGR RoSit 2008, 2010	DÉU seit 2008 Großimporteur
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland (2008)	alle Formen	einzelne Branchen	einzelne Branchen	einzelne Schlüsselbranchen	BGR 2010b (Heavy Minerals of Economic Importance)	Glas, Keramik, AKW
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	alle Formen	unkritisch	unkritisch	intensiv	ISI/IZT 2009, StaBuA 2010	BSZ, Kernenergie
Substituierbarkeit (2008)	alle Formen	0,60	0,59	0,70	BGR 2010b (Heavy Minerals of Economic Importance)	keine Verwendung essentiell, ggf. als Metall Max: Feuerfestmaterial und Gießerei 0,7 statt 0,3
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	0,15	0,15	0,15	BGR RoSit 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Import 55,6 % ZAF, 27,1 % AUS, 7,2 % USA; Verteilung für 2009, da Daten für 2008 inkonsistent
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	0,10	0,10	0,14	USGS MCS 2010; OECD 2010; Weltbank 2010	Produktion 30,9 % AUS, 22,5 % ZAF, 7,9 % CHN; Max: wie CHN für andere Rohstoffe
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	0,53	0,53	0,53	USGS MCS 2010	Reserven 41 % AUS, 6,6 % UKR, 5,6 % jeweils ISA, IND
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	0,75	0,75	0,75	Roskill 2007	
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	51 a	51 a	65 a	USGS MCS 2010	Min: mit Reserven IDN und Produktion USA
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Zirkon Erz und Konzentrat	überwiegend Nebenprodukt	überwiegend Hauptprodukt	nur Nebenprodukt	USGS MCS 2010	unklare Quellenlage
Recyclingfähigkeit (2008)	alle Formen	0,68	0,59	0,93	eigene Schätzung	Max: Keramik-Mahlgut 1 statt 0,7

2 Rohstoffprofile

2.1 Antimon

Antimon (Sb) gehört zur V. Hauptgruppe des Periodensystems. Antimon hat eine Dichte von $6,69 \text{ g/cm}^3$ und mit $630,7 \text{ Grad Celsius (}^\circ\text{C)}$ einen niedrigen Schmelzpunkt. Die thermische Leitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit sind gering. Antimon wird vorwiegend als Trioxid (ATO, Sb_2O_3), als Antimonblei und als Metall kommerziell verwendet.¹

2.1.1 Verwendung und Nachfrage

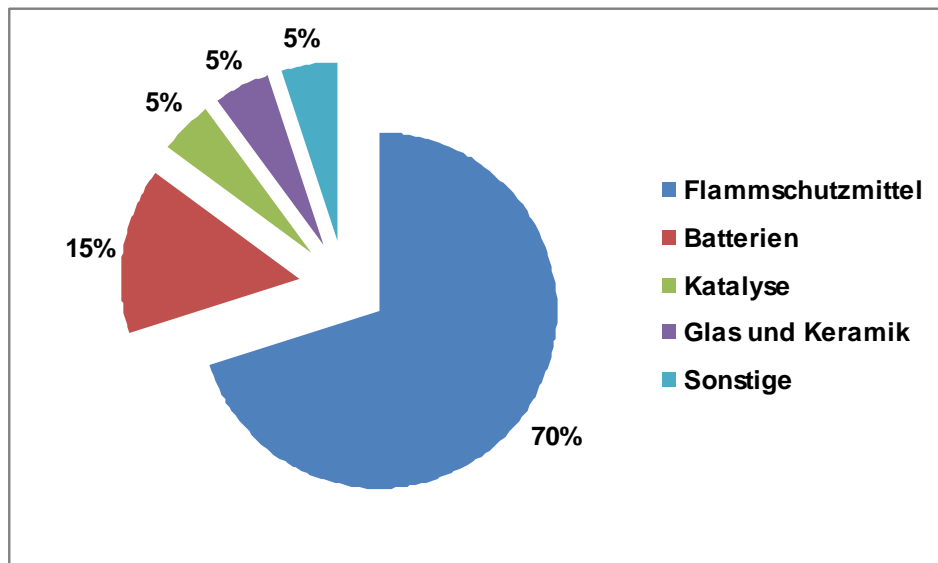
Zum weltweiten Verbrauch an Antimon gibt es keine frei zugänglichen Daten. Die Minenproduktion lag 2008 bei 197.000 Tonnen Antimongehalt (USGS MCS 2010). Unter Einbezug von Verlusten bei der Aufbereitung und Herstellung der Handelsprodukte sowie des Recyclings vor allem im Batteriebereich lässt sich der globale Antimonverbrauch im Jahr 2008 auf rund 160.000-190.000 Tonnen abschätzen. **Deutschland** importierte Antimon 2008 vorwiegend als Antimontrioxid (ATO) zu 41,7 % aus der VR China, 27,1 % aus Frankreich und 23,1 % aus Belgien und als Antimonblei zu 37,5 % aus Russland, 32,8 % aus Schweden und 12,5 % aus Belgien; Erze und reines Antimon-Metall spielten im Jahr 2008 nur eine untergeordnete Rolle (BGR RoSit 2009). Unter Berücksichtigung der Antimon-Gehalte der einzelnen Handelsformen (FOEN 2007) errechnet sich für Deutschland im Jahr 2008 ein Import von 9.000-10.000 Tonnen und ein Export von 1.000-2.000 Tonnen Antimon. Da in Deutschland kein Antimonerz gefördert wird, entspricht der nationale Verbrauch an primärem Antimon dem Nettoimport von 7.000-9.000 Tonnen. Zum nationalen Gesamtverbrauch Deutschlands im Jahr 2008 in Höhe von 13.000-15.000 Tonnen trägt das Recycling von Antimonblei aus Starterbatterien in erheblichem Umfang bei (StaBuA 2009, EU 2010). Nach IZT-Berechnungen liegt der Netto-Importanteil am Verbrauch aller Antimon-Handelsformen in Deutschland 2008 bei rund 60 %, ² der Verbrauchsanteil Deutschlands am Weltverbrauch bei rund 8 %.

Es liegt keine frei verfügbare, aktuelle Statistik für die **Verwendung** von Antimon weltweit, in der EU oder in Deutschland vor. Deshalb wird hier eine eigene Abschätzung vorgenommen.

1 Weitere kommerziell gehandelte Produkte sind Antimon-Trisulfid, -Trichlorid, -Triacetat, Diantimon-Tris (Ethylenglykolat) und -Pentoxid, Antimonpentachlorid, Natrium-Antimonat und Natrium-Hexahydroxoantimonat (i2a 2011).

2 Der Netto-Importanteil am Verbrauch von primärem Antimonerz liegt bei 100 %.

Abbildung 2-1: Globale Verwendungsstruktur von primärem Antimon (Gew.-%)



Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf Huachang 2007, Roskill 2007b, SRI Consulting 2008, USGS MCS 2011.

Die globale Verwendung von Antimon wird mit 60-70 % durch Antimontrioxid (ATO) als Flamm- schutzmittel insbesondere in Kunststoffen, aber auch in Klebstoffen, Gummi und Textilien do- miniert (SRI Consulting 2008). Haupteinsatzgebiete sind Kinderkleidung und Spielzeug sowie der Bausektor mit hohen Brandschutzanforderungen. Anderen Quellen zufolge verbraucht die Herstellung von elektrischen und elektronischen Geräten 50 % des globalen Antimonangebots,³ überwiegend als Synergist in Flamm- schutzmitteln aber auch in der auslaufenden Anwendung Kathodenstrahlröhren (CRT) - Glas (OECD 2010b). Als Synergist mit Halogenen wird ATO vor allem in Polyvinylchlorid (PVC) und in Kombination mit halogenhaltigen Flamm- schutzmitteln (bromiert, chloriert) verwendet. In Starterbatterien von Kraftfahrzeugen (Bleisulfatbatterien) er- höht Antimon als härtender Legierungszusatz zum Gitter (Antimonblei) und als Paste die Le- bensdauer. Unter Einbeziehung des Recyclings entfallen 19 % des globalen Verbrauchs auf diese Anwendung (Roskill 2007b). Auf den primären Antimonverbrauch bezogen sind 15 % rea- listischer. Die Verwendung von Antimon als Katalysator in der Polyethylenterephthalat (PET) - Herstellung erfolgt nur in einigen Weltregionen.⁴ In China entfallen rund 10 % des Antimons- Verbrauchs auf diese Anwendung (Huachang 2007), wohingegen in den USA kein Antimon für Katalysatoren verbraucht wird (USGS MCS 2011). In der Glas- und Keramikindustrie (5 %) kommt Antimon in verschiedenen Verbindungen sowohl zum Entfärben als auch zum Färben in Pigmentstoffen zum Einsatz. Zu den sonstigen Verwendungsgebieten (5 %) gehören andere Chemikalien wie Kunststoffstabilisatoren, Pigmente, Feuerwerk, Munition, Lote, Gleitlager, Me- dikamente, Pestizide, Fluoreszenzlampen und Halbleiter. Insgesamt sind diese Verwendungen quantitativ von untergeordneter Bedeutung.

³ Teile der Elektronikindustrie haben sich verpflichtet, kein Antimon einzusetzen (vgl. Interview mit Frau Senninger (Fa. Infineon) 2011).

⁴ EU (2010) weist die Katalyse nicht als Einsatzgebiet für Antimon aus. Dies steht im Gegensatz zu den Verbrauchsangaben für China (Huachang 2007) und die aktuelle Diskussion über die Toxizität von Antimon aus PET-Flaschen.

Antimon wird nur in geringem Umfang in **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologien eingesetzt. Die Spitzentechnologien Herstellung von Pestiziden, pharmazeutischen Grundstoffen, pyrotechnischen Erzeugnissen, Waffen und Munition sowie von elektronischen Bauelementen fallen alle unter sonstige Anwendungen von Antimon. Die dominierenden Flammenschutzmittel, Batterien und Katalyse sind am ehesten der gehobenen Gebrauchstechnologie zuzuordnen (NIW 2007).

Möglicherweise wird sich der Anteil der sonstigen Verwendungen von Antimon durch den Einsatz in neuen Technologien zukünftig erhöhen:

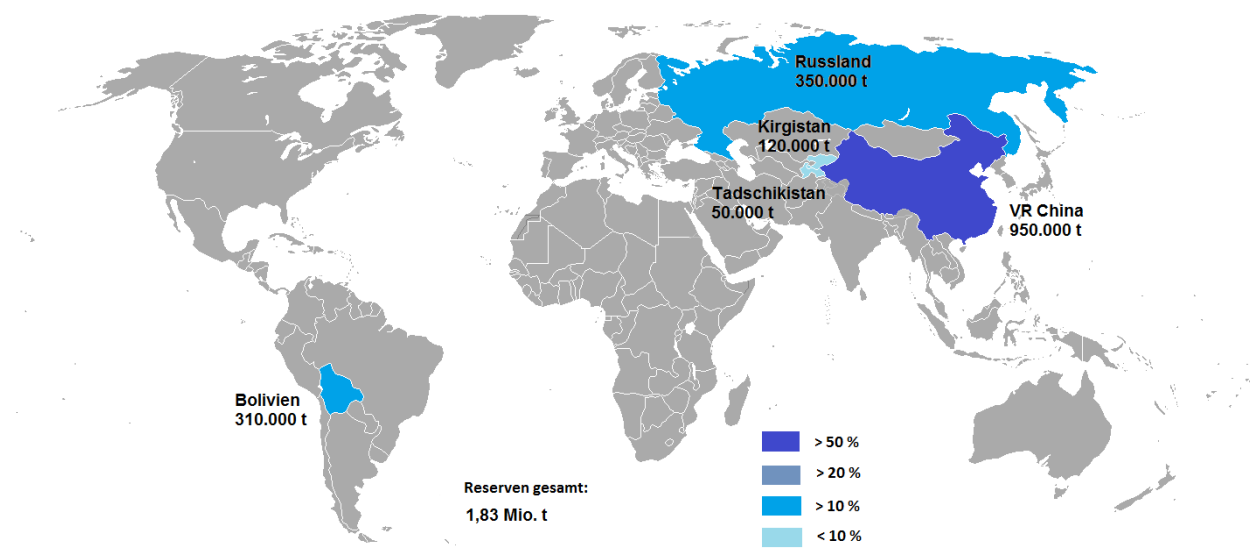
- Neue Speichermedien ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) beruhen auf dem Phasenaustauschprinzip und haben das Potential Flash Memory Geräte, z.B. in Computern, Mobiltelefonen und USB Sticks, zu ersetzen. Im Juni 2010 hat Samsung die Massenproduktion dieser 30 Mal schnelleren Speichermedien aufgenommen (Northwest Resources 2010).
- Stark verbesserte thermoelektrische Generatoren mit Halbleitern aus Tellur-Antimon-Germanium-Silber (TAGS) - Legierungen könnten langfristig die Lichtmaschine in Kraftfahrzeugen ersetzen (ISI/IZT 2009).
- Antimontrioxid (ATO) ist ein transparentes, leitfähiges Material, das möglicherweise Indiumzinnoxid (ITO) zur Beschichtung von Displays und Photovoltaik ersetzen kann (ISI/IZT 2009).

Antimon und seine Verbindungen werden zur Zeit umfassend auf ihre Auswirkungen auf **Umwelt und Gesundheit** hin untersucht. Polymerisationskatalysatoren wie Antimontrioxid (Sb_2O_3) oder Germaniumdioxid (GeO_2) verbleiben im Produkt (TU Berlin/UBA 2003). Auf europäischer Ebene steht insbesondere die Lösung von Antimon aus PET-Flaschen im Fokus und der Einsatz in elektrischen und elektronischen Geräten wird überprüft (vgl. Richtlinien WEEE; RoHS, REACH). Die Risikoprüfung für ATO in Spielzeug ergab unter bestimmten Bedingungen keine Risiken (SCHER 2010). Antimon und seine Verbindungen sind in Deutschland als Gefahrstoffe zu kennzeichnen.

2.1.2 Vorräte und Angebot

Der durchschnittliche Gehalt des Antimons in der Erdkruste beträgt rund 0,2 mg/kg. Das Hauptmineral für die Gewinnung von Antimon ist Stibnit (Sb_2S_3). Aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes von 546 °C kann Stibnit mit geringem Aufwand von anderen Mineralen getrennt werden. Antimon wird auch in geringen Mengen als Kuppelprodukt der Gewinnung anderer Metalle aus sulfidischen Erzen (Blei, Kupfer, Zink, Edelmetalle) separiert. Das chinesische Xikuangshan Vorkommen enthält rund 70 Mio. Tonnen Antimonerz mit einem Gehalt von 3 % (SMI 2010).

Abbildung 2-2: Globale Verteilung der Reserven von Antimon

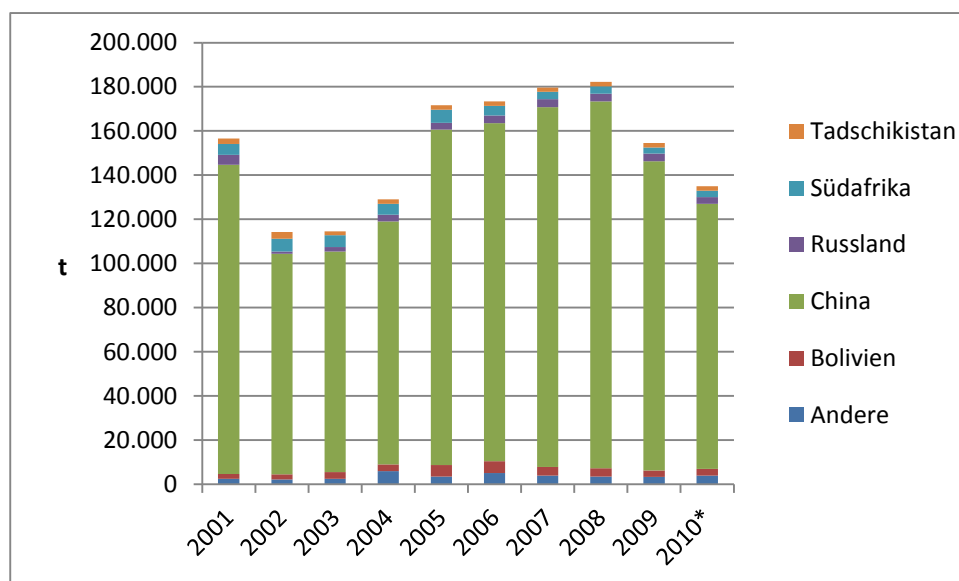


Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf USGS MCS 2011, USGS MYB 2011a, Mandalay 2010.

Die Antimonreserven belaufen sich auf 1,83 Millionen Tonnen. Zwar befinden sich mit 950.000 Tonnen rund 50 % der **Reserven** in China, aber auch 310.000 Tonnen in Bolivien und 350.000 Tonnen in Russland. Kirgistan und Tadschikistan verfügen jeweils über Reserven, die unterhalb der globalen Jahresförderung an Antimon liegen. Frei verfügbare systematische Kompendien zu den **Ressourcen** sind nicht bekannt. Die bis 2009 veröffentlichte Reservebasis für Antimon wurde auf 4,3 Mio. Tonnen beziffert (USGS MCS 2009). Die gesamten Ressourcen belaufen sich nach Huachang (2007) auf 5,1 Mio. Tonnen, davon 2,8 Mio. Tonnen in China.⁵ Weitere, nicht darunter gefasste große Vorkommen befinden sich in Südafrika (345.000 Tonnen), Mexiko (230.000 Tonnen), Australien (154.000 Tonnen), Italien (127.000 Tonnen), den USA (127.000 Tonnen), Malaysia (118.000 Tonnen), der Türkei (109.000 Tonnen) sowie Thailand und Serbien (je 100.000 Tonnen).

⁵ Im Original: explored and prospective reserves.

Abbildung 2-3: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Antimon (t Sb in Erz)



Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung; Andere: Australien, Guatemala, Kanada, Kirgistan, Peru, Thailand, Türkei; Iran nicht berücksichtigt; BMWFJ 2010 weist für Pakistan 100 t und für Mexiko 380 t Produktion aus.

Die **Bergwerksproduktion** an Antimon wird von China dominiert. Die Gesamtproduktion sank von 157.000 Tonnen (China: 140.000 Tonnen) im Jahr 2001 zunächst auf 114.000 Tonnen 2002 (China: 100.000 Tonnen), stieg dann auf den Rekordwert von 182.000 Tonnen (China: 166.000 Tonnen) im Jahr 2008 an und ist bis 2010 wieder auf 135.000 Tonnen (China: 120.000 Tonnen) gefallen. Rund 63 % der chinesischen Produktion kommen aus der Provinz Hunan, 20 % aus Guangxi und der Rest aus zahlreichen weiteren Provinzen (Huachang 2007). Der Anteil Chinas an der Bergwerksproduktion beträgt 89 %. Das Angebot der anderen **Länder** reagiert nur wenig elastisch auf die Verknappung des Angebots in China. Bolivien, Südafrika, Russland und Tadschikistan produzieren je rund 2.000-3.000 Tonnen Antimon in Erzen pro Jahr.

Die **Unternehmen** des Antimonbergbaus sind stark in China konzentriert, Angaben zur Unternehmenskonzentration sind jedoch spärlich. Die Shenyang Huachang Non-Ferrous Mining Company Ltd betreibt die weltgrößte Antimonmine Xikuangshan in Hunan mit rund 60 % der jährlichen Weltproduktion (EnvirChem 2010, MMTA 2011).

Insgesamt gibt es nur wenige neue **Projekte** mit direktem Fokus auf Antimon. Einige Projekte in Australien verfolgen vorwiegend den Goldabbau, gewinnen aber Antimon als Nebenprodukt (z.B. Abchor Resources, Cambrian Mining, Northwest Resources und das kanadische Unternehmen Mandalay Resources). In Alaska (USA) fördert die kanadische Silverado Gold Mines in Nolan Creek Antimon als Kuppelprodukt von Gold. Über aktuelle chinesische Projekte ist nichts bekannt. Neue Projekte mit größerer Bedeutung sind in folgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 2-4: Antimon-Bergbauprojekte

Projekt	Sb-Gehalt	Sb-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	Jahresförderung
Hillgrove (AUS)	-	-	Sb, Au, W	Straits Resources (AUS)	technische Probleme 2009	10.000 t geplant
Zajaca (SRB)	-	-	Pb, Sb	Farmakom MB (RUS)	Pläne zur Wiedereröffnung des Bergbaus	-
San Miguel (MEX)	-	-	Sb, Ag	US Antimony Corporation (USA)	Genehmigung erteilt	ca. 500-1.000 t/a
Grosseto (ITA)	1,42 %	45.000 t	Sb	Adroit Resources (CAN)	historische Schätzung	-
Otter Lake (CAN)	2,9 %	114.000 t	Au, Sb	Rockport und Freewest (CAN)	angezeigte Ressourcen (indicated resources)	-
Beaver Brook (CAN)	-	-	Sb	Hunan Nonferrous Metals (CHN)	Mine erschlossen	-
Consolidated Murchison Mine (ZAF)	2,15 %	50.000 t	Au, Sb	74 % Village Main Reef (NZL), 26 % Trust	in Betrieb (Ausbau geplant)	2.600 t/a 6.000 t/a (2014)
Streiborná Projekt (SVK)	1,4 %	-	Ag, Cu, Sb	Investec / Global Minerals Ltd. (CAN)	kaum exploriert	-
Goynuk (TUR)	0,5-1 %	-	Sb	Tri-Star Resources (GBR)	Bohrungen	-

Quellen: Adroit Resources 2011, Farmakom MB 2009, USGS MYB 2011a, Village Main Reef 2010 und Unternehmensdarstellungen im Internet; - unbekannt.

Insgesamt sind die Aktivitäten zur Erschließung neuer Antimonvorkommen begrenzt. Für Deutschland sind keine Projekte zur Gewinnung von Antimon bekannt. Das kanadische Unternehmen Adroit Resources strebt an, zukünftig über die größten Antimon-Ressourcen außerhalb Chinas zu verfügen. Insgesamt scheint ein Bedarf nach verstärkter Exploration zu bestehen.

2.1.3 Marktstruktur und -dynamik

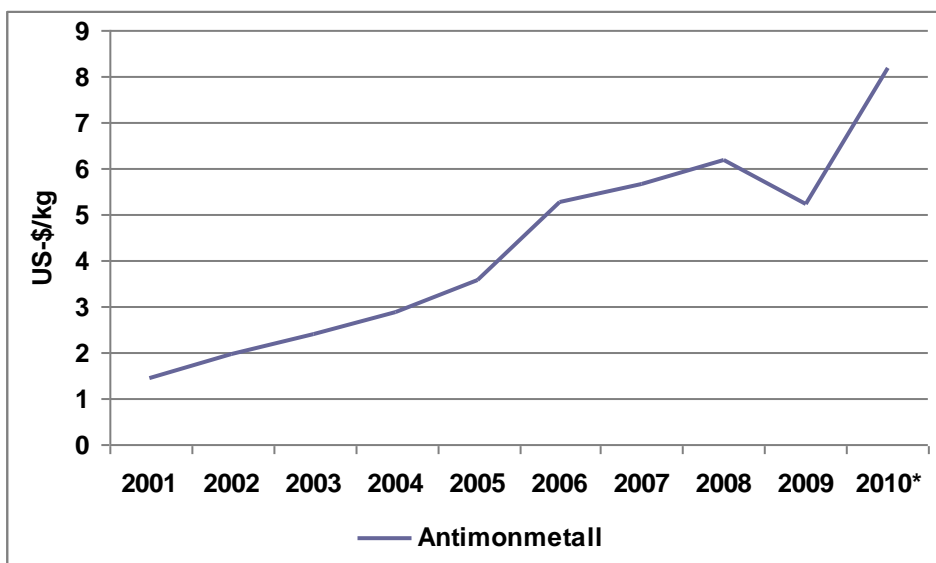
Aufgrund von Überausbeutung, Umweltverschmutzung, Minenschäden, Arbeitsunfällen und gesundheitlichen Belastungen von Minenarbeitern hat China umfangreiche Untersuchungen eingeleitet und Minenschließungen vorgenommen, als deren Folge **das chinesische Angebot** eingebrochen ist (Roskill 2007b). Durch die Quotierung von Abbau, Verhüttung und Export von Antimon sollen diese Missstände behoben und die Wertschöpfung in China gestärkt werden. Der chinesische Bedarf an Antimon ist weltweit der Größte, wodurch China auch zum größten Importeur von Antimonerz und -konzentrat geworden ist. China ist es in den letzten Jahren gelungen, immer mehr ATO auf Kosten von Antimon-Vorstoffen zu exportieren und somit einen größeren Teil der Wertschöpfung im Land zu behalten. Die chinesische Regierung hatte die Prospektion und Ausbeutung weiterer Lagerstätten bis Juli 2011 suspendiert.

Die **Gesamtnachfrage** nach Antimon wird durch die Kunststoff- und Elektrotechnik/Elektronik-Märkte sowie durch Brandschutzanforderungen getrieben. ATO machen zwar nur 8 % der

Menge des Flammschutzmittelmarktes in Höhe von 1,8 Mio. Tonnen aus, aber 16 % des Wertes von 4,2 Mrd. US-\$ (SRI Consulting 2008).⁶ Von den 141.000 Tonnen ATO entfallen rund 20.000-25.000 Tonnen auf Europa. Angesichts der Konkurrenz durch andere Batteriekonzepte im Bereich der Hybrid-/Elektrofahrzeuge (Nickelmetallhydrid (NiMH) -, Lithiumionen-Akkus) stellt sich die Frage nach der Zukunft der Bleibatterie. Auch der Antimongehalt in Bleibatterien könnte von heute 0,6 % bis 2020 auf 0 % sinken (USGS MYB 2008). In Entwicklungs- und Schwellenländern besteht ein hoher Bedarf nach PET-Flaschen für Getränke. Unsicherheiten über die gesundheitlichen Effekte von sich aus PET lösendem Antimon machen eine globale Prognose für dieses Segment schwierig. In Europa und den USA gibt es deshalb seit längerem Antimonfreie Alternativen für die PET-Produktion (Thiele 2004). Der Beitrag von Zukunftstechnologien zur zukünftigen Antimonnachfrage wird als eher gering eingeschätzt.

Unter den **Exportrestriktionen** für Antimon führt die OECD (2010) Exportsteuern von China auf Erz (10 %) und Rohantimon (5 %) auf. China hat seit 2009 Exportquoten für Antimon in Kraft. Für 2010 beträgt sie 100.000 t/a (Northwest Resources 2010). Russland verhängte 2008 eine Exportsteuer auf Antimonabfall und -schrott in Höhe von 6,5 % (OECD 2010). Es ist möglich, dass **Verwendungsbeschränkungen** insbesondere für die PET-Katalyse im Nahrungsmittelbereich und Flammschutzmittel für Spielzeug und Kinderkleidung zukünftig die Nachfrage nach Antimon dämpfen werden.

Abbildung 2-5: Entwicklung des Preises für Antimonmetall (US-\$/kg)



Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; 99,5/99,6 % Metall New York Dealer Preis c.i.f (cargo, freight, insurance) US ports; umgerechnet von US-Cent/lb; * Schätzung.

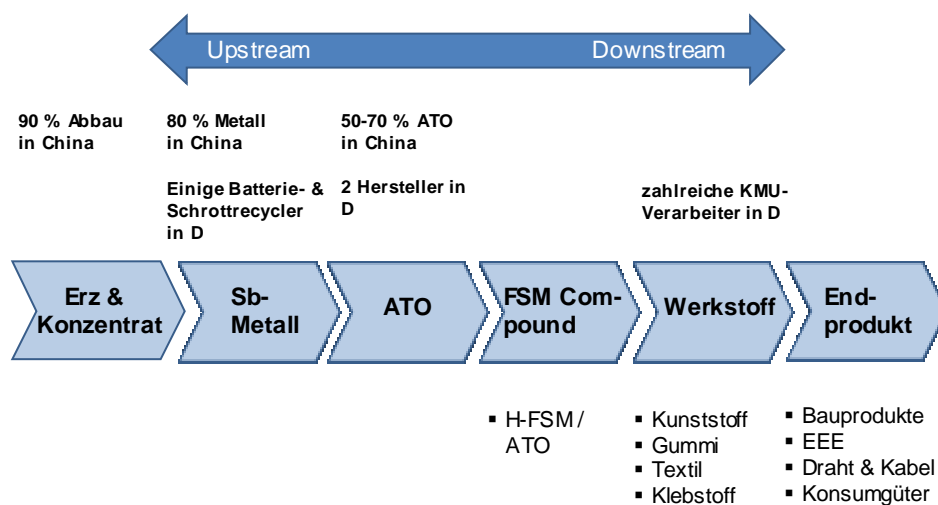
Die **Preise** für Antimonmetall haben – mit Ausnahme der Jahres 2009 – stetig zugenommen. Insbesondere die Minenschließungen und Exportrestriktionen durch China haben bei weiterhin steigender Nachfrage nach Antimon einen sprunghaften Anstieg der Preise im Jahr 2010 auf über 8 US-\$/kg bewirkt. Dieser Trend hat sich im 1. Quartal 2011 fortgesetzt. Die Konsolidie-

⁶ Auf bromierte und chlorierte Flammschutzmittel entfallen zusammen 41 % nach Wert. Die Differenz auf 100 % schließen Aluminiumhydroxid (13 %), Phosphor-organische Verbindungen (20 %) und sonstige (10 %).

Die Bergbau- und Hüttenindustrie in China könnte die Angebotssituation bis 2015 wieder entspannen, die Erschließung anderer Quellen wird erst nach 2015 signifikante Beiträge zur Versorgung leisten. Die Nachfrage nach Antimonprodukten hängt stark an der Weltkonjunktur, etwaige Verwendungsbeschränkungen und Substitutionsbemühungen werden ihre Wirkung möglicherweise erst nach 2015 voll entfalten. Die zukünftige Preisentwicklung verläuft bis 2015 voraussichtlich volatil und kann sowohl weiter stark ansteigen als auch einbrechen.

Haupteinsatzgebiete von Antimon in **Deutschland** sind Flammenschutzmittel in der Kunststoffverarbeitung und Antimonblei für Starterbatterien.⁷

Abbildung 2-6: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Antimonhaltige Flammenschutzmittel



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen 2011 basierend auf StaBuA 2010, i2a 2011 und Unternehmensdarstellungen im Internet; ATO – Antimontrioxid, D – Deutschland, EEE – Elektrotechnik/Elektronik, (H)-FSM – (halogenierte) Flammenschutzmittel, KMU – kleine und mittlere Unternehmen.

Der Beginn der Wertschöpfungskette von ATO in Flammenschutzmitteln wird von China dominiert. Antimonerz wird zu Konzentraten mit mindestens 60 % Antimongehalt verarbeitet und dann verhüttet. Durch Recycling (in Deutschland u.a. Berzelius Metall, Recylex, Umicore) – insbesondere von Starterbatterien – hat Deutschland ein eigenes Antimonaufkommen, das allerdings vorwiegend wieder zur Batterieherstellung und nicht zur ATO-Produktion verwendet wird. Die chinesischen Unternehmen Shanxing Antimony und Chenzhou Mining Group sind der größte bzw. zweitgrößte ATO-Hersteller weltweit. Die AMG (Advanced Metallurgical Group) ist der größte europäische Hersteller von ATO und verarbeitet dabei jährlich über 10.000 Tonnen Antimonmetall. ATO wird in Deutschland von zwei Herstellern produziert (Cofermin, Helm AG).⁸

⁷ Es gibt 4 Hersteller von Antimonblei in Deutschland (StaBuA 2009).

⁸ Mitglieder der International Antimony Association (i2a) mit Sitz in Brüssel sind u.a. auch die Handelsgesellschaften ANTRACO Chemie-Handelges., Goldmann Handelsges., GMS Chemie-Handelges. und Wilhelm-Grillo-Handelsges.

Die Compoundierung von Flammenschutzmitteln ist in der Regel proprietäres Wissen der zahlreichen kleinen und mittelständischen Kunststoffverarbeiter (z.B. GKG Goldmann Kunststoffe).

2.1.4 Materialeffizienz

Es liegt keine Gesamtschau der Prozessverluste von Antimon über den Lebensweg vor.⁹ Substitutionsbemühungen gibt es vor allem im Bereich der halogenierten Flammenschutzmittel, wobei ATO als Synergist nur mittelbar adressiert wird. Das Recycling von Starterbatterien aus Kraftfahrzeugen ist in Deutschland auf einem sehr hohen Niveau, wobei auch das Antimonblei fast vollständig wiedergewonnen wird.

Tabelle 2-7: Recyclingfähigkeit von Antimon

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Flammenschutzmittel (Antimontrioxid)	2-8 % Antimon in Kunststoff für EEE 0,1-2 % Antimon in Epoxy und Silikon für Halbleiter für in EEE 1-10 % Antimon in PVC, 2-4 % in anderen Polymeren und Gummi 1-15 % Antimon in Klebstoffen, Resins und Textilien	kein Verfahren zur Wiedergewinnung von Antimon bekannt
Batterien	0,6 % Antimon in Starterbatterien (abnehmend)	ausgereifte Sekundärbleihütte mit Wiedergewinnung von Antimonblei für die Batterieindustrie mit Effizienz von 95-99 %

Quellen und Anmerkungen: FOEN 2007, USGS MYB 2008, USGS Profile 2004; EEE- elektrische und elektronische Geräte; PVC - Polyvinylchlorid.

Tabelle 2-8: Substitutionsmöglichkeiten für Antimon

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Flammenschutzmittel (Antimontrioxid)	Aluminiumhydroxid Magnesiumhydroxid Phosphor-basiert zahlreiche Spezialitäten	Nicht brennbare Kunststoffe, Metall, Baustoffe, Glas und Keramik
Batterien	Calcium, Kupfer, Zinn statt Antimon zum Härten von Blei	Lithiumionen-Akku, Nickelmetallhydrid-Akku

Quellen: ISI/IZT 2009, IVF 2011, Troitsch 2010, USGS Profile 2004.

Die öffentliche Debatte über die Umwelt- und Gesundheitseffekte von Kunststoffen allgemein hat an Schärfe verloren, wohl aber werden spezielle Probleme adressiert. **Halogenfreie Flammenschutzmittel** gibt es für die meisten Massenpolymere wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyamid (PA), Polyethylenterephthalat (PET), Polycarbonat (PC), Epoxidharz (EP), Ungesättigtes Polyesterharz (UP), Polyphenylenether (PPE)/Hochschlagzähes Polystyrol (HIPS), PC/Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und Polybutylenterephthalat (PBT), nicht aber für reines Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und reines Hochschlagzähes Polystyrol (HIPS) nach Brandschutzklasse UL94V0 in elektrischen und elektronischen Geräten (Troitsch 2010). Da die

⁹ Für die ebenfalls sulfidisch vorliegenden Metalle Blei und Zink werden Abbau- und Aufbereitungsverluste von 5 % bzw. 15 % berichtet (Ecoinvent 2007). Die Prozesseffizienz für die Primärblei- und Zinkverhüttung liegt jeweils bei 98 %.

halogenierten Flammschutzmittel im Fokus des Substitutionsinteresses stehen, werden Alternativen zu ATO als Synergist nur indirekt gesucht. Eine Wiedergewinnung von Antimon aus Altprodukten scheint bei den geringen Mengengehalten und den derzeitigen Entsorgungsinfrastrukturen für Bauprodukte, Konsumgüter und elektrische und elektronische Geräte wenig aussichtsreich zu sein.¹⁰

Die Substitution von Antimon in Antimonblei für **Starterbatterien** ist aufgrund der **nahezu vollständigen Kreislaufführung** in Deutschland (IZT 2004) von untergeordnetem Interesse. Zur Starterbatterie aus Blei gibt es für Kraftfahrzeuge keine großtechnische Alternative; erst bei der Umstellung auf Elektromobilität kann die Starterbatterie durch andere Batteriesysteme ersetzt werden.

¹⁰ Die europäische Directive WEEE schreibt vor, dass Kunststoffe mit bromierten Flammschutzmitteln vor dem Recycling, der energetischen Verwertung oder Entsorgung abgetrennt werden müssen. Diese teure Sonderbehandlung schafft einen Anreiz zum Verzicht auf bromierte Flammschutzmittel.

2.2 Gallium

Gallium (Ga) gehört zur III. Hauptgruppe des Periodensystems und hat eine Dichte von $5,91 \text{ g/cm}^3$. Gallium hat mit $29,8 \text{ °C}$ einen sehr niedrigen Schmelzpunkt, aber mit 2.403 °C einen sehr hohen Siedepunkt. Damit hat es den höchsten Flüssigkeitsbereich aller Metalle. Zahlreiche Gallium-Verbindungen sind Halbleiter. Gallium wird vorwiegend als Galliumarsenid (GaAs) und als Galliumnitrid (GaN) verwendet.

2.2.1 Verwendung und Nachfrage

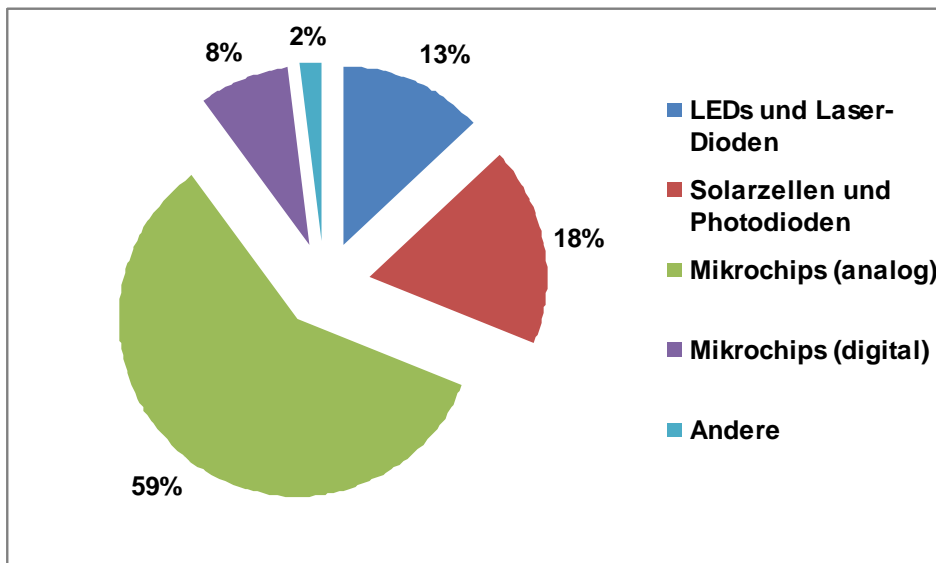
Informationen zum **weltweiten Verbrauch** von Gallium liegen nicht vor. Deshalb muss der weltweite Verbrauch mit der weltweiten Produktion angenähert werden. Im Jahr 2008 lag die korrigierte Primärproduktion bei 111 Tonnen (USGS MCS 2010). Die weltweite Raffinadeproduktion betrug 2008 135 Tonnen (USGS MCS 2009), d.h. rund 24 Tonnen wurden aus sekundären Vorstoffen produziert. Gallium wird in **Deutschland** vorwiegend bei der Bauxit-Verarbeitung separiert, aber es wird auch aus Produktionsabfällen recycelt. Nach Recapture Metals wurden in Deutschland im Jahr 2008 24 Tonnen Gallium gewonnen.¹¹ Die Außenhandelsstatistik ist aufgrund der aggregierten Ausweisung von Gallium mit Indium und Thallium (BGR RoSit 2009) nur schwer interpretierbar. Im Jahr 2008 importierte Deutschland 43 Tonnen und exportierte 27 Tonnen Gallium, Indium und Thallium (Metall, inkl. Schrott), was einen Verbleib von 16 Tonnen ergibt. Die Importe der Gruppe Gallium, Indium, Thallium (Metall, inkl. Schrott) stammten im Jahr 2008 zu 40,1 % aus Großbritannien, zu 15,7 % aus den USA und zu 14,3 % aus der Slowakei (BGR RoSit 2009). Der Netto-Importanteil Deutschlands am eigenen Gallium-Verbrauch liegt aufgrund vernachlässigbaren Altproduktrecyclings bei 100 %, ¹² der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch ist mit 15-25 % nur sehr unsicher abschätzbar.

Zur **Verwendungsstruktur** von Gallium weltweit oder in Deutschland liegen keine Angaben vor, aber für die USA. Die USA verbrauchen rund 1/4 des weltweiten Galliums.

¹¹ www.recapturemetals.com/locations/12/

¹² Primäres Gallium wird ausschließlich mit dem zu 100 % importierten Bauxit nach Deutschland eingeführt.

Abbildung 2-9: Verwendungsstruktur von Gallium in den USA (Gew.-%)



Quelle und Anmerkung: USGS MYB 2011b; LED – Licht emittierende Diode.

Die Herstellung von Mikrochips benötigt rund 2/3 des gesamten US-amerikanischen Gallium-Bedarfs. Ein Großteil davon entfällt auf analoge Schaltungen. Haupttreiber der Nachfrage nach Galliumarsenid (GaAs) - Mikrochips sind Mobiltelefone und Wireless Local Area Networks (WLAN) (USGS MYB 2011b). Licht emittierende Dioden (LEDs) und Laser-Dioden sowie Solarzellen und Photodioden werden auf Basis von Galliumarsenid (GaAs) oder von Galliumnitrid (GaN) hergestellt. Auf dieses stark wachsende Segment entfiel 2008 rund 1/3 des US-amerikanischen Verbrauchs. LEDs werden als Halbleiter zu Beleuchtungszwecken, zur Hintergrundbeleuchtung von Displays und in immer neuen Anwendungen wie z.B. Blue Ray DVDs eingesetzt. Die Nachfrage aus dem Photovoltaik-Segment rührt von der Dünnschichtphotovoltaik mit Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/-sulfid (CIGS)-Halbleitern und GaAs-Solarzellen insbesondere für Weltraumanwendungen her (ISI/IZT 2009). Unter die sonstigen Anwendungen fällt insbesondere die Forschung. Alleine für die Neutrino-Detektion in einer einzigen Anlage werden mit 60 Tonnen knapp 40 % der Weltjahresproduktion benötigt.

Nahezu alle Verwendungen von Gallium sind **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologien, darunter die Herstellung von elektronischen Bauelementen. Die Herstellung elektrischer Lampen und Leuchten zählt zur gehobenen Gebrauchstechnologie (NIW 2007).

Zu den noch nicht voll kommerzialisierten neuen Technologien gehören:

- Fujitsu (2010) hat den weltweit ersten High Electron Mobility Transistor (HEMT) auf Basis von Galliumnitrid entwickelt, der Stromverluste in elektrischen und elektronischen Geräten minimiert. HEMT unterbrechen im Stand-by Mode den Strom und senden bei Aktivierung eine hohe Stromdichte aus.
- Das Fraunhofer ISE in Freiburg hat für die CIGS Solarzelle eines deutschen Herstellers einen Wirkungsgrad von 20,3 % attestiert (USGS MCS 2011). Mit einer Mehrfach-Zelle (Gallium-Indium-Phosphid, Gallium-Indium-Arsenid auf Germanium-Substrat) wurde sogar ein Wirkungsgrad von 41,1 % erzielt.

Die Auswirkungen von Gallium und seiner wichtigsten Verbindungen auf **Gesundheit und Umwelt** sind nur wenig untersucht. Zur Zeit unterliegen sie keinen tiefgreifenden Verwendungsbeschränkungen, wohl aber Arsen und Galliumarsenid selbst. Bei der Europäischen

Chemikalienagentur läuft bis Ende April 2011 ein öffentliches Konsultationsverfahren zur Karzinogenität von Galliumarsenid.

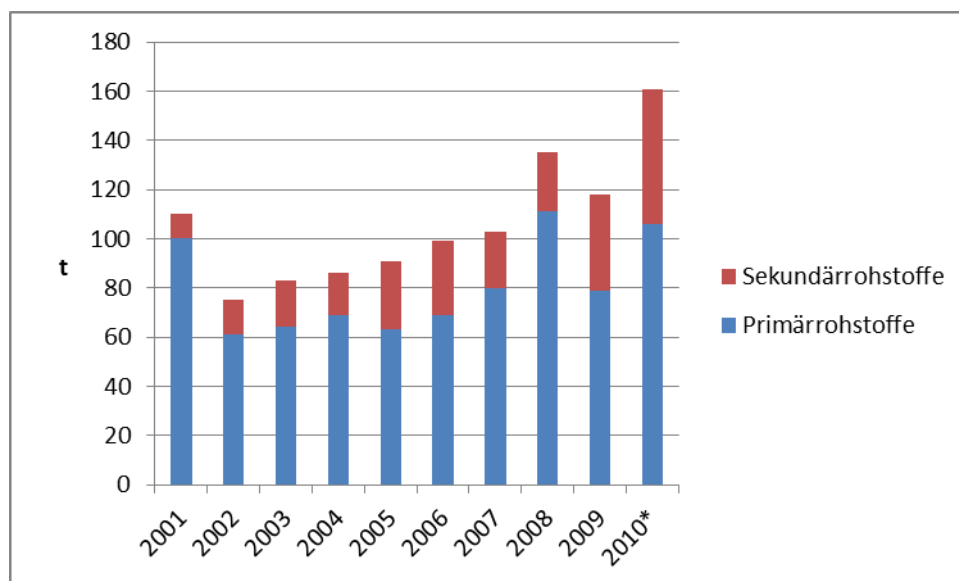
2.2.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Galliums in der Erdkruste beträgt rund 19 mg/kg. Gallium ist zwar weit verbreitet, tritt aber nur selten konzentriert auf. Aufgrund seiner chemischen Ähnlichkeiten mit Aluminium tritt Gallium gehäuft in Bauxit, teilweise auch in Zinkerzen auf.¹³

Es gibt keine einheitliche Quelle zu den weltweiten **Reserven** (USGS MCS 2011). Einer Einzelquelle zufolge gibt es alleine in der GUS 10.000 Tonnen Reserven an Gallium, davon 93 % in Russland und 6 % in Kasachstan (Infomine 2006). Die Produktion von Gallium erfolgt im Anschluss an den Aufschluss des Bauxits mit Natronlauge im Bayer-Verfahren.¹⁴ Die Bauxit-Verarbeitung ist weit über die Erde verteilt. Auf China entfällt über ein Drittel der Produktion.

USGS (MCS 2011) bemisst die **Ressourcen** zu 50 ppm in Bauxit, woraus sich bei einer Ausbringungsrate von 40 % die jährlich verfügbare Menge auf maximal 4.000 Tonnen abschätzen lässt (BGR 2010a). Alleine die Vorräte von Gallium in Bauxit belaufen sich auf 1 Mio. Tonnen, die Vorräte in Zinkerzen sind dabei noch nicht berücksichtigt.¹⁵ Rund 1/3 der Aluminiumraffination ist potentiell für eine Gallium-Produktion geeignet.

Abbildung 2-10: Entwicklung der Raffinerieproduktion von Gallium (t Ga-Metall)



Quellen und Anmerkung: USGS MCS 2002-2011; * Schätzung.

¹³ Gallium könnte auch aus Kraftwerksaschen (gemeinsam mit Germanium) gewonnen werden (BGR 2010a).

¹⁴ Im Bayer Liquor beträgt die typische Gallium-Konzentration 70-150 mg/l, von Vanadium 130 mg/l, von 60 g/l Aluminium und von NaOH 220 g/l (Ecoinvent 2007). Das Gallium kann mit Chelat-Bildnern (Rhône-Poulenc Prozess) elektrolytisch (Alusuisse-Prozess) oder durch fraktionierten Niederschlag (Péchiney-Prozess) abgetrennt werden. Durch fraktionierte Kristallisation oder Einzelkristallwachstum werden Reinheiten von 99,999999 % (N6) erzielt.

¹⁵ Bei Xstrata wird aus den Zinkkonzentraten bislang kein Gallium separiert (vgl. Interview mit Herrn Scheeren (Fa. XStrata) 2011).

Die **Raffinerieproduktion** von Gallium lag 2002 bei 75 Tonnen und ist bis 2010 auf 161 Tonnen gestiegen. Es liegt keine Aufschlüsselung nach Ländern über diesen Zeitraum vor. Nach USGS (MCS 2010) sind China, Deutschland, Kasachstan und die Ukraine die größten Primärproduzenten.¹⁶ Nach US DOE (2010) betrug die Primärproduktion an Gallium im Jahr 2009 knapp 120 Tonnen, wovon 59 Tonnen auf China und 25 Tonnen auf Kasachstan entfielen. Die größten Produzenten von raffiniertem Gallium insgesamt sind China, Japan und die USA. Die Nikolaev-Raffinerie von RUSAL in Russland produziert 13 Tonnen hochreines Gallium pro Jahr. In Deutschland, Japan, dem Vereinigten Königreich und in den USA werden auch Neuschrotte recycelt. Der Anteil an sekundärem Gallium ist von knapp 10 % im Jahr 2001 auf rund 1/3 heute gestiegen. Die primäre Gallium-Produktionskapazität lag 2010 bei insgesamt 184 Tonnen, die Raffineringskapazität bei 177 Tonnen und die Recyclingkapazität bei 141 Tonnen. Die Recyclingkapazität betrug im Vorjahr (2009) noch 78 Tonnen (USGS MCS 2011 bzw. 2010).

Es liegen Daten zur Entwicklung der **Primärgallium-Raffineriekapazitäten** vor (USGS MYB Gallium, verschiedene Jahrgänge): Diese bewegte sich zwischen 2001 und 2008 immer zwischen 179 und 210 Tonnen pro Jahr.¹⁷ Die Kapazität Chinas ist von 20 Tonnen im Jahr 2001 auf 59 Tonnen 2008 gestiegen. Australien verfügte bis 2004 über eine Jahreskapazität von 50 Tonnen Gallium, ab 2005 nicht mehr. Deutschland hatte zwischen 2001 und 2008 über 30-35 Tonnen, Kasachstan über 20-25 Tonnen, Japan über 20 Tonnen und Russland über 19 Tonnen Jahreskapazität. Ungarn und die Slowakei standen durchgängig jeweils 8 Tonnen Kapazität zur Verfügung, während die Kapazität der Ukraine von 3 Tonnen auf 10 Tonnen gestiegen ist.

Einheitliche Angaben zur **Länderkonzentration** und zur **Unternehmenskonzentration** liegen nicht vor. Aus einer Gesamtschau mehrerer Einzelangaben lässt sich aber schlussfolgern, dass die Unternehmenskonzentration problematisch ist. Große Anbieter von Gallium-Raffinade sind GEO Gallium aus Frankreich, Aluminium Corp. CHALCO aus China und Sumimoto aus Japan mit Marktanteilen von jeweils etwa 10-30 %. Mit der Herstellung von Gallium-Raffinade aus Bauxit in Deutschland und den anderen bedeutenden Produktionsländern Frankreich und Japan ist das Länderrisiko der Produktion begrenzt.

Neuere **Projekte** zur Separierung von Gallium bei der Bauxit-Verarbeitung mit anschließender Raffination sind nur vereinzelt bekannt.¹⁸ Gold Canon Resources Inc. (Kanada) berichtet von seinem Codero Gallium Projekt in Nevada (USA), die Angaben sind jedoch veraltet und weitere Fortschritte nicht überprüfbar. Emerging Metals Ltd. plant eine Gewinnung von Gallium, Germanium und Zink aus der Schlacke der Tsumeb-Hütte in Namibia (vgl. auch Fayram/Anderson 2008). Im Vorkommen Geyer-Südwest in Sachsen vermutet die Deutsche Rohstoff AG (2010) 353 Tonnen Gallium neben 441 Tonnen Indium, 58.300 Tonnen Zinn und 72.800 Tonnen Zink.

2.2.3 Marktstruktur und -dynamik

Das globale **Gallium-Angebot** ist durch die Kopplung an die Aluminium-Produktion begrenzt. Es sind nur wenige Ansätze bekannt, die Versorgung mit Primär-Gallium zu verbessern, wohin-

¹⁶ Kleinere Mengen an Gallium-Metall werden in Ungarn, Japan, Russland und der Slowakei gewonnen. Auch Chile produziert seit 2008 Gallium (vgl. Umicore in US DOE 2010).

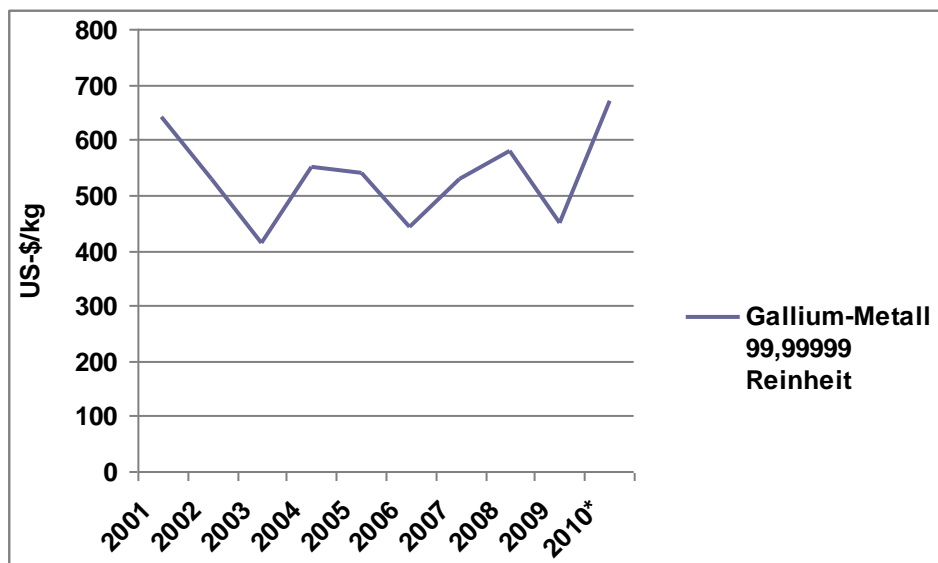
¹⁷ Für die globale Raffineriekapazität von 177 Tonnen im Jahr 2010 liegt keine Aufschlüsselung nach Ländern vor.

¹⁸ Eine Auswertung von USGS (MYB 2011b) und eine Internetrecherche erbrachte keine nennenswerten neuen Gallium-Projekte.

gegen bei den Recyclingkapazitäten in den letzten Jahren starke Fortschritte erzielt wurden. Kurzfristig wird das Gallium-Angebot von der Verfügbarkeit geeigneter Schrotte abhängen, mittel- bis langfristig müssten zur Deckung einer steigenden zukünftigen Nachfrage in einem bislang kleinen, oligopolartigen Markt neue Separierungs- und Raffinerungsanlagen gebaut werden. Russland erhebt 6,5 % **Steuern** auf den Export von Gallium (OECD 2010a).

Wichtige Treiber für die weltweite **Gallium-Nachfrage** sind Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Energietechnologien (Photovoltaik und effiziente Beleuchtung) und der militärische Sektor. Das erwartete exponentielle Wachstum der Gallium-Nachfrage (ISI/IZT 2009, Wuppertal-Institut 2010b) könnte u.U. durch Versorgungsengpässe gebremst werden.

Abbildung 2-11: Entwicklung des Preises für Gallium (US-\$/kg)



Quellen und Anmerkung: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung.

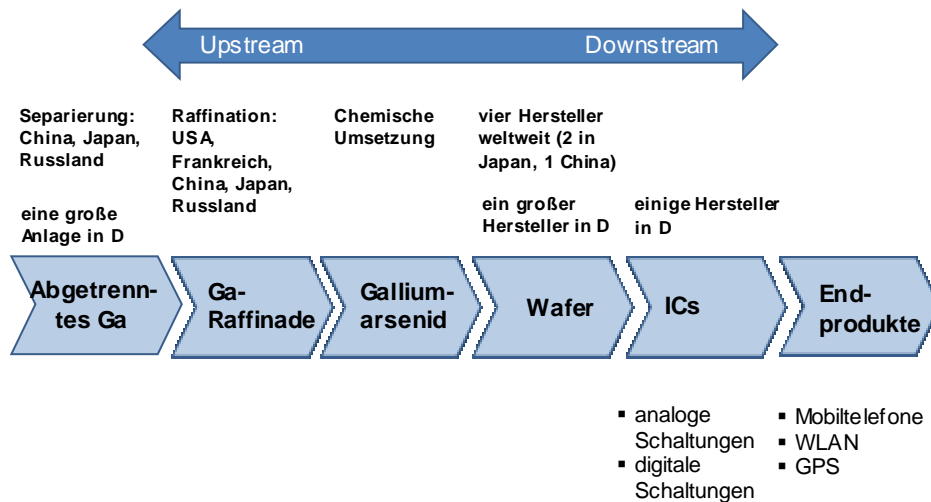
Die **Preise** für Gallium sind seit 2001 auf einem vergleichsweise stabilen Niveau. Sie liegen 2010 wieder bei 670 US-\$/kg, fielen aber seit 2001 nie unter 400 US-\$/kg.

Abschätzungen der zukünftigen Preisentwicklung liegen nicht vor. Für Preisstabilität spricht der Verlauf in den letzten zehn Jahren, gegen Preisstabilität spricht die zukünftig starke Nachfragesteigerung bei begrenztem Primärangebot. Kurzfristig ist eine erhöhte Volatilität zu erwarten, mittel- und sind langfristig deutliche Preisanstiege möglich.

Deutschland ist ein wichtiger Akteur in der globalen Wertschöpfung mit Gallium-haltigen Produkten. Hervorzuheben ist insbesondere die Produktion von GaAs-Wafern, deren Wertschöpfungskette für hochleistungsfähige Anwendungen hier vereinfacht dargestellt ist. Auch für die LED-Produktion und -Verwendung gibt es wichtige Akteure in Deutschland.¹⁹

¹⁹ Der Weltmarkt bei den Lampen wird von Osram (100 %ige Siemens-Tochter), Phillips (produziert auch in Deutschland) und General Electric dominiert. Osram und Phillips haben auch bei LEDs eine führende Position. Osram Opto Semiconductors stellt in Regensburg LED-Chips auf Gallium-Basis her.

Abbildung 2-12: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Gallium in Mikrochips



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf StaBuA 2009, USGS MYB 2011b und Unternehmensdarstellungen im Internet; D – Deutschland; GPS- Global Positioning System; IC – Integrated Circuit (integrierter Schaltkreis); WLAN – Wireless Local Area Network.

Nur rund 10 % der Aluminiumhersteller extrahieren das Gallium als Nebenprodukt bei der Ausbereitung von Bauxit. Für die verbleibenden 90 % ist Gallium eher eine Verunreinigung des Aluminiums (US DOE 2010). Im Jahr 2008 kauften Recapture Metals (USA) und Mining & Chemical Products Ltd. (GBR) die einzige Anlage zur Gewinnung von Gallium aus primären Rohstoffen in Deutschland.²⁰ In dieser Anlage in Stade wird Gallium zwar in 99,9999 %iger Reinheit (N4) produziert; für die in der Informations- und Kommunikationstechnik erforderliche Reinheit von 99,999999 % (N6) muss es aber im Ausland feiner raffiniert und wieder importiert werden. Die MCP-HEK stellt Gallium- und Indium-Chemikalien sowie -Halbzeuge in Lübeck her,²¹ die PPM-Recylex gewinnt u.a. Gallium aus Produktionsreststoffen. Galliumarsenid-Wafer werden von der Freiburger Compound Materials hergestellt, das etwa ein Drittel des Weltmarktes bedient (VDI Nachrichten 17.9.2010). Infineon verarbeitet Galliumnitrid in der Fertigung integrierter Schaltkreise (ICs).²² Die USA haben 2008 insgesamt 165 Tonnen Galliumarsenid-Wafer importiert, davon 60,9 Tonnen aus Japan und 34,1 Tonnen aus Deutschland (USGS MYB 2011b). ICs auf GaAs-Basis werden vor allem für mobile Hochfrequenzanwendungen eingesetzt, wie z.B. in Mobiltelefonen und GPS-Geräten.

²⁰ vgl. Interview mit Herrn Lochte und Frau Stade (Fa. Recapture Metals) 2011.

²¹ Die GFE (AMG Advanced Metallurgical Group) produziert Gallium-Kupferlegierungen (CuGa, CuInGa) und ZnO/Ga₂O₃ für Spezialanwendungen.

²² vgl. Interview mit Frau Senninger (Fa. Infineon) 2011.

2.2.4 Materialeffizienz

Das Wuppertal-Institut (2010a) beabsichtigte im Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ die Materialeffizienz von Gallium zu untersuchen. Quantifizierungen gelangen aber nicht. Ecoinvent (2007) bilanzierte aufgrund der damaligen geringen Nachfrage nach Gallium nicht die upstream-Prozesse in der Aluminiumproduktion. Für den Elektrolyseprozess und die Reinigung von Gallium bis zur Halbleiterqualität gibt Ecoinvent (2007) die Materialeffizienz (Verhältnis von Materialinhalt im gewünschten Prozessprodukt zu Materialinput in den Prozess) mit jeweils 90 % an. Der Anteil dissipativer Gallium-Verwendungen in komplexen Materialgemischen liegt bei nahezu 100 %.

Tabelle 2-13: Recyclingfähigkeit von Gallium

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Mikrochips	geringe Mengen Galliumarsenid	Produktionsabfallrecycling ausgereift, kein Recycling von ausgemusterten integrierten Schaltkreisen (ICs)
Photovoltaik (CIGS aktive Halbleiterschicht)	dünne CIGS-Halbleiterschicht	SENSE und RESOLVED-Projekt: heute 50 %, Ziel 80-90 % Gallium-Wiedergewinnung
LEDs	Galliumnitrid	noch kein Verfahren bekannt

Quellen und Anmerkungen: IUTA o.J., IZT/MaREss 2010; CIGS - Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid; LED – Licht emittierende Dioden.

Tabelle 2-14: Substitutionsmöglichkeiten für Gallium

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Mikrochips	Silicium, Siliciumgermanium (SiGe) Militär: -	-
Photovoltaik (CIGS aktive Halbleiterschicht)	partieller Ersatz von Gallium durch Indium	kristallines und amorphes Silicium (c-Si bzw. a-Si), Cadmiumtellurid (CdTe), organische Photovoltaik
LEDs	OLEDs	herkömmliche Lampen

Quellen und Anmerkungen: ISI/IZT 2009, IZT/MaREss 2010, USGS MCS 2011; CIGS - Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid; LED – Licht emittierende Dioden; OLED – Organische Licht emittierende Diode.

Aufgrund der geringen Ausbeuten in der Produktion von Gallium-haltigen Produkten bestehen ökonomische Anreize für ein Recycling der Produktionsabfälle (Extraktion und Reinigung) (Naumov/Grinberg 2009). Die **dissipative Verwendungsstruktur** von Gallium hemmt ein Altproduktrecycling erheblich, auch wenn es für Photovoltaik-Module erste Ansätze gibt.

Für die Substitutionsmöglichkeiten von Gallium ergibt sich ein vielschichtiges Bild. Bei Mikrochips konkurriert Galliumarsenid mit Silicium und Siliciumgermanium. Die Elektronengeschwindigkeit und -mobilität sind in integrierten Schaltkreisen auf Galliumarsenid (GaAs) - Basis höher als bei Silicium (Si), was die Herstellung von hochfrequenten Transistoren erlaubt. Außerdem sind sie weniger störanfällig und verbrauchen weniger Strom. Auch Siliciumgermanium (SiGe)-Bauteile sind kleiner und energieeffizienter als reine Si-Bauteile. Zwar ist die Herstellung von SiGe ähnlich teuer wie die von komplementären Metalloxid-Halbleitern (CMOS) - Si, sie ist aber immer noch billiger als die von Galliumarsenid (ISI/IZT 2009). Für Rüstungsanwendungen von integrierten Schaltkreisen aus Galliumarsenid gibt es dagegen keine geeigneten Substitute

(USGS MCS 2011). In Photovoltaik wird voraussichtlich der Markt die Marktanteile der miteinander konkurrierenden Technologien regeln (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid, Silicium, Cadmiumtellurid, organische Photovoltaik), wobei die Halbleiterschicht für die Gesamtkosten nur geringe Relevanz hat (IZT/MaRes 2010). Für Licht emittierende Dioden (LEDs) gibt es auf dem Markt noch keine geeigneten **Substitute**, zukünftig können aber organische Licht emittierende Dioden (OLEDs) Galliumarsenid oder Galliumnitrid ersetzen.

2.3 Germanium

Germanium (Ge) gehört zur IV. Hauptgruppe des Periodensystems. Germanium hat eine Dichte von $5,32 \text{ g/cm}^3$, der Schmelzpunkt liegt bei $937,4 \text{ °C}$. In seinen chemischen Eigenschaften ähnelt Germanium dem Silicium, es bildet z.B. Gläser. Zahlreiche Germaniumverbindungen haben Halbleitereigenschaften. Germanium wird hauptsächlich als Metall und als Germaniumdioxid (GeO_2) kommerziell gehandelt.

2.3.1 Verwendung und Nachfrage

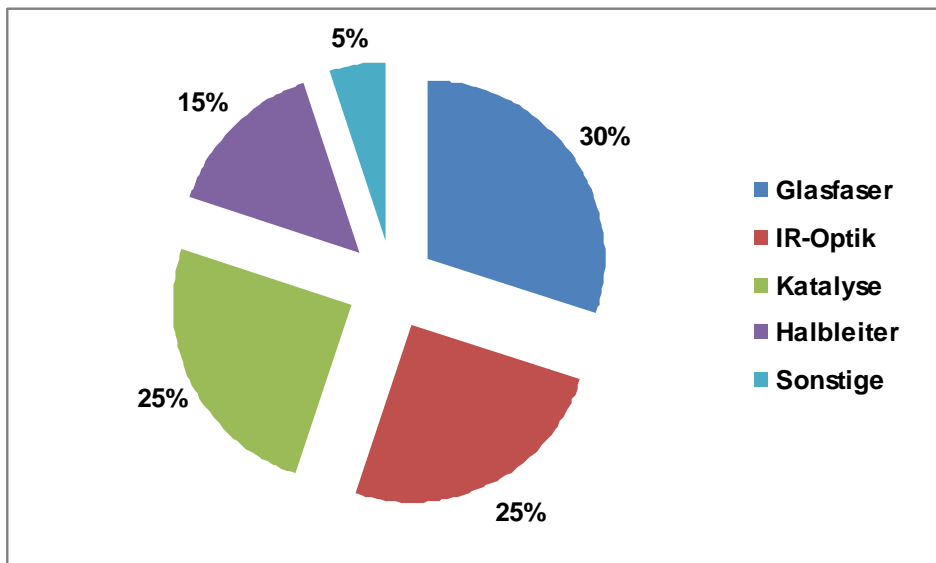
Der weltweite **Verbrauch** von Germanium wird für das Jahr 2010 auf 210 Tonnen geschätzt (Chinahourly 2010). Dagegen gibt USGS (MCS 2011) die weltweite Raffinerieproduktion auf nur 120 Tonnen im Jahr 2010 an (2008: 140 Tonnen). Die Recyclingquote wird mit 30 % angegeben. **Deutschland** hat im Jahr 2008 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (StaBuA 2011) 20,6 Tonnen Germanium in Rohform oder als Pulver importiert, davon 16,9 Tonnen aus China und 2,7 Tonnen aus den USA. 40 % der gesamten chinesischen Germaniumexporte gingen 2008 nach Deutschland als wichtigstes Zielland (Asian Metals 2008a). Die weiteren Importströme von Germanium-haltigen Produkte können nicht sinnvoll gedeutet werden.²³ Deutschland produziert selbst kein primäres Germanium, rezykliert es aber in unbekanntem Mengen. Der Germanium-Verbrauch Deutschlands im Jahr 2008 lässt sich wegen der großen Unsicherheiten nur schätzen: 20-30 Tonnen (ca. 15-25 % des Weltverbrauchs) insgesamt erscheinen realistisch. Der Netto-Importanteil am Verbrauch aller Germanium-Handelsformen ist ebenfalls entsprechend unsicher. Vermutlich liegt er zwischen 75 und 90 %.²⁴ Einzige Quelle für die Selbstversorgung ist das Recycling von Germanium-haltigen Schrotten, dessen Potentiale derzeit vermutlich nur begrenzt ausgeschöpft werden.

Obwohl Deutschland ein sehr bedeutendes Land für die Germanium-Verwendung ist, liegt keine Verwendungsstatistik vor. Die globale **Verwendung** teilt sich wie folgt auf:

²³ Die Angaben zu den Germaniumeinfuhren gemäß BGR (RoSit 2008) in Höhe von 20 Tonnen Germaniummetall und 2.990 Tonnen Germaniumoxid sind angesichts der Weltproduktion von 120-210 Tonnen Germanium kaum interpretierbar. Waren aus Germanium und Hafnium werden zusammen ausgewiesen; die Einfuhr betrug 2008 8 Tonnen (StaBuA 2011).

²⁴ Die Importabhängigkeit Deutschlands für primäres Germanium liegt bei 100 %.

Abbildung 2-15: Globale Verwendungsstruktur von Germanium (Gew.-%)



Quelle und Anmerkung: USGS MCS 2011; IR – Infrarot.

Die Hauptverwendung von Germanium ist die Herstellung von Glasfasern, insbesondere für die Telekommunikation mit den Teilsegmenten Fernübertragung, Metro- und Zugangsbereich. Nur im Zugangsbereich dominieren noch Kupferkabel, ansonsten Glasfaseroptik. Entweder durch direkte Zugabe von Germaniumdioxid (GeO_2) oder durch Umsetzung von Germaniumtetrachlorid (GeCl_4) zu GeO_2 wird die innere Reflexion der Glasfasern aus Siliciumdioxid erhöht. Weltweit entfallen auf diese Anwendung 30 % des Germanium-Verbrauchs, in den USA sogar rund 50 % (USGS MCS 2010). Germanium und seine Oxide haben einen breiten und homogenen Transmissionsbereich für Infrarotstrahlung (Vulcan 2009a). Infrarot (IR) -Optische Anwendungen machen rund 1/4 des weltweiten Verbrauchs aus, darunter vor allem militärische Anwendungen (Nachtsichtgeräte, Thermographie, etc.). Ebenfalls rund 1/4 des Weltverbrauchs entfällt auf den Einsatz von GeO_2 in Katalysatoren für die Produktion von PET und synthetischen Textilfasern (Scoyer et al. 2005). Die Photovoltaik und andere elektronische Anwendungen sind ein wachsendes Segment für halbleitende Germanium-Substrate (z.B. für Galliumarsenid (GaAs) - Solarzellen und Galliumarsenidphosphid (GaAsP) für LEDs) bzw. Germaniumdioden für niedrige Spannungen. Germanium und Silicium sind vollständig mischbar (SiGe). Unter sonstige Anwendungen für Germanium fallen Chemotherapie, Metallurgie und Leuchtstoffe.

Germanium wird überwiegend für **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologien eingesetzt, darunter nachrichtentechnische Geräte und Einrichtungen sowie Meß-, Kontroll-, Navigations- und ähnliche Instrumente und Vorrichtungen. Nur einzelne Verwendungen wie die Katalyse zählen eher zur gehobenen Gebrauchstechnologie (NIW 2007).

Noch nicht vollständig kommerzialisierte neue Technologien sind:

- Neue Speichermedien ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) (vgl. Antimon).
- Thermoelektrische Generatoren $(\text{GeTe})_x(\text{AgSbTe}^2)_{100-x}$ (vgl. Antimon).
- Siliciumgermanium (SiGe) in komplementären Metalloxid-Halbleiter (CMOS) Chips und Transistoren sind kleiner, langlebiger und robuster (Asian Metals 2008a).²⁵
- Platingermanium (PtGe) als Legierung oder Halid in katalytischen Anwendungen zum Cracking bzw. zur Ölraffination (Asian Metals 2008a).
- Mehrfach-Solarzellen mit Wirkungsgraden von 30-40 % für terrestrische Anwendungen (USGS MYB 2011c)

Darüber hinaus sind neue Generationen von Silberwaren und Schmuck aus Silbergermanium (AgGe) zu erwähnen.

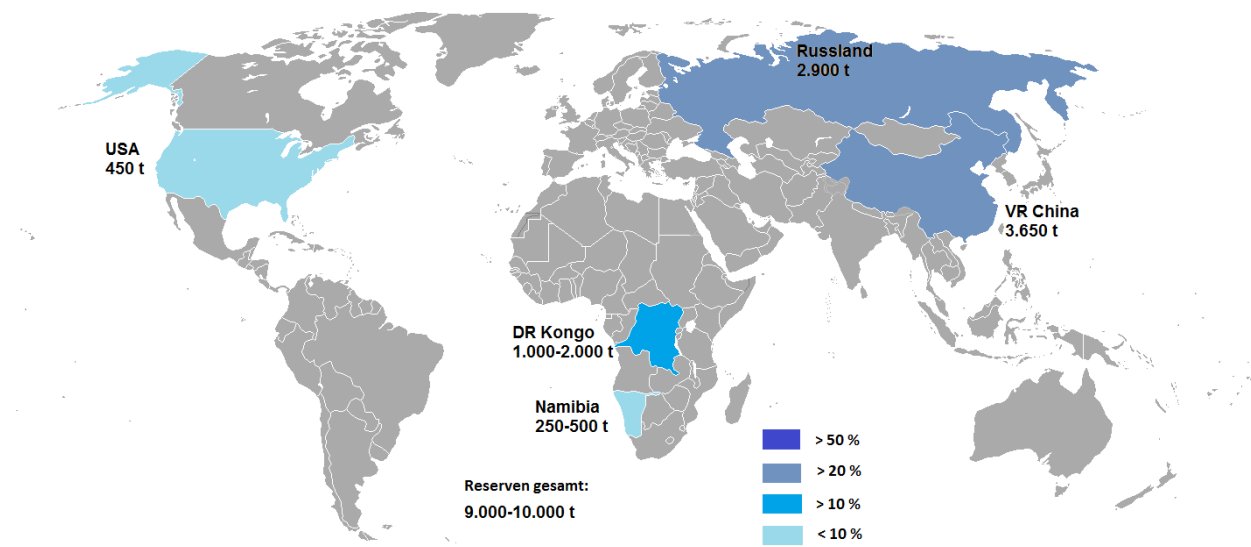
Die Auswirkungen von Germanium auf **Umwelt und Gesundheit** sind nur für wenige Verbindungen als kritisch eingeschätzt worden. Germaniumhydrid ist hier der wichtigste Vertreter. Germanium gehört nicht zu den notwendigen Spurenelementen für den Menschen, es werden aber positive immunologische Effekte diskutiert. Das Bundesamt für Risikobewertung (BfR) warnt dennoch vor dem Verzehr von Germanium-haltigen Kapseln als Nahrungsergänzungsmittel.

2.3.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Germaniums in der Erdkruste beträgt rund 1,5 mg/kg und ist damit fast so häufig wie Antimon. Für Germanium gibt es nur wenige abbauwürdige Lagerstätten. Nennenswerte Anreicherungen von Germanium finden sich in sulfidischen Blei/Zink- und Kupfererzen und Anlagerungen von Germanium an die organische Substanz in Kohlen und Ligniten. Hauptquellen für Germanium sind deshalb die Nebenströme der Blei/Zink- bzw. Kupfersulfid-Verhüttung und die Aufbereitung von Flugaschen aus der Kohleverbrennung (BGR 2010a).

²⁵ vgl. Antimon für Speichermedien

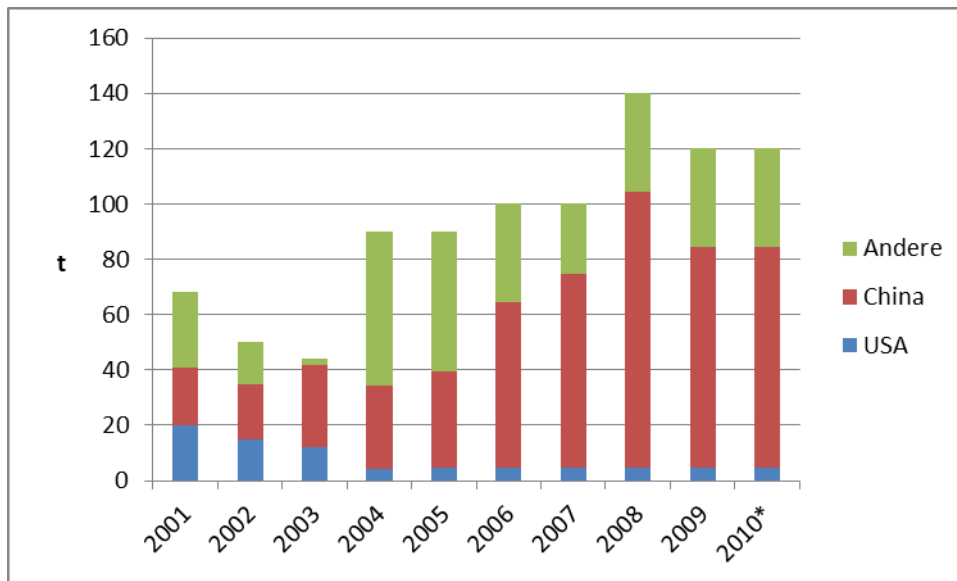
Abbildung 2-16: Globale Verteilung der Reserven von Germanium



Quellen: IZT-Analysen beruhend auf BGR 2009, USGS MCS 2011.

Die gesicherten Germanium-Reserven betragen rund 8.600 Tonnen. Die reale Reservemenge liegt schätzungsweise zwischen 9.000 und 10.000 Tonnen. In China und Russland befinden sich mit 3.650 Tonnen bzw. 2.900 Tonnen insgesamt über 75 % der gesicherten **Reserven**. Sicher quantifiziert sind sonst nur die Reserven in den USA in Höhe von 450 Tonnen. Die Angaben für die Germanium-Vorräte in den Halden von Lumumbashi in der DR Kongo reichen bis zu 2.250 Tonnen, auch in Namibia sollen rund 530 Tonnen Germanium dergestalt vorliegen (BGR 2010a). Konservativ geschätzt gehört jeweils etwa die Hälfte dieser beiden Vorratsquellen zu den Reserven. Sonstige Reserven liegen u.a. in der Ukraine. Einheitliche Angaben zu den **Ressourcen** liegen nicht vor (USGS MCS 2011). Die noch bis 2009 angegebene Reservebasis wurde nur für die USA mit 500 Tonnen beziffert. In den metallhaltigen Kohlen Chinas, Russlands und Usbekistans sollen alleine 13.700 Tonnen Germanium enthalten sein, weitere 13.500 Tonnen in sulfidischen Erzen. Die BGR (2010a) schätzt die Germaniumressourcen deshalb auf rund 27.000 Tonnen.

Abbildung 2-17: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Germanium (t Ge-Gehalt im Erz)



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen beruhend auf BGS (2009b) für 2003-2007, NN 2005b für 2001 und 2002, USGS MCS 2009, 2010, 2011; * Schätzung; Andere: Japan, Russland, Frankreich, Deutschland und (weniger) Italien; Angaben für USA und China teilweise mit Sekundärmaterial.

Die **Bergwerksproduktion** von Germanium hat sich von ihrem Minimum im Jahre 2003 bis heute fast verdreifacht. China hat 2010 rund 2/3 des globalen primären Germaniums in Höhe von 120 Tonnen gefördert. Die Produktionsmenge der USA ist von 20 Tonnen im Jahr 2001 auf heute knapp 5 Tonnen gesunken. Die anderen Produzenten lassen sich statistisch nicht durchgängig auflösen (Kanada, Finnland, Russland). Kanada ist hinter China der zweitgrößte Germaniumproduzent. 2008 hat Kanada 48,1 Tonnen Germanium in GeO_2 exportiert, 2009 waren es 40,1 Tonnen (USGS MYB 2011c).

Im Jahr 2007 gab es in China sechs **Hauptproduzenten**: Yunnan Lincang Xinyuan Germanium Industrial und Nanjing Germanium Factory haben je eine Produktionskapazität von 30 Tonnen pro Jahr, Xilingula Tongli Ge Refinery von 15 Tonnen und drei weitere Produzenten von jeweils 10 Tonnen (Vulcan 2009a). Tech Resources in Kanada gewinnt Germanium als Nebenprodukt der Verhüttung sulfidischer Erze. Die letzte öffentliche Produktionsangabe liegt für 2007 vor, als 40 Tonnen GeO_2 produziert wurden (USGS MYB 2011c). In der Ukraine werden in Lugansk 20 Tonnen Germanium pro Jahr aus Kohle gewonnen. In Russland produzieren die Lagerstätten Tarbataisk, Shotowsk und Novikovsk zusammen 5 Tonnen Germanium pro Jahr (BGR 2010a).

Die Dynamik der **Projekte** zur Ausweitung der Produktion von Germanium hängt stark von den aktuellen Preisen ab. Folgende Projekte sind in der heutigen Produktionsstatistik in ihrer vollen Ausbaustufe noch nicht verankert:

Tabelle 2-18: Germanium-Bergbau- und -Aufbereitungsprojekte

Projekt	Ge-Gehalt	Ge-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	Förderung
Pavlowsk (RUS)	450 ppm	1.015 t	Ge aus Flugasche	-	Exploration?	-
Bikinsk (RUS)	300 ppm	2.600 t	Ge aus Flugasche	-	Exploration?	-
Wumuchang (CHN)	30-50 ppm	4.000 t	Ge aus Flugasche	-	Exploration ?	-
Kipushi (COD)	68 ppm	1.590 t	Ge aus Sulfiderz	-	gestundet	-
Lubumbashi (COD)	100-250 ppm	2.250 t	Ge aus Schlacke	-	geringe Produktion	Ausbau von 2 auf max. 20 t
Tsumeb (NAM)	260 ppm	530 t	Ge, Ga, Zn	Emerging Metals (GBR)	Feldtests 2009	-
Xilingol (MNG)	-	3.230 t	Ge direkt aus Lignit-Kohle	Xilinggol Mengdong Germanium Technology (CHN)	Produktion 2010 teilweise aufgenommen	Kapazität: 60 t GeCl ₄ , 10 t GeO ₂ , 20 t Ge-Metall
Tres Marias (MEX)	150 ppm	150 t	Zn, (Ge)	War Eagle Mining Company (CAN)	Bohrungen 2009 aufgeschoben	max 10 t
Gordongsville (USA)	-	-	Ge aus Sulfiderz	Strategiv Resource Acquisition Corp. (USA)	Germanium-Extraktion gestundet	max. 13 t
Sentinel (USA)	80-164 ppm	-	U, Mo, (Ge)	-	Exploration	ca. 12 t
Delitzsch (Sachsen, DEU)	30 g/t	bis zu 350 t	W, Mo, (Ge)	Deutsche Rohstoff AG (DEU)	Ressourcenschätzung	-

Quellen und Anmerkung: DRAG 2010, BGR 2010a, USGS MYB 2011c, Vulcan 2009a und Unternehmensdarstellungen im Internet; - unbekannt.

Eine zusammenfassende Darstellung der Germaniumgehalte der in Deutschland produzierten Kohlen und Kraftwerksaschen liegt nach Angaben der BGR nicht vor. In Delitzsch liegt ein interessantes Mineralvorkommen mit bis zu 52.000 Tonnen Wolfram, 2.600 Tonnen Molybdän und 350 Tonnen Germanium, dessen Abbauwürdigkeit die Deutsche Rohstoff AG untersucht. Andere nennenswerte europäische Projekte sind nicht bekannt, nur die War Eagle Mining Company prüft die Gewinnung von Germanium aus einem spanischen Kohlevergasungswerk (Vulcan 2009a).

2.3.3 Marktstruktur und -dynamik

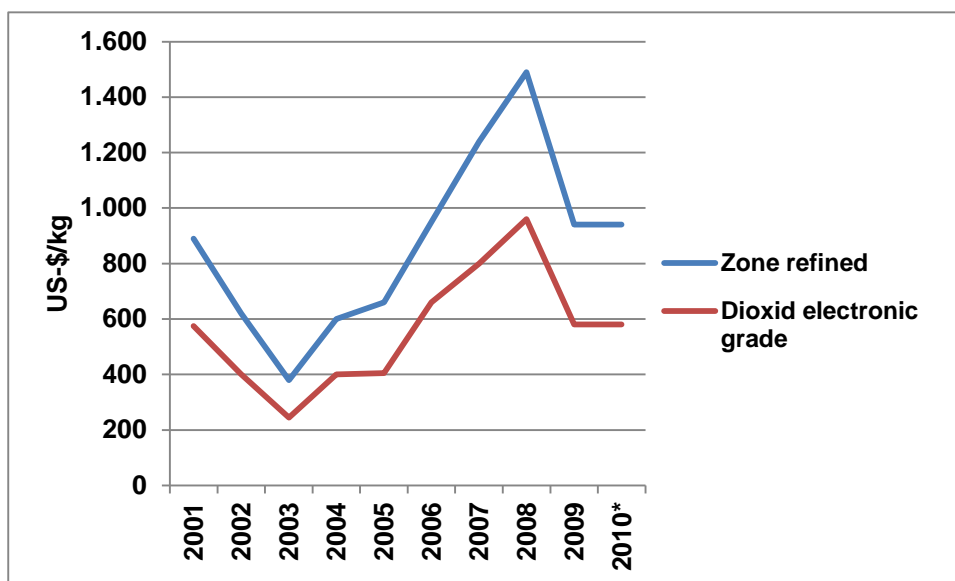
Germanium wird ausschließlich als Nebenprodukt gewonnen. Die Kosten für den Abbau und die Verhüttung hängen deshalb von den Hauptprodukten ab. Die Extraktionskosten für Germanium sind proprietäres Wissen der Anbieter. Infolge der Wirtschaftskrise sank auch die weltweite Nachfrage nach Germanium, was zu einem Abfall der Germanium-Preise und zu Absatzproblemen Chinas führte. Die Unternehmen fuhren die Produktion herunter oder lagerten Germaniumbestände in Erwartung wieder ansteigender Germaniumpreise. Im Zuge der sich erho-

lenden Weltwirtschaft steigt die Nachfrage nach Zink und Kohle wieder an, was auch das **Angebotspotential** an Germanium wieder erhöht. Kurz- bis mittelfristig ist aus dem Xilingol-Angebot in der Mongolei in chinesischer Hand eine deutlich verbesserte Versorgungslage möglich. Die mittel- und langfristigen Aussichten der Angebotsausweitung sind aufgrund dürftiger Informationen nur schwer einschätzbar.

Die **weltweite Nachfrage** nach Germanium könnte durch Modernisierungen der Telekommunikationsnetze in den entwickelten Ländern und durch den Ausbau in Schwellenländern in wenigen Jahren starke Impulse erhalten. Der vorherrschende globale Sicherheitsdiskurs fördert Infrarot-Anwendungen wie Nachtsichtgeräte und militärische Anwendungen. Auch der Markt der Germaniumsubstrate für solare Anwendungen erwartet starke Nachfrageimpulse. In den Entwicklungs- und Schwellenländern besteht ein ungebremsster Bedarf nach PET-Flaschen, was den Germaniumeininsatz in der PET-Katalyse begünstigt. Mittelfristig sind also starke Impulse auf die Germaniumnachfrage zu erwarten.

China hatte 2008 eine **Exportsteuer** von 5 % auf Germaniumoxide in Kraft und auch Russland erhebt eine Steuer auf Germaniumabfall und -schrott in Höhe von 6,5 % (OECD 2010a). Sollten die Absatzprobleme für Germaniumprodukte anhalten, so ist eine Aufhebung von Exportrestriktionen wahrscheinlich. **Verwendungsbeschränkungen** von Germanium sind nicht bekannt. Verwendungsbeschränkungen von Antimon in der PET-Katalyse könnten den Einsatz von Germanium fördern.

Abbildung 2-19: Entwicklung der Preise für Germanium (US-\$/kg)



Quellen und Anmerkung: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung.

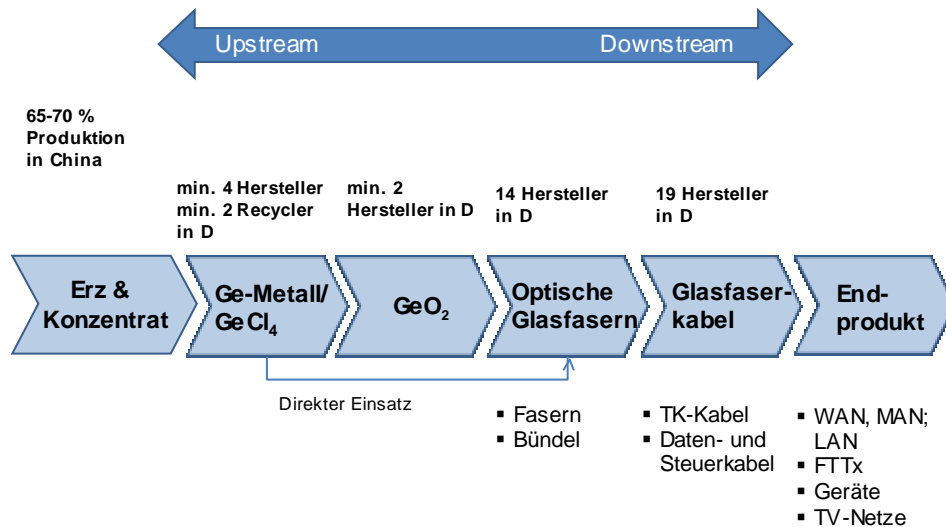
Die **Preise** für Zone Refined und Dioxid electronic grade Germanium verlaufen fast parallel. Das Minimum lag für Zone Refined Germanium 2003 bei etwa 400 US-\$/kg, das Maximum im Jahr 2008 bei 1.500 US-\$/kg. 2010 lag der Preis bei rund 940 US-\$/kg.

Die zukünftige Preisentwicklung ist aufgrund volatiler Märkte schwer zu prognostizieren. Kurzfristig ist aufgrund eines verbesserten Angebots aus der Mongolei durchaus eine weitere Senkung möglich, aber noch vor 2015 ist zu erwarten, dass die Nachfrage stärker als das Angebot wachsen wird, sprich: dass die Preise tendenziell wieder steigen.

In **Deutschland** wird Germanium in der Produktion von Spitzentechnologien eingesetzt, darunter Glasfaserkabel, Infrarot-optische Anwendungen und Photovoltaik-Produkte. Alle drei Ein-

satzgebiete, aber insbesondere der diskutierte Ausbau der Glasfasernetze, können den Germaniumbedarf in naher Zukunft stark in die Höhe treiben.

Abbildung 2-20: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Germanium in Glasfaserkabeln



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf StaBuA 2010 und Unternehmensdarstellungen im Internet; D - Deutschland, FTTx – Fibre to the Building, Home, Premises, GeCl₄ – Germaniumtetrachlorid, GeO₂ – Germaniumdioxid, LAN – Local Area Network, MAN - Metropolitan Area Network, TK – Telekommunikation, WAN – Wide Area Network.

Ein Großteil des Germaniums wird aus Kohlen und Sulfiderzen in China gewonnen und dort auch zu Germaniummetall weiter verarbeitet. Deutschland ist ein bedeutender Importeur von Germaniummetall und GeO₂. Hochreines GeO₂ wird von den Firmen Merck und Sigma-Aldrich produziert. Germaniumtetrachlorid (GeCl₄) bieten die BASF, ChemPur GmbH, Service Chemical Inc., Merck Schuchardt OHG und ABCR GmbH & Co. KG an. Auch die Firma Umicore stellt hochreines Germaniumtetrachlorid für die Glasfasertechnik her. Verschiedene Germaniumhaltige Rückstände werden in Deutschland von Firmen wie PPM-Recylex zu Germaniummetall recycelt. Optische Glasfasern werden aus Siliciumdioxid und Silicium mit Germaniumdioxid und/oder Germaniumtetrachlorid als Additiv hergestellt. Im Systembereich ist Alcatel-Lucent aus Frankreich mit 23 % Umsatzanteil im Jahr 2007 Weltmarktführer (Mayer 2007). Neben Siemens und Adva entwickeln oder produzieren etwa 20 weitere Unternehmen in Deutschland (darunter auch Alcatel-Lucent und Ericsson-Marconi).²⁶

2.3.4 Materialeffizienz

Materialeffizienzanalysen über den Lebenszyklus von Germaniumverwendungen sind unbekannt (vgl. z.B. Ecoinvent 2007). Zum Recycling von Germanium liegt eine Untersuchung für

²⁶ Bei den Zulieferern hielt Infineon rund 6 % Weltmarktanteil, hat sich aber inzwischen weitgehend aus dem Geschäft zurückgezogen.

die Stoffflüsse in den USA für das Jahr 2000 vor (USGS 2005), für Substitutionsoptionen für Germanium liegt keine gebündelte Darstellung vor.

Tabelle 2-21: Recyclingfähigkeit von Germanium

Anwendung	Verwendung	Recyclingverfahren
Glasfaser	125 µm dicke Siliciumdioxid (SiO ₂)- Fasern mit 4 % Germaniumdioxid (GeO ₂) bzw. 0,3 g Germanium/km Glasfaserkabel	für Produktionsabfälle Stand der Technik, bis zu 80 % Glasfaser-Recycling u.U. ökonomisch möglich, aber kein derzeit geeignetes Verfahren für Altproduktrecycling bekannt
IR-Optik	Germaniummetall in Photodioden Germaniumchalkogenid-Gläser (20-30 % Germanium-Gehalt)	zerbrochene IR-Gläser wieder einschmelzbar
Katalyse	Germaniumdioxid (GeO ₂) für Polykondensationskatalyse in PET-Material	für Produktionsabfälle Stand der Technik, PET-Recycling zu minderer Qualität vorhanden (z.B. Getränke-Flasche zu Shampoo-Flasche)
Photovoltaik	37 g/kW _p als Substrat von Galliumarsenid (GaAs) -Zellen	für Produktionsabfälle Stand der Technik, für Altprodukte nicht bekannt, (nicht adressiert bei Sunicon (c-Si), First Solar (CdTe) und SENSE/RESOLVED-Projekt (CIGS))

Quellen und Anmerkungen: ISI/IZT 2009, USGS 2005; c-Si – Kristallines Silicium; CdTe – Cadmiumtellurid; CIGS - Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid; IR – Infrarot; PET - Polyethylenterephthalat.

Tabelle 2-22: Substitutionsmöglichkeiten für Germanium

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Glasfaser	andere Glasfasermaterialien (Chalkogenid- oder Fluoridglas, Germanat, Silica Glas, Polymere) / Kupfer	Funk
IR-Optik	Indiumgalliumarsenid (InGaAs), Zinksulfid (ZnS), Zinkselenid (ZnSe), Germanium-Glas	alternative Ortungssysteme (GPS, Form- und Materialerkennung)
Katalyse	Titanalkoxid, Antimontrioxid (ATO), Antimontriacetat (Sb(CH ₂ COO) ₃)	PEN-Polymere
Photovoltaik	-	kristallines und amorphes Silicium (c-Si bzw. a-Si), Cadmiumtellurid (CdTe), CIGS, organische Photovoltaik

Quellen und Anmerkungen: ISI/IZT 2009, USGS MCS 2011, USGS 2005; CIGS - Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid; GPS- Global Positioning System; IR – Infrarot; PEN - Polyethylennaphthalat.

Das **Recycling von Glasfasern** erfolgt fast ausschließlich für Produktionsabfälle, da die lange Lebensdauer von Glasfaserkabeln ein nennenswertes Altproduktrecycling noch nicht zulässt. Germanium hat einen außergewöhnlich hohen Brechungsindex und die Dispersion ist gering, weshalb eine Substitution auf Elementebene unwahrscheinlich ist. Um die gleiche Datenmenge zu übertragen werden 0,1 kg Glasfaser bzw. 33 Tonnen Kupfer benötigt. Alternative Glasfaser-materialien werden zwar entwickelt, keines hat jedoch im großtechnischen Einsatz Siliciumdioxid (SiO₂) - Glasfasern verdrängt. Die Übertragung via Funk ist eher komplementär für bestimmte Anforderungen als substitutiv zu sehen. Bei Einsatz in **Nahinfrarotkameras** gibt es mit Indiumgalliumarsenid (InGaAs) ein leistungsfähiges **Substitut**, das weniger Dunkelstrom-Probleme als Germanium hat. Der gleiche Wellenlängenbereich und das schnelle Ansprechverhalten begünstigen einen Einsatz von InGaAs in IKT-Anwendungen (ISI/IZT 2009). Zinksulfid (ZnS) und Zinkselenid (ZnSe) haben eine vergleichsweise unbefriedigende Leistungsfähigkeit.

Sowohl Neu- als auch Altschrotte von Infrarot-Anwendungen werden rezykliert (USGS 2005). Germaniumdioxid (GeO_2) unterstützt die **katalytische Produktion von PET**, ohne das Material zu verfärben. Aufgrund von Kostenvorteilen wurde von US-amerikanischen Herstellern zunächst Antimontrioxid oder Antimontriacetat gegenüber Germaniumdioxid bevorzugt. Heutzutage wird aber wegen Qualitätsanforderungen im Lebensmittelbereich vorwiegend GeO_2 verwendet, für andere Verwendungen gibt es **geeignete Alternativen** auf dem Markt. Zwar gibt es bei Herstellung und dem Zersägen der **Germaniumwafer** hohe Verluste, die **Produktionsabfälle** werden aber nahezu vollständig **rezykliert** (de Ruijter 2009). Für Altproduktabfälle sind keine Recyclingverfahren zur Wiedergewinnung des Germaniums aus Solarzellen bekannt. Die Substitution von Germanium für Solarzellen ist schwer einzuschätzen, da insbesondere die Mehrfach-Zellen mit Schichten aus Galliumarsenid (GaAs) und Galliumindiumphosphid (GaInP) auf einem Germaniumsubstrat einen drastischen Sprung des Wirkungsgrades von Solarzellen von 8-15 % auf 30-40 % ermöglichen.

2.4 Indium

Indium (In) gehört zur III. Hauptgruppe des Periodensystems. Indium ist ein leicht verformbares Halbmetall mit einer Dichte von $7,31 \text{ g/cm}^3$. Der Schmelzpunkt liegt mit $156,6 \text{ °C}$ relativ niedrig, der Siedepunkt mit 2.080 °C relativ hoch. Indium wird überwiegend als Indiumzinnoxid (ITO) und als Metall gehandelt. ITO hat eine hohe elektrische Leitfähigkeit und ist transparent für sichtbares Licht.

2.4.1 Verwendung und Nachfrage

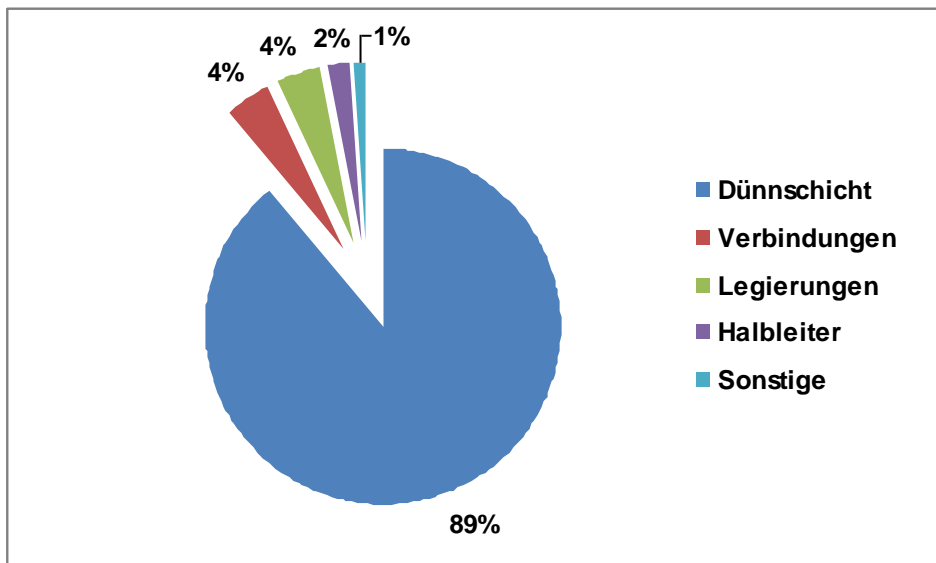
Informationen zum **weltweiten Verbrauch** von Indium liegen nicht vor; er kann aber mit der weltweiten Produktion angenähert werden. Im Jahr 2008 lag die weltweite Raffinadeproduktion bei 570 Tonnen, 2009 fiel sie auf 546 Tonnen (USGS MCS 2009, 2010). In **Deutschland** wurden im Jahr 2008 von einer Firma 10 Tonnen Indium hergestellt (USGS MYB 2008 Deutschland).²⁷ Die Außenhandelsstatistik ist aufgrund der aggregierten Ausweisung von Indium mit Gallium und Thallium (BGR RoSit 2009) nur schwer interpretierbar. Deutschland importierte im Jahr 2008 43 Tonnen und exportierte 27 Tonnen Gallium, Indium und Thallium (Metall, inkl. Schrott), was einen Nettoimport von 16 Tonnen ergibt. Die Importe der Gruppe Gallium, Indium, Thallium (Metallform) stammten 2008 zu 40,1 % aus Großbritannien, zu 15,7 % aus den USA und zu 14,3 % aus der Slowakei (BGR RoSit 2009). Der Netto-Importanteil Deutschlands am eigenen Verbrauch von Indium in allen Handelformen liegt 2008 bei minimalem Altmaterial-Recycling bei 99,7 % (EC 2010),²⁸ der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch 2008 liegt vermutlich zwischen 2 und 4 %.

Zur Verwendung in Deutschland gibt es keine Statistiken, aber weitgehend übereinstimmende Angaben zur **globalen Verwendungsstruktur**.

²⁷ Die 10 Tonnen beinhalten nur die Produktion von der Firma PPM Pure Metals, die Norddeutsche Affinerie hatte ihre Produktionsmenge gemäß USGS MYB (2011d) nicht veröffentlicht.

²⁸ Primäres Indium wird ausschließlich mit den zu 100 % importierten Blei/Zink-Erzen nach Deutschland eingeführt.

Abbildung 2-23: Globale Verwendungsstruktur von Indium (Gew.-%)



Quelle und Anmerkung: Vulcan 2009b basierend auf Angaben von AIM Speciality Materials.

Die globale Verwendung von Indium wird von der Anwendung als ITO in der Dünnschichttechnologie dominiert.²⁹ Das transparente und leitfähige Elektrodenmaterial vereint fast 90 % des weltweiten Indium-Verbrauchs auf sich (AIM Speciality Materials 2009).³⁰ Haupttreiber sind die Märkte für Flachdisplays, insbesondere für Flüssigkristallbildschirme (LCDs). Indium wird Legierungen zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und zur Herabsetzung des Schmelzpunktes beigesetzt (ISI/IZT 2009). Zu diesem Segment (4 %) gehören bleifreie Lote für elektrische und elektronische Produkte (Zinn-Silber-Indium-Legierungen), leicht verarbeitbare Dentallegierungen (Gold-Palladium-Indium), Hochtemperaturthermometer (Indium-Gallium) sowie Applikationen in nuklearen Steuerstäben (Silber-Cadmium-Indium). Zu den Verbindungen gehören die Indiumborate, -nitrate, -(hydro)oxide, und -sulfate. Die Anwendungen reichen von Spezialbatterien bis hin zu Infrarot-Detektoren. Dieses Segment kommt auf 4 % Verbrauchsanteil.³¹ Auf Halbleiter entfallen 2 % des heutigen Indium-Verbrauchs. CIGS-Halbleitermaterialien für Photovoltaik³² und LEDs (Aluminium-Indium-Gallium-Phosphid, Indium-Gallium-Nitrid) werden zukünftig hohe Wachstumsraten bescheinigt (USGS MCS 2011). Zu den sonstigen Indium-Verwendungen gehört der Einsatz in Forschung und Entwicklung sowie die Nutzung tribologischer Eigenschaften (Reibung) in Dichtungen und auf Oberflächen von Blei-, Stahl- oder Cadmium-Lagern (ISI/IZT 2009).

Indium kommt als ITO vorwiegend in **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologien zum Einsatz, darunter die Herstellung von elektronischen Bauteilen, von nachrichtentechnischen Geräten und Einrichtungen, sowie von Meß-, Kontroll-, Navigations- u.ä. Instrumenten

²⁹ Nach Umicore (zitiert in IZT/Helmholz-Zentrum/Umicore. 2009) verteilt sich die primäre Indium-Verwendung zu 80 % auf ITO für LCD und Plasma-Bildschirme, zu 10 % auf Legierungen, zu 5 % aus Elektronik, zu 3 % auf Photovoltaik und zu 2 % auf Schmuck.

³⁰ Ältere Angaben für den Anteil von ITO liegen noch bei 83 % (Asian Metals 2007).

³¹ Asian Metals (2007) nennt einen Anteil von 9 % für dieses Segment.

³² Global Solar Energy erzielte mit CIGS einen Modulwirkungsgrad von 13,2 % auf der Gesamtfläche.

und Vorrichtungen. Zur gehobenen Gebrauchstechnologie gehören die Verwendungen von Indium bei der Herstellung von elektrischen Lampen und Leuchten (NIW 2007).

Mögliche neue Anwendungsfelder mit einem Massenmarktpotential sind:

- ITO für Gebäude (schaltbare architektonische Gläser), Flug- und Fahrzeuge (Enteisung, Anti-Beschlageigenschaften)
- Feldemissionstransistor für Chips (finFET) mit Indiumgalliumarsenid (InGaAs)
- Photonic Integrated Circuits (PIC) auf Basis von Indiumphosphid (InP) für die Glasfaseroptik

Für Indium sind keine Verwendungsbeschränkungen aus **Umwelt- oder Gesundheitsgründen** bekannt.

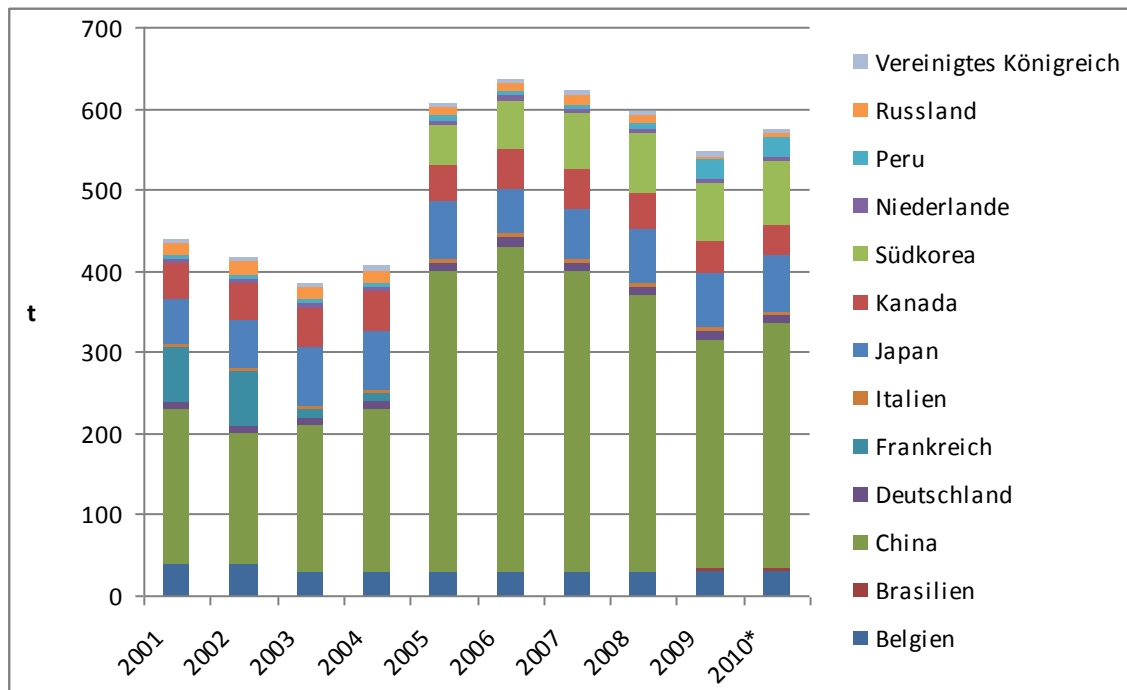
2.4.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Indiums in der Erdkruste beträgt rund 0,25 mg/kg. Indium kommt gehäuft in Blei-, Zink-, Kupfer- und Zinn-Erzen mit Indium-Gehalten von 70-200 ppm vor (BGR 2010a).

USGS hat bis 2008 die **Reservemengen** für Indium veröffentlicht (USGS MCS 2008). Für das letzte Berichtsjahr 2007 betragen sie 10.670 Tonnen, davon 75 % in China. Neben geringen Reserven in Peru, USA, Kanada und Russland (80-360 Tonnen) wurden 1.800 Tonnen in nicht weiter aufgeschlüsselten Ländern ausgewiesen. Noch 2006 lagen die gesamten Reserven bei 2.800 Tonnen, im Folgejahr hat China seine Reserven von 1.000 Tonnen auf 8.000 Tonnen korrigiert – nicht zuletzt auch eine Folge stark gestiegener Indium-Erlöse. Die Reserveschätzungen beruhen auf Zinksulfid-Vorkommen.

Die **Reservebasis** wurde für 2006 mit 6.000 Tonnen angegeben (USGS MCS 2007), was im Folgejahr bereits überholt war. Mikolajczak (2010) berichtet von einer Bestimmung der geologischen Indium-Vorräte (Reserven und Ressourcen) durch die Indium Corporation auf 49.000 Tonnen, davon 26.000 Tonnen in der westlichen Welt und 23.000 Tonnen in China und in der GUS. Von den 1.500 Tonnen Indium, die jährlich aus der Verarbeitung von Erzen zur Verfügung stehen, werden nur rund 35 % auch zu Indium-Metall verarbeitet. 30 % der Erze erreichen keine Metallhütten mit Indium-Gewinnung und für die verbleibenden 70 % liegt die Extraktionsrate bei 50 % (Mikolajczak 2010). In den resultierenden Rückständen lagern weltweit zusätzlich rund 15.000 Tonnen Indium.

Abbildung 2-24: Entwicklung der Raffinerieproduktion von Indium (t Indium-Metall)



Quellen und Anmerkungen: USGS MYB 2007a, 2011d, USGS MCS 2011; * Schätzung; Daten für Kasachstan und die Ukraine sind nicht bekannt.

Die **Raffinerieproduktion** von Indium ist von rund 400 Tonnen pro Jahr zwischen 2001 und 2004 auf ein Niveau von etwa 600 Tonnen pro Jahr gestiegen.³³ China hat 2010 mit 300 Tonnen etwas mehr als die Hälfte produziert, gefolgt von Südkorea mit 14 % und Japan mit 12 %. Die drei **wichtigsten Länder** vereinen somit über 75 % der Produktion auf sich.³⁴ In China gibt es rund 40 Indium-Hersteller. Die drei größten **chinesischen Exportfirmen** für Indium (Hunan Zhuzhou Smelting, Liuzhou China Tin Group und Nanjing Foreign Economic) verfügen – unter der Annahme gleicher Produktionsverhältnisse – über einen geschätzten Weltmarktanteil von rund 50 % (Asian Metals 2007).

Die Versorgungslage für Indium verbessert sich mit der Erschließung der Vorkommen für die Hauptprodukte. Unter anderem verfolgt North Queensland Metals (AUS) ein Kupfer/Zinn/Silber/Indium-Projekt in Australien und Argentex Mining (CDN) entwickelt ein Silber/Gold/Indium-Projekt in Argentinien (USGS MYB 2011d). Neuere **Projekte** zur Gewinnung von Indium zielen meist auf den Ausbau der Raffinationskapazität.³⁵ Die Korea Zink installierte vor kurzem neue Anlagen zur Raffination von Indium, Dowa Mining und XStrata erhöhten ihre Raffinationskapazitäten in Japan und Kanada, Nanjing Germanium Factory errichtete eine Se-

³³ Naumov und Grinberg (2009) geben für 2007 eine Sekundärgewinnungsquote von 60 % an. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Produktionsabfälle aus der Indium-Verarbeitung und ITO-Applikation.

³⁴ Deutschland kommt mit geschätzten 10 Tonnen Indium-Produktion pro Jahr auf 2 %.

³⁵ Die Separierung und Aufbereitung von Indium aus auf Hauptprodukte optimierten Prozessen ist keine Trivialität. Weder XStrata bei der Verarbeitung von Zinkerzen, noch Metaleurope bei der Verarbeitung von Bleierzen in Nordenham separieren Indium oder Germanium (vgl. Interviews mit Herrn Scheeren (Fa. XStrata) 2011 und Herrn Baeder (Fa. Metaleurope) 2011).

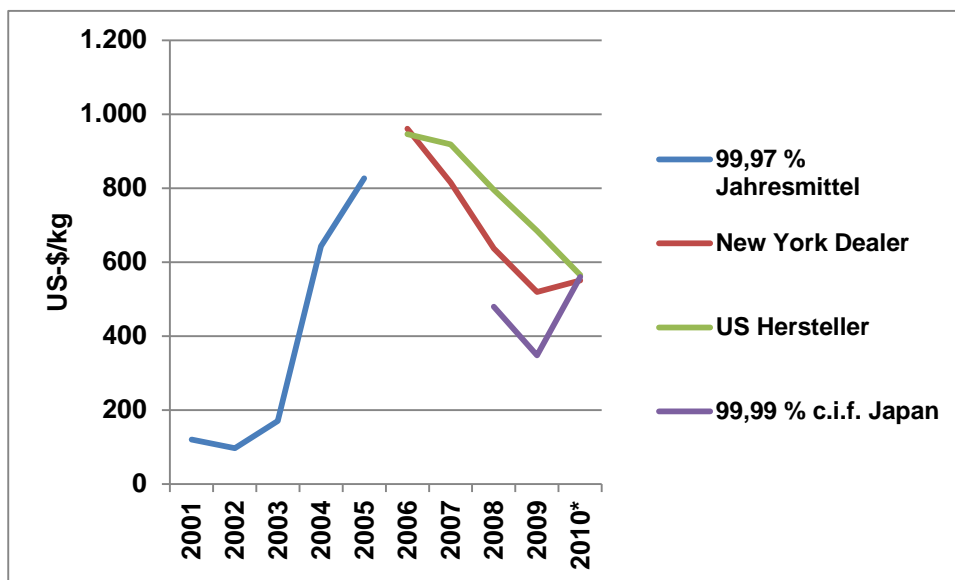
kundärindium-Raffinationsanlage in Laos, Due Run Peru will seine Raffinationskapazitäten von 38 Jahrestonnen verdoppeln (BGR 2010a, Mikolajczak 2010, USGS MYB 2011d). Die Deutsche Rohstoff AG (2010) vermutet Ressourcen von 441 Tonnen Indium im Projekt Geyer-Südwest in Sachsen, vergesellschaftet mit Zinn, Zink und Gallium.

2.4.3 Marktstruktur und -dynamik

Das Angebot an primärem Indium wird von China mit etwa 50 % Marktanteil bei einer **Weltproduktion** von knapp 600 Tonnen beherrscht. Angesichts der zur Zeit nur mäßigen Kapazitätsauslastung der Raffinationsanlagen gibt es auch nur wenig neue Indium-Projekte. Die geringe Ausbeute beim ITO Sputtering (Auftragen durch kathodische Zerstäubung) hat Recyclinganstrengungen hervorgerufen. Die japanische Industrie hat Recyclingkapazitäten von 300 Tonnen pro Jahr für die Produktionsabfälle aus der Herstellung von elektronischen Bauteilen und Displays (Roskill 2011). Indium unterliegt vereinzelt **Exportrestriktionen**: Die OECD (2010a) nennt für China eine Exportsteuer von 15 % und eine Exportquote von 240 Tonnen. Zudem hat Russland eine 6,5%ige Exportsteuer in Kraft.

Haupttreiber für die **weltweite Indium-Nachfrage** sind die Märkte für LCD-Bildschirme in Computern, Fernsehern, portablen Elektronikgeräten und eingebettete Anwendungen. Nach Roskill (2011) könnte die primäre Produktionskapazität die kurzfristig prognostizierten Produktionssteigerungen decken. Wenn die Nachfrage allerdings bis 2015 mit 15 % pro Jahr steigt, könnte es zu Engpässen kommen. Zukünftig könnte auch die Photovoltaik ein starker Nachfragetreiber für Indium werden, insbesondere wenn nicht nur ITO, sondern auch CIGS-Halbleitersubstrate verwendet werden (IZT/MaRess 2010, Nanomarkets 2009).

Abbildung 2-25: Entwicklung des Preises für Indium (US-\$/kg)



Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung; bis 2005 wurden die Preise für 99,97 %-iges Indium angegeben, danach für verschiedene Handelsformen, c.i.f. – cost, insurance, freight.

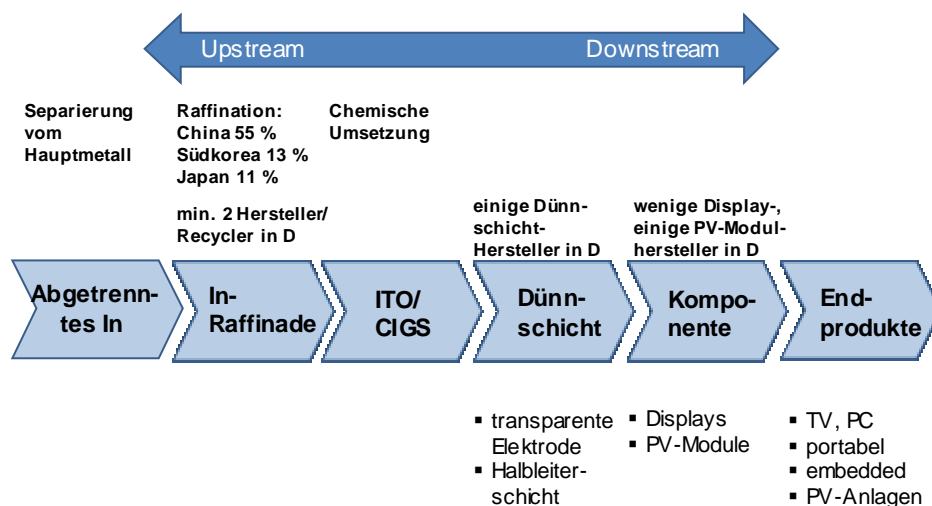
Die **Preise** für Indium sind von 2001 (120 US-\$/kg) bis 2005 (827 US-\$/kg) steil gestiegen. Das Preisniveau der danach ausgewiesenen Handelsformen hat sich seitdem unterschiedlich entwickelt, aber im Jahr 2010 einheitliche 550-565 US-\$/kg erreicht.

Roskill (2011) erwartet bei einer 15 %igen Nachfragesteigerung pro Jahr einen Indium-Preis von 850 US-\$/kg. Bei geringeren Wachstumsraten dürfte der Anstieg entsprechend niedriger

ausfallen. Bei einer Nachfrage unterhalb der Fördergrenze von 1.500 Tonnen pro Jahr wird das Angebot relativ elastisch auf Nachfrageänderungen reagieren können (sinusförmiger Preisverlauf). Langfristig können die Preise dauerhaft auf ein deutlich höheres Niveau ansteigen, wenn die Nachfrage diesen Wert übersteigt, weil das Indium-Angebot aus Kuppelproduktion nicht mehr ausgeweitet werden kann (Naumov/Grinberg 2008).

Die **Wertschöpfung** mit Indium-haltigen Produkten **in Deutschland** weist einige Besonderheiten auf. Mit Flachdisplays, einschließlich Displayglas und Flüssigkristallen, erzielten deutsche Unternehmen 2005 rund 0,9 Mrd. € Umsatz (Mayer 2007). LCD-Displays werden in kleinem Maßstab in einem japanisch-deutschen Gemeinschaftsunternehmen produziert. Der Weltmarktanteil der Firma Merck bei den Flüssigkristallen für LCDs liegt mit etwa 9,75 Mrd. € bei rund 70 % (Mayer 2007). Die Firma Schott produziert in Jena Displayglas, das von einem japanischen Gemeinschaftsunternehmen in Korea weiter verarbeitet wird. Bei der Solarzellenproduktion entfielen 2005 rund 20 % des Weltmarktes auf Deutschland. Wichtige Firmen sind Q-Cells, Schott Solar und Suntech. Insgesamt wurden 2005 rund 1,7 Mrd. € Umsatz erzielt (Mayer 2007).

Abbildung 2-26: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Indium in Dünnschicht-Anwendungen



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf StaBuA 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet; CIGS – Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid, D- Deutschland, ITO – Indiumzinnoxid, PV - Photovoltaik.

Indium wird bei der Produktion der Hauptmetalle, insbesondere von Zink, in vielen Hütten weltweit separiert. Die Raffination dominieren ostasiatische Länder mit rund 80 % Marktanteil. In Deutschland stellt die MCP-HEK Gallium- und Indium-Chemikalien sowie Halbzeuge in Lübeck her, die PPM-Recylex in Langelsheim gewinnt u.a. Indium aus Produktionsreststoffen.³⁶ Umico Thin-Film Products bietet Indium-Zinnoxid (ITO) - Festkörper für die Kathodenzertäubung

³⁶ Nach USGS MYB (2011d) stellte auch die Norddeutsche Affinerie Indium her. Beim Nachfolger Aurubis fanden sich darauf keine Hinweise.

(Sputter-Targets) in Deutschland an³⁷ und recycelt CIGS-Produktionsabfälle. Die GFE (AMG Advanced Metallurgical Group) mit Produktionsstätten in Nürnberg und Freiberg stellt ITO und auch Kupfer-Indium-Gallium (CuInGa) her. Darüber hinaus liefert Merck ITO-beschichtetes Glas. Abnehmer von ITO in der Display- und Beleuchtungsindustrie sind u.a. Optrex Europe und Osram. Würth Solar und Manz Automation kooperieren beim Bau von CIGS-PV-Anlagen. Der deutsche Hersteller für PV-Fertigungsstrassen Centrotherm Photovoltaics hat eine Beteiligung am taiwanesischen CIGS-Hersteller Sunshine PV erworben. Inzwischen gibt es auf dem CIGS-Markt mit 50 Herstellern rund doppelt so viele wie wenige Jahre zuvor.

2.4.4 Materialeffizienz

Das Wuppertal-Institut (2010a) beabsichtigte im Projekt Materialeffizienz und Ressourcenschonung die Materialeffizienz von Gallium und Indium zu untersuchen. Quantifizierungen gelangen aber nicht. Ecoinvent (2007) gibt eine Ausbringungsrate für Indium aus Blei/Zink/Silber/Kadmium-Erzen in Höhe von 39 % an. Die Aufbereitungsausbeute bezogen auf Indium liegt bei 80 % im Konzentrat. Die Extraktionsrate aus dem Rückstand liegt bei 60 %. Stevens (2007) identifiziert drei bedeutende Materialeffizienzpotenziale: Die Verbesserung der Gewinnungsrate um 5 %, die Behandlung von Sekundärmaterial und die Reduzierung des Bedarfs von LCD-Fabrikaten.³⁸ Die Ausbeute des Sputter-Prozesses kann durch die seit wenigen Jahren erhältlichen rotierenden Targets anstatt der bislang verwendeten planaren Targets von 30 % auf 80-90 % ITO in der Beschichtung erhöht werden (de Ruijter 2009). Der Anteil dissipativer Indium-Verwendungen in komplexen Materialgemischen liegt bei nahezu 100 %.

Tabelle 2-27: Recyclingfähigkeit von Indium

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Displays (ITO-Dünnschicht)	500 nm Dicke; 90 % In ₂ O ₃ (Indiumtrioxid), 10 % Zinnoxid (SnO ₂)	Pyrometallurgisches Altprodukt- und Produktionsabfallrecycling bei Umicore
Photovoltaik (CIGS, ITO-Dünnschicht)	3 µm CIGS; 1-4,5 µm ITO auf Cadmiumtellurid- (CdTe) und mikrokristalliner Silicium (µc-Si) Photovoltaik	Hydrometallurgisches Recycling von Altproduktabfall im Labormaßstab mit 50 % Effizienz, 80-90 % in Pilotanlage anvisiert (SENSE/RESOLVED) Produktionsabfallrecycling bei Umicore

Quellen und Anmerkungen: Ecoinvent 2007, IZT/Helmholz-Zentrum/Umicore 2009, IZT/MaRess 2010, de Ruijter 2009, SMG Indium Resources Ltd. 2011; CIGS – Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid, ITO – Indium-Zinnoxid.

³⁷ Produktion in Balzers (Luxemburg), Providence (Rhode Island, USA) und Taiwan.

³⁸ Stevens (2007) projiziert für diese Materialeffizienzmaßnahmen die primäre Indium-Produktion im Jahr 2008 auf 610 Tonnen und die sekundäre Indium-Produktion auf 911 Tonnen. Vom Verbrauch in Höhe von 1.520 Tonnen entfallen 1.302 Tonnen auf die Flachdisplay-Industrie.

Tabelle 2-28: Substitutionsmöglichkeiten für Indium

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
ITO-Dünnschicht (Displays, PV)	Senkung des Indium-Anteils, Silber-Zink-, Zinn-Oxid bzw. Zinkzinnoxid in LCDs, Antimonzinnoxid, Fluorzinnoxid, Kohlenstoffnanoröhren (CNT), Graphene, Zinkoxid-Nanopulver, Gallium-/Aluminium-dotiertes Zinkoxid, Silverduct™	Feldemissionsbildschirme, e-Paper, Projektor, (Kathodenstrahlröhre (CRT))
CIGS-Halbleiter (PV)	partieller Ersatz von Indium durch Gallium	kristallines und amorphes Silicium (c-Si bzw. a-Si), Cadmiumtellurid (CdTe), organische Photovoltaik

Quellen und Anmerkungen: ISI/IZT 2009, de Ruijter 2009, Ziemann und Schebek 2010; CIGS – Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/-Disulfid; ITO – Indium-Zinnoxid; LCD – Flüssigkristallbildschirm, PV - Photovoltaik.

Umicore gibt für seine Anlage zum Recycling von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/-Disulfid (CIGS) – Produktionsabfällen in Hoboken eine Recyclingkapazität von 50 Tonnen Inputmaterial an. Am weitesten fortgeschritten ist das ITO-Produktionsabfallrecycling in Japan bei Sharp und Dowa (Recycling magazin 2009). Vom erfassten Elektronikschrott werden die ITO-beschichteten LCDs wegen ihrer Quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtung separiert (Kopacek 2009).³⁹ Die Kapazitäten zur Vorbehandlung und Raffination von sekundärem Indium müssen in den nächsten fünf Jahren deutlich ausgeweitet werden, da zahlreiche Produkte die Indium enthalten (Mobiltelefone, Laptops, etc.) nur eine kurze Lebensdauer haben (Öko-Institut/UNEP 2009). Beträchtliche Potentiale bieten die Erhöhung der Prozessausbeute bei Dünnschicht-Verfahren und das Produktionsabfallrecycling der Reststoffe (Ausbeute 30 %, 60-65 % heute wiedergewinnbar).⁴⁰ An Substituten für ITO wird intensiv geforscht, ohne dass ein Durchbruch in Aussicht steht. Größere Möglichkeiten bestehen bei der Substitution von Indium in der Photovoltaik. Es wird erwartet, dass der Markt zu einer Differenzierung der funktional und ökonomisch ähnlichen, aber nicht gleichen Basistechnologien führen wird.

³⁹ Nach Ecoinvent (2007) ist ein globales Recyclingsystem für ITO aus gesammelten LCD-Hintergrundbeleuchtungen unwahrscheinlich. Bei geschätzten 2 ppm ITO, einer 90 %igen Wiedergewinnungsrate und einer 95 %igen Recyclingprozess-Effizienz würden 585 Tonnen Hintergrundbeleuchtungen benötigt, um nur 1 kg Indium wieder zu gewinnen.

⁴⁰ vgl. Interview mit Herrn Hagelüken (Fa. Umicore) 2011.

2.5 Kupfer

Kupfer (Cu) gehört zur I. Nebengruppe des Periodensystems. Kupfer hat eine Dichte von 8,96 g/cm³ und ist ein relativ edles Metall. Der Schmelzpunkt liegt bei 1.083 °C, der Siedepunkt bei 2.595 °C. Kupfermetall ist ein weiches, gut verformbares Material mit einer hohen thermischen und elektrischen Leitfähigkeit. Kupfer wird hauptsächlich als reines Metall und in Form von Legierungen eingesetzt.

2.5.1 Verwendung und Nachfrage

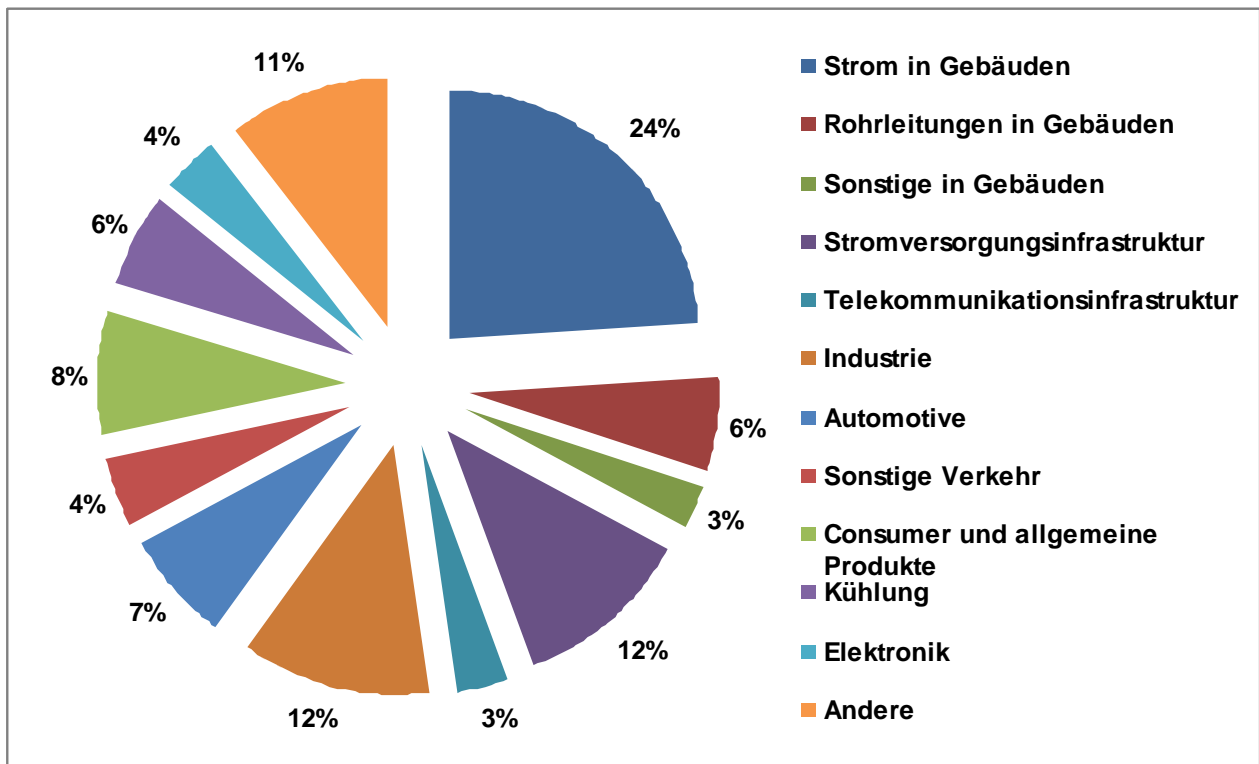
Der **weltweite Kupferverbrauch** lag 2009 bei rund 22,1 Mio. Tonnen (ICSG 2010). Die globale Sekundärrohstoffeinsatzquote liegt bei 35,1 %, in Europa beträgt sie 42,7 %. In Deutschland wurden 2008 690.000 Tonnen raffiniertes Kupfer hergestellt, davon 301.000 Tonnen aus primären und 389.000 Tonnen aus sekundären Vorstoffen. Damit beträgt die Sekundärrohstoffeinsatzquote in Deutschland etwa 56 % (WVM 2010). **Deutschland** importierte im Jahr 2008 Kupfer in verschiedenen Formen mit insgesamt 1,61 Mio. Tonnen Kupferinhalt (Exporte: rund 490.000 Tonnen).⁴¹ Die Hälfte der Importe entfällt auf raffiniertes, unlegiertes Kupfer, ein gutes Viertel auf Kupfer in Abfällen und Schrott sowie rund ein Fünftel auf Kupfererz und -Konzentrate. In Deutschland werden die Vorstoffe zu Kupferprodukten und -halbzeugen auf höherer Wertschöpfungsstufe verarbeitet. Auf der 1. Verarbeitungsstufe verbrauchte Deutschland im Jahr 2008 etwa 1,66 Mio. Tonnen Kupfer, im Jahr 2009 waren es nur noch rund 1,28 Mio. Tonnen Kupfer (WVM 2010). Der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch von Kupfer (alle Formen) lag 2008 bei rund 9 %, der Netto-Importanteil am eigenen Verbrauch (alle Formen) bei 45 %.⁴² Die importierten Kupfererze stammen zu 34,4 % aus Chile, zu 24,7 % aus Peru und zu 13,2 % aus Argentinien; das importierte raffinierte Kupfer wurde zu 23,6 % aus Chile, zu 21,1 % aus Russland und zu 9,1 % aus Belgien bezogen (BGR RoSit 2009).

Verwendungsstatistiken für Kupfer gibt es auf zahlreichen Ebenen: für die Welt, Europa und Deutschland; teilweise auch differenziert nach 1. bzw. 2. Verarbeitungsstufe. Der globale Kupferverbrauch verteilt sich auf die verschiedenen Verwendungen wie folgt (2. Verarbeitungsstufe):

41 Eigene Bilanzierung mit dem statistischen Mengengerüst (BGR RoSit 2008) und Annahmen über die Kupfergehalte in den verschiedenen Handelsformen (Gößling-Reisemann 2006, Krüger 2006, WVM 2011).

42 Primäre Kupferrohstoffe werden zu 100 % importiert. Deutschland gewinnt raffiniertes Kupfer in großem Umfang aus eigenen Sekundärrohstoffquellen.

Abbildung 2-29: Globale Verwendungsstruktur von Kupfer (Gew.-%)



Quelle: ICA 2010.

In zahlreichen Anwendungsbereichen macht man sich die elektrische Leitfähigkeit, die thermische Leitfähigkeit, die Verarbeitbarkeit oder die antibakteriellen Eigenschaften des Kupfers – oft auch kombiniert – zunutze. Haupteinsatzgebiet im globalen Maßstab ist die Stromversorgung mit insgesamt 36 %. Andere große Verwendungssegmente sind der industrielle Maschinen- und Anlagenbau (12 %), Consumer und allgemeine Produkte (8 %) sowie der Automobilbereich (7 %).

Für Deutschland liegt eine Aufschlüsselung nach Verbrauch auf der 1. Verarbeitungsstufe für das Jahr 2009 vor (WVM 2010). Demnach entfallen auf Halbzeuge und Leitmaterial aus Kupfer 73,5 % des Kupferverbrauchs, 15 % auf Halbzeug aus Messing, 5 % auf Halbzeug aus anderen Kupferlegierungen sowie rund 5 % auf Guss. Die Verwendung auf der 2. Verarbeitungsstufe weist den Bereich Kabel und Elektro mit 57 % als führend aus, im Bauwesen werden 15 % verwendet, im Automobilbau 9 %, im Maschinenbau 8 % und in sonstigen Anwendungen 11 % (WVM 2010).

Die Verwendung von Kupfer erstreckt sich angesichts seiner vielseitigen Eigenschaften auf zahlreiche **Zukunftstechnologien**. Das Haupteinsatzgebiet in Deutschland, Elektro und Kabel, wird zur Spitzentechnologie gezählt,⁴³ der Einsatz im Automobilbau (u.a. die Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen und Kraftwagenmotoren) und im Maschinenbau gehört zur gehobenen Gebrauchstechnologie (z.B. Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren) (NIW 2007).

⁴³ Beispielsweise in Unternehmen der Halbleitertechnik ist Kupfer oft ein wichtiger Kostenfaktor (vgl. Interview Frau Senninger (Fa. Infineon) 2011).

Es gibt nur wenige neue Technologien, die ohne den Einsatz von Kupfer denkbar sind. Neuere Anwendungen, die einen großen Nachfrageimpuls für Kupfer erwarten lassen sind:

- Dezentrale Energieversorgung mit einem Ausbau der Netze (z.B. Offshore-Windenergie), der Integration fluktuierender Energieträger (insb. Sonne, Wind und Kraft-Wärme-Kopplung) und neuer Speicher (u.a. Batterien von Elektroautos) in das Stromnetz sowie der Verschmelzung von Strom- und Telekommunikationsnetzen (Smart Grid) (ZVEI/IZT 2010),
- Ultraeffiziente Industriemotoren mit Kupferrotoren benötigen deutlich mehr Kupfer (8,0-14,6 kg) als solche mit Aluminiumrotoren (7,3-14,6 kg) (ISI/IZT 2009),
- Der Kupfergehalt des Autos der Zukunft liegt bei über 65 kg pro Fahrzeug gegenüber den heute üblichen 25-30 kg pro KfZ. Haupttreiber sind elektrische Traktionsmotoren und der Ausbau der Fahrzeugelektronik für mehr Komfort und Sicherheit (ISI/IZT 2009).

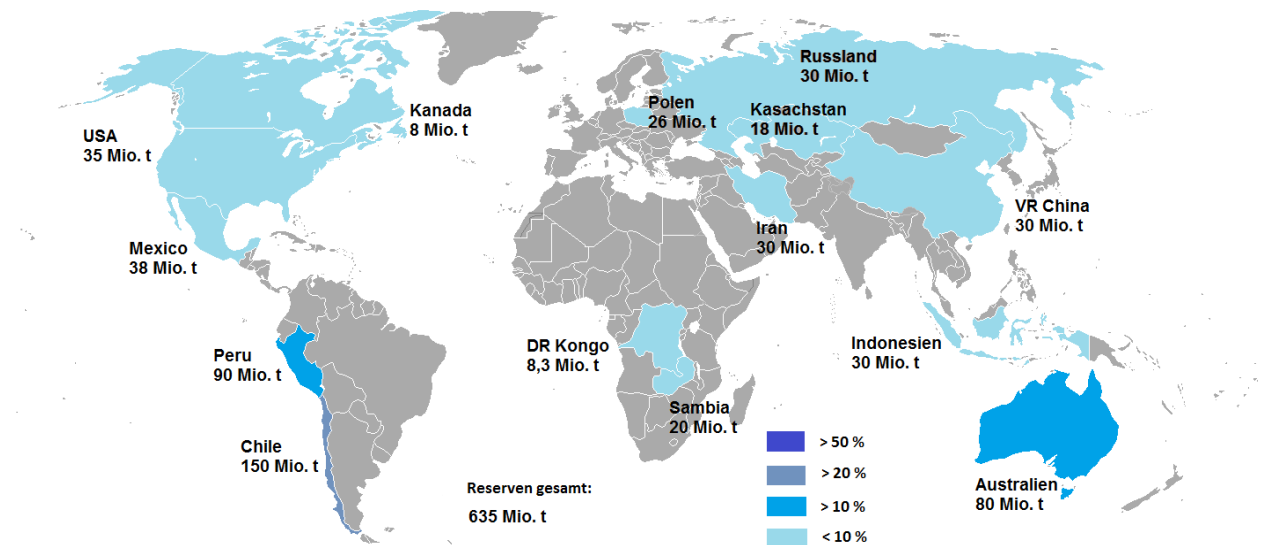
Kupfer hat im Hinblick auf **Umwelt und Gesundheit** ambivalente Eigenschaften. Kupfer ist ein essentielles Spurenelement für Menschen (u.a. zur Bildung von rotem Blutkörperchen), Tiere und Pflanzen. Kupfer und einige seiner Verbindungen haben antibakterielle Eigenschaften, die technisch genutzt werden. Der unkontrollierte Eintrag von Kupfer in die Umwelt ist aufgrund der Aquatoxizität nicht erwünscht.⁴⁴

2.5.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Kupfers in der Erdkruste beträgt rund 60 mg/kg. Damit ist es das 23.-häufigste Element. Kupfer kommt in erster Line als Sulfid (Kupfereisenkies CuFeS_2 oder Kupferglanz CuS_2) aber auch als Oxid (Cuprit CuO_2) vor. 90-95 % des Kupfers werden aus Sulfiden gewonnen, 5-10 % aus Oxiden. Kupfer wird als Hauptprodukt des Bergbaus gewonnen und entweder pyrometallurgisch verhüttet (82 %) oder durch kombinierte Lösungs- und Abscheidungsprozesse im SX-EW-Verfahren separiert (18 %). Typische Konzentrationen liegen bei unter 1 % Kupfer im Erz und etwa 30 % Kupfer im Konzentrat (ICSG 2010).

⁴⁴ Vor allem die Verwendung von Kupfer im Außenbereich von Gebäuden (Dächer, Dachrinnen und Fallrohre) steht deshalb in der Kritik.

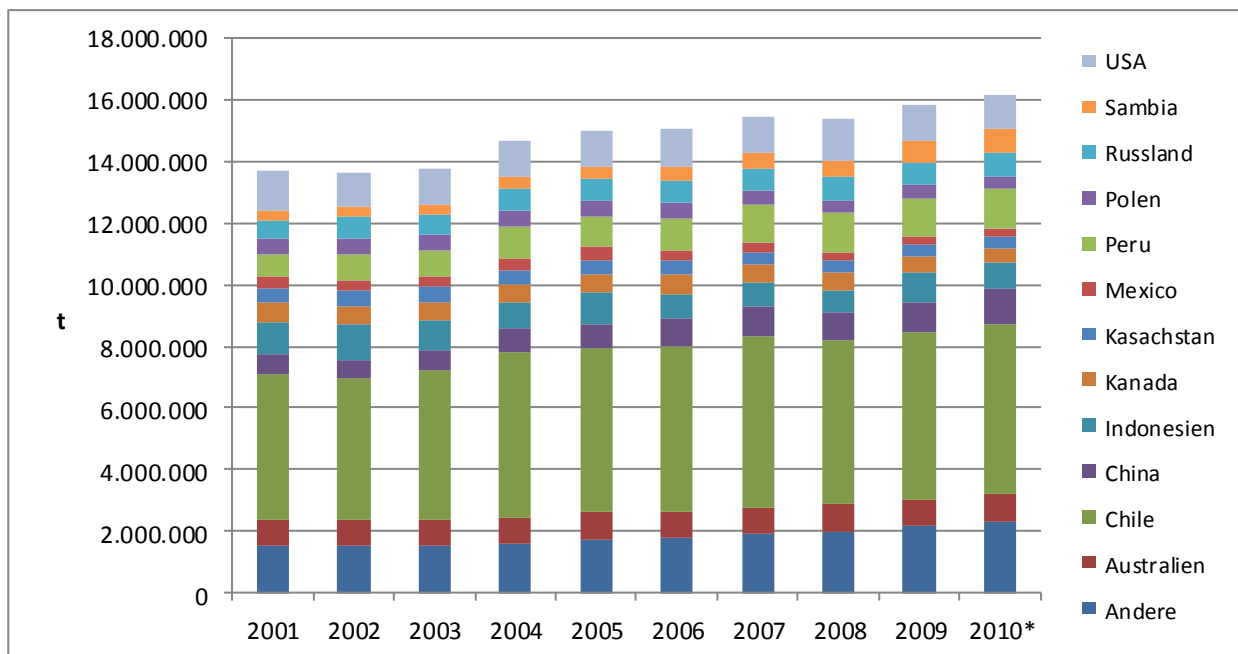
Abbildung 2-30: Globale Verteilung der Reserven von Kupfer



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf International Geological Congress Oslo 2008, USGS MCS 2011 und Mei 2009; Andere: Bolivien, Brasilien, Ecuador, Panama, Papua-Neuguinea mit weniger als 1 % der Reserven und weitere nicht aufgeschlüsselte Länder.

Die Kupfer-Reserven in Höhe von 635 Mio. Tonnen liegen weit über den Erdball verteilt. Nur Chile mit 23,6 %, Peru mit 14,2 % und Australien mit 12,6 % der **Reserven** ragen etwas heraus. In Europa verfügen Russland mit 4,7 %, Polen mit 4,1 % und Kasachstan mit 2,8 % über nennenswerte Anteile an den Reserven. Die **Kupfer-Ressourcen** sind reichhaltig. Die bis 2009 von USGS angegebene Reservebasis betrug 940 Mio. Tonnen, davon 360 Mio. Tonnen in Chile und 120 Mio. Tonnen in Peru. Die globalen Landressourcen belaufen sich auf 3 Mrd. Tonnen Kupfer, die Tiefseeressourcen auf weitere 700 Mio. Tonnen Kupfer (USGS MCS 2009). Rose-nau-Tornow et al. (2009) beziffern die Kupfer-Reserven der Minen in Betrieb mit ihren Erweiterungen, der Minen im Bau und der explorierten Minen auf 408 Mio. Tonnen, die Ressourcen auf 1.159 Mio. Tonnen.

Abbildung 2-31: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Kupfer (t Cu-Inhalt)



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf USGS MYB 2007b und 2010a, USGS MCS 2010 und 2011; * Schätzung; Andere: 37 Länder aus Afrika, Asien, Europa, Nord- und Südamerika.

Chile hat im Jahr 2010 mit 5,5 Mio. Tonnen von insgesamt 16,2 Mio. Tonnen über ein Drittel des globalen Kupfers im **Bergbau** gefördert. Peru folgt mit 7,9 % auf Rang 2 und China mit 7,1 % auf Rang 3. Auf Russland entfallen 4,6 %, auf Polen, 2,7 % und auf Kasachstan 2,5 % der globalen Bergwerksproduktion. Das höchste Wachstum in den letzten zehn Jahren verzeichneten Sambia, China und Peru. Insgesamt ist der Anstieg der Bergwerksproduktion relativ flach.

Die drei wichtigsten **Produktionsländer** (Chile, Peru und China) vereinen 51,3 % der Kupferförderung auf sich. Die drei größten Kupferminen der Welt sind nach ICSG (2010) Escondida in Chile mit einer Jahreskapazität von 1,3 Mio. Tonnen Kupfer (Besitzanteile: BHP Hilton 57,5 %, Rio Tinto 30 % und Japan Escondida 12,5 %), Codelco Norte ebenfalls in Chile mit einer Kapazität von 920.000 Tonnen (im Besitz von Codelco) und Grasberg in Indonesien mit einer Kapazität von 780.000 Tonnen (im Besitz von P.T. Freeport Indonesia und Rio Tinto). Die drei größten **Minenproduzenten** nach geförderter Kupfermenge im Jahr 2010 waren gemäß KGHM (2011)⁴⁵ die Firmen Codelco mit Sitz in Chile (10,9 %), Freeport-McMoran Copper & Gold aus den USA (8,9 %) und der in Australien und dem Vereinigtes Königreich registrierte Konzern BHP Hilton (7,0 %).

Die Entwicklung von **Kupfer-Projekten** wird hauptsächlich von den wichtigsten Bergbauunternehmen forciert, es gibt aber auch einige staatliche Einrichtungen die diesbezüglich aktiv geworden sind. Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht von Kupferprojekten mit einer anvisierten Jahresproduktion von über 100.000 Tonnen, die 2011 oder später in Betrieb gehen sollen. Häufig werden auch Silber, Gold, oder Molybdän mitgewonnen. Darüber hinaus gibt es zahlreiche kleinere Projekte, die hier nicht aufgeführt sind:

⁴⁵ Bezieht sich auf CRU International Copper Quarterly April 2011.

Tabelle 2-32: Kupfer-Bergbauprojekte

Projekt	Cu-Menge	Eigentum	Status	Jährliche Cu-Förderung
Rio Blanco (PER)	7,1 Mio. t	Monterrico Metals Plc. (PER)	ab 2011	bis 191.000 t/a
Toromocho (PER)	10,0 Mio. t	Chinalco 91 % (CHL)	ab 2012	bis 250.000 t/a
Quellavaco (PER)	7,0 Mio. t	Anglo American Plc. (GBR/ZAF)	ab 2012	bis 200.000 t/a
Oyu Tolgoi (MNG)	31,3 Mio. t	Chinalco-Anteile (CHL)	ab 2011	bis 440.000 t/a
El Arco (MEX)	5,3 Mio. t	Grupo Mexico (MEX)	ab 2011	bis 188.000 t/a
Tanpakan (PHL)	12,9 Mio. t	XStrata 62,5 % (SUI/GBR) / Tanpakan Project Indophil 37,5 % (PHL)	ab 2012	bis 300.000 t/a
Yandera (PNG)	2,3 Mio. t	Marengo Mining Ltd. (PNG)	ab 2011	bis 100.000 t/a
El Morro (CHL)	7,0 Mio. t	Goldcorp 70 % (CAN)	ab 2011	bis 172.000 t/a
Petaquilla (PAN)	5,8 Mio. t	Petaquilla Copper (CAN)	ab 2011	bis 223.000 t/a

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf BGR 2008, Mei 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet.

Charakteristisch für einige Kupferprojekte ist die Beteiligung verschiedener Länder und Unternehmen aus der abnehmenden Industrie (z.B. Mitsubishi). 2008 gab es insgesamt 38 Explorationsprojekte und Vormachbarkeitsstudien (Mei 2009). Dazu gehören Kupferprojekte in Kasachstan (Aktogay Copper, Boschekul Copper), in Armenien (Kotayk Copper/Molybdenum; Hankavan Copper, Teghout Copper/Molybdenum) sowie in Finnland, Schweden, Russland und in der Türkei. Auch in Deutschland wird eine Renaissance des Kupferschieferbergbaus in der Lausitz diskutiert (BGR 2008).⁴⁶

2.5.3 Marktstruktur und -dynamik

Das **weltweite Angebot** an Kupfer richtet sich stark nach der kurz- bis mittelfristig erwarteten Nachfrage. Der Kupferabbau ist aufgrund der fallenden Erzgehalte und des damit verbundenen hohen Aufwands der Gewinnung nur bei hohen Abnahmepreisen wirtschaftlich darstellbar. Aufgrund der starken Weltmarktkonkurrenz ist der Druck zum Auffinden und Erschließen lukrativer Lagerstätten groß. Die geringen statischen Reichweiten von Kupfer in Höhe von rund 30 Jahren über längere Zeiträume hinweg (Rosenau-Tornow et al. 2009) signalisieren, dass Exploration und Erschließung vergleichsweise marktnah erfolgen. Hat der Kupferbergbau seinen Schwerpunkt in Südamerika, so findet die Verhüttung und Raffination vorwiegend in Asien statt.

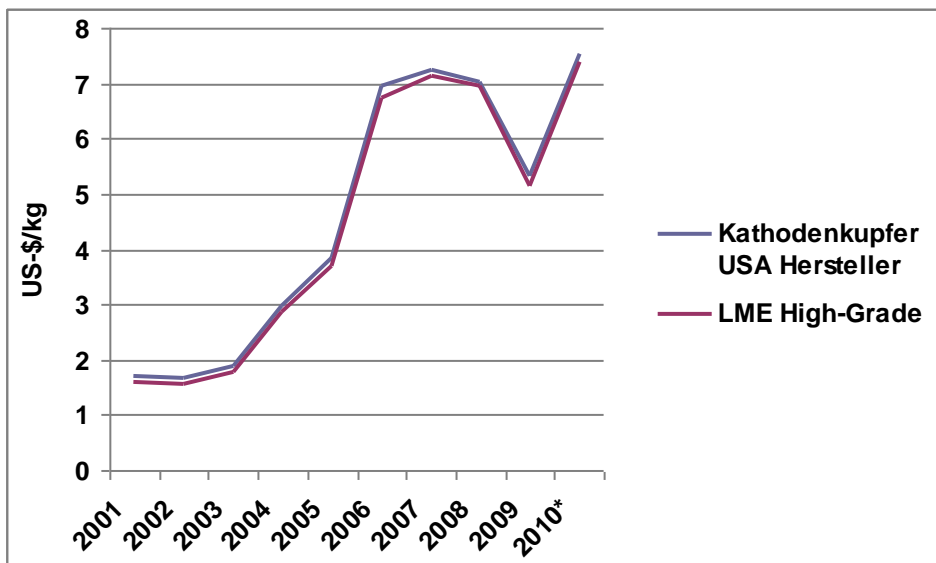
Die **weltweite Nachfrage** nach Kupfer hängt stark von der Gesamtkonjunktur ab. Gigantischen Nachholbedarf in Sachen Infrastruktur haben insbesondere die Schwellen- und Entwicklungsländer (ZVEI/IZT 2010). Stromnetze, schienengebundene Verkehre, Gebäudeinstallationen, Automobile und Investitionsgüter für die Produktion treiben global die Nachfrage nach Kupfer an. Je nach Preisniveau wird versucht, in einzelnen Segmenten auf Alternativen auszuweichen (z.B. Rohrleitungen aus Kunststoff statt aus Kupfer), bei vielen Anwendungen insbesondere im Bereich Elektro und Kabel ist dies ohne ein umfassendes Redesign der Produkte aber nicht

⁴⁶ Das Vorkommen im Besitz der Kupferschiefer Lausitz GmbH hat einen Kupfergehalt von 1,4 % bei 1,5 Mio. Tonnen Erz. Neben einer Förderung von 100.000 Jahrestonnen Kupfer ab 2015-2017, können auch Blei, Zink und Silber gewonnen werden.

möglich. Der Aufbau von Smart Grids und der Einstieg in die Elektromobilität sind weitere wichtige Treiber für die zukünftige Kupfernachfrage.

Über **Exportrestriktionen** für Kupfer berichtet die OECD (2010a) für die Ukraine (30 % Steuer auf unraffiniertes Kupfer, Abfall und Schrott), Argentinien (10 % Steuer auf Erz und Konzentrat), Russland (10 % Steuer auf verschiedenen Kupferprodukte und 50 % auf Kupferabfall- und -schrott), China (10 % Steuer auf Erz- und Konzentrat) und Kasachstan (30 % Steuer auf raffiniertes Kupfer und Legierungen).

Abbildung 2-33: Entwicklung der Preise für Kupfer (US-\$/kg)

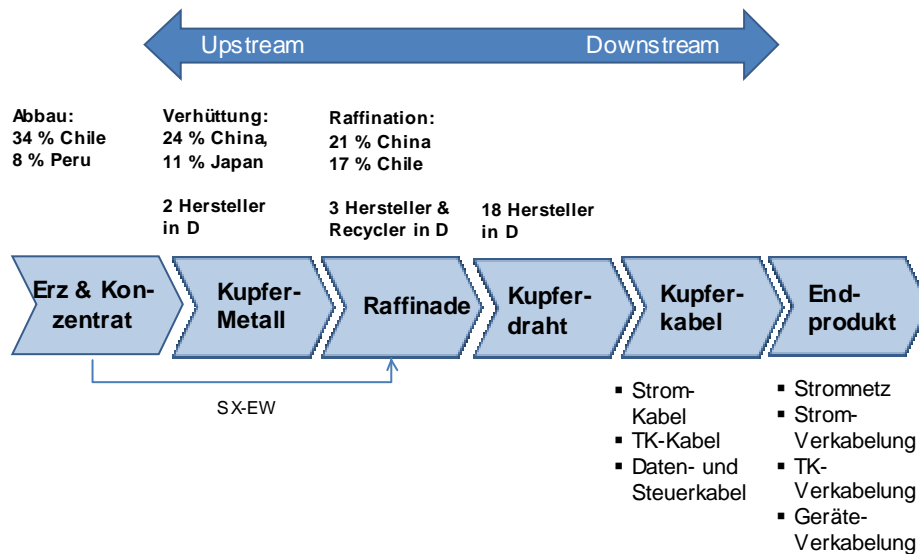


Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; umgerechnet von US-Cent/lb; * Schätzung, LME – London Metal Exchange.

Die **Preise** für Kupfer vom Hersteller in den USA und an der London Metal Exchange (LME) sind nahezu identisch. Ausgehend von 2001 haben sie einen Aufstieg auf das Vierfache im Jahr 2007 hinter sich, fielen 2009 im Zuge der Weltwirtschaftskrise auf etwas über 5 US-\$/kg und stiegen bis Ende 2010 fast wieder auf 8 US-\$/kg. Die Preisentwicklung von Kupfer wird stark von der weltweiten Nachfrage beeinflusst. Der Nachholbedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer legt eine mittelfristig hohe Nachfrage nach Kupferprodukten nahe. Auch der technologische Wandel stützt eher die Kupfernachfrage. Die Vorlaufzeiten von Kupferprojekten und die Schwankungen der globalen Nachfrage lassen auch für das Hauptprodukt Kupfer bis 2015 volatile Preise erwarten. In diesem Zeitraum ist trotz der zahlreichen neuen Kupferprojekte insgesamt eine leicht steigende Tendenz der Kupferpreise zu erwarten.

Die Hauptverwendung von Kupfer in **Deutschland** ist der Einsatz in Stromkabel. Die dazu gehörige Wertschöpfungskette sieht vereinfacht folgendermaßen aus:

Abbildung 2-34: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Kupfer in Stromkabeln



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf ICSG 2010, StaBuA 2009, USGS MYB 2010a und Unternehmensdarstellungen im Internet; TK – Telekommunikation, SX-EW – Lösemittel-Extraktions- und Elektroabscheidungsverfahren.

Der Wert der zum Absatz bestimmten Produktion von Kupfer und Kupfer-Halbzeugen beläuft sich in Deutschland 2008 auf rund 10,5 Mrd. € (StaBuA 2009). Kupfererze werden in Deutschland nicht mehr produziert, sondern vollständig importiert. Nicht raffiniertes Kupfer stellen 2 Unternehmen in Deutschland her, raffiniertes Kupfer 3 Unternehmen und Kupferlegierungen immerhin 7 Unternehmen. Die Aurubis AG mit Hauptsitz in Hamburg ist der größte Kupferproduzent Europas und weltweit der größte Recycler (Verwertung durch Hüttenwerke Kayser in Lünen). Die kasachische Kazakhmys hat 2006 die Manfelder Kupfer und Messing GmbH in Sachsen-Anhalt übernommen. Bei den Kupferhalbzeugen ragen neben den Blechen und Bändern (21 Unternehmen mit 2,2 Mrd. € Umsatz in Deutschland) insbesondere Draht aus Kupfer und Kupferlegierungen (18 Unternehmen mit 2,7 Mrd. € Umsatz in Deutschland) heraus. Die KME Group, mit ihrer Teilgesellschaft KME Germany, ist der weltgrößte Hersteller von Kupferhalbzeugen mit Ausnahme von Kupferdraht. Kupferdraht wird von Aurubis und einigen mittelgroßen Unternehmen (u.a. DLB Draht und Litzen GmbH, Kupferheydt GmbH, LEONI Draht GmbH) hergestellt.

2.5.4 Materialeffizienz

Die Materialeffizienz der Kupfergewinnung ist Gegenstand zahlreicher Analysen. Zudem gibt es alleine 34 Schätzungen der Kupfermenge im Bestand (derzeitige Kupfernutzung in Produkten, Gebäuden und Infrastruktur). Die Bandbreite reicht von 35 kg bis 55 kg Kupfer pro Mensch weltweit und von rund 100 kg bis 300 kg pro Mensch in Industrieländern (UNEP 2010). Die Verluste beim Bergbau werden auf 12 % geschätzt, bei der Aufbereitung weitere 14,7 % und beim Schmelzen und Raffinieren 5,9 %. Insgesamt gehen also fast 30 % des Kupfers bis zum Vorliegen des reinen Metalls verloren (Wellmer/Wagner 2006).

Tabelle 2-35: Recyclingfähigkeit von Kupfer

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Elektrische und elektronische Geräte	1 % (Waschmaschine) bis 30 % (Staubsauger)	semi-manuelle Demontage mit Nichteisen-Fraktion aufwändig, pyrometallurgische Recyclingverfahren ausgereift
Stromkabel	typisch 0,5-6 mm Kupfer als Drahtquerschnitt 20-35 kg Kupfer / Haushalt für innere Gebäudeerschließung 4-30 kg Kupfer / Haushalt für äußere Grundstückerschließung 1,4-4 t Kupfer / km Überland-Stromkabel	Bergung von Kabeln im Erdreich und beim Abriss lückenhaft (selektiver Rückbau, im Bauschutt), maschinelle Kabelzerlegung ausgereift
Rohrleitungen	ca. 0,4-3 kg Kupfer / m Rohr; ca. 700 kg Kupferrohre für Heizungen in Mehrfamilienhaus	Bauschuttrecycling mit hoher Ausschleusungsrate stückigen Kupfers, Einschmelzen ausgereift
Automobilbau	25-40 kg Kupfer / PkW, davon: Kabelbaum 20-40 %, Elektrik und Elektronik 40-60 %, 20-30 % Formteile und Legierungen	Shredderverfahren ausgereift: 70 % Eisen-Fraktion mit max. 0,04 % Kupfer (Verlust im Stahlrecycling); 5 % Nichteisen-Fraktion mit ca. 30 % Kupfer (Wiedergewinnung im integrierten Hüttenwerk) 25 % SLF mit davon 1,4-4,2 % Kupfer (Verlust im Downcycling)

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf IZT 2004 und Wuppertal-Institut/IZT 2007; SLF – Shredder-Leichtfraktion.

Tabelle 2-36: Substitutionsmöglichkeiten für Kupfer

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Elektro und Kabel	Strom: Aluminium, HTS (Cuprate) Telekommunikation: Glasfaser	Strom: Energy Harvesting Telekommunikation: Funk
Bauwesen (Rohrleitungen)	Heizung: Stahl Wasser: Polyvinylchlorid, Polyethylen, Polypropylen	Alternative Heizungskonzepte (u.a. Passivhaus)
Automobilbau	Batteriekabel: Aluminium Infotainment: Glasfaser Kühler: Aluminium	Infotainment: Drahtlose Kommunikation

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf EMPA/IZT 2003, ISI/IZT 2009, Wuppertal-Institut/IZT 2007; HTS – Hochtemperatursupraleiter.

Kupfer wird großteils in langlebigen Anwendungen eingesetzt, weshalb heute vor allem ältere Altproduktbestände **rezykliert** werden: Rohre und Kabel in Gebäuden (25-40 Jahre), Infrastruktur (50 Jahre), Verkehrsmittel (10-30 Jahre), Maschinen und Anlagen (20 Jahre) und Verbraucherprodukte (rund 10 Jahre) (UNEP 2010).⁴⁷ Beim Recycling von Elektromotoren werden z.B. die Wicklungen durch Herausbrennen des Harzes freigelegt,⁴⁸ Kabelzerlegeanlagen schlitzten das PVC auf, um das Kupfer freizulegen. Das Produktionsabfallrecycling ist ausgereift und wird

⁴⁷ bezieht sich auf Spatari et al. 2005.

⁴⁸ www.boehl-entlackung.de

durch Marktkräfte unterstützt. Recyclingdefizite gibt es insbesondere in der Erfassung von Altkupfer zum Beispiel von elektrischen und elektronischen Geräten aus Haushalten, aufgegebenen Kabeltrassen und von gebrauchten Kraftfahrzeugen, die in großem Umfang exportiert werden. Auch die Rückgewinnung von Kabeln aus dem Bauschutt und von Kupferkomponenten aus dem Automobil bei der Altautoverwertung sind im Hinblick auf die Wiedergewinnung von Kupfer verbesserungsfähig (IZT 2004).

Im Stromversorgungsbereich ist mittelfristig keine substantielle **Substitution** des Kupfers zu erwarten. Aluminium hat als potentielles Substitut für Kupfer als Leitmaterial einen 60 % höheren elektrischen Widerstand und einen um 27 % dickeren Durchmesser, aber es ist 48 % leichter (IZT 2004). Hochtemperatursupraleiter wie Yttrium-Barium-Kupferoxide enthalten Kupfer in deutlich geringeren Mengen als die konventionellen Kupferdrähte, ihr kurz- bis mittelfristiger Einsatz scheint aus Kostengründen jedoch auf definierte Nischen im Kraftwerksbereich und in Maschinen und Anlagen begrenzt (ISI/IZT 2009). Im Telekommunikationsbereich sind Glasfasern leistungsfähiger als Kupferkabel und werden diese mittelfristig auf den mittleren Skalen (bis 10 m) und langfristig auch auf den kleineren Skalen (bis 1 m) und ggf. auch in Geräten ersetzen (z.B. Optical Computing).

2.6 Molybdän

Molybdän (Mo) gehört zur VI. Nebengruppe des Periodensystems. Molybdän hat eine Dichte von $10,22 \text{ g/cm}^3$ und mit 2.610 °C einen hohen Schmelzpunkt. Molybdän wird in Form von Metall, Ferromolybdän, Molybdän-Legierungen und -Chemikalien verwendet. Die Zugabe von Molybdän macht Stahllegierungen verschleißfester, hitze- und korrosionsbeständiger.

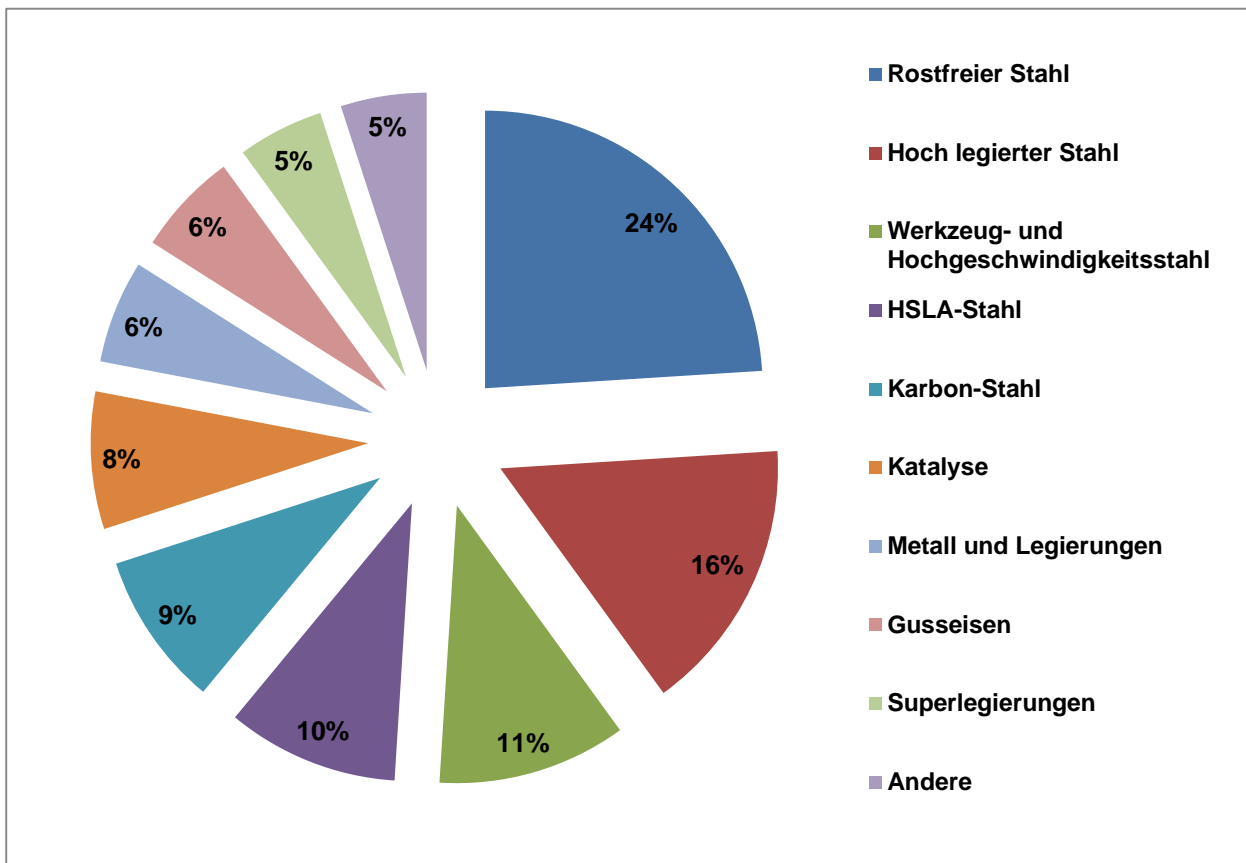
2.6.1 Verwendung und Nachfrage

Der weltweite **Verbrauch** von Molybdän lag 2008 bei etwa 210.000 Tonnen (Roskill 2010a). Deutschland importierte 2008 rund 21.000 Tonnen Molybdän (vorwiegend als Ferromolybdän und Erz & Konzentrat). Der Rohstoffexport belief sich 2008 auf rund 5.800 Tonnen Molybdäninhalt, woraus sich ein Nettoimport von über 15.000 Tonnen errechnet (BGR RoSit 2009). In Deutschland wird kein primäres Molybdän abgebaut, aber es findet Recycling von Molybdän statt. Unter Berücksichtigung der Produktion in Deutschland (StaBuA 2009, USGS MYB 2011e) lässt sich ein Verbrauch von knapp 18.000 Tonnen im Jahr 2008 errechnen. Nach IZT-Berechnungen liegt der Netto-Importanteil am Verbrauch aller Handelsformen in Deutschland (einschließlich Sekundärrohstoffe) bei etwa 85 %, ⁴⁹ der Verbrauchsanteil Deutschlands am Weltverbrauch bei 6-8 %. Die importierten Molybdänerze und -konzentrate stammten 2008 zu 19,6 % aus Belgien, zu 16,3 % aus der VR China und zu 13,6 % aus den Niederlanden; 33,5 % des importierten Ferromolybdäns kommen aus Belgien, 22,9 % aus Großbritannien und 12,7 % aus Armenien (BGR RoSit 2009).

Verschiedene Verbände und Consultants veröffentlichen Marktstudien zur globalen **Verwendungsstruktur** von Molybdän, die sich im Wesentlichen gleichen. Für Europa oder Deutschland selbst sind keine Angaben zur Verwendungsstruktur bekannt.

⁴⁹ Deutschland importiert primäre Molybdän-Rohstoffe zu 100 %.

Abbildung 2-37: Globale Verwendungsstruktur von Molybdän (Gew.-%)



Quelle und Anmerkung: Roskill 2010a; HSLA – High Strength Low Alloy.

Rund 70 % des globalen Molybdän-Verbrauchs entfallen auf verschiedene Stähle. Es dominieren rostfreie und hochlegierte Stähle. Molybdän-legierte Stähle haben ein günstiges Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht und eine erhöhte Temperaturbeständigkeit. Sie werden deshalb in großen Mengen im Bausektor (insb. Stahlbeton), im Schwermaschinenbereich, im Transportwesen und bei der Öl- und Gasgewinnung eingesetzt. In rostfreien Stählen erhöht Molybdän die Stabilität gegenüber hohen Chlorid-Konzentrationen, z.B. im Küstenschutz, in Hafenanlagen, auf Bohrinseln und auf Flächen, die mit Salz enteist werden (CPM Group 2010). Molybdän wird in größerem Umfang auch für katalytische Anwendungen eingesetzt, insbesondere in Form von Cobalt-Molybdän-Sulfid zur Entschwefelung von Kraftstoffen (8 %).⁵⁰ Verwendungen als Metall und Legierung (zusammen mit Niob, Wolfram, Vanadium) sowie in Gusseisen kommen auf jeweils 6 %, Superlegierungen und andere Anwendungen (u.a. Sputtertargets für LCD- und PV-Glas, Schmiermittel Molybdändisulfid (MoS_2)) auf jeweils 5 %.

Die Vielseitigkeit von Molybdän hat zu einer nahe an die Weltmarktentwicklung gekoppelten Verwendungsstruktur geführt. Die Verwendungsstruktur auf der 1. Verarbeitungsstufe lässt noch keine Zuordnung zu **Zukunftstechnologien** als Endabnehmersegmente zu. Die Eigenschaften von Molybdän werden in Legierungen und Superlegierungen von einigen Spitzentechnologien gebraucht, z.B. der Herstellung von Verbrennungsmotoren und Turbinen, ein Großteil der Verwendungen entfällt jedoch auf gehobene Gebrauchstechnologie wie die Herstellung von

⁵⁰ zahlreiche weitere Verwendungen (TU Berlin/UBA 2003, p. 80)

Bergwerks-, Bau- und Baustoffmaschinen (NIW 2007). Darüber hinaus gibt es einige vielversprechende neue Technologien:

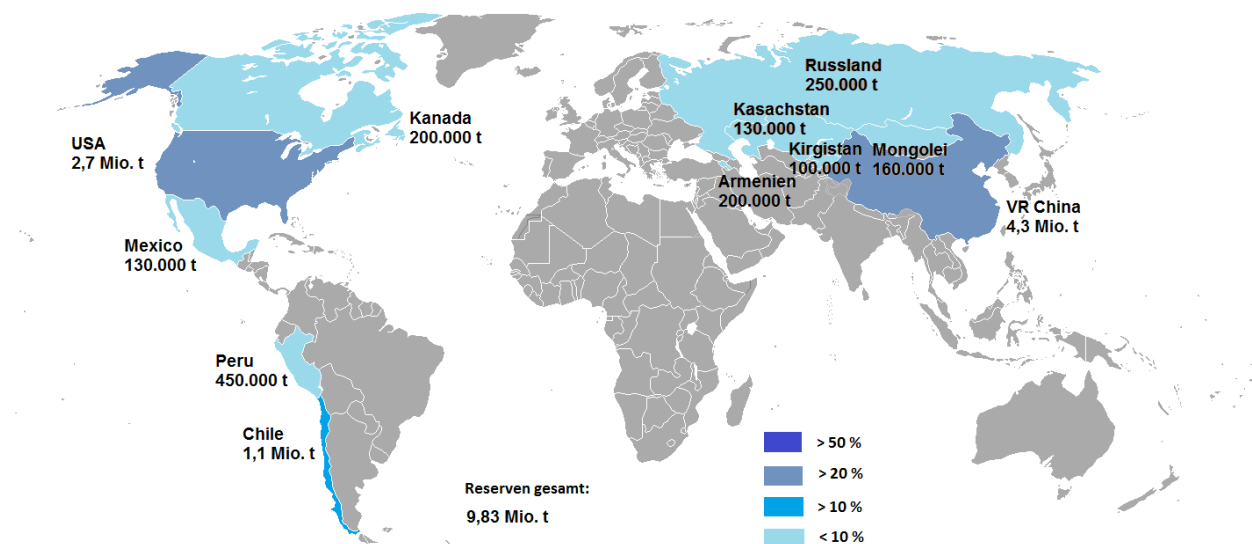
- Öl- und Gasbohrungen in extremer Tiefe mit hohen Materialanforderungen (Roskill 2010a)
- Katalysatoren auf Nickel/Molybdän- bzw. Cobalt/Molybdän-Basis für ultraschwefelarme Dieselmotoren (Roskill 2010a)
- Automobil-Leichtbau (USGS MYB 2011e)

Die Auswirkungen von Molybdän auf **Umwelt und Gesundheit** geben aktuell wenig Anlass zur Besorgnis. Molybdän ist wichtiger Bestandteil einiger Enzyme im menschlichen Stoffwechsel. Verwendungsbeschränkungen in Deutschland sind nicht bekannt.

2.6.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Molybdäns in der Erdkruste beträgt rund 1,2 mg/kg. Molybdän kommt als Hauptmetall in Molybdän-Porphyr Lagerstätten und als Nebenmetall in Kupfer-Porphyr Lagerstätten vor. Molybdän wird sowohl aus Molybdänerzen (Mo: 0,01-0,25 %) als auch als Nebenprodukt aus Kupfererzen (Cu: 0,5-1,5 %; Mo: 0,01-0,05 %) gewonnen.⁵¹

Abbildung 2-38: Globale Verteilung der Reserven von Molybdän



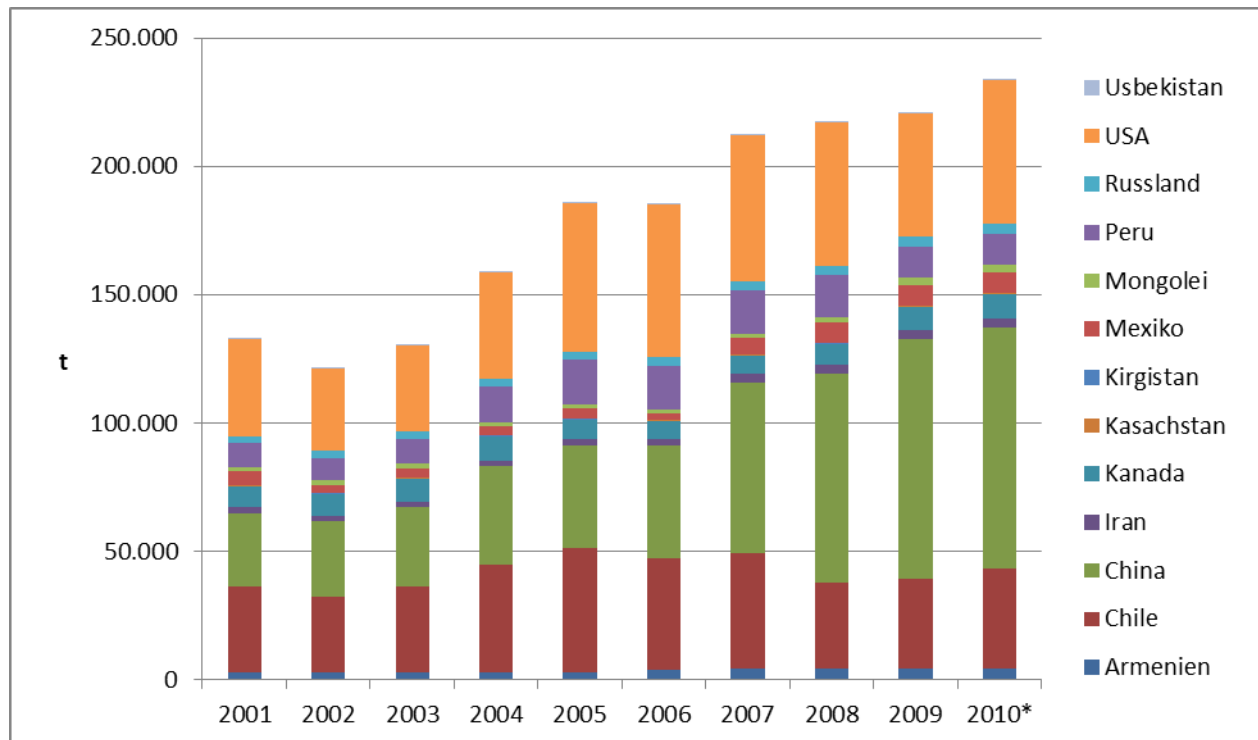
Quelle: USGS MCS 2011.

Die Verteilung der **Molybdän-Reserven** ist ähnlich breit wie die von Kupfer, sie weist jedoch aufgrund anderer mineralischer Eignung andere regionale Schwerpunkte auf. Von den 9,83 Mio. Tonnen lagern 43,7 % in China und 27,5 % in den USA. In Chile befinden sich rund 11,2 % der Weltreserven. Armenien, Kasachstan, Kirgistan und auch Usbekistan verfügen über Molybdän-Reserven zwischen 60.000 und 200.000 Tonnen. Nach USGS (MCS 2009) betrug die Reservebasis für Molybdän 19 Mio. Tonnen im Jahr 2008. Alleine auf die USA und China entfallen rund 5,4 bzw. 8,3 Mio. Tonnen der **Ressourcen**.

⁵¹ Der Nebenstrom wird zu 90-95 % MoS₂ aufbereitet (Ecoinvent 2007).

Die Bergwerksproduktion von Molybdän erfolgte bis vor kurzem überwiegend aus Nebenproduktion, der Anteil der primären Hauptproduktion hat aber in den letzten Jahren zugenommen. 1985 betrug der Marktanteil der Hauptproduktion noch 30 %, 2008 hat die Hauptproduktion erstmals die Nebenproduktion übertroffen und liegt seitdem bei etwas über 50 % (CPM Group 2010). Historisch gesehen sprangen Hauptproduzenten nur vorübergehend ein, wenn die Nachfrage durch Nebenprodukte nicht gedeckt werden konnte und das Preisniveau attraktiv war. Nach Ländern stellt sich die Situation wie folgt dar:

Abbildung 2-39: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Molybdän (t Mo-Inhalt)



Quellen und Anmerkung: USGS MYB 2007c und 2011e, USGS MCS 2010 und 2011; * Schätzung.

Die **Bergwerksproduktion** von Molybdän ist im letzten Jahrzehnt steil gestiegen. Von 2002 bis 2010 hat sie sich fast verdoppelt. Chinas Anteil an der Bergwerksproduktion ist stetig gewachsen und beträgt heute 40 %.⁵² Auf die USA entfallen 24 % und auf Chile – 2004 noch größter Produzent – 17 %. Molybdän wird aus kupferhaltigen Erzen nur bei pyrometallurgischen Verfahren separiert, nicht aber beim SX-EW-Verfahren mit Lösemittelextraktion, das in Chile einen zunehmenden Marktanteil hat. Obwohl Europa rund 29 % des Molybdäns verbraucht, hat es bislang keine eigene Produktion (Strzelecki 2009). Auf die drei größten **Länder** (China, USA und Chile) entfallen 81 % der Bergwerksproduktion. Im Jahr 2009 hielten Freeport McMoRan mit 12 % (USA), Codelco mit 11 % (Chile) und Grupo Mexico & Southern Copper mit 10 % (Mexico) die größten **Unternehmensanteile** an der Molybdänkonzentrat-Herstellung (CPM Group 2009).

⁵² CPM Group (2010) ist der Auffassung, dass die chinesische Molybdän-Produktion im Jahr 2009 einen 19-%igen Einbruch erlebte. Viele Betreiber hätten ihre Produktion angehalten, weil die Produktionskosten über den Erlösen lägen. Dies steht im Widerspruch zu den auch 2009 und 2010 stabilen Produktionszahlen gemäß USGS (MCS 2011).

Das Potential **neuer Projekte** wird auf rund 50.000 Jahrestonnen Molybdän geschätzt (Chegwidden/Jahangir 2010). Auf Yamana Gold (Agua Rica) entfallen 6.800 Jahrestonnen, auf General Moly/POSCO (Mt. Hope) 15.400 Jahrestonnen, Creston Moly (Creston) 9.100 Jahrestonnen, Northern Dynasty (Pebble) 14.500 Jahrestonnen, Avanti Mining (Kitsault) 11.600 Jahrestonnen und auf Western Troy (Macleod Lake) 6.000 Jahrestonnen. Weitere Projekte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2-40: Molybdän-Bergbauprojekte

Projekt	Mo-Gehalt	Mo-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	Jährliche Mo-Förderung
Myszkow (POL)	0,12-0,17 %	450.000 t Mo 293.000 t W 978.000 t Cu	Mo, Cu, W	Strzelecki Metals (POL)	vermutete Ressourcen (inferred resources)	-
Spinifex Ridge (AUS)	0,05-0,08 %	-	Mo, Cu	Moly Mines (AUS), 10 Jahre Abnahme durch ThyssenKrupp Metallurgie (DEU)	alle Genehmigungen vorhanden	5.000-10.000 t
Ruby Creek (CAN)	0,06 %	91.000 t	Mo	Adanac Molybdenum Corp. (CAN)	Machbarkeitsstudie abgeschlossen	5.400-6.400 t
Andina Mine (CHL)	-	-	Mo, Cu	Codelco (CHL)	Ausbau bis 2015	Verdreifachung der Cu- und Mo-Produktion (3*2.525 t Mo)
Donggou (CHN)	0,1 %	690.000 t	-	Jinduicheng (CHN)	?	-
Hainan (CHN)	-	254.000 t	-	Hainan Jinchoucheng Molybdenum Co. Ltd. (CHN)	?	7.000 t
Sonara (MEX)	0,076-0,083 %	140.000 t	Mo, Cu	Creston Moly Corp. (CAN)	2012	9.100 t
Zuun Mod (MNG)	0,044 %	200.000 t	Mo	Erdene Gold (CAN)	Machbarkeitsstudie	-

Quellen und Anmerkung: Chegwidden/Jahangir 2010, Strzelecki 2009, USGS MYB 2011e und Unternehmensdarstellungen im Internet; - unbekannt.

Insgesamt gibt es eine Reihe von Molybdänprojekten. Die Deutschen Hauptabnehmer (Cronimet, ThyssenKrupp Metallurgie) sichern sich durch strategische Beteiligungen und Abnahmeverträge ab.

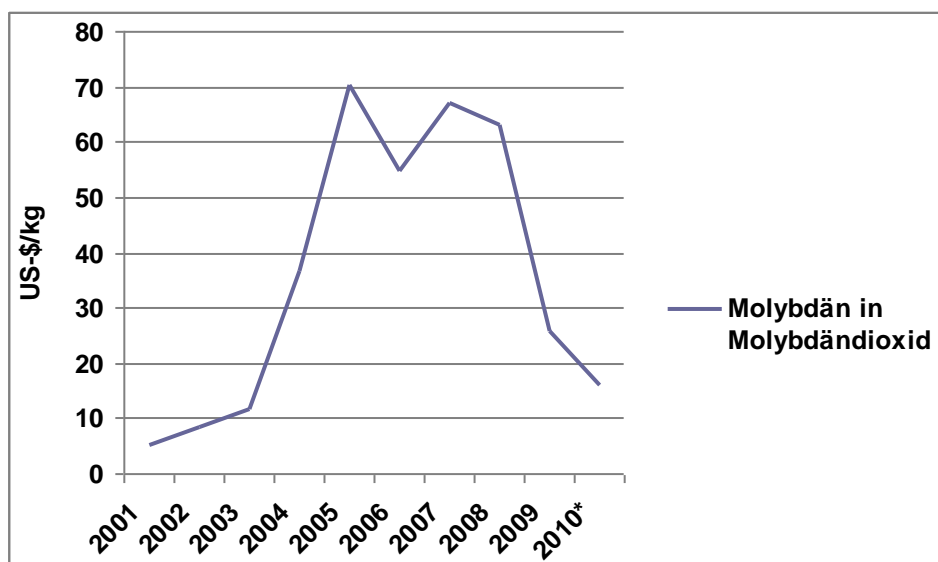
2.6.3 Marktstruktur und -dynamik

Begrenzend auf das zukünftige **Molybdän-Angebot** wirkt sich aus, dass einige der größten neuen Kupferprojekte, die in den nächsten fünf Jahren ihren Betrieb aufnehmen, über kein gewinnbares Molybdän verfügen bzw. das SX-EW-Verfahren verwenden (CPM Group 2010). Die unzureichenden Investitionen in Molybdän-Projekte 2009 und 2010 wird nach Auffassung von Roskill (2010a) Konsequenzen für die Versorgung haben.

Die **Molybdän-Nachfrage** wird durch Megatrends beeinflusst, die die globale Stahlnachfrage treiben. Dazu zählen die Industrialisierung und Urbanisierung von Schwellenländern, große Infrastrukturprojekte,⁵³ u.a. in der Supply Chain für den Energiesektor,⁵⁴ und neuere Anwendungen in harscher Umgebung (u.a. Unterwasserbergbau, Meerwasserentsalzung). China ist seit Anfang 2009 Netto-Importeur von Molybdänprodukten. Die mittelfristige Nachfrage nach Molybdän vermag volatil zu bleiben, langfristig wird ein starker Anstieg erwartet (CPM Group 2010).

Aus chinesischen Regierungskreisen wurde angekündigt, Molybdän auf die Liste der schutzwürdigen Mineralien aufzunehmen (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2011). Zu dieser Liste gehören bislang die fünf Rohstoffe Gold, Wolfram, Zinn, Antimon und Seltene Erden. China hat seit 2007 zahlreiche **Exportrestriktionen** für Molybdän in Kraft (OECD 2010a). Die für Molybdän im Jahr 2010 gültigen Exportquoten (26.300 Tonnen) sollen unverändert auch für 2011 gelten, die Exportsteuern liegen je nach Produkt bei 10-20 %. Auch Russland erhebt auf den Export von Molybdän-Erz & -Konzentrat, Abfälle und Schrott eine Exportsteuer von 6,5 % (OECD 2010a). **Verwendungsbeschränkungen** für Molybdän sind nicht bekannt.

Abbildung 2-41: Entwicklung des Preises für Molybdän (US-\$/kg)



Quellen und Anmerkung: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung

Die **Preise** für Molybdän zeigen im Zeitraum zwischen 2001 und 2010 einen glockenförmigen Verlauf. Von 5,2 US-\$/kg im Jahr 2001 stiegen die Molybdänpreise bis 2005 auf über 70 US-\$/kg an und fielen dann bis 2010 unter 20 US-\$/kg. Die Molybdän-Preise haben in den letzten zehn Jahren gut mit den Erdölpreisen korreliert. Ausschlaggebend für die parallele Entwicklung sind die Abhängigkeit beider Rohstoffe von der allgemeinen Weltkonjunktur und auch der Einsatz von Molybdän in der Energiegewinnung.

⁵³ Die Konjunkturprogramme in Folge der globalen Wirtschaftskrise zielten vielfach auf den Ausbau der Infrastruktur (IZT/ZVEI 2010).

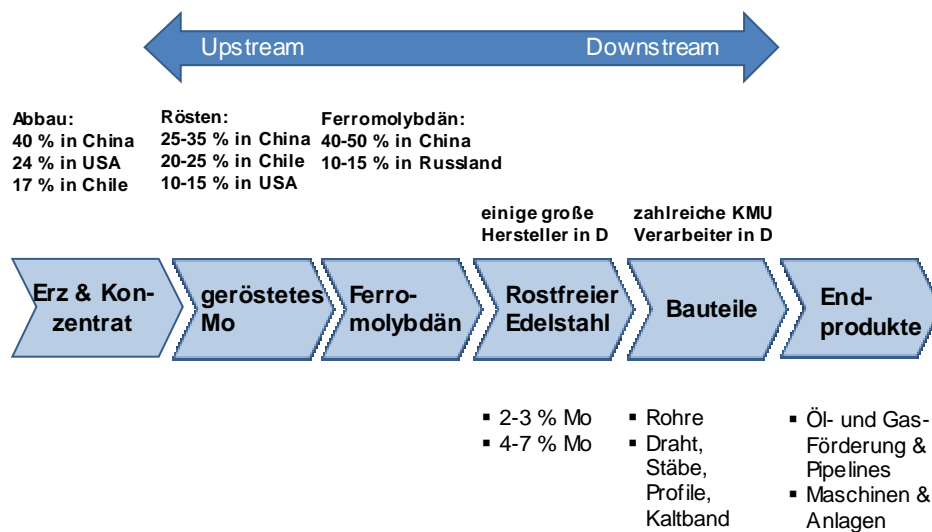
⁵⁴ Exploration, Entwicklung und Produktion von z.B. Erdöl (Bohrinseln), Gas- und Öl-Pipelines, Kraftwerke, Raffineriekatalysator.

Die Kontraktmenge soll von 50-60 % im Jahr 2010 auf 75-80 % im Jahr 2011 steigen (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2011), was eine geringere Abhängigkeit vom teureren Spotmarkt an der London Metal Exchange (LME) bedeutet. Seit 22. Februar 2010 wird Molybdän an der LME gehandelt.⁵⁵ Bei der Einführung anderer Metalle führte dies oft zunächst zu erratischen Preisbewegungen, bevor sich der LME-Handel als nützliches Instrument erweisen konnte (CPM Group 2010). Kernfunktionen der LME sind die Erhöhung der Preistransparenz und die daraus resultierende Möglichkeit des Preisrisikomanagements. Andererseits kann das Verhalten von Investoren zu Preisausschlägen führen. Im November 2010 lagen die 3-Monatsschlusspreise für Molybdän in geröstetem Molybdänkonzentrat (60 % Mo) bei rund 35 US-\$ pro kg (LME 2010), was eine leichte, aber noch keine substantielle Erholung im Vergleich zum letzten Jahr bedeutet.

Es ist wahrscheinlich, dass sich die Molybdän-Nachfrage schneller als das -Angebot erholen wird, so dass sich die auf niedriges Niveau gesunkenen Preise mittelfristig wieder erholen dürften.

Molybdän wird auch in **Deutschland** vorwiegend in der Stahlindustrie eingesetzt. Hier ist vereinfacht die Wertschöpfungskette für rostfreien Stahl⁵⁶ abgebildet.

Abbildung 2-42: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Molybdän in rostfreiem Stahl



Quellen: IZT-Analysen basierend auf Chegwidan/Jahangir 2010, StaBuA 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet.

⁵⁵ Akkreditierte Hersteller Chaoyang Jinda Molybdenum Co Ltd., China Molybdenum Co. Ltd., Jinduicheng Molybdenum Co. Ltd., Kwangyang FerroAlloy Co. Ltd., Molibdenos y Metales SA, Molymex SA de CV, Sadaci NV.

⁵⁶ 2-3 % Mo für besseren Korrosionsschutz zur Trinkwasserbeständigkeit (A4, Cr-Ni-Mo- Stähle, V4A-Reihe), 4-7 % Mo für Meerwasserbeständigkeit (A5, höher legiert) (Deutsche Edelstahlwerke 2011, www.dew-stahl.de).

Deutsche Unternehmen tauchen nicht als große Bergbauunternehmen auf, sie haben aber Rohstoffsicherungsstrategien implementiert. Die Cronimet Mining GmbH mit Sitz in Karlsruhe verwaltet die Zangezur Copper and Molybdenum Combine AG, die die Karajan Kupfer-Molybdän-Mine in Armenien betreibt. Dies ist das größte Molybdän-Vorkommen in der GUS (USGS MYB 2011e). Moly Mines Ltd. hat mit ThyssenKrupp Metallurgie für das Spinifex Ridge Projekt in Australien einen 10-jährigen Abnahmevertrag geschlossen. Die Konzentrate werden nach Chile transportiert und von Molymet geröstet und zu Ferromolybdän und anderen Molybdän-Verbindungen verarbeitet, bevor sie dann die ThyssenKrupp Metallurgie zu rostfreiem Stahl verarbeitet (USGS MYB 2011e). Es gibt in Deutschland einige wichtige Hersteller von Molybdän-haltigem Stahl, aber auch von anderen Molybdän-Legierungen und Chemikalien.⁵⁷ Diese werden zu einer Fülle von Halbzeugen verarbeitet, die breite Einsatzgebiete (Maschinen & Anlagen, Transport, Baustahl, Rohstoffförderung) haben. Neben Cronimet rezykliert auch H.C. Starck Produktionsabfälle in Deutschland für die Refraktärmetalle Wolfram, Molybdän, Tantal, Niob und Rhenium (H.C. Starck 2009), aber auch ausgediente Katalysatoren aus Wolfram und Molybdän sowie Turbinenteile aus Flugzeugen, die Refraktärmetalle enthalten.

2.6.4 Materialeffizienz

Die Materialeffizienz des Molybdäns über den Lebensweg ist unbekannt.⁵⁸ Zum Recycling Molybdän-haltiger Altprodukte gibt es eine Abhandlung von USGS (2004) für das Jahr 1998, Informationen zur Substitution liegen nur fragmentarisch vor.

Tabelle 2-43: Recyclingfähigkeit von Molybdän

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Stahl und Superlegierungen	0,5-7 % Molybdän im Stahl 0,25-20 % Molybdän in Superlegierungen	mechanische und chemische Aufbereitung mit anschließender thermischer Bearbeitung Stand der Technik (Fa. H.C. Starck), Umarbeitung molybdänhaltiger Rückstände in Ferromolybdän EAF-Stahlrecycling
Katalyse (Hydrotreating)	12-14 % Molybdän (3,5 % Cobalt)	hohe Recyclingrate für Molybdänkatalysatoren, spezialisiertes pyro- und hydrometallurgische Recyclingprozesse

Quellen und Anmerkung: HC Starck 2009, ISI/IZT 2009, TU Berlin/UBA 2003, USGS 2004; EAF – Elektrolichtbogenofen.

⁵⁷ Die GFE mit Sitz in Nürnberg und Freiberg (eine Tochter der AMG Advanced Metallurgical Group) stellt z.B. hochreines Mo-Metall, Mo-Legierungen (MoAl, MoAlTi, MoCu, CrMo, NiMo, AlMoV, AlTaMo, AlSnZrMo, AlSnZrMoCr, FeCrNiMoMn, SiO₂/MoNb) und Mo-Chemikalien (MoS₂) her.

⁵⁸ Ecoinvent (2007) nimmt Kuppelproduktallokationen für die Gewinnung mit Kupfer und Analogiebetrachtungen zu Zink für die Primärproduktion vor.

Tabelle 2-44: Substitutionsmöglichkeiten für Molybdän

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Stahl und Superlegierungen	rostfreier Stahl: - hoch legierter Stahl: Chrom, Vanadium, Niob, Bor Werkzeugstahl: Wolfram EAF: Graphit, Wolfram, Tantal	Alternative zu Baustahl nur auf Systemebene (andere Konstruktionsweisen)
Katalyse (Hydrotreating: Cobalt-Molybdän, Nickel-Molybdän)	Nickel-Wolfram-Legierungen	alternative Entschwefelungsverfahren nicht kommerziell verfügbar

Quellen und Anmerkung: ISI/IZT 2009, TU Berlin/UBA 2003, USGS MCS 2011; EAF – Elektrolichtbogenofen.

Molybdän-legierte Stähle sind leichter und härter als die meisten der **möglichen Ersatzstoffe** für Korrosionsschutz und Hitzebeständigkeit. Aufgrund der Verfügbarkeit und Vielseitigkeit von Molybdän wurden neue Legierungen entwickelt, so dass Substitute meist nur für partielle Eigenschaften vorhanden sind (USGS MCS 2011). Hydrocracking-Katalysatoren enthalten in Deutschland nur selten Wolfram anstelle von Molybdän (TU Berlin/UBA 2003).

Etwa 1/3 des **Molybdän-Recyclings** entfällt auf Neuschrott und 2/3 auf Altschrott. Neuschrotte stammen aus Fertigungsrückständen, Altschrotte – vorwiegend Carbon-Stahl – aus dem Bau-sektor (Brücken, Gebäude, Infrastruktur, Altfahrzeuge, Produktionsmittel). Altschrotte erfordern eine aufwändige Vorbereitung (Shredder, Sortierung, etc.) bevor sie rezykliert werden können. Dabei wird auch der Molybdän-Gehalt bestimmt. Molybdän-haltige Schrotte werden aber meist nicht in erster Linie wegen ihres Molybdängehaltes rezykliert, sondern eher wegen Eisen, Chrom und Nickel. Wird Molybdän als Verunreinigung toleriert, ist dies ein Downcycling. Wenn in der Stahlherstellung aus sekundären Vorstoffen zusätzliches Molybdän benötigt wird, wird es in Form von Ferromolybdän oder Molybdänoxid zugegeben. Molybdän akkumuliert wegen der langen Nutzungsdauer (im Durchschnitt 20 Jahre) im Bestand (Gebäude, Infrastruktur).

Zielprodukte des Molybdän-Katalysatorrecyclings sind Ferromolybdän, Molybdänoxid und Ammoniumdimolybdat. Zum Einsatz kommen hydrometallurgische Verfahren zur Wiedergewinnung des Molybdäns (z.B. Aura Metallurgie GmbH) und pyrometallurgische Verfahren (z.B. Treibacher AG), bei denen teilweise das Molybdän in der Schlacke verbleibt. Die untere Grenze für ein ökonomisches Recycling sind 3 % Molybdän-Konzentration, Wolfram stört die Rückgewinnung. Hydrotreating-Katalysatoren werden zu 90 % regeneriert (TU Berlin/UBA 2003).

2.7 Niob

Niob (Nb) gehört zur V. Nebengruppe des Periodensystems. Es hat eine Dichte von $8,57 \text{ g/cm}^3$ und einen hohen Schmelzpunkt von 2.468 °C . Niob hat sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeiten. Zu den herausragenden Eigenschaften von Niob zählt die Härtung von Stahl. Niob wird vorwiegend als Ferroniob gehandelt, in geringeren Mengen auch als Metall, in Legierungen und Chemikalien.

2.7.1 Verwendung und Nachfrage

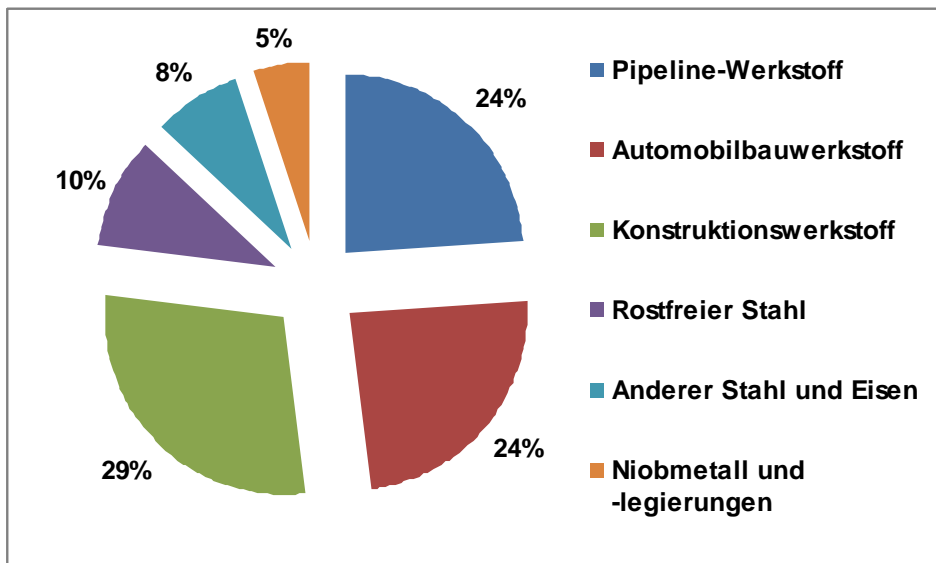
Im Jahr 2008 wurden **weltweit** 87.000 Tonnen Ferroniob aus primären Rohstoffen **verbraucht**, davon 30 % in Europa (IAMGOLD 2009). Mit einem Niob-Gehalt in Ferroniob von 66 % und einem Anteil von Ferroniob am Gesamtverbrauch von 89 % errechnet sich der Verbrauch an Niob zu 64.500 Tonnen.⁵⁹ Eine Abschätzung des **deutschen Niob-Verbrauchs** wird durch die aggregierte Darstellung der Außenhandelsströme von Niob mit Tantal und Rhenium (BGR RohSit 2009) und begrenzte Kenntnis der Elementgehalte (Ecoinvent 2007, USGS MCS 2010) erschwert. Insgesamt errechnen sich für 2008 ein Import von über 10.000 Tonnen und ein Export von weniger als 1.000 Tonnen Niob-Inhalt. Hauptimportformen sind Erze & Konzentrate und Ferroniob. Unter Berücksichtigung einer Recyclingquote von 20 % für Ferroniob (EC 2010) lässt sich ein Verbrauch von 10.000-12.000 Tonnen Niob in Deutschland errechnen. Der Netto-Importanteil Deutschlands am eigenen Verbrauch aller Handelsformen (einschließlich Sekundärrohstoffe) liegt nach IZT Berechnungen 2008 bei 88 %, ⁶⁰ der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch bei rund 8-9 %.

Die **Verwendungsstruktur** ist für einige wichtige Länder wie China und den USA bekannt, nicht aber für Deutschland. Die globale Verwendung hat folgende Struktur:

⁵⁹ 89 % des Niob-Handels der Verarbeiter entfällt auf HSLA-Grade Ferroniob, 5 % auf Chemikalien (u.a. Nb_2O_5 , NbCl_5 , NbC), jeweils rund 2,5 % auf Vacuum-Grade Ferroniob und Nickelniob bzw. auf Niob-Legierungen (u.a. NbTi, NbZr, NbCu) und 1 % auf reines Niob-Metall (TIC 2011).

⁶⁰ Deutschland importiert primäre Niob-Rohstoffe zu 100 %.

Abbildung 2-45: Globale Verwendungsstruktur von Niob (Gew.-%)



Quelle und Anmerkungen: IAMGOLD 2009; nicht sichtbar sind die Niob-Chemikalien (Ziemann und Schebek 2010).

Rund 2/3 des globalen Niob-Verbrauchs (IAMGOLD 2009) erfolgt vorwiegend in Form von Ferroniob in den Hauptsegmenten Baustahl (Brücken und Gebäude), Automobilbau und Pipelines (Gas und Öl).⁶¹ Dieses Verwendungsspektrum ähnelt dem von Molybdän. Niob hat die Eigenschaft, in geringen Beimischungen den Stahl deutlich zu verstärken. Diese Werkstoffe werden als High Strength Low Alloy (HSLA) Stahl bezeichnet. Auf rostfreien Stahl entfallen 10 % des Verbrauchs. Rostfreie Stähle werden durch Zugabe von Niob hitzebeständig und schweißbar, weshalb sie z.B. in den Abgassystemen von Automobilen zum Einsatz kommen. Weitere Einsatzgebiete sind hitzeresistente Stähle in der petrochemischen Industrie und in Kraftwerken (IAMGOLD 2009). In anderem Stahl und Eisen werden weitere 8 % des globalen Niob-Verbrauchs eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind Bohrrohre und Brunneneinfassungen sowie Schneidwerkzeuge. Das Segment Niobmetall und -legierungen ist mit 5 % des globalen Verbrauchs zwar mengenmäßig klein (IAMGOLD 2009), wegen der darin enthaltenen Superlegierungen ist der Wertanteil jedoch deutlich höher. Nickel-Niob- und Vacuum-Grade Eisen-Niob-Legierungen bestehen in der oxidierenden und korrosiven Atmosphäre bei über 650 °C in Turbinen von Düsentriebwerken und stationären Anlagen.⁶² Zu den weiteren Anwendungen gehören insbesondere die Niob-Chemikalien (u.a. Kondensatoren für die Elektronikindustrie, Carbide für Schneidwerkzeuge), Hochenergieteilchenbeschleuniger (CERN), Solenoid-Magnete in Magnetresonanztomographen (MRI), Elektrolytkondensatoren und Lithiumniobat in Surface Acoustic Wave (SAW) Filtern.

Nur ein geringer Teil des Niobs wird für **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologie verwendet. Dazu zählt der Einsatz von Superlegierungen bei der Herstellung von Verbrennungsmotoren und Turbinen. Ein großer Anteil des Niobs wird für gehobene Gebrauchstechnologie verwendet, darunter die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren (NIW 2007).

⁶¹ In China gelangen 33 % des Ferroniobs in den Pipelinebau, 35 % in den Baustahl und 20 % in den Fahrzeugbau (Sinolatin 2010).

⁶² In den USA beträgt der Anteil an Superlegierungen gar 26 % (USGS MCS 2011).

Über diese Commodity-Märkte hinaus wird Niob in folgenden neuen Technologien eingesetzt:

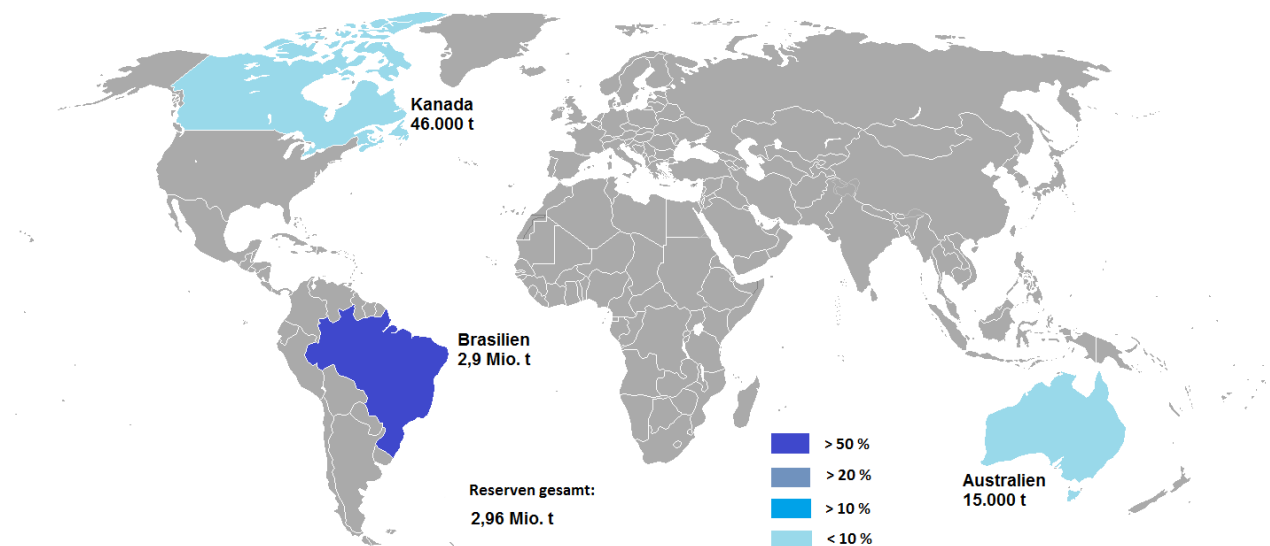
- Für den Einsatz in Fusionsreaktoren sind die supraleitenden Niobverbindungen Tri-niobiumzinn (Nb_3Sn) und Niob-Titan-Legierungen entwickelt worden (TIC 2010).
- Nb-Komplexe können auch als Katalysatoren für die Synthese von Biofuels z.B. aus Palmöl verwendet werden.

Die Auswirkungen von Niob auf **Umwelt und Gesundheit** sind nach derzeitigem Stand der Erkenntnis begrenzt. Niobmetall-Staub irritiert Augen und Haut. Einige ansonsten standardmäßig erhobene Auswirkungen auf die Umwelt sind nicht bestimmt (z.B. Fischtoxizität). Für Niob und seine Verbindungen sind keine Verwendungsbeschränkungen bekannt.

2.7.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Niobs in der Erdkruste beträgt rund 20 mg/kg. Niob kommt in Pyrochlor mit Gehalten von 0,5-2,5 % vor (IAMGOLD 2009), ist aber auch größter Bestandteil von Columbit-Tantalit. Die weltweite Gesamtproduktion wird derzeit von Pyrochlor-Vorkommen dominiert.

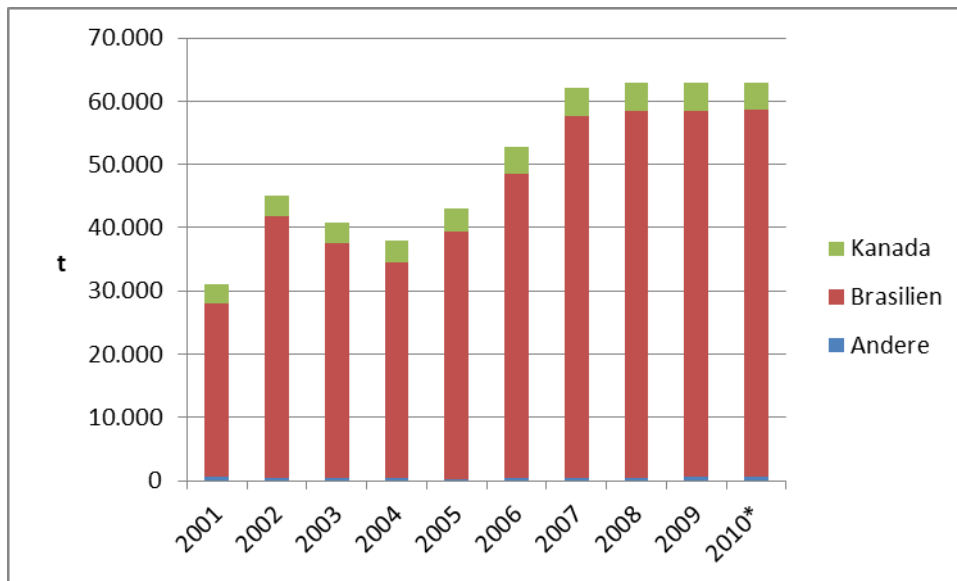
Abbildung 2-46: Globale Verteilung der Reserven von Niob



Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf BGR 2010b, USGS MCS 2011.

Die **Reserven** von Niob weisen mit 98 % der insgesamt 2,96 Mio. Tonnen in Brasilien eine außerordentliche hohe Konzentration auf. Die Reserven in Kanada und Australien liegen zusammen in etwa bei einer gesamten Jahresproduktion. Die an Tantal in Columbit gekoppelten Reserven sind verschwindend gering. Die Reservebasis wurde von USGS (MCS 2009) noch mit 3 Mio. Tonnen angegeben, wobei sie für Brasilien mit den Reserven identisch ist. Die **Ressourcen** in Australien betragen im Gegensatz zu den Reserven beachtliche 320.000 Tonnen und in Kanada immer noch 92.000 Tonnen Niob. BGR (2010b) schätzt die globalen Reserven und Ressourcen für Niobpentoxid (Nb_2O_5) auf 4,2 Mio. Tonnen, was mit einem Niob-Gehalt von 70 % gut mit den Angaben von USGS übereinstimmt (Brasilien 98 % der Reservebasis).

Abbildung 2-47: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Niob (t Niob-Inhalt im Erz)



Quellen und Anmerkungen: USGS MYB 2007d, 2011f, USGS MCS 2011; * Schätzung; Andere: Australien, Burundi, DR Kongo, Äthiopien, Mozambique, Namibia, Nigeria, Ruanda, Somalia, Uganda, Zimbabwe; Bolivien, China, Guyana, Franz., Kasachstan, Russland nicht berücksichtigt.

Die **Bergwerksproduktion** von Niob hat sich im letzten Jahrzehnt verdoppelt.⁶³ Brasilien dominiert mit 92 % den Bergbau mit weitem Abstand vor Kanada mit 7 %. Die für die Niob-Versorgung wenig bedeutenden anderen Länder gewinnen Niob vorwiegend aus Columbit, wohingegen **Brasilien und Kanada** über ausgedehnte Pyrochlor-Vorkommen verfügen. Im Gegensatz zum Tagebau in Brasilien wird Niob in Kanada im Untertagebau gewonnen.

Die Produktion von Niob teilt sich fast vollständig auf **drei Firmen** auf: CBMM (65-70 %) und Mineracão Catalão de Goiás (14-18 %) in Brasilien und Niobec (12-14 %) in Kanada (Sinolatin 2010).⁶⁴ Die Reserven von CBMM liegen derzeit bei über 500.000 Tonnen (2,5 % Nb-Gehalt), von Catalão bei 16.000 Tonnen (1,2 % Nb-Gehalt) und von Niobec bei 20.000 Tonnen (0,65 % Nb-Gehalt). CBMM ist in Privatbesitz, Catalão gehört Anglo American und Niobec IAMGOLD. Alle drei Firmen stellen Ferroniob her, CBMM auch Produkte auf höherer Wertschöpfungsstufe (Roskill 2009).

Es gibt nur wenige aussichtsreiche neue Pyrochlor-**Projekte** direkt in der Pipeline, den größten Einfluss auf das zukünftige Angebot wird die Erweiterung von CBMM haben (siehe Tab. 2-48). Darüber hinaus gibt es einige neue, aber kleinere Columbit-Tantalit-Projekte u.a. in Saudi-Arabien (Ghurayyah), Ägypten (Abu Dabbab) und in Kanada (Blue River).

⁶³ Im Gegensatz zu den Zahlenangaben von USGS ist bei den Zahlenangaben der TIC (2011) ein Einbruch der Primärproduktion im Jahr 2009 klar zu sehen. Im 1. Halbjahr 2010 lag sie wieder auf dem Niveau des 1. Halbjahres 2007.

⁶⁴ Metallurg und Mamoré in Brasilien produzieren zusammen weniger als 10 % der Niob-Versorgung. Metallurg verarbeitet eigene Schlacken und zugekaufte Konzentrate, Mamoré betreibt eine Zinn-Mine und gewinnt aus der Columbit-haltigen Schlacke der Zinnengewinnung Ferroniob/-tantal (Sinolatin 2010).

Tabelle 2-48: Niob-Bergbauprojekte

Projekt	Nb-Gehalt	Nb-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	Jährliche Nb-Förderung
Kanyika (MWI)	-	60.000 t	Pyrochlor	Globe Metals & Mining (AUS)	2013	3.000 t
Araxas (BRA)	2,5-3,0 % Nb ₂ O ₅	115.000 t Nb ₂ O ₅	Pyrochlor	CBMM (Moreira Salles Group, Unocal (USA), Minais Gerais 25 % (BRA))	Aufschub der Pläne für 2013	Kapazitätsausbau von 90.000 t auf 150.000 t geplant
Mabounié (GAB)	1,02-2,5 % Nb ₂ O ₅	3,2 Mio. t Nb	Pyrochlor	Eramet (FRA)	hohe Investitionskosten, geringe Gewinnungsrate, kein Kerngeschäft	-
Niocan (CAN)	0,63 % Nb ₂ O ₅	50.000 t Nb	Pyrochlor	Niocan Inc. (CAN)	seit 2011 fehlt Umweltgenehmigung	-
Luesche (COD)	1,34 % Nb ₂ O ₅	280.000 t	Pyrochlor	-	Betrieb eingestellt, politische Gründe	-

Quellen und Anmerkungen: IAMGOLD 2009, Roskill 2009, Sinolatin 2010, Vulcan 2010 und Unternehmensdarstellungen im Internet; - unbekannt, Nb₂O₅ - Niobpentoxid.

Momentan sieht es nicht danach aus, dass die oligopolartige Angebotsstruktur in absehbarer Zeit gebrochen werden kann. Die CBMM betreibt aber eine gute Marktpflege, d.h. sie passt das Angebot der Nachfrage flexibel an.⁶⁵ Die Ausbaupläne für Araxas haben sich durch die Weltwirtschaftskrise erheblich verzögert. CBMM versucht, hohe Gewinnmargen mit gut geplanter Produktionserweiterung zu verknüpfen. Medienberichten zufolge (ntv 3.3.2011) steigt ein asiatisches Stahlkonsortium (Posco, Nippon Steel, JFE) bei CBMM mit 1,8 Mrd. US-\$ ein. Die Niob-Ressourcen als Begleitmaterial von Seltenen Erden in Storkwitz (Sachsen) betragen nur 8.700 Tonnen (DRAG 2010).

2.7.3 Marktstruktur und -dynamik

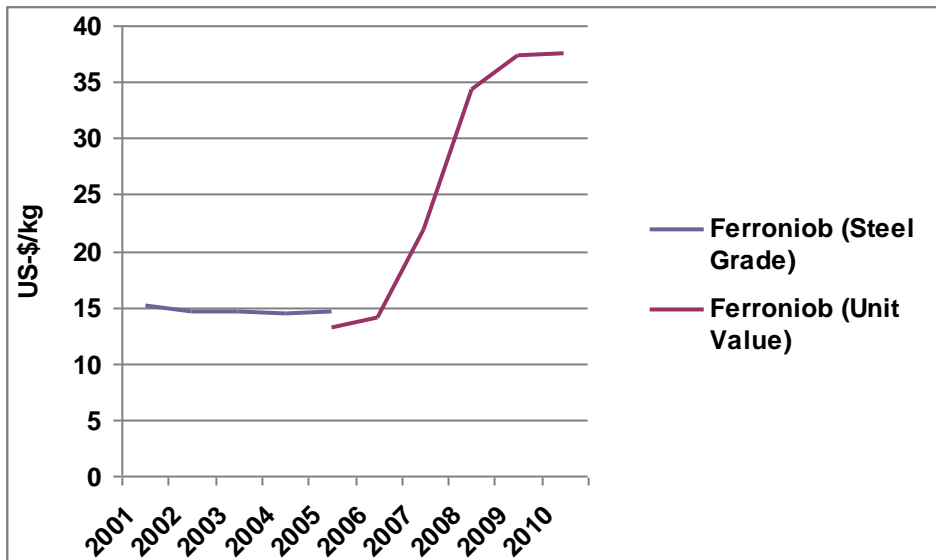
Das **globale Niob-Angebot** wird von nur drei Hauptakteuren kontrolliert. Die beiden brasilianischen Firmen haben Kostenvorteile gegenüber dem kanadischen Unternehmen, das zu 56 % nach Europa exportiert. Zwar gibt es momentan keine größeren Angebotsprobleme, geänderte Firmenstrategien und staatliche Interventionen können dies jedoch schnell ändern. Andere größere Niob-Projekte scheinen noch weit entfernt von der Produktion zu sein. Für Niob und Niob-Produkte sind keine unmittelbaren **Handelsbeschränkungen** bekannt (OECD 2010a).

Die **weltweite Nachfrage** nach Niob ist in den vergangenen 30 Jahren abhängig vom Stahlverbrauch verlaufen. IAMGOLD (2009) erwartet bis 2015 ein jährliches Wachstum der Niob-Nachfrage in Höhe von 15 %. Haupttreiber ist die Stahlproduktion: rund 1/3 des Wachstums sollen auf den Kapazitätsausbau von Entwicklungsländern und 2/3 auf die vermehrte Produktion hochwertiger Stähle vor allem in China entfallen. Zwischen den Jahren 2001 und 2008 hat die rechnerische Nutzungsintensität von Ferroniob einen Sprung von 42 Gramm Niob pro Tonne Stahl auf 65 Gramm Niob pro Tonne Stahl gemacht, d.h. der Legierungsanteil von Niob ist in diesen sieben Jahren um über 50 % gestiegen. Auch Roskill (2009) erwartet nach dem Abklin-

⁶⁵ vgl. Interview mit Herrn Breese (Stahl-Zentrum) 2011.

gen der weltweiten Wirtschaftskrise ein robustes Wachstum der Nachfrage von HSLA Stahl für Pipelines, den Automotive-Sektor, den Bausektor sowie von Superlegierungen im Flugzeug- und Kraftwerksbau. Hohe Erdölpreise begünstigen zum einen den Bau von Pipelines, zum anderen die Nachfrage nach hochfesten, leichten Stählen im Automobilbau und damit indirekt die Niob-Nachfrage.

Abbildung 2-49: Entwicklung des Preises für Ferroniob (US-\$/t)

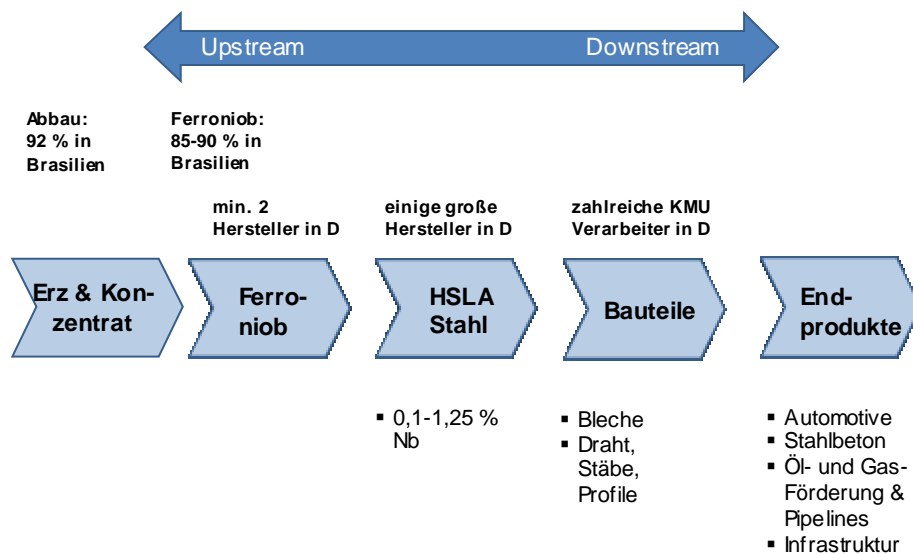


Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; Umstellung der Berichterstattung durch USGS von Ferroniob (US-\$/Pound), Steel Grade zu Ferroniob (US-\$/t), Unit Value ab dem Jahr 2005; umgerechnet von US-\$/lb (Steel Grade); eine einfache Konversion ist aufgrund verschiedener Qualitäten nicht möglich.

Die **Preise** für Ferroniob sind seit 2005 von 13.200 US-\$/t auf 37.500 US-\$/t gestiegen. Dieser Trend ist anders als die abfallenden Preismuster für zahlreiche andere Rohstoffe im Zuge der Weltwirtschaftskrise. Ferroniob ist kein auf offenen Märkten gehandeltes Produkt. Roskill (2009) erwartet, dass die Preise für Ferroniob anhaltend auf dem Niveau von 2008 mit geringer Volatilität bleiben werden. CBMM hat während der Weltwirtschaftskrise 2009 tatsächlich die Preise hoch halten können. Mittelfristig, in den nächsten drei bis vier Jahren sprechen die Angebots- und Nachfragemuster für höhere Preise (IAMGOLD 2009).

Die bedeutendste Anwendung von Niob in **Deutschland** ist hochfester, niedrig legierter (HSLA) Stahl, dessen Wertschöpfungskette hier vereinfacht dargestellt ist:

Abbildung 2-50: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Niob in hochfestem, niedrig legiertem (HSLA) Stahl



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf StaBuA 2009, USGS MYB 2010c, 2011f und Unternehmensdarstellungen im Internet; D – Deutschland, HSLA – High Strength, Low Alloy, KMU – kleine und mittlere Unternehmen.

Der Abbau von Niob ist stark in Brasilien konzentriert. Das dominierende Unternehmen CBMM treibt die Entwicklung von Niob-Anwendungen insbesondere zur Legierung von Stahl voran. Auch ThyssenKrupp Metallurgie und die zur Advanced Metallurgical Group (AMG) gehörige GFE mit Produktion in Nürnberg und Freiberg bieten Ferroniob an, was ebenso wie die Anbieter aus Österreich und China nicht in den USGS Statistiken (MYB 2010c) ausgewiesen wird. Cronimet handelt mit Ferroniob von Catalão in Deutschland. Spezialisierte Portfolios haben H.C. Starck (Niob, Niob-Halbzeuge, Niob-Legierungen und Niob-Chemikalien), W.C. Hareus (Niob und Niob-Halbzeuge) und GFE (Niob-Legierungen und Niob-Chemikalien), die zumindest teilweise auch sekundäre Vorstoffe verarbeiten. Ferroniob wird dem HSLA Stahl von einigen großen Herstellern in Deutschland beigefügt, bevor es von mehreren Unternehmen zu Halbzeugen verarbeitet wird. Die großen Endabnehmerbranchen aus dem Bau-, Automobil-, Energie- und Infrastruktursektor bilden meist das Ende der Wertschöpfungskette in Deutschland.

2.7.4 Materialeffizienz

Zur Materialeffizienz von Niob über den Lebenszyklus liegen keine umfassenden Informationen vor.⁶⁶ Die Gewinnungsrate von Niobpentoxid (Nb_2O_5) bei der Produktion von Konzentraten aus Erz liegt bei rund 60 % (IAMGOLD 2010). Angaben zum Recycling gibt es für die Stoffströme in den USA für das Jahr 1998 (USGS 2004) und zur Substitution eine aktuelle Abhandlung (Ziemann und Schebek 2010), die allerdings auf ältere USGS-Quellen rekurriert.

⁶⁶ Ecoinvent (2007) bilanziert nur Tantal aus Columbit-Tantalit, aber nicht das Niob (weder aus Columbit-Tantalit noch aus Pyrochlor).

Tabelle 2-51: Recyclingfähigkeit von Niob

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Legierter Stahl	0,1-1,25 % Niob in Stahl	Niob nicht zurückgewonnen, aber im Werkstoff rezykliert
Superlegierungen	ca. 5 % Niob in Superlegierungen (Nickel- oder Cobalt-Basis)	Superlegierungen: 70 % Recycling, 20 % Downcycling, 10 % Nickel-Hütten

Quelle: USGS 2004.

Tabelle 2-52: Substitutionsmöglichkeiten für Niob

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Legierter Stahl	hochfest, niedrig-legiert: Molybdän, Vanadium hochfest/rostfrei: Tantal, Titan Hochtemperaturanwendungen: Keramik, Molybdän, Tantal, Wolfram	Carbon (kohlenstoffverstärkter Kunststoff) im Fahrzeugbau Aluminium im Fahrzeugbau
Superlegierungen	sehr schwierig	-

Quellen: ISI/IZT 2009, USGS MCS 2011, Ziemann und Schebek 2010.

Weniger als 10 % der weltweiten Stahlproduktion wurde im Jahr 1993 Niob zur Erhöhung der Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit zugesetzt (USGS 2004).⁶⁷ Dieser Anteil dürfte bis in die heutige Zeit stark gestiegen sein (IAMGOLD 2009). Der Niob-Gehalt dieser Stähle liegt nur bei 0,1-1,25 %. Etwa 70 % des Aufkommens an Niob in **Schrotten** entfällt auf Stahl und 30 % auf Superlegierungen. Neuschrotte stammen aus Fertigungsrückständen, Altschrotte aus Altfahrzeugen (10-15 Jahre Lebensdauer), HSLA für Pipelines (60 Jahre Lebensdauer) und ausgemusterten Superlegierungen wie Düsentriebwerke (20 Jahre Lebensdauer). Stahlschrotte werden in der Regel geshreddert, sortiert und gepresst. Die Superlegierungsschrotte werden gesammelt, sortiert, gesäubert, ihre Größe angepasst und die chemische Zusammensetzung (mit Zertifizierung) bestimmt. Der Einsatz von Superlegierungs-Altschrotten wird bei Sauerstoff-Verfahren allgemein akzeptiert, nicht aber bei Vakuum-Verfahren. Die Recycling-Effizienz liegt in den USA bei rund 50 % (USGS 2004).

Niob kann in einigen Anwendungen durch Tantal **ersetzt** werden, dessen Versorgungslage für Deutschland um die Jahrtausendwende kritisch war, aus heutiger Sicht jedoch weitgehend unkritisch ist (vgl. Hauptteil Kapitel 4.2). Bei den hochfesten, niedrig legierten Stählen können Molybdän und Vanadium die Funktion des Niobs substituieren, allerdings sinkt die Leistungsfähigkeit oder die Kosten liegen höher (USGS MCS 2011). Im Fahrzeugbau ist die Stahlsubstitution durch Carbon oder Aluminium durch hohe Preise gehemmt, auch wenn der Leichtbau Kraftstoffeinsparungen mit sich bringt. Ein großes Hemmnis bei Carbon ist die fehlende Schweißbarkeit, was im Schadensfalle Reparaturen erschwert oder gar verhindert. In den mengenmäßig wenig relevanten Superlegierungen gibt es zu Niob oft keine Alternative.

⁶⁷ Neuere Angaben liegen nicht vor.

2.8 Rhenium

Rhenium (Re) gehört zur VII. Nebengruppe des Periodensystems. Es hat mit 21 g/cm^3 eine außerordentlich hohe Dichte. Der Schmelzpunkt des Rheniums liegt bei extrem hohen $3.180 \text{ }^\circ\text{C}$, der Siedepunkt bei rund $5.630 \text{ }^\circ\text{C}$. Die elektrische Leitfähigkeit ist gering. Rhenium wird vorwiegend als Ammoniumtetraoxorhenat(VII) (Ammoniumperrhenat – APR) oder als Metall gehandelt.

2.8.1 Verwendung und Nachfrage

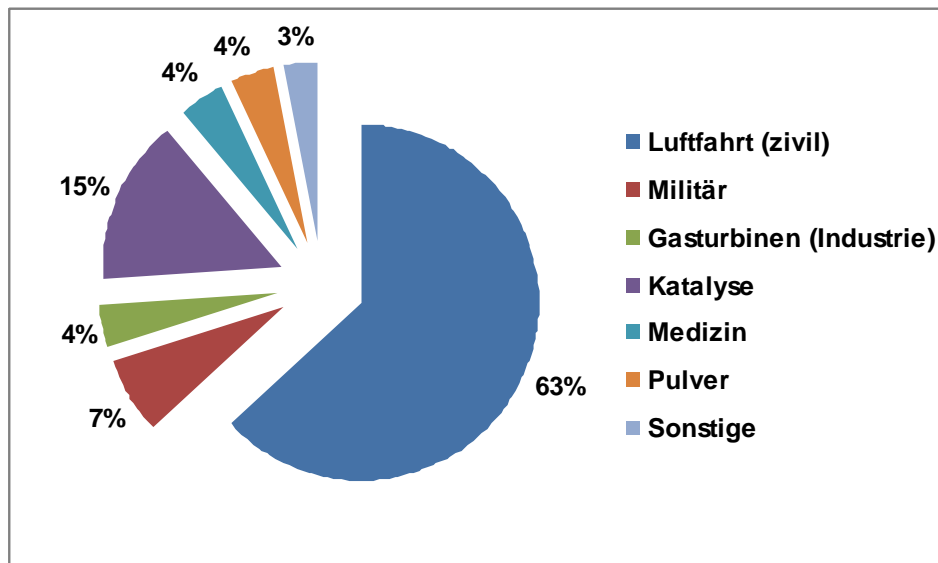
Der **weltweite Rhenium-Verbrauch** im Jahr 2008 wird mit 68 Tonnen angegeben (Safeport 2010). Die Sekundärproduktion steuert ca. 20 % zum Rhenium-Aufkommen bei (Roskill 2010b). Eine Abschätzung des deutschen Rhenium-Verbrauchs wird durch die aggregierte Darstellung der Außenhandelsströme von Rhenium mit Tantal und Niob (BGR RohSit 2009) und begrenzte Kenntnis der Elementgehalte erschwert. Der Import erfolgte 2008 hauptsächlich als Metall und Pulver, in früheren Jahren auch als Abfälle und Schrott. Der Rhenium-Import nach Deutschland wird auf 3,5-4,5 Tonnen pro Jahr geschätzt, der Export ist vernachlässigbar. Rhenium wird in Deutschland auch aus dem Katalysatoren-Recycling gewonnen (ca. 3 Tonnen im Jahr 2007).⁶⁸ Der Netto-Importanteil Deutschlands am eigenen Verbrauch aller Handelsformen (einschließlich Sekundärrohstoffe) liegt nach IZT-Berechnungen im Jahr 2008 bei rund 80 %.⁶⁹ Die Herkunft des importierten Rheniums ist aufgrund der aggregierter Darstellung mit dem in viel größeren Mengen importierten Niob nicht auflösbar (BGR RoSit 2009). Der Verbrauch Deutschlands liegt bei geschätzten 4-6 Tonnen Rhenium im Jahr 2008, der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch bei 9-12 %.

Informationen zur Verwendung von Rhenium sind rar. Für Deutschland oder Europa liegen keine geeigneten Daten vor. Die **weltweite Verwendungsstruktur** ist dagegen bekannt:

⁶⁸ Damit ist Deutschland nach Vulcan (2008) das wichtigste Sekundärproduktionsland.

⁶⁹ Bei den primären Rhenium-Vorstoffen beträgt die Importabhängigkeit Deutschlands 100 %.

Abbildung 2-53: Globale Verwendungsstruktur von Rhenium (Gew.-%)



Quelle: Safeport 2010.

Rhenium verleiht Superlegierungen für Turbinenschaufeln hohe mechanische Festigkeit, Korrosions- und Temperaturbeständigkeit. Alleine auf zivil genutzte Flugzeuge entfallen 63 % des globalen Rhenium-Verbrauchs (Safeport 2010), weitere 7 % auf militärische Verwendungen (vermutlich ebenfalls überwiegend Flugzeugturbinen) und 4 % auf industriell genutzte Gasturbinen. Die Katalyse ist mit 15 % ebenfalls ein großes Anwendungsgebiet für Rhenium. Sowohl in Katalysatoren zur Abgasreinigung in Automobilen als auch in industriellen Katalysatoren für petrochemische Anwendungen wird Rhenium verwendet. Geringvolumigere Anwendungen finden sich in der Medizin, als Beschichtungspulver und sonstige (Thermocouples, Bleche, Draht). Die Verwendungsstruktur von Rhenium wird von **Zukunftstechnologien** im Sinne von Spitzentechnologie bestimmt (über 75 %). Dazu zählen die Herstellung von Verbrennungsmotoren und Turbinen wie auch der Luft- und Raumfahrzeugbau. Die katalytischen Anwendungen und weitere Anwendungen gehören eher zur gehobenen Gebrauchstechnologie (NIW 2007).

Unter den neuen Technologien mit noch nicht erschlossenem Marktpotential sind hervorzuheben:

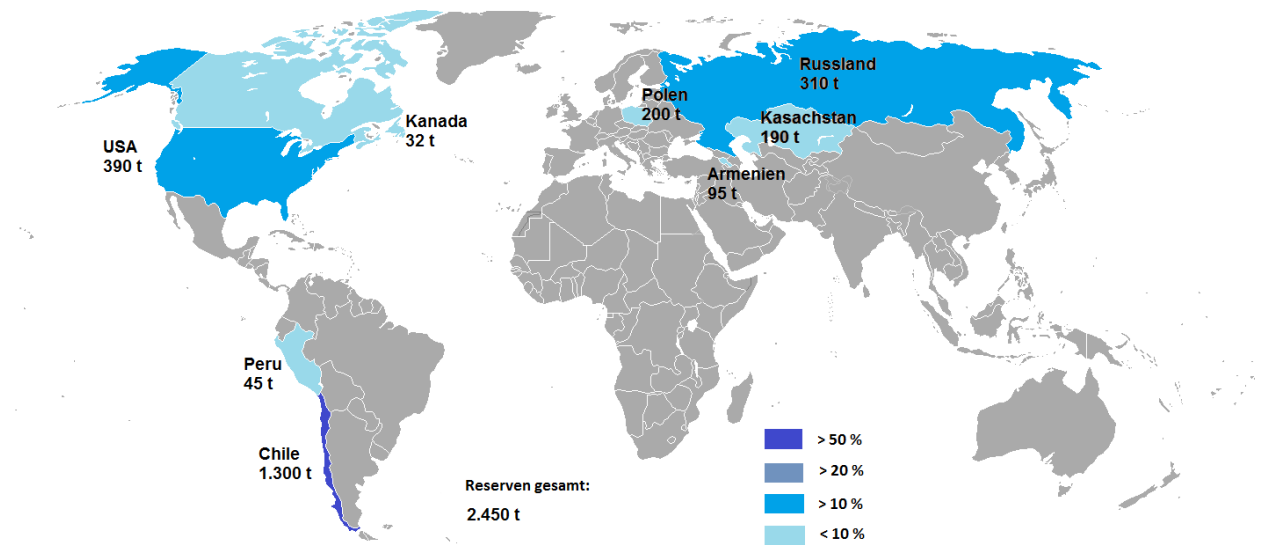
- Rheniumdiborate (ReB_2) als harter Werkstoff für Werkzeuge und Werkzeugmaschinen
- Rhenium-Katalysatoren in der XtL-Synthese (Verflüssigung von Gas, Kohle, Biomasse zu Treibstoffen)

Über die Wirkungen von Rhenium auf **Gesundheit und Umwelt** ist wenig bekannt. Auch liegen keine Verwendungsbeschränkungen für Rhenium vor.

2.8.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Rheniums in der Erdkruste beträgt rund 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Damit ist Rhenium eines der wenigen absolut seltenen Elemente. Rhenium bildet selbst keine eigenen Lagerstätten. Es liegt in Anteilen von 0,1-0,2 % in molybdän-haltigen Porphyr-Kupfererzen vor. Rhenium wird beim Rösten von Molybdänsulfid zu Molybdäntrioxid gewonnen, indem es in das schwefelhaltige Rauchgas gerät. Es wird dann bei der nassen Entschwefelung des Rauchgases gewonnen (Lipmann 2005).

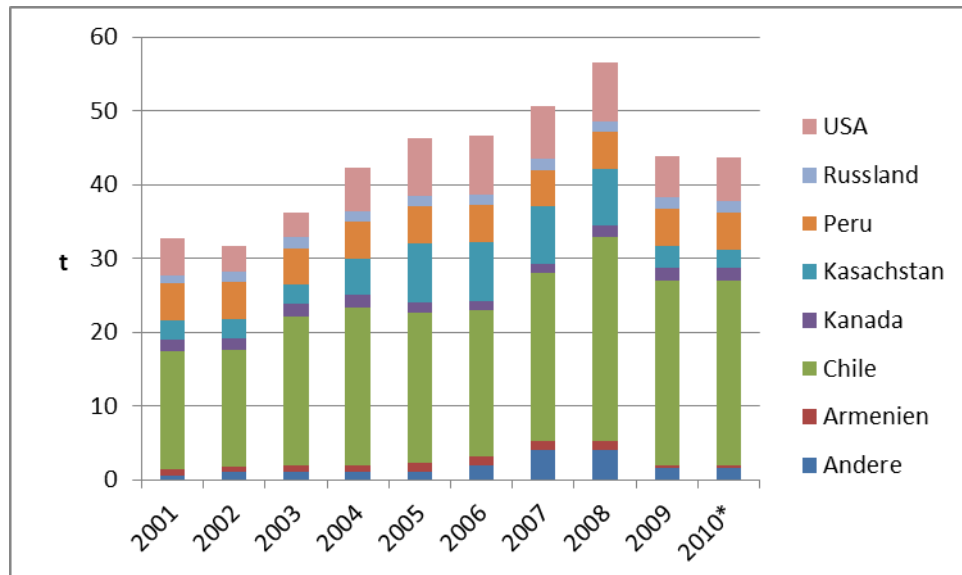
Abbildung 2-54: Globale Verteilung der Reserven von Rhenium



Quelle: USGS MCS 2011.

Die **Reserven** für Rhenium bemessen sich nach dem Gehalt von Molybdän und Kupfer in Porphyryerzen. Fast die Hälfte der Reserven in Höhe von 2.450 Tonnen befindet sich in Chile (49 %). Auch die USA und Russland verfügen über große Reserven (14,7 % bzw. 11,7 %). Hervorzuheben sind die Reserven in Polen, die mit 200 Tonnen 7,5 % der globalen Reserven ausmachen. Auch in Kasachstan, Armenien und Usbekistan liegen wichtige Rhenium-Reserven. Die **Rhenium-Ressourcen** werden von USGS (MCS 2011) auf 11.000 Tonnen geschätzt, davon alleine 5.000 Tonnen in den USA.

Abbildung 2-55: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Rhenium (t Re-Inhalt)



Quellen und Anmerkungen: USGS MYB 2007e, 2011g, USGS MCS 2010, 2011; * Schätzung; Andere: k.A.; Usbekistan nicht berücksichtigt.

Die **Bergwerksproduktion** von Rhenium hat von 2002 bis 2008 einen stetigen Aufstieg von 31,6 Tonnen auf 56,5 Tonnen erfahren und sank dann in Folge der Weltwirtschaftskrise auf 43,7 Tonnen im Jahr 2010. Davon entfielen 57 % auf **Chile**, 14 % auf die USA und

11 % auf Peru. Kasachstan erlebte von 2008 bis 2010 einen Einbruch von 7,7 Tonnen auf 2,5 Tonnen, Armenien von 4 Tonnen auf 1,5 Tonnen. Das wichtigste **Unternehmen**, das Rhenium im Bergbau fördert und separiert, ist nach Vulcan (2008) die chilenische Molymet (ca. 2/3 der Weltproduktion).⁷⁰ Red Met in Kasachstan und Phelps Dodge (Freeport McMoRan) in den USA sind mit je 7-8 % der Produktion die 2.- bzw. 3.-größten Hersteller.

Beim Rhenium ist ähnlich wie bei Gallium und Indium nicht der Bergbau der eigentliche Engpassfaktor für die Produktion, sondern die Trennungs- und Produktionsinfrastruktur. In einem frühen Prospektionsstadium sind nach USGS (MYB 2011g) das Mount Dore Project in Australien (Ivanhoe Australia Ltd.) und das Fearless-Vorkommen in Kanada (MetalCORP Ltd.). Die polnische KGHM Ecoren hat mit dem Triebwerkshersteller Rolls Royce einen Abnahmevertrag von APR aus der Kupferproduktion über fünf Jahre geschlossen. Auch mit dem Katalysatorhersteller Johnson Matthey (UK) wurde ein Kooperationsabkommen geschlossen. Die Anlage im Südwesten Polens ist die einzige in Europa, die auch Rhenium aus Produktionsabfällen wieder gewinnen kann. Die Rhenium-Produktion von KGHM betrug 2006 noch 3,5 Tonnen, für 2009 wurden bereits 6 Tonnen erwartet (USGS MYB 2011g).

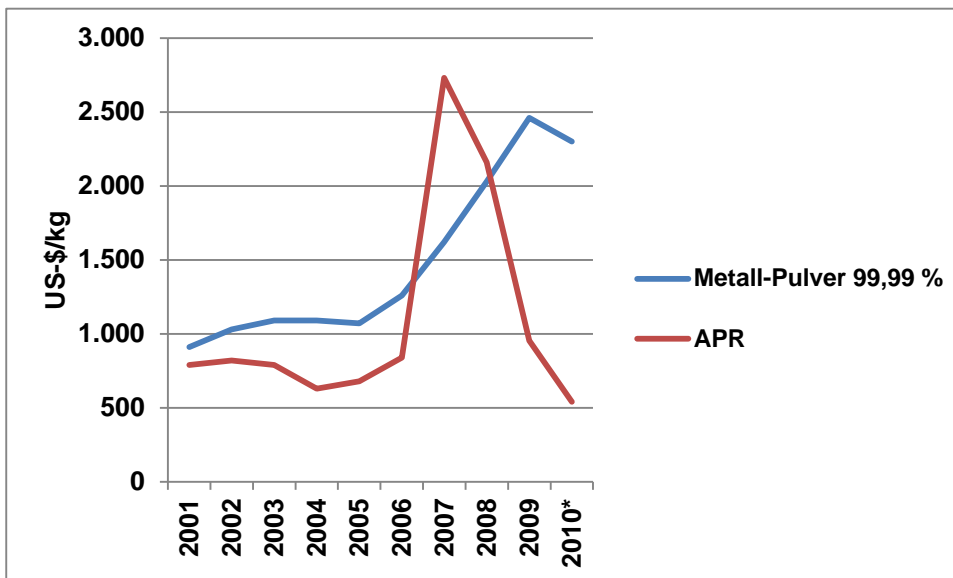
2.8.3 Marktstruktur und -dynamik

Das globale **Rhenium-Angebot** wird durch die Röstkapazitäten für Molybdänsulfid und die anschließende Entschwefelung begrenzt. Das Recycling steuert zunehmend wichtige Beträge zum Rhenium-Angebot bei. Russland verhängt seit dem Jahr 2008 eine **Exportsteuer** auf Rhenium in Höhe von 6,5 % (OECD 2010a).

Die **weltweite Nachfrage** nach Rhenium soll zwischen 2009 und 2015 um jährlich 5 % wachsen (Roskill 2010b). Der Rhenium-Gehalt in den Superlegierungen von Turbinenschaufeln ist in den letzten Jahren von 3-5 % auf 6 % gestiegen. Der Verbrauchsanteil von Rhenium in Turbinen für die Luftfahrt soll von 43,5 Tonnen im Jahr 2008 in den nächsten 20 Jahren auf 80 Tonnen steigen. Dieses Segment ist der Haupttreiber für den prognostizierten Anstieg des Rhenium-Verbrauchs von 68 Tonnen im Jahr 2008 auf 123 Tonnen im Jahr 2028 (Safeport 2010). Insgesamt hat das Rhenium-Angebot Schwierigkeiten, mit der Rhenium-Nachfrage Schritt zu halten.

⁷⁰ Auch Codelco hat 2009 erwogen 2 Tonnen Rhenium pro Jahr zu produzieren (USGS MYB 2011g).

Abbildung 2-56: Entwicklung der Preise für Rhenium (US-\$/kg)



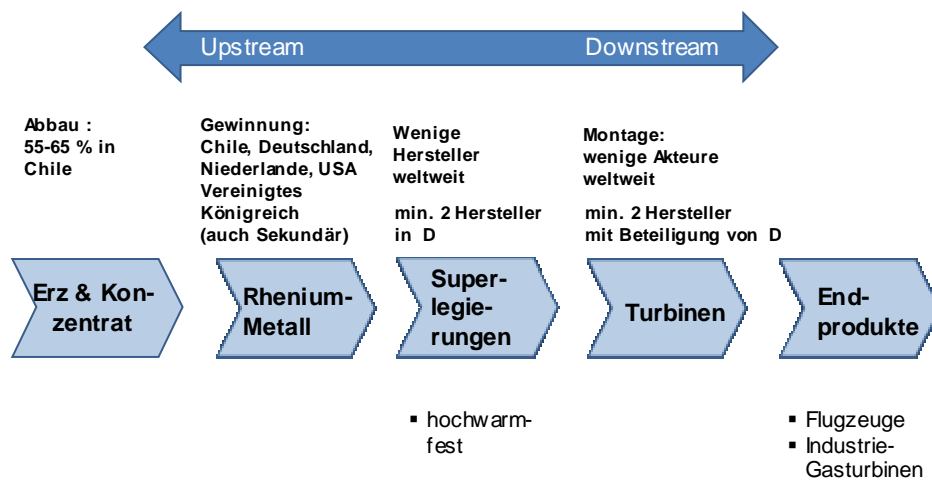
Quellen und Anmerkungen: USGS MCS 2005, 2007, 2011; * Schätzung; APR - Ammoniumperhenat.

Die **Preise** für Rhenium-Metall haben sich von knapp 1.000 US-\$/kg im Jahr 2001 auf 2.500 US-\$/kg im Jahr 2009 mehr als verdoppelt und sind 2010 wieder leicht abgefallen. Abgesehen von den beiden Jahren 2007 und 2008 bewegte sich der Preis für APR zwischen 500 und 1.000 US-\$/kg. In den beiden Ausnahmejahren wurden kurzfristig 2.700 bzw. 2.200 US-\$ erreicht.

Es wird damit gerechnet, dass das Rhenium-Angebot aus Primär- und Sekundärproduktion die Nachfrage 2011 nicht voll decken wird (Safeport 2010). Die Minenproduktion kann wohl erst 2013 moderat gesteigert werden. Für Rhenium werden deshalb starke Preiserhöhungen erwartet. Auch der jederzeit mögliche Aufbau von Lagerhaltungsreserven kann das Angebot verknappen und so den Preis für Rhenium kurzfristig stark erhöhen.

Deutschland ist in der Wertschöpfungskette von Rhenium für Turbinen stark involviert, wenn auch oft erst auf den 2. Blick:

Abbildung 2-57: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Rhenium in Superlegierungen für Turbinen



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf Safeport 2010, StaBuA 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet; D - Deutschland.

Es gibt weltweit nur wenige Hersteller von Molybdän und noch weniger von Rhenium. Die Hauptproduzenten von Rhenium-Metall und -Verbindungen sind Chile, Deutschland, die Niederlande, das Vereinigte Königreich und die USA. Deutschland verfügt bei der Herstellung und Verarbeitung von Rhenium über im Weltmaßstab relevante Schlüsselakteure: Das Unternehmen Neo Material Technologies verfügt mit der Recapture und Buss & Buss Spezialmetalle GmbH (Sagard in Mecklenburg-Vorpommern) über die größten Recyclingmöglichkeiten für Rhenium aus Superlegierungen. H.C. Starck und W.C. Hareus betreiben in Deutschland Rhenium-Recycling aus Turbinenschaufeln. Die Rhenium-Sekundärproduktion von BASF findet in den USA und Frankreich statt (Vulcan 2008). W.C. Hareus ist ein Hersteller Rhenium-haltiger Superlegierungen auf Nickel- oder Cobalt-Basis.⁷¹ Rhenium wird in Form von APR für Katalysatoren verwendet und als Metallpulver für Superlegierungen. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland Verbrennungsmotoren und Turbinen im Wert von über 18 Mrd. € produziert (ohne Luft- und Kraftfahrzeuge). Gasturbinen im Wert von 580 Mio. € produzierten 2008 in Deutschland drei Hersteller (StaBuA 2009). Auch die Installation, Reparatur und Instandhaltung von Turbinen sind große Märkte. Zu den Turbinen- bzw. Triebwerkherstellern, die Superlegierungen mit Rhenium verwenden, gehören Siemens und Rolls Royce (mit BMW-Beteiligung).

⁷¹ auch von Rhenium-Verbindungen für Reforming- und Ethylenoxidkatalysatoren.

2.8.4 Materialeffizienz

Zur Materialeffizienz von Rhenium gibt es nur wenige Abhandlungen. Herausragend sind die Aktivitäten von General Electric zum Recycling und zur partiellen Substitution von Rhenium in Turbinen (Duclos et al. 2009).

Tabelle 2-58: Recyclingfähigkeit von Rhenium

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Turbinen (2-6 % Rhenium in Legierung)	zivile Luftfahrt: 8,5 kg Rhenium pro Triebwerk (zukünftig 7 kg) militärische Luftfahrt: 8-16 kg Rhenium pro Triebwerk	Reinigungs- und chemische Aufberei- tungsprozesse von Produktions- und Altproduktabfällen für die Erschmel- zung von Superlegierungen
Katalyse	nicht genau bekannt	Platin-Rhenium Katalysator Recycling üblich, Wiedergewinnungsrate für Rhenium unbekannt

Quellen: Duclos et al. 2009, Safeport 2010, USGS MCS 2011.

Tabelle 2-59: Substitutionsmöglichkeiten für Rhenium

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Turbinen	geringerer Rhenium-Gehalt mit gleichen Ei- genschaften möglich, proprietäres Wissen der Hersteller	alternative Antriebstechniken
Katalyse (Platin- Rhenium)	andauernde Forschungsanstrengungen (Iridi- um, Zinn im Einzelfall erfolgreich)	Alternativen zu katalytischem Re- forming von Öl unbekannt

Quellen: ISI/IZT 2009, TU Berlin/UBA 2003, USGS MCS 2011.

Nach Duclos (2009) ist Rhenium für den Turbinenhersteller General Electric (GE) der kritischste Rohstoff. Die Produktion von GE barg erhebliche **Materialeffizienzpotentiale**, weil diese in Zeiten geringerer Versorgungsprobleme errichtet wurde. Gussreste können mit minimalem Reinigungsaufwand wieder eingeschmolzen werden. Schleifspäne können chemisch zum Wiedereinsatz für Superlegierungen aufbereitet werden. Auch für den Rückfluss benutzter Teile wurde ein Reinigungsverfahren entwickelt, das einen Wiedereinsatz in der Erschmelzung von Superlegierungen ermöglicht. Es wurde versucht, ein globales Recycling-System aufzubauen. Es bleibt abzuwarten, wie dieses in der Praxis umgesetzt werden wird. Bis 2028 wird ein Ausbau der globalen Recyclingkapazitäten auf rund 30-35 Tonnen Rhenium erwartet. Die Auslastung hängt von der Schrottverfügbarkeit ab (Safeport 2010). Trotz intensiver Forschung sind für Rhenium in den wichtigsten Anwendungen keine Substitute in Sicht.

2.9 Seltene Erden

Zu den Seltenen Erden gehören im weiteren Sinne die III. Nebengruppe des Periodensystems, die Lanthanoide und die Actinoide. Die einzelnen Elemente der Seltenen Erden haben teilweise sehr ähnliche chemisch-physikalische Eigenschaften, weshalb sie hier zusammen behandelt werden. In der kommerziellen Praxis zählen nur Yttrium und Lanthan aus der III. Nebengruppe und die Lanthanoide zu den Seltenen Erden, während Scandium aus der III. Nebengruppe⁷² und die Actinoide⁷³ aufgrund ihrer Eigenheiten eine gesonderte Behandlung erfordern. Die Lanthanoide werden in eine Cer-Gruppe und in eine Yttrium-Gruppe eingeteilt. Zur Cer-Gruppe zählen die leichteren Elemente Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm),⁷⁴ Samarium (Sm), Europium (Eu), und zur Yttrium-Gruppe zählen die schwereren Elemente Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu) sowie das Yttrium (Y) (Holleman und Wiberg 1985).

Lanthanoide haben aufgrund der unbesetzten 4f-Elektronenstruktur teilweise einzigartige Eigenschaften. Mit wachsender Kernladungszahl nimmt der Ionenradius kontinuierlich ab (Lanthanoidenkontraktion). Einen periodischen Verlauf in Abhängigkeit von der Kernladungszahl nehmen die Dichte und die Schmelzpunkte der Lanthanoide ein (jeweils Minima bei Ce, Eu und Yb). Auch die magnetischen Momente und die Farben der dreiwertigen Ionen ändern sich periodisch für die Cer-Gruppe und die Yttrium-Gruppe. Die Seltenen Erden werden hauptsächlich als einzelne metallische Elemente (SEE), als Mischmetall oder als Oxide (SEO) verwendet.⁷⁵

2.9.1 Verwendung und Nachfrage

Der **weltweite Verbrauch** an Seltenen Erden wird unterschiedlich angegeben. Am verlässlichsten erscheinen die Angaben von Du und Graedel (2011), wonach 2007 rund 90.000 Tonnen SEE verbraucht wurden, darunter 28.000 Tonnen Cer und 22.000 Tonnen Lanthan. Kingsnorth (2010) gibt die weltweite Nachfrage nach SEO im Jahr 2010 mit 125.000 Tonnen an, Lynas Corporation (2011a) schätzt sie im selben Jahr auf 136.100 Tonnen. Die Nachfrage liegt allgemein über dem tatsächlichen Verbrauch.

Der Verbrauch an Seltenen Erden in Deutschland entspricht in etwa dem Außenhandelsaldo, weil keine Primärproduktion stattfindet und das Recycling minimal ist. Deutschland importierte im Jahr 2008 nach Angaben der BGR (RoSit 2009) 673 Tonnen Cer-Verbindungen und 430 Tonnen Seltene Erden als Metalle. Die entsprechenden Exportmengen lagen bei 189 bzw. 3 Tonnen. 35 % der Importe von Cer-Verbindungen stammten direkt aus der VR China, 20,1 %

⁷² Das Element Scandium tritt geologisch nicht gehäuft mit den anderen Seltenen Erden auf und wird mit rund 5 Tonnen Scandiumoxid (Sc_2O_3) pro Jahr nur in sehr geringen Mengen genutzt (ISI/IZT 2009).

⁷³ Alle Actinoide sind instabil und deshalb radioaktiv. Die Elemente Thorium und Uran kommen zwar gemeinsam mit den anderen kommerziell genutzten Seltenen Erden in Mineralien vor, sie werden jedoch fast ausschließlich energetisch genutzt.

⁷⁴ Promethium kommt in natürlichen Mineralien nicht vor und wird deshalb nicht weiter betrachtet.

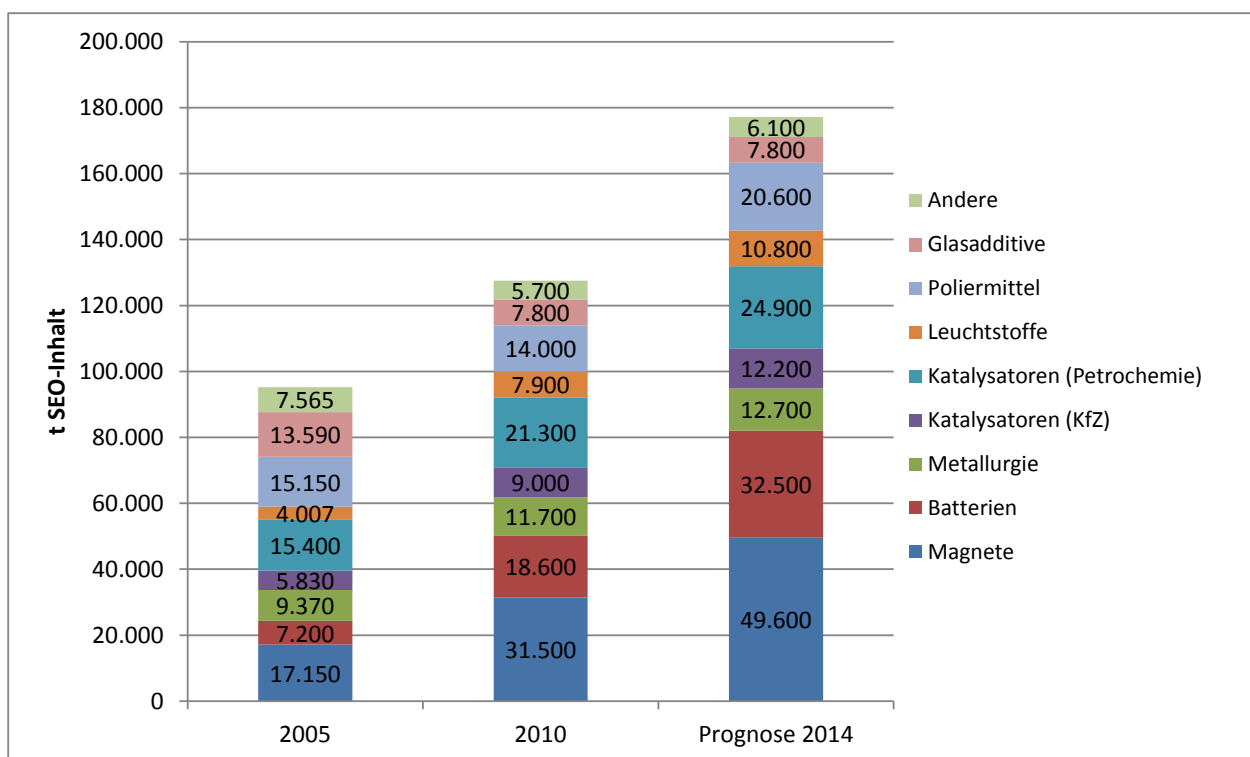
⁷⁵ Die Seltenen Erden können gemäß ihrer dualen Nutzungsstruktur sowohl den Industriemineralien als auch den Metallen zugeordnet werden. In der Hauptstudie sind sie den Industriemineralien zugeordnet worden (vgl. u.a. auch Harder 2008), da nicht nur die Gewinnung einzelner Seltene-Erd-Metalle bezweckt wird und Industriemineralien als weniger verarbeitete Form grundsätzlich auch die Gewinnung der Metalle zulassen.

aus Frankreich und 17,3 % aus Österreich; 43,8 % der Importe an Seltene-Erden-Metallen kamen aus Österreich, 41,4 % aus China und 6,6 % aus Schweden. Auch die europäischen Lieferländer bezogen 2008 ihre Seltenen Erden Rohstoffe vorwiegend aus China.

Das statistische Zahlenmaterial spiegelt den realen Bedarf Deutschlands an Seltenen Erden nur unzureichend wider. Der deutsche Verbrauch an Seltenen Erden liegt nach anderen Angaben der BGR (2009) bei rund 3.000 Tonnen SEO. Tatsächlich liegt er wahrscheinlich noch höher, denn Seltene Erden werden überwiegend auf höherer Wertschöpfungsstufe (z.B. als fertige Magnetwerkstoffe oder in Komponenten enthalten) importiert. Der Verbrauchsanteil Deutschlands am Weltverbrauch im Jahr 2008 auf Rohstoffebene wird auf 2-4 % geschätzt.

Die **Verwendungsstruktur** für Seltene Erden ist weder für die Welt, Europa oder Deutschland bekannt, weshalb die Entwicklung der Nachfrage aus Marktstudien abgeschätzt werden muss.

Abbildung 2-60: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Seltenen Erden (t SEO)



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf BCC Research 2006 und Lynas 2011a; die Angaben von Kingsnorth (2010) sind ähnlich wie Lynas (2011a), aber von etwas geringerer Granularität; SEO – Seltene Erden Oxide.

Die Nachfrage nach Seltenen Erden Oxiden ist von 95.300 Tonnen im Jahr 2005 auf 127.500 Tonnen im Jahr 2010 gestiegen. Bis 2014 soll die Nachfrage auf 177.200 Tonnen steigen (Lynas 2011a). Der mengenmäßige Anteil der Nachfrage nach Seltenen Erden für Magnete ist dabei von 18 % auf heute 25 % gestiegen und soll 2014 bei 28 % liegen. Ebenfalls überproportional ist das Nachfragewachstum nach Seltenen Erden für Nickelmetallhydrid (NiMH) - Batterien; die Nachfrageanteile für alle anderen Anwendungen stagnieren oder sind leicht rückläufig – auch wenn die absoluten Mengen weiter steigen. Wertmäßig sind Magnetwerkstoffe und Leuchtstoffe mit 38 % bzw. 10 % deutlich überproportional am SEO-Gesamtmarkt in Höhe von 7,8 Mrd. US-\$ beteiligt, wohingegen alle anderen Verwendungen wertmäßig unterproportional repräsentiert sind (Lynas 2011a).

Permanentwerkstoffe aus Seltenen Erden haben hohe magnetische Momente ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, SmCo) und ihre Koerzitivkraft kann durch andere Seltene Erden (Dy, Tb) noch verstärkt werden. Sie werden unter anderem in miniaturisierten Festplattenlaufwerken von Computern, Elektromotoren und Generatoren verwendet (mengenmäßiger Nachfrageanteil in 2010: 25 %). Hauptabnehmer von Permanentmagneten sind die Hersteller von Elektronik, Servomotoren, elektrischen Traktionsmotoren und von Generatoren. Weitere Anwendungen für Permanentmagnete sind Kernspinresonanzgeräte (MRI), Magnetschwebbahnen (MAGLEV), magnetische Sensoren und Trennprozesse sowie Kompressoren für die Gebäudeklimatisierung (BCC Research 2006, IZT/FVA 2010). In Nickelmetallhydrid (NiMH) - Batterien werden Seltene Erden als Anodenmaterial verwendet (mengenmäßiger Nachfrageanteil in 2010: 15 %). NiMH-Batterien kommen etwa je zur Hälfte in der mobilen Stromversorgung portabler Elektronik sowie zur Stromversorgung von Hybridautos und in der Industrie zum Einsatz (BCC Research 2006). In metallurgischen Anwendungen (mengenmäßiger Nachfrageanteil in 2010: 9 %) dienen Seltene Erden der Entfernung von Verunreinigungen aus geschmolzenen Metallen oder der Legierung von Aluminium, Magnesium und Stahl (Uebrick und Henningfeld 2011, Waltritsch 2010). Auf Seltene Erden in Industriekatalysatoren entfielen im Jahr 2010 17 % der SEO-Nachfrage. In Fuel Cracking Catalysts (FCCs) dienen sie der Zeolithstabilisierung beim Aufspalten von Erdöl in der petrochemischen Industrie. Auf die Abgasreinigung in Kraftfahrzeugen entfielen weitere 7 % der Nachfrage. In Fahrzeugen mit Otto-Motor belegen Seltene Erden als aktives Katalysatormaterial den "Wash Coat", in Dieselfahrzeugen werden sie dem Treibstoff zur Katalysatorregenerierung zugesetzt (BCC Research 2006). Poliermittel⁷⁶ und Glasadditive⁷⁷ hatten einen Anteil von mehr als 17 % an der SEO-Nachfrage. Die Luminiszenz der Seltenen Erden deckt ein breites Farbspektrum ab, weshalb sie in energieeffizienten Fluoreszenzlampen und Displays eingesetzt werden (mengenmäßiger Nachfrageanteil in 2010: 6 %): rotes, grünes und blaues Licht in Displays oder trichromatisches / weißes Licht in Fluoreszenzlampen und in der LCD-Hintergrundbeleuchtung (BCC Research 2006). Andere Anwendungen fragten global weitere 4,5 % der Seltenen Erden Oxide nach.

Die einzelnen Seltenen Erden Elemente (SEE) verteilen sich auf die Verwendungsgebiete wie folgt:

⁷⁶ Standard Qualität: für Linsen und Displays; High Grade Qualität: für Halbleiter, Displays, optische Speicher und optische Präzisionsinstrumente (BCC Research 2006)

⁷⁷ zur Entfärbung (durch Entfernung von Eisen) und als UV-Schutz in Flachglas, als Bräunungsinhibitor für CRT-Glas, zur Färbung von Glas und Keramik, zur Erhöhung der Brechung und Verringerung der Streuung in optischen Gläsern und zur Verstärkung von optischen Signalen durch Erbium-Dotierung des Glasfasermaterials (BCC Research 2006).

Tabelle 2-61: Verteilung von einzelnen Seltenen Erden auf die Verwendungsgebiete (Gew.-%)

Verwendung	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Sonstige
Magnete			23,4	69,4			2	0,2	5		
Batterien	50	33,4	3,3	10	3,3						
Metallurgie	26	52	5,5	16,5							
Katalysatoren (KfZ)	5	90	2	3							
Katalysatoren (Petrochemie)	90	10									
Poliermittel	31,5	65	3,5								
Glasadditive	24	66	1	3						2	4
Leuchtstoffe	8,5	11				4,8	1,8	4,6		69,2	
Keramik	17	12	6	12						53	
Andere	19	39	4	15	2		1			19	

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf BCC 2006, ISI/IZT 2009 und Lynas 2011b; Sonstige Seltene Erden: insbesondere Erbium-dotiertes Siliciumdioxid für Glasfaserkabel; Andere Verwendungsgebiete: technische Keramik wie Laser (Nd/Er/Yb-dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat), Supraleiter (Yttrium-Barium-Kupferoxid) und Brennstoffzellen-Elektrolyte (Yttrium-dotiertes Zirkondioxid), Neutronenabsorber (Eu), Magnetresonanztomographie (Gd-Injektion), Phosphatbindung bei Nierendialyse-Patienten und in der Wasserreinigung (La), Düngemittel und Feuerstein in Feuerzeugen (Mischmetall).

Teilweise sind die Elemente der Seltenen Erden untereinander austauschbar, wodurch jedoch oft die Funktionalität verringert wird. Wann immer möglich, wird aus Kostengründen ohnehin auf Mischungen der Seltenen Erden zurückgegriffen, weil die Auftrennung der einzelnen Elemente sehr kostspielig ist. In der Metallurgie kommt deshalb vorwiegend Mischmetall mit hohen Anteilen an Lanthan und Cer zum Einsatz. In den ökonomisch wichtigsten Segmenten Magnete und Leuchtstoffe kommen hohe Anteile an Praseodym, Neodym und Dysprosium bzw. Europium, Terbium und Yttrium zu Einsatz. Seltene Erden werden in großem Umfang für **Zukunftstechnologien** eingesetzt. Zur Spitzentechnologie gehört die Herstellung elektronischer Bauelemente, zur gehobenen Gebrauchstechnologie die Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren (NIW 2007). Zu den neueren Anwendungen, die die Nachfrage nach Seltenen Erden zukünftig weiter stimulieren können, gehören:

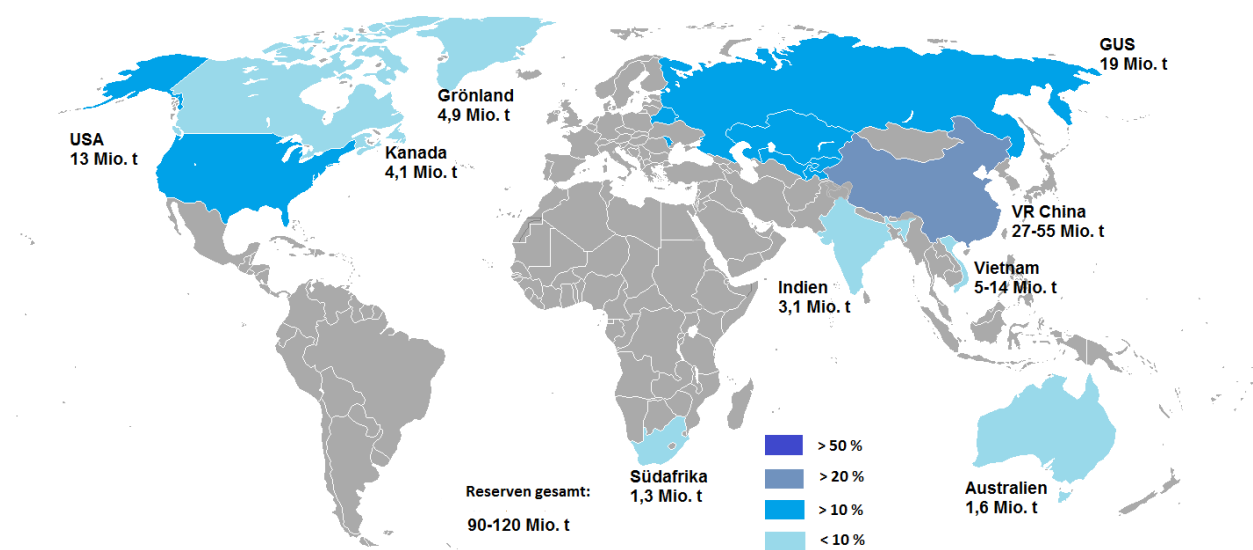
- Magnetisches Kühlen auf Basis von Gadolinium könnte die Kühltechnik zukünftig revolutionieren (US DOE 2010),
- Traktionsmotoren in Elektroautos und Generatoren in Offshore-Windkraftanlagen werden durch Permanentmagnete auf Seltene Erden Basis entscheidend verbessert, was kompaktere Bauformen ermöglicht und damit die Diffusion voranbringen kann (IZT/FVA 2010).

Die Auswirkungen von Seltenen Erden auf **Umwelt und Gesundheit** ergeben sich durch ihr vergesellschaftetes Vorkommen mit radioaktivem Thorium und/oder Uran und dem hohen Trennungsaufwand (Energie- und Chemikalieneinsatz). Durch Eintrag in Böden und Gewässer können daher gravierende Umweltprobleme und durch Exposition am Arbeitsplatz und Kontamination von Nahrung ernsthafte Gesundheitsprobleme verursacht werden.

2.9.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt an Seltenen Erden in der Erdkruste beträgt etwa 0,01 Gew.-%. Das häufigste Element Cer kommt zahlreicher vor als Blei, das zweit seltenste Element Europium ist fast so häufig wie Silber (das seltenste Element ist das instabile Promethium). Seltene Erden kommen zwar geologisch relativ häufig, aber nur selten konzentriert vor. Aufgrund ihrer chemischen Ähnlichkeit sind sie in Mineralien miteinander vergesellschaftet. Sie werden deshalb als Gruppe gewonnen und in aufwändigen Verfahren voneinander getrennt. Zu den wichtigsten Quellen für Seltene Erden gehören die Minerale Bastnäsit, Monazit, Xenotime und Ionen-absorbierende Tone. Die Seltene Erden tragenden Minerale werden häufig als Nebenprodukte gewonnen, z.B. von Eisen und Niob in Bayan Obo (China) oder von Titan in Murmansk (Russland).

Abbildung 2-62: Globale Verteilung der Reserven von Seltenen Erden (Mio. t SEO-Inhalt)



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf MEP 2009, USGS 2010b, USGS MCS 2011; Nicht abgebildet: kleinere Reserven in Brasilien, Malawi und Malaysia; Unsicherheiten: Vietnam 5-14 Mio. t, China 27-55 Mio. t, Reserven gesamt: 90-120 Mio. t.

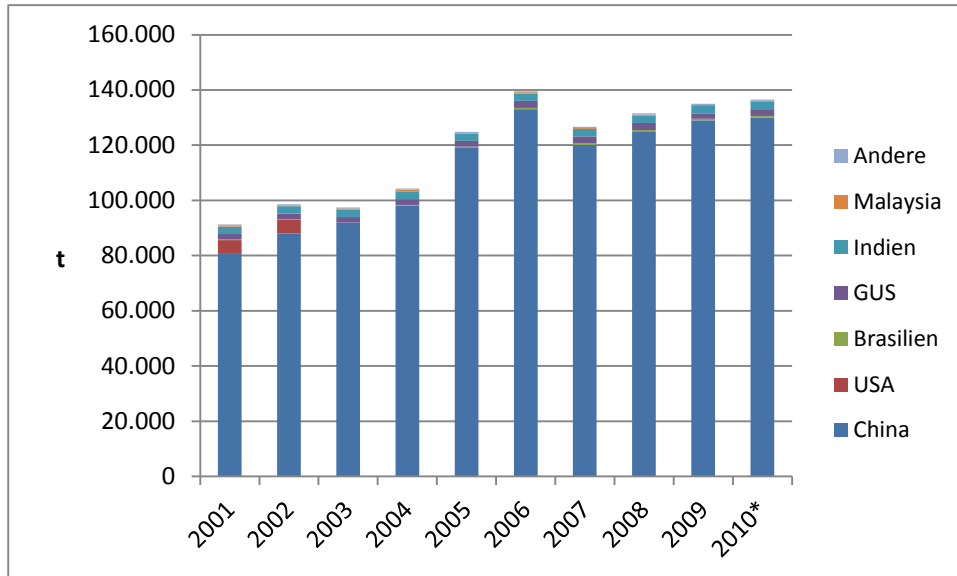
Die heutigen **Reserven** belaufen sich auf 90-120 Mio. Tonnen SEO. Alleine auf China entfällt mit bis zu 55 Mio. Tonnen rund die Hälfte der Reserven⁷⁸, davon 43,5 Mio. Tonnen der unter ökonomisch sehr günstigen Bedingungen abbaubaren Vorkommen der Bayan Obo Mine (vgl. Governance-Profil, Kapitel 6.2.1 des Abschlussberichts). Auf die USA und die Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS) entfallen 13 bzw. 19 Mio. Tonnen Reserven. Kanada, Australien, Indien und das zu Dänemark gehörende Kvanefjeld auf Grönland weisen Reserven von 1-5 Mio. Tonnen SEO auf. Kleinere Reserven finden sich in Südafrika, Malawi, Malaysia und Brasilien. Die Unsicherheiten der Reserven sind hoch. Die Angaben belaufen sich für Vietnam auf 5-14 Mio. Tonnen und für die VR China auf 27-55 Mio. Tonnen.

Die **Ressourcen** für Seltene Erden sind weit über die Erde verteilt und haben gigantische Ausmaße. Es liegt keine einheitliche Gesamtdarstellung unter Einbeziehung von China, Indien und

⁷⁸ Die Reserven Chinas wurden 1996 noch mit 43 Mio. Tonnen angegeben, inzwischen werden sie von Chinesischen Repräsentanten – trotz gestiegener Preise – nur noch auf 27 Mio. geschätzt (vgl. Chen 2011, Öko-Institut 2011).

der GUS vor.⁷⁹ Herausragende einzelne Ressourcen sind nach USGS (2010b) Iron Hill in den USA (9,7 Mio. Tonnen), Olympic Dam in Australien (> 10 Mio. Tonnen), Araxá in Brasilien (8,1 Mio. Tonnen) und Seis Lagos ebenfalls in Brasilien (43,5 Mio. Tonnen). Hinsichtlich der Ressourcen ist Brasilien also ein sehr gewichtiges Land.

Abbildung 2-63: Entwicklung der globalen Minenproduktion von Seltene Erden (t SEO-Inhalt)



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf BGS 2010, Naumov 2008, USGS MCS und MYB (verschiedene Jahrgänge), BMWFJ 2010; * Schätzung; GUS (Produktion in Kasachstan, Kirgistan, Russland, Ukraine); Andere: Indonesien, Mozambique, Nigeria, Nordkorea, Sri Lanka, Südkorea und Vietnam.

Nach einem starken Anstieg der **Bergwerksproduktion** bis 2006 ist seitdem eine Sättigung zu beobachten. Im letzten Jahrzehnt wurde die Bergwerksproduktion von SEO durch **China** dominiert (2010: 95 %). Die Hauptmine in den USA wurde 2002 geschlossen.⁸⁰ Indien und Russland (je 2 %) sowie in geringen Mengen Brasilien und Malaysia heißen die weiteren bekannten Herstellungsländer. Von Indonesien, Mozambique, Nigeria, Nordkorea, Südkorea, Vietnam und einigen GUS-Staaten wird vermutet, dass sie ebenfalls in geringen Mengen Seltene Erden fördern.

Chinesische Staatsfirmen dominieren den Abbau von Seltenen Erden (BGR 2009). Im Jahr 2010 entfielen auf Baotou Iron and Steel and Rare Earths Corp. 46 %, auf Ganzhou Rare Earths 26 % und auf Zhujiang Smelter 4 % der Bergwerksproduktion. India Rare Earth Limited, die einen Anteil von 2 % an der globalen Bergwerksproduktion hatte, ist ebenfalls eine Staatsfirma. Russlands einzige Mine, die Seltene Erden als Kuppelprodukt von Titan fördert, befindet sich in der Murmansk-Region und wird von Lovozersky GOK betrieben.⁸¹

Insgesamt sind die Angaben zur Produktion von Seltenen Erden lückenhaft. Nicht nur die Länderkonzentration in China ist besorgniserregend, sondern auch das nahezu vollständige Fehlen

⁷⁹ vgl. die tendenziöse Hybridisierung von Reserven und Ressourcen von Chen (2011).

⁸⁰ Seit 2010 werden alte Lagerbestände wieder weiter verarbeitet.

⁸¹ Förderung von 5.000-8.000 t Loparit-Konzentrat pro Jahr (Commodity Online 2010) mit 30 % SEO-Gehalt (Hedrick, Sinha und Kosynkin 1997).

privater Firmen.⁸² Deshalb kann mit Seltenen Erden leicht staatliche Außenhandelspolitik betrieben werden.

Die verschiedenen Minerale weisen unterschiedliche Konzentrationen im Erz und Gehalte an einzelnen Seltenen Erden Elementen auf. Zu den Herausforderungen für die Marktakteure gehört es, das zukünftige Angebotsmuster mit dem erwarteten zukünftigen Nachfragemuster in Einklang zu bringen, denn es vergehen rund sieben Jahre von der Erschließung einer Mine bis zu ihrem Betrieb (USGS MYB 2010b).

Tabelle 2-64: Zusammensetzung von Seltenen Erden Mineralen (SEO Gew.-%)

	Bayan Obo (China)	Longan-Jiangxi (China)	Xunwu-Jiangxi (China)	Mount Weld (Australien)	Mountain Pass (USA)	Kutessai II (Kasachstan)	Kvanefjeld (Grönland)
Erz	Bastnäsit	Ton	Laterit	Monazit	Bastnäsit	Monazit, Xenotime, Bastnäsit	Lujavrit und Steensstrupin
La	23,0	1,82	43,4	26,0	33,8	9,4	n.b.
Ce	50,0	0,4	2,4	51,0	49,6	25,9	n.b.
Pr	6,2	0,7	9,0	4,0	4,1	3,3	n.b.
Nd	18,5	3,0	31,7	15,0	11,2	8,8	n.b.
Sm	0,8	2,8	3,9	1,8	0,9	3,9	n.b.
Eu	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	2,6	n.b.
Gd	0,7	6,9	3,0	1,0	0,2	2,8	n.b.
Tb	0,1	1,3	≈ 0	0,1	≈ 0	1,2	n.b.
Dy	0,1	6,7	≈ 0	0,2	≈ 0	6,5	n.b.
Ho	≈ 0	1,6	≈ 0	0,1	≈ 0	1,2	n.b.
Er	≈ 0	4,9	≈ 0	0,2	≈ 0	5,0	n.b.
Tm	≈ 0	0,7	≈ 0	≈ 0	≈ 0	0,1	n.b.
Yb	≈ 0	2,5	0,3	0,1	≈ 0	1,8	n.b.
Lu	≈ 0	0,4	0,1	≈ 0	≈ 0	0,1	n.b.
Y	≈ 0	65,0	8,0	≈ 0	0,1	27,6	8,0

Quellen: BGS 2010, US DOE 2010, USGS 2010, USGS MYB 2010b und Unternehmensdarstellungen im Internet.

Hauptquellen für die Versorgung mit Seltenen Erden sind derzeit noch die Hauptminerale Bastnäsit in Bayan Obo (6 % SEO-Gehalt), ionen-absorbierende Tone in Longan-Jiangxi (0,1-0,3 % SEO-Gehalt) und Laterit in Xunwu-Jiangxi (0,1-0,3 % SEO-Gehalt). Mit der Produktionsaufnahme in Mount Weld (Australien) und am Mountain Pass Deposit (USA) wird sich die Versorgungslage mit der Cer-Gruppe entspannen. Im Hinblick auf die Yttrium-Gruppe ist dagegen kurzfristig noch keine Linderung zu erwarten.

Gemäß www.techmetalsresearch.com gibt es derzeit 251 Seltene Erden Projekte von 165 Firmen in 24 Ländern. Produktionsnah und/oder aussichtsreich sind u.a. folgende Projekte:

⁸² Zudem wird vermutet, dass rund 20.000 Tonnen Seltene Erden Oxide in China illegal abgebaut und exportiert werden, was hier aber nicht berücksichtigt ist (Kingsnorth 2010). Die Gesamtproduktion in China liegt also wahrscheinlich bei rund 145.000 t/a.

Tabelle 2-65: Seltene Erden - Bergbauprojekte

Projekt	SEO-Gehalt	SEO-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	SEO Jahresförderung
Mount Weld (AUS)	9,7 %	1,2 Mio. t	SEE	Lynas Corp., AUS 100 %	2011	10.500 t (2011) 21.000 t (bis 2013)
Mountain Pass (USA)	9,2 %	1,8 Mio. t	SEE	Molycorp Inc., (USA) 100 % Besitz an Molycorp Minerals LLC	2012	18.000 t
Kutessai II (KGZ)	0,15-0,5 %	-	SEE, Blei, Molybdän, Silber, Bismut	Stans Energy Corp. (CAN)	-	-
Kvanefjeld (Grönland)	1,07 %	6,6 Mio. t	SEE, Uran, Zink	Greenland Minerals and Energy, DNK 100 %	2015	40.000 t
Hoidas Lake (CAN)	2,6 %	40.000 t	SEE	Great Western Mineral Group Ltd. (GWMG), USA 100 % Besitz	2013	3.000-5.000 t
Dong Pao (VNM)	6,9 %	800.000 t	SEE, Baryt, Fluorit	Vietnam Regierung i.V.m. privat: Vinacomin, Toyota Corp., Sojitu	2012/2013	3.000-7.000 t
Nolans Bore (AUS)	2,8 %	850.000 t	SEE, Uran, Phosphat, Gips	Arafura Resources, AUS 100 %	2013	20.000 t
Nechalaco (CAN)	2,5 %	1,6 Mio. t	SEE, Tantal Niob, Zirconium	Avalon Rare Metals, CAN 100 % Besitz	2014	5.000 t
Kanangkunde (MWI)	-	-	SEE, Strontium, Phosphat	Lynas Corp., AUS 100 %	2013	1.500 t
Steenkamskraal (ZAF)	-	30.000 t	SEE, Kupfer, Silber, Gold	Steenkamskraal Monazit Mine, 74 %ige Tochter von Rare Earth Extraction Co. Ltd. (Anteil von Great Western Mineral Group Ltd. (USA) 92,6 %), 100 % Abnahme	2013-2014	2.700 t
Dubbo (AUS)	0,9 %	650.000 t	SEE, Zirkonium, Hafnium, Niobium, Tantal	Alkane Resources Ltd., AUS 100 % Besitz von Australian Zirkonia Ltd.	2012	3.200 t
Bear Lodge (USA)	4,1 %	400.000 t	SEE, Gold	Rare Element Resources Ltd. (USA)	unbekannt	10.400 t
Zandskopdrift (ZAF)	2,0-2,3 %	950.000 t	SEE, -	Frontier Rare Earths Ltd. (ZAF), 74 % Anteil an Projekt, 95 % Abnahme	2014	20.000 t

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf US DOE 2010, BGR 2010a, GWMG 2011, Kingsnorth 2010, Lynas 2011b, Mackie Research 2011, USGS 2010b und weiteren Unternehmensdarstellungen im Internet. – unbekannt.

Jedes Jahr soll ein neues Projekt mit rund 20.000 Tonnen SEO-Jahresförderung die Produktion aufnehmen: 2011 das Mount Weld Projekt (Monazit), 2012 das Mountain Pass Deposit (Bast-

näsit),⁸³ 2013 das Nolans Bore Projekt (Monazit und Apatiteinschlüsse), 2014 das Zandskopdrift Projekt (Monazit), 2015 das Kvanefeld (Lujavrit und Steenstrupin).⁸⁴ Die Mountain Pass und die Nolans Bore Vorkommen sind sehr mächtig, ebenso wie die Vorkommen Necholacho und Dubbo. Auch die Kanangkunde und Steenkampskraal Ressourcen sind schon weit erschlossen, Produktionsmengen und Reserven sind jedoch vergleichsweise gering. Erwähnung verdient in diesem Zusammenhang auch das Joint Venture zwischen der vietnamesischen Regierung und den japanischen Abnehmerfirmen Sojitu, Toyota und Vinacomin (Dong Pao Projekt). Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere kleinere Projekte, darunter die Steigerung der Produktion in Indien von 2.700 auf 7.000 Tonnen pro Jahr und Explorationsprojekte in der Mongolei, Kasachstan, Usbekistan, Tadjikistan und Russland.

Von besonderem Interesse aus deutscher Sicht sind (1) ein Explorationsvorhaben der in Düsseldorf ansässigen Tantalus AG auf Madagaskar,⁸⁵ (2) die Untersuchung der Bastnäsit-Adern in Storkwitz (Sachsen) durch die Deutsche Rohstoff AG,⁸⁶ (3) die Rohstoffpartnerschaften mit z.B. Kasachstan⁸⁷ und (4) verschiedene Projekte⁸⁸ mit hohen Anteilen an den für Zukunftstechnologien besonders benötigten schweren Seltenen Erden Elementen (vgl. z.B. die Wiederaufnahme der Produktion von Kutessai II in Kirgistan⁸⁹).

2.9.3 Marktstruktur und -dynamik

Die **globale Produktion** an Seltenen Erden Oxiden im Jahr 2015 wird von US DOE (2010) auf 188.000 Tonnen geschätzt, von Kingsnorth (2010) auf 209.000 Tonnen.⁹⁰ Exportrestriktionen in China verknappen das Angebot. Nach Chen (2011) ist China mittelfristig auf dem Weg zum

⁸³ Die Firma Traxys mit einer Dependence in Köln investiert in das Mountain Pass Deposit und bietet SEE an.

⁸⁴ Von den 6,6 Mio. Tonnen SEO Vorkommen sind 0,53 Mio. Tonnen (8 %) Y_2O_3 und 0,24 Mio. Tonnen schwere SEOs (3,6 %).

⁸⁵ Die Minerale enthalten erhöhte Anteile an der Yttrium-Gruppe und die Kuppelprodukte Niob, Tantal und Zirkon (www.tre-ag.com). Eine Bewertung des Projektes ist aufgrund des frühen Stadiums und der schlechten Datenlage schwer.

⁸⁶ Die Untertage-Förderung in 170-900 m Tiefe ist aufwändig und nur bei hohen Preisen für Seltene Erden und die Kuppelprodukte Niob, Wolfram, Molybdän und Germanium darstellbar (www.rohstoff.de).

⁸⁷ Nach verschiedenen Medienberichten sind Thyssen Krupp, BASF, Siemens und Evonik in ein Seltene Erden Projekt in Kasachstan eingebunden. Ziel der Verhandlungen des BDI ist es, exklusive Lieferrechte von Kazatoprom aus Kasachstan zu erhalten. Derzeit werden die Seltenen Erden noch an Russland und China geliefert.

⁸⁸ Einen Überblick zu schwere-Seltene-Erden-Projekten bietet die BGR in einer neuen Veröffentlichung (2011).

⁸⁹ Die Wiederaufnahme der Produktion in Kutessay II könnte schnell vonstatten gehen, da die Infrastruktur noch weitgehend intakt ist und auch noch fachkundiges Personal vor Ort ist. In Kutessay II erfolgte 80 % der Produktion in der ehemaligen Sowjetunion. Der Anteil an schweren Seltenen Erden ist besonders hoch, zahlreiche wertvolle Metalle könnten (teils in der Nähe) mitgefördert werden (www.stansenergy.com).

⁹⁰ Lynas (2011a) schätzt die Produktion im Jahr 2014 auf 190.000 t Seltene Erden Oxid. Angebotslücken ohne weitere Produktion ergäben sich 2014 bei Lanthan, Praseodym, Neodym, Europium, Terbium und Yttrium. Ein Jahr zuvor wurden noch andere potentielle Engpässe kommuniziert (Lynas 2010).

Nettoimporteure. Zahlreiche Projekte sollen die globale Versorgungslage aus nicht-chinesischen Quellen verbessern. Oft fehlt es an technischer Expertise zur Entwicklung dieser Projekte. Auch angesichts der hohen Abbau-, Aufbereitungs- und Verarbeitungskosten⁹¹ und der Unsicherheit der zukünftigen Nachfrage bergen Seltene Erden Projekte erhebliche Risiken. Bis ausreichend neue Minen und Verarbeitungsanlagen in Betrieb sind, kann es weiterhin zu Kostensteigerungen und Lieferengpässen kommen.

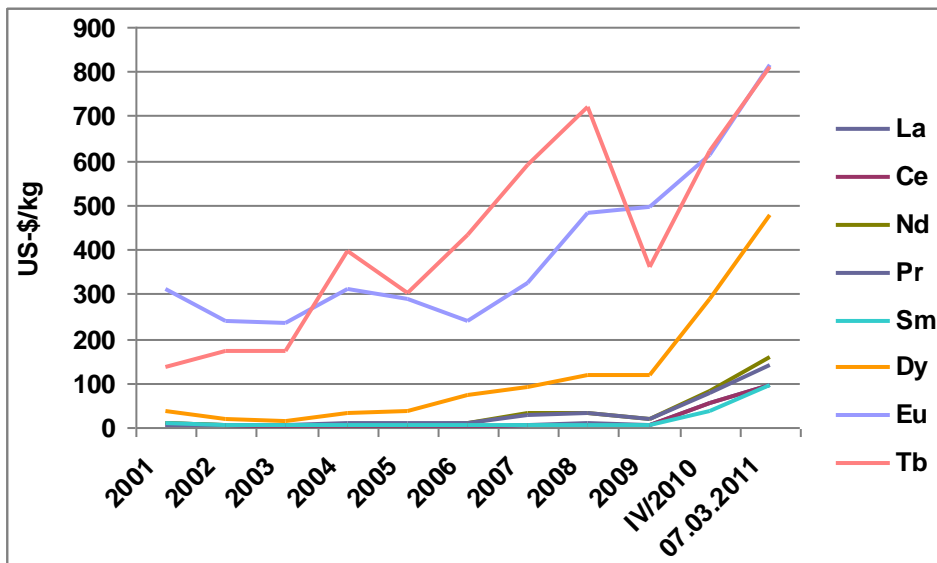
Die chinesischen **Exportquoten** für Seltene Erden wurden 1999 zunächst zur Stabilisierung der Preise eingeführt. Die Exportquoten sind von 47.000 Tonnen im Jahr 2000 auf 30.300 Tonnen im Jahr 2010 gesunken. Zudem wurde die Ausfuhr für verschiedene Seltene Erden Produkte immer wieder zusätzlich mit Steuern in Höhe von 10-25 % belegt (OECD 2010a). Gründe hierfür sind der wachsende Eigenbedarf und ungelöste Umweltschutzprobleme (radioaktives Thorium und Uran, Chemikalien).

Trotz optimistischer **Nachfrageprojektionen** ist derzeit unklar, ob der Run nach Seltenen Erden weiter anhalten wird und wann eine Marktkonsolidierung eintreten wird. Neben der weltweiten Konjunktur ist der technologische Wandel ein starker Treiber für die Entwicklung der einzelnen Segmente: vor allem durch Elektromobilität und den Ausbau der Windenergie kann die Nachfrage global zukünftig stark steigen. Die verschiedenen Quellen (Kingsnorth 2010, Lynas 2011a) stimmen darin überein, dass das Angebot für Neodym, Dysprosium und Europium (teilweise auch für Terbium) bis 2015 unter der Nachfrage liegen wird. Seltene Erden werden nicht über Börsen gehandelt, sondern von spezialisierten Händlern, die über entsprechende Marktkenntnisse verfügen. Die Qualitäten der Metalle und Verbindungen werden spezifisch an die Bedürfnisse der Kunden angepasst. Die Nachfrage nach Seltenen Erden reagiert auf kurzfristige Preisänderungen unelastisch, weil es für viele Verwendungen keine geeigneten Substitute gibt. Die **Preise** für Mischmetall sind von 5-7 US-\$/kg im Jahr 2001 über 8-9 US-\$/kg im Jahr 2008 auf 45-55 US-\$/kg im Jahr 2010 gestiegen (USGS MCS 2005, 2010, 2011). Ein Blick auf die einzelnen Elemente zeigt folgende Preisentwicklungen für die jeweiligen Oxide.⁹²

⁹¹ Die Investitionskosten für ein Seltene Erden Projekt liegen bei rund 40 US-\$/kg Jahreskapazität (GAO-10-617 Rare Earth Minerals in the Defense Supply Chain).

⁹² Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium werden nur nach speziellem Auftrag produziert, weshalb es für sie keine regelmäßig veröffentlichten Preise gibt (Frontier 2010).

Abbildung 2-66: Preisentwicklung ausgewählter Seltene Erden (US-\$/kg SEO)



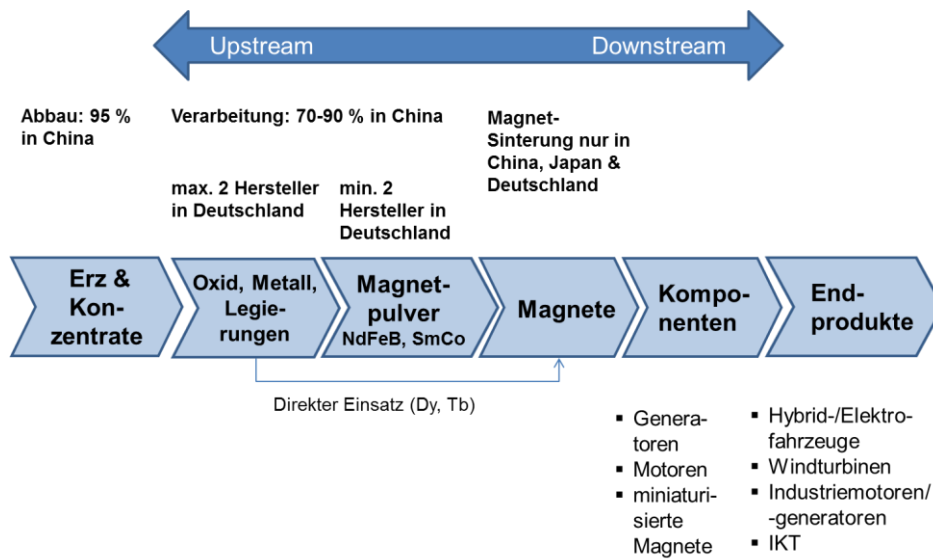
Quellen und Anmerkungen: BGS 2010, Lynas 2011a; Preise auf free-on-board (FOB) - China Basis, Reinheit mindestens 99 %; SEO – Seltene Erden Oxide.

Die **Preise** der Oxide der einzelnen Seltenen Erden haben bis etwa 2005 – mit Ausnahme von Terbium – einen stabilen Verlauf genommen.⁹³ Die Preise stiegen während der Rohstoffhausse bis zum Jahr 2008 drastisch an und brachen dann in der weltweiten Wirtschaftskrise 2009 – mit Ausnahme von Dysprosium und Europium – ein. Seitdem haben sie wieder angezogen und das Rekordniveau des Jahres 2008 übertroffen. Auffällig sind die parallelen Preisentwicklungen für die Paare Cer und Lanthan, Neodym und Praseodym sowie Europium und Terbium. Dies spiegelt die wachsende Nachfrage der entsprechenden Verwendungssegmente und auch die partielle Substituierbarkeit zwischen den beiden jeweiligen Kandidaten wider. Mackie Research (2011) prognostiziert für Dysprosiumoxid einen Weltmarktpreisanstieg von 305 US-\$/kg im Jahr 2010 auf 672 US-\$/kg im Jahr 2015, in den gleichen Zeiträumen für Neodymoxid von 90 US-\$/kg auf 238 US-\$/kg, Yttriumoxid von 78 US-\$/kg auf 186 US-\$/kg, Terbiumoxid von 610 US-\$/kg auf 1.029 US-\$/kg (zwischenzeitlich 1.373 US-\$/kg) und innerhalb Chinas für Europiumoxid von 454 US-\$/kg auf 731 US-\$/kg.

Für **Deutschland** sind insbesondere die Wertschöpfungsketten für Magnete (u.a. Siemens), Leuchtstoffe (u.a. Merck) und Abgasreinigung im Kfz (u.a. BASF) relevant. Für Magnete sieht sie wie folgt aus:

⁹³ Die Preise für die einzelnen Metalle liegen noch einmal deutlich höher als für die Oxide. Besonders hohe Differenzen gibt es beim Yttrium und Samarium mit einem Preisfaktor von 3 bis 5, bei allen anderen Elementen liegen die Preise für Oxide und Metalle deutlich näher beieinander. Die Preisdifferenzen haben ihre Ursachen im Aufwand für die Trennung der Metalle im Vergleich zu den Oxiden und den Eigenschaften für die weitere Verarbeitung (u.a. Reinheit).

Abbildung 2-67: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Seltene Erden in Magneten



Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf US DOE 2010, StaBuA 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet; IKT – Informations- und Kommunikationstechnik, NdFeB – Neodym-Eisen-Bor, SmCo – Samarium-Colbalt, Dy – Dysprosium, Tb – Terbium.

Die Rohstoffkonzentrate von Bastnäsit und Monazit werden in Deutschland nicht verarbeitet. Die Erze werden durch Flotation in Konzentrate überführt und durch Cracking-Prozesse in Oxid-Fractionen, Didymium (Nd, Pr), SEG (Sm, Eu, Gd) und Mischmetall überführt. Die aufwändige und kostspielige Trennung in einzelne Elemente erfolgt durch Lösemittelextraktion auf rund 99 % Reinheit und durch Ionentauscher auf über 99,9 %. Diese Prozesse finden vorwiegend in China statt. Seltene Erden Zwischenprodukte werden von einigen Produzenten⁹⁴ und Händlern⁹⁵ auch direkt in Deutschland angeboten. Deutsche Firmen nehmen bei der Produktion und Anwendung von Permanentmagneten (und auch von Leuchtstoffen) globale Spitzenpositionen ein. Die Patente für die Herstellung von Neodym-Eisen-Bor - Magneten werden von zwei Unternehmen kontrolliert: Hitachi Metals (früher Sumitomo) in Japan und Magnequench (früher eine US-Firma) in China. Die Produktion gesinterter Neodym-Eisen-Bor - Magneten ist auf 10 Firmen in China, Japan und Deutschland beschränkt (insb. Vacuumschmelze⁹⁶). Weitere wichtige Akteure sind die ThyssenKrupp Magnettechnik,⁹⁷ die Max Baermann GmbH,⁹⁸ die Magnetfabrik

⁹⁴ Die GFE (AMG Advanced Metallurgical Group) stellt CeO_2 , Y_2O_3 , Pr_6O_{11} sowie Yttriumlegierungen wie ZrY und NiCrAlY her (Standorte in Nürnberg und Freiberg). In Österreich bietet die Firma Treibacher ein breites Spektrum an Seltenen Erden an.

⁹⁵ Krahn Chemie vertreibt in Zusammenarbeit mit Nippon Yttrium Co. Ltd. Seltene Erden und deren Verbindungen in Europa. Ebenso handelt der Familienbetrieb Haines & Maassen mit Seltenen Erden und versorgt damit Hersteller von Glas, Keramik, Poliermitteln, Leuchtstoffen sowie Magneten.

⁹⁶ Die VAC Vacuumschmelze in Hanau stellt seit 1973 gesinterter Permanentmagnete aus SmCo VACOMAX® und Nd-Fe-B VACODYM® her. Die VAC importiert pro Jahr 400-500 Tonnen Neodym und liefert vor allem an Autozulieferer.

⁹⁷ Die ThyssenKrupp Magnettechnik mit Sitz in Essen stellt Samarium-Cobalt- und Neodym-Eisen-Bor-Magnete sowie kunststoffgebundene Magnete auf deren Basis her.

Bonn⁹⁹ und Magnequench International.¹⁰⁰ Der Patentschutz für wichtige Verfahren läuft 2014 aus (US DOE 2010). In Deutschland wurden im Jahr 2008 3.000 Tonnen Dauermagnete aus Metall von 9 Firmen im Wert von 143 Mio. € hergestellt (StaBuA 2009). Deutschland erzielt Wertschöpfung mit Permanentmagneten im Maschinen- und Anlagen- sowie im Fahrzeugbau. Zu den Abnehmern von Permanentmagneten aus deutscher Produktion gehören Hersteller von permanenterregten Windenergiegeneratoren wie Unison, Vestas, GE, Clipper und aerodyn sowie Elektromotorenhersteller wie ESR Pollmeier Wittenstein. Die Firma Bosch verwendet Magnete für Elektromotoren, Zündspulen und Sensoren.

2.9.4 Materialeffizienz

Bei einem globalen Verbrauch von 90.000 Tonnen Seltenen Erden (Du/Graedel 2011) und einer Minenproduktion von 124.000 Tonnen im Jahr 2007 (USGS MCS 2009) lässt sich der Materialverlust zu rund 15 % abschätzen.¹⁰¹ Ecoinvent (2007) gibt die Gewinnungsrate an Seltenen Erden aus dem Erz mit 50-70 % an. Für das Rösten und die Trennung in Seltene Erden Oxide beträgt die Ausbeute 84-96 %. Weitere Verfahrensschritte sind nicht bilanziert.

Eine erste Schätzung des globalen Bestandes an Seltenen Erden (Materiallager in Produkten, Gebäuden und Infrastrukturen in der Nutzungsphase) im Jahr 2007 beläuft sich auf 448.000 Tonnen (Du/Graedel 2011), darunter die Metallurgie mit über 80.000 Tonnen (vorwiegend Cer, auch Lanthan, Neodym), Computer mit rund 55.000 Tonnen (vorwiegend Neodym, auch Praseodym), Autokatalysatoren mit ebenfalls rund 55.000 Tonnen (vorwiegend Cer), Audiosysteme mit über 40.000 Tonnen (vorwiegend Neodym, auch Praseodym) und Glasadditive mit knapp 40.000 Tonnen (vorwiegend Cer, auch Lanthan). Weitere wichtige Reservoirs sind Nickelmetallhydrid-Batterien, Industriekatalysatoren, sonstige Automobilanwendungen und Windturbinen mit jeweils knapp 25.000 bis knapp 30.000 Tonnen. Von allen anderen Anwendungen erreichen nur Poliermittel noch einen globalen Bestand von etwas über 10.000 Tonnen, alle anderen Anwendungen liegen darunter.

-
- ⁹⁸ Die MAX BAERMANN GmbH (Bergisch-Gladbach) ist einer der führenden Hersteller von kunststoffgebundenen Dauermagneten weltweit (Spritzgießen und Formpressen von TROMADUR® mit NdFeB-Magnetwerkstoff, bzw. Spritzgießen von TROMAMAX® mit SmCo-Magnetwerkstoff). Zu den Partnerunternehmen der MAX BAERMANN HOLDING AG gehört auch die Baermann Magnets Suzhou Co. Ltd. in China.
- ⁹⁹ Die Magnetfabrik Bonn bietet gesinterte und polymergebundene Permanentmagnete aus Seltenen Erden an (Neofer® für Nd₂Fe₁₄B, Seco für ReCo).
- ¹⁰⁰ Magnequench International gehört zur Neo Material Technologies in Toronto (Kanada). Die Produktionsanlagen für NdFeB-Pulver liegen in Tianjin (VR China) und Korat (Thailand). Der Vertrieb in Deutschland erfolgt von Tübingen und Sagard aus.
- ¹⁰¹ Unter Berücksichtigung eines typischen Molmassenanteils von Seltenen Erden Metallen im Oxid (85 %) wurden 105.400 Tonnen Seltene Erden Metall gefördert. Bei Vernachlässigung von Bestandsänderungen wurden bei einem Verbrauch von 90.000 Tonnen Seltene Erden also 15.400 Tonnen verloren.

Tabelle 2-68: Recyclingfähigkeit von Seltenen Erden

Anwendung	Verwendungsmuster	Recyclingverfahren
Magnete	Servomotoren: 0,05 kg Neodym und 0,02 kg Dysproidium / Stück Windkraftanlagen: 110-253 kg Neodym / MW Traktionsmotoren: 0,3-1 kg Neodym und 0,1-0,4 kg Dysproidium / Fahrzeug Hard Disk Drive: 22 g Magnet (5,9 g Neodym) / Stück	20-30 % Produktionsausschuss vermutlich überwiegend intern rezykliert, bei pyrometallurgischer Kupfer-Wiedergewinnung Eintrag von Seltenen Erden in die Schlacke, kein geeignetes Verfahren für Altproduktrecycling vorhanden
Leuchtstoffe	Spuren von Yttrium, Europium, Lanthan, Cer, Terbium in Lampen, LCDs und Plasmabildschirmen	Osram hält ein Patent zum Recycling von Lampen, derzeit keine Wiedergewinnung, hohe Erfassung von LCDs wegen Quecksilber-Gehalt
KfZ-Abgasreinigung	Ottomotor: > 40 g SEO/Stück Dieseladditiv: 5 ppm Ceroxid (CeO ₂)	Eintrag in Schlacke bei pyrometallurgischer PGM-Wiedergewinnung Dissipative Verwendung

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf BCC Research 2006, FVA/IZT 2010, Öko-Institut 2011; LCD- Flüssigkristallbildschirme; PGM – Platingruppenmetalle; SEO – Seltene Erden Oxide.

Tabelle 2-69: Substitutionsmöglichkeiten für Seltene Erden

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Magnete (Neodym-Eisen-Bor mit Dysproidium)	Praseodym partiell für Neodym, Terbium für Dysproidium Samarium-Cobalt für Neodym-Eisen-Bor	Asynchroner Motor, Synchroner Motor mit Ferrit-Magnet od. elektromagnetischer Anregung, Reluktanz-Motor Generatoren mit Getriebe, HTS Hydraulische Systeme im PKW
Leuchtstoffe Oxide für rot: Y/Eu (Plasma: Y/Eu/Gd), grün: La/Ce/Tb (Plasma: Y/Tb/Gd), und blau: Eu	kein Substitut für Yttrium (Y) und Europium (Eu) überhaupt, sowie für Lanthan (La) in Fluoreszenzlampen Substitution von Cer (Ce) begrenzt möglich FuE zu Reduzierung des Terbium (Tb)-Gehaltes in Japan Halophosphate	Lampen und Displays auf LED- und OLED-Basis mit anderer Farberzeugung
KfZ-Abgasreinigung (Cer-Metall, Ceroxid)	Lanthan partiell für Cer	alternative Antriebe (z.B. elektrisch)

Quellen und Anmerkungen: IZT-Analysen basierend auf US DOE 2010, ISI/IZT 2009, Lynas 2010a, Öko-Institut 2011; Gd – Gadolinium; HTS – Hochtemperatursupraleiter; LED – Licht emittierende Diode; OLED – Organische Licht emittierende Diode.

Die **Substituierbarkeit** von Seltenen Erden in den für Deutschland besonders wichtigen Technologien ist eingeschränkt.¹⁰² Neodym-Eisen-Bor - Verbindungen sind die stärksten Magnetwerkstoffe der Welt und ihre Koerzitivkraft wird durch Zugabe von Dysproidium erhöht. Samarium-Cobalt - Magnete sind weniger leistungsfähig als Neodym-Eisen-Bor - Magnete, die Versor-

¹⁰² Besser sieht es u.a. bei NiMH-Batterien für portable Elektronik und Hybridfahrzeuge aus (0,49-0,73 kg La, 0,69-1,03 kg Ce, 0,2-0,31 kg Nd / Hybridfahrzeug (US DOE 2010)), die zukünftig durch Lithiumionen Akkus weitgehend ersetzt werden (ISI/IZT 2009).

gungslage von Terbium als Substitut für Dysprosium ist ähnlich prekär. Geeignete Substitutionsoptionen sind vor allem auf der Komponentenebene möglich, gehen aber teilweise auch mit einem Verlust an Leistungsfähigkeit einher (ansonsten sind z.B. Getriebe für Windkraftanlagen nötig bzw. haben Elektroautos eine geringere Kompaktheit und/oder Leistungsfähigkeit). Im Beleuchtungs- und Displaysektor ist die Förderung von LED und OLED aus Energiespargründen ohnehin wünschenswert.¹⁰³

Produktionsabfälle von Seltenen Erden fallen dort an, wo die Herstellung erfolgt. Für das nationale Rohstoffaufkommen sind also nur die Produktionsabfälle aus den wenigen Prozessschritten in Deutschland relevant. Insgesamt sind die Aktivitäten zum Produktionsabfallrecycling vor allem auf China und Japan konzentriert.¹⁰⁴ Am aussichtsreichsten für die Wiedergewinnung von Seltenen Erden erscheint das **Recycling** von Seltenen Erden aus gebrauchten Elektromotoren/Generatoren, ggf. auch aus Hard Disk Drives und Kompressoren, und Nickelmetallhydrid-Batterien.¹⁰⁵

In einer kürzlich erschienenen Studie zu Seltenen Erden und ihrem Recycling stellt das Öko-Institut (2011) fest, dass das Recycling heutzutage noch sehr selten ist. In geringem Umfang findet ein Produktionsabfallrecycling (v.a. Magnetwerkstoffe) statt, nicht aber eine Wiedergewinnung von Seltenen Erden aus Altprodukten. Die besten Voraussetzungen für ein Recycling gibt es im B2B-Bereich wie bei Aufspaltungs-Katalysatoren für Erdöl (FCCs) (1-5 % SEO) und industriell genutzten Generatoren und Elektromotoren. Als Hauptursachen für die geringen Recyclingquoten nennt das Öko-Institut die dissipativen Verwendungen und den Transfer von Seltenen Erden in die Schlacke bei pyrothermischen Prozessen. Voraussetzung für eine Wiedergewinnung wäre eine umfangreiche und teure Demontage. Geringe Ausbeuten, hoher Energieaufwand für die Trennung und damit hohe Kosten sind weitere Hemmnisse für das Recycling.¹⁰⁶ Steigende und dauerhaft hohe Preise für Seltene Erden könnten Anreize für ein verstärktes Recycling bieten. Die geringe Verfügbarkeit von Recyclingprozessen im industriellen Maßstab begründet hohen Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Am aussichtsreichsten scheint die Behandlung mit flüssigen Metallen, um Seltene Erden zu extrahieren (Oakdene Hollins 2010).

¹⁰³ Ältere Fluoreszenzlampen (Kompakt: CFL, Lang: LFL) sind frei von Seltenen Erden, haben aber eine deutlich geringere Effizienz, Spektralabdeckung und damit auch Annehmlichkeit. LFL werden zukünftig vermutlich den kommerziellen Beleuchtungsmarkt, und CFL den privaten Beleuchtungsmarkt dominieren. CFL werden fast ausschließlich in China hergestellt, LFL auch in Europa und Nordamerika (US DOE 2010).

¹⁰⁴ Für eine detaillierte Übersicht zum Stand einzelner Recyclingverfahren vgl. Öko-Institut (2011).

¹⁰⁵ vgl. aber die bei Kupfer geschilderten Exporte von gebrauchten KfZ, elektrische und elektronische Geräte und Maschinen und Anlagen.

¹⁰⁶ Magnete müssen für den Transport sogar entmagnetisiert werden (Öko-Institut 2011).

2.10 Wolfram

Wolfram (W) gehört zur VI. Nebengruppe des Periodensystems. Es hat eine sehr hohe Dichte von $19,3 \text{ g/cm}^3$. Der Schmelzpunkt des Wolframs liegt mit $3.410 \text{ }^\circ\text{C}$ am höchsten von allen Metallen. Wolfram besitzt die höchste mechanische Festigkeit und den geringsten thermischen Ausdehnungskoeffizienten aller Metalle. Es wird durch Verbindung mit Kohlenstoff oder Sauerstoff ein sehr hartes Material. Gute elektrische Leitfähigkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit gegenüber Gasen und Säuren sind weitere wichtige Eigenschaften. Wolfram wird vorwiegend in Form von Ferrowolfram, Ammoniumparawolframat (APT) und Wolframcarbid (WC) gehandelt.

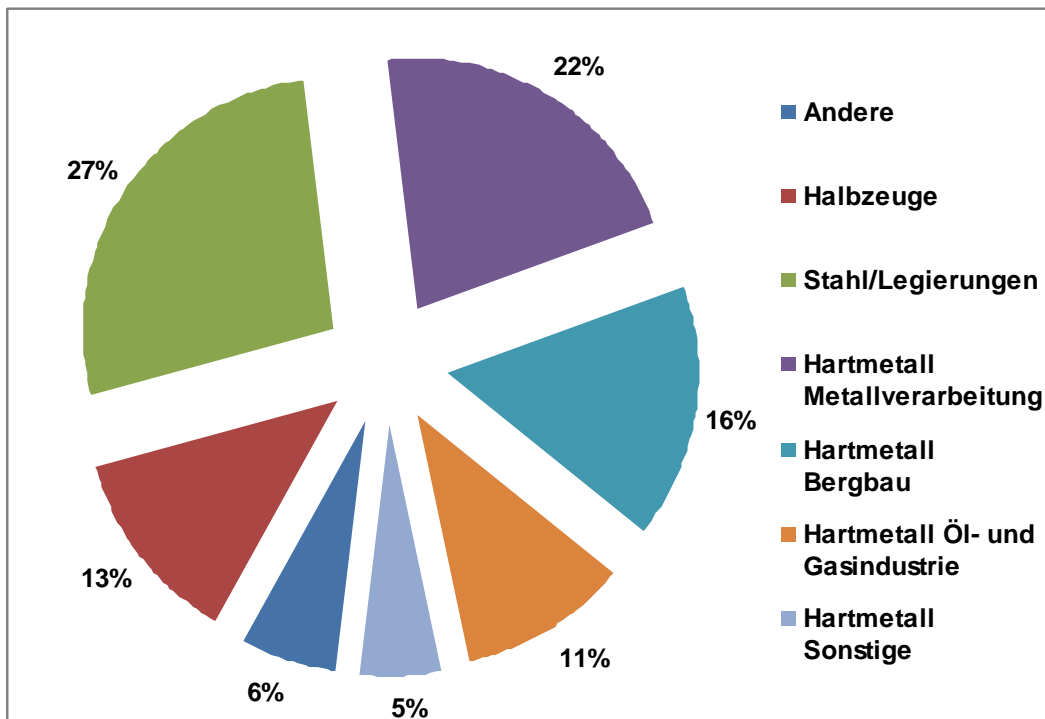
2.10.1 Verwendung und Nachfrage

Der **globale Wolfram-Verbrauch** kann gemäß ITIA (2011) nur schwer abgeschätzt werden. Die Minenproduktion betrug 2008 57.000 Tonnen, die Nachfrage aber 63.000 Tonnen Wolfram-Inhalt. 34 % der Wolfram-Nachfrage werden aus sekundären Vorstoffen, 66 % aus primären Vorstoffen gedeckt. **Deutschland** importiert Wolfram in einer Vielzahl verschiedener Handelsformen. Aus der Außenhandelsstatistik (BGR RoSit 2009) lässt sich mit den geschätzten Elementgehalten eine Wolfram-Bilanz für Deutschland im Jahr 2008 erstellen. Die Berechnungen des IZT ergeben Importe von rund 10.000 Tonnen und Exporte von rund 5.000 Tonnen Wolfram-Inhalt, womit der Verbleib in Deutschland ebenfalls rund 5.000 Tonnen beträgt. Unter Berücksichtigung des Recyclings beträgt der Netto-Importanteil Deutschlands am Wolframverbrauch aller Handelsformen im Jahr 2008 geschätzte 65-75 % (Ferrowolfram stammt zu 69,6 % aus der VR China, zu 9,7 % aus Schweden und zu 5,9 % aus Vietnam).¹⁰⁷ Der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch liegt zwischen 10-15 %.

Es stehen Statistiken zur globalen Verwendung, auch nach Regionen aufgeteilt, zur Verfügung (ITIA 2011), nicht aber speziell für Deutschland. Die globale Verwendung hat folgende Struktur:

¹⁰⁷ Bei den Einfuhren von primären Wolfram-Rohstoffen beträgt die Importabhängigkeit Deutschlands 100 %.

Abbildung 2-70: Globale Verwendungsstruktur von Wolfram (Gew.-%)



Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf Ormonde 2011, Wolf Minerals 2010 und BGS 2011 (Aufteilung der Hartmetalle).

Wolfram wird zu 54 % als Hartmetall in Schneidwerkzeugen und verschleißfesten Werkzeugen eingesetzt. Hartmetall besteht aus Wolframcarbid und Beimischungen von Cobalt. Hauptanwendungsgebiete für diese Werkzeuge sind die Metallverarbeitung (40 %), der Bergbau (30 %), die Öl- und Gasindustrie (20 %) und sonstige, darunter die Bauindustrie (BGS 2011). Wolfram wird außerdem in Stahl und als Legierungsbestandteil insbesondere in Hochgeschwindigkeitswerkzeugen eingesetzt (27 %). Zu diesem Segment zählen auch extrem verschleißfeste Superlegierungen. Das breite Feld der Halbzeuge umfasst Bleche, Stäbe, Draht, Gitter und Barren, aber auch Glühdrähte, elektrische und elektronische Kontakte mit 13 % des globalen Wolframverbrauchs. Unter die sonstigen Anwendungen fallen insbesondere Natriumwolframat, Wolframsäure und andere Verbindungen für die chemische Industrie (Katalysatoren und Pigmente) (ITIA 2011). In der Europäischen Union wird mit 72 % des Wolframverbrauchs überproportional viel für Hartmetall eingesetzt. Auf Halbzeuge und Stahl/Legierungen entfallen dagegen nur 9 % bzw. 8 %.

Direkte Bezüge der Wolframverwendung zu **Zukunftstechnologien** sind nur schwer herzustellen. Zu den Spitzentechnologien zählt die Verwendung von verschleißfesten und hochwarmfesten Superlegierungen mit Wolframzusatz in der Herstellung von Verbrennungsmotoren und Turbinen, aber auch die Herstellung elektronischer Bauelemente (Kontakte, Schalter und Elektroden aus Wolfram-Kupfer in Luftfahrt und Elektronik). Es dominieren aber die Verwendungen in gehobener Gebrauchstechnologie wie die Herstellung von Werkzeugmaschinen (u.a. High Tech Werkzeuge mit Wolframcarbid) und von Bergwerks-, Bau- und Baustoffmaschinen (NIW 2007).

Zu den neueren Technologien auf Wolframbasis gehören (BGS 2011):

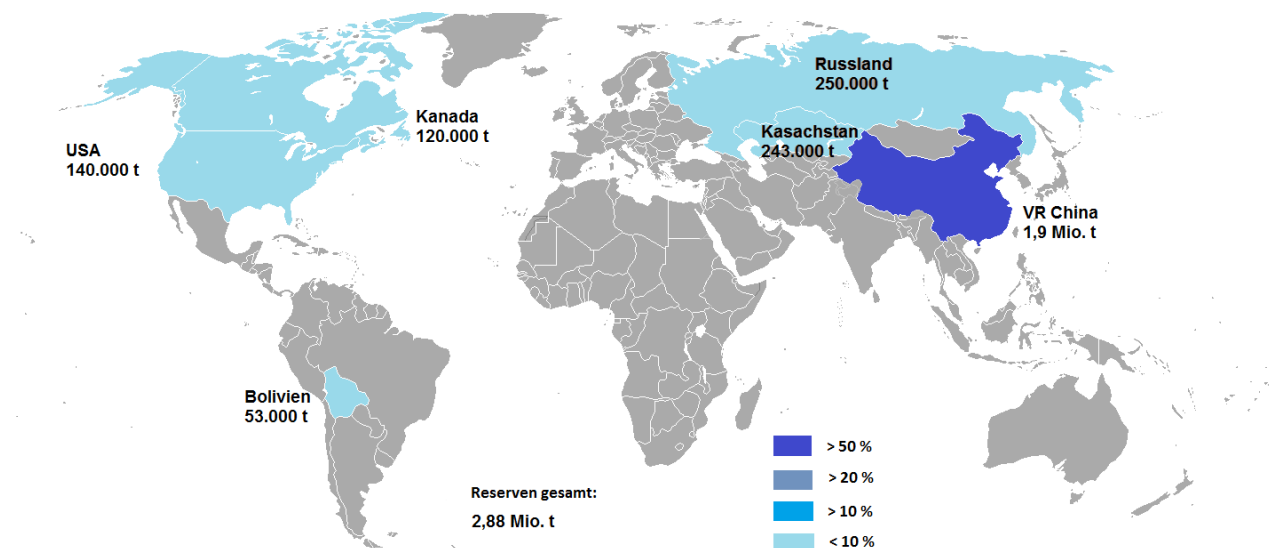
- Superlegierungen in extremen Umgebungen
- Elektroplating mit Wolfram-Nickel-Legierungen (Stoßdämpfer, Verbinder für portable Elektronik, Druckrollen)

Die Auswirkungen von Wolfram auf **Gesundheit und Umwelt** sind vielfach untersucht worden. Die Umgebungskonzentrationen sind für die allgemeine Bevölkerung in der Regel unproblematisch. Für Hartmetallarbeitsplätze gibt es arbeitsrechtliche Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung (DGUV 2010). Die Verwendung von Wolfram in Glühdrähten von Glühbirnen ist auslaufend. Da Glühbirnen in der Energieeffizienz anderen Beleuchtungstechniken unterlegen sind, hat die Europäische Kommission entschieden, die Verwendung von Glühbirnen in der Europäischen Union zu beenden.

2.10.2 Vorräte und Angebot

Der Gehalt des Wolframs in der Erdkruste beträgt rund 1,25 mg/kg. Wolfram wird fast ausschließlich aus den Mineralien Wolframit $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4]$ und Scheelit $[\text{CaWO}_4]$ gewonnen. Der ökonomische Mindestgehalt an Wolframtrioxid (WO_3) im Mineral liegt typischerweise bei über 0,3 %. Geringe Mengen an Wolfram werden als Nebenprodukt gewonnen. Wolframit und Columbium-Tantalit kommen aufgrund ihrer ähnlichen Kristallstruktur auch ineinander eingelagert vor. Scheelit und Powellit $[\text{CaMoO}_4]$ bilden wegen des Isomorphismus von Wolfram und Molybdän Mischkristalle (BGR 2010b). Wolframit- und Scheelit-Konzentrate weisen üblicherweise Wolframtrioxid (WO_3) - Gehalte von 65-75 % auf. Höhere Zinn- und Molybdängehalte sind unerwünscht.

Abbildung 2-71: Globale Verteilung der Reserven von Wolfram

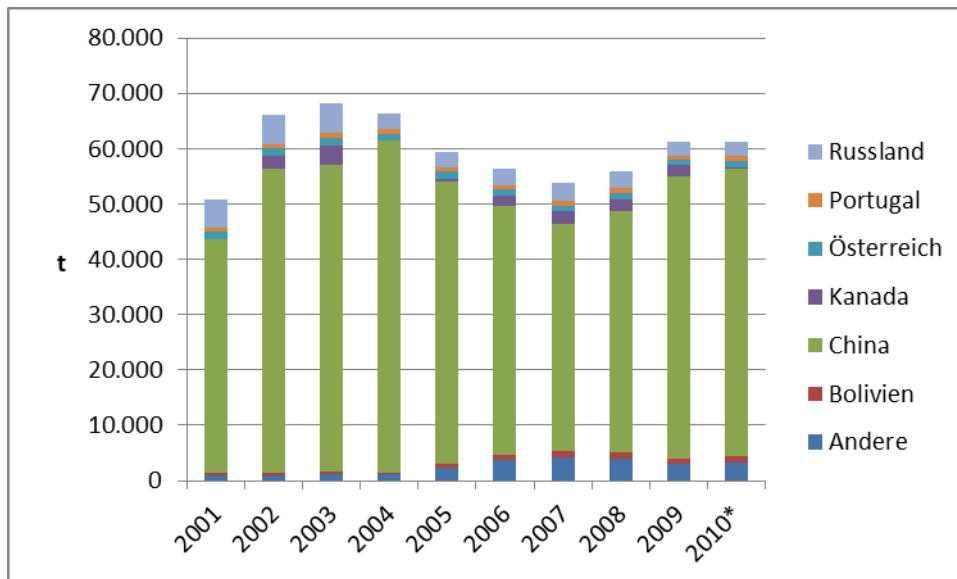


Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf USGS MCS 2011, Infomine 2007, ITC Group LLC 2011.

China dominiert die weltweiten **Wolframreserven** mit 2/3 Anteil. Auf Russland und Kasachstan entfallen jeweils noch rund 8,5 % der Reserven. Alle anderen Vorkommen tragen weniger als 5 % zu den Reserven bei. Bei den globalen **Wolframvorräten** (Reserven und Ressourcen) in Höhe von 4,45 Mio. Tonnen ergibt sich ein anderes Bild: Verschiedene Quellen stimmen darin

überein, dass rund ein Drittel der Wolfram-Vorräte in Kasachstan liegt. Die Anteile Chinas mit 25-39 % und Kanadas mit 6-15 % sind umstritten. Insgesamt entfallen etwa $\frac{3}{4}$ der Wolframvorräte auf diese drei Länder. Die Vorräte Chinas betragen nach BGR (2010b) 1,11 Mio. Tonnen; dagegen beziffert USGS (MCS 2011) alleine die Reserven Chinas auf 1,9 Mio. Tonnen. Kasachstan verfügt nach BGR (2010b) über 1,53 Mio. Tonnen Wolfram, gegenüber nur 245.000 Tonnen nach USGS (MCS 2011). Die drei größten Lagerstätten sind Verkhne-Kayraky in Kasachstan mit 872.000 Tonnen, Mactung in Kanada mit 617.000 Tonnen und Shizhuyuan in China mit 502.000 Tonnen Wolfram-Inhalt (BGS 2011).

Abbildung 2-72: Entwicklung der Bergwerksproduktion von Wolfram (t W-Gehalt)



Quellen und Anmerkungen: USGS MYB 2006e, 2011h, USGS MCS 2010, 2011; * Schätzung; Andere: Australien, Brasilien, Burma, Burundi, DR Kongo, Nordkorea, Mongolei, Peru, Ruanda, Spanien, Thailand, Uganda; USA nicht berücksichtigt; BMWFJ 2010 für 2008: Kasachstan und Kirgistan (je 100 t).

Die **Bergwerksproduktion** von Wolfram (insgesamt 61.150 Tonnen im Jahr 2010) zeigt in den letzten 10 Jahren einen zyklischen Verlauf mit Maxima 2003 und 2010 sowie Minima 2001 und 2007. **China** stellt heute 85 % des weltweiten Wolframs her,¹⁰⁸ gefolgt von Russland mit 4 %. Auf die europäischen Länder Österreich und Portugal entfallen jeweils 2 %. Kasachstan hat seine enormen Wolfram-Vorräte noch kaum erschlossen. Hinsichtlich der **Unternehmenskonzentration** liegen keine verlässlichen Angaben vor.

Aufgrund der Angebotsverknappung haben in den letzten Jahren mehrere kleine und mittlere **Projekte** kürzlich ihren Betrieb aufgenommen (u.a. Queensland Ores Ltd. 333 Tonnen W-Gehalt/a; Molyhill Project 975 Tonnen W-Gehalt/a in Australien). Heemskirk Consolidated Ltd. (Australien) und Ormonde Mining (Irland) haben die Förderung von Wolfram in Spanien (Castilla y Leon) aufgenommen (je ca. 1000 Tonnen W-Gehalt/a). Darüber hinaus gibt es noch einige größere aktuelle Bergbauprojekte:

¹⁰⁸ v.a. in den Provinzen Jiangxi (48 %) und Hunan (20 %) (Asian Metals 2008b, USGS MYB 2010).

Tabelle 2-73: Wolfram-Bergbauprojekte

Projekt	W-Gehalt	W-Menge	Minenprodukte	Eigentum	Status	W-Jahresförderung
Barruecopardo (ESP)	0,45 %	49.000 t	W	Antrag: Ormonde Mining (IRL)	2012	1.030-2.300 t
Delitsch (DEU)	-	20.000-40.000 t	W, Mo, Ge	Deutsche Rohstoff AG (DEU)	Exploration	-
King Island (AUS)	-	min. 25.000 t	W	Joint Venture (50/50) King Island Scheelite Ltd (AUS) und Hunan Nonferrous Metals Corp. (CHN)	Planung	2.400 t
Watershed (AUS)	-	-	W	Vital Metals Ltd. (Subiaco, AUS)	Machbarkeitsstudie	1.200-3.200 t
Hemerdon Ball (GBR)	0,18 % WO ₃	-	W, Sn	Wolf Minerals Ltd. (AUS)	update Machbarkeitsstudie	2.800-3.000 t
Nui Phao (VNM)	-	ca. 60.000 t	W, Cu, Flussspat, Bismut-Zement	Tiberon Minerals Ltd. (CAN) und Joint Venture Partner, Abnahmeverträge mit Osram	Aufschub des Projektes	3.800 t

Quellen und Anmerkung: DRAG 2011, Ormonde 2011, USGS MYB 2011h und weitere Unternehmensdarstellungen im Internet; - unbekannt.

Insgesamt gibt es nur wenige neue größere Wolfram-Projekte. Die hier dargestellten Projekte könnten in den nächsten 5 Jahren weitere 15.000-20.000 Tonnen Wolfram auf den Markt bringen. Die Deutsche Rohstoff AG hat kürzlich einen Kaufvertrag für eine Wolfram-Mine mit Planet Metals Ltd in Australien unterzeichnet (DRAG 2011b).¹⁰⁹

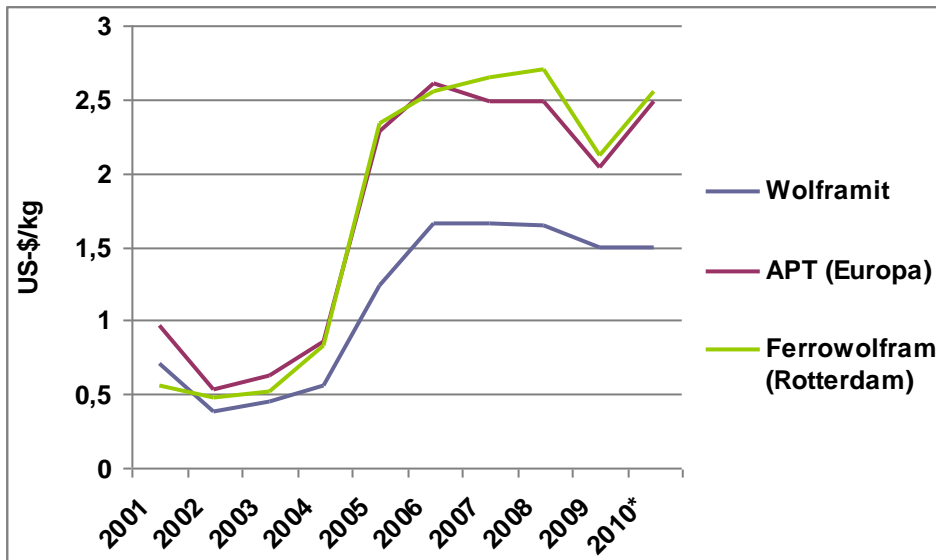
2.10.3 Marktstruktur und -dynamik

China unternimmt Maßnahmen zum Schutz seiner Wolfram-Vorräte. Aus verschiedenen Gründen, wie Umweltschutz und Sicherheit, wurden Minen geschlossen. Außerdem sind einige Vorräte nahezu erschöpft (CRU Group 2009). Seit geraumer Zeit werden Exportzölle und Exportquoten verhängt. Ausländische Investitionen in Exploration und Bergbau sind zur Zeit verboten (USGS MYB 2010). In Zeiten geringer Wolfram-Preise kann China seine Erze vom Markt nehmen, um die Preise zu stabilisieren. Andererseits hat China in den letzten Jahren bereits signifikante Wolfram-Mengen importiert. Die neuen Wolfram-Projekte lassen eine Entspannung der **Angebotssituation** bis 2015 erwarten, auch wenn vorübergehend Angebotslücken bestehen können (Ormonde 2011). Neben China haben auch die Ukraine und Russland **Exportrestriktionen** für Wolfram verhängt (OECD 2010). Russland erhebt seit 2002 eine Exportsteuer von 6,5 %. Die Ukraine besteuert seit dem Beitritt zur WTO im Jahr 2008 den Export von Wolframhaltigem Abfall und Schrott mit 30 %, davor gab es ein Exportverbot.

¹⁰⁹ 1,42 Mio. Tonnen Erz mit WO₃-Gehalt 0,6 %; Mo-Gehalt 0,12 %.

Treiber für die **Wolfram-Nachfrage** sind Investitionen in die Infrastruktur, weil ihre Errichtung mit Schneidwerkzeugen auf WC-Basis erfolgt und Spezialstähle benötigt. Insofern wird die weltweite konjunkturelle Erholung die Wolfram-Nachfrage wieder stimulieren. Von 2009-2013 soll die Nachfrage außerhalb Chinas verhältnismäßig langsam wieder ansteigen (CRU Group 2009).

Abbildung 2-74: Entwicklung der Preise für Wolfram (US-\$/kg WO₃)



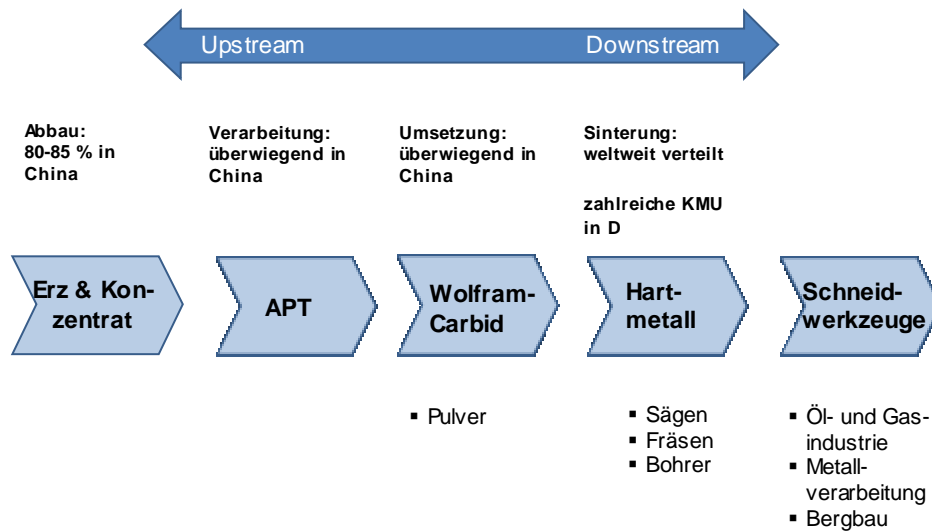
Quelle und Anmerkungen: ITIA 2011, umgerechnet von mtu (10 kg); APT - Ammoniumparawolfram.

Die **Preise** von Wolfram haben sich vom Jahr 2004 bis 2006 in allen wichtigen Handelsformen in etwa verdreifacht. Ferrowolfram und APT zeigen eine sehr ähnliche Preisentwicklung. Seit 2006 sind die Preise weitgehend stabil bei etwa 2,5 US-\$/kg.

Eine seriöse Prognose der Preisentwicklung von Wolfram liegt nicht vor. Die problematische Angebotslage in China und die sich erholende Nachfrage sprechen für einen Anstieg der Wolfram-Preise, die Betriebsaufnahme neuer Projekte bis 2015 für eine Stabilisierung.

Auch in **Deutschland** ist die Schlüsselanwendung von Wolfram das WC-Hartmetall, das in verschiedenen Schneidwerkzeugen in einer leistungsfähigen Werkzeugmaschinenindustrie zum Einsatz kommt. Die dazugehörige Wertschöpfungskette hat vereinfacht folgende Struktur:

Abbildung 2-75: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Wolframcarbid in Schneidwerkzeugen



Quellen und Anmerkung: IZT-Analysen basierend auf ITIA 2011, StaBuA 2009 und Unternehmensdarstellungen im Internet; D – Deutschland.

Der Beginn der Wertschöpfungskette vom Abbau des Wolframereszes bis zur Herstellung gesinterter Hartmetallwerkstoffe liegt weitgehend in chinesischer Hand. Das Zwischenprodukt APT wird großteils zu Wolframcarbid-Pulver umgesetzt. Die GFE (AMG Advanced Metallurgical Group mit Produktion in Nürnberg und Freiberg) stellt u.a. Wolfram, WC-Beschichtungen, Wolfram-Kupfer-Kontakte und Wolframtrioxid (WO_3) her. Das deutsche Unternehmen H.C. Starck hat seine Produktion von Wolframmetall- und -carbidpulver in Sarnia, Ontario (Kanada) kürzlich ausgeweitet. In Deutschland produzierten im Jahr 2009 acht Firmen Wolfram und seine Produkte wie Pulver, Stangen, Profile, Bleche, Bänder, Folien und Draht im Wert von 61 Mio. €. Hartmetall wird u.a. von Boehlerit, Contex, Durit und der Hartmetall Gesellschaft Bingmann hergestellt. Fünf Unternehmen stellen Schneidwerkzeuge für die Holzverarbeitung und sieben Unternehmen für Gewinde für die Metallverarbeitung her. Zahlreiche KMU produzieren Sägeblätter, Bohrwerkzeuge, Fräswerkzeuge u.a. aus Hartmetall (u.a. Komet Group).

2.10.4 Materialeffizienz

Gemäß UNEP (2010) beträgt der Pro-Kopf Bestand (Materiallager in Produkten, Gebäuden, Infrastruktur in der Nutzungsphase) an Wolfram in den USA 0,8 kg. Die Recyclingquote von Wolfram hat ein außergewöhnlich hohes Niveau. Der Branchenverband ITIA schätzt sie global auf 30-40 % mit einem Durchschnitt von 34 %. Die Recyclingraten für das Produktionsabfallrecycling liegen bei 98 % (BGS 2011). Für die USA gibt es eine Stoffflussanalyse für das Jahr 2000 (USGS 2011).¹¹⁰ Aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften sind die Substitutionsbestrebungen für Wolfram erheblich erschwert.

¹¹⁰ In den USA werden 46 % des Wolframs aus Sekundärrohstoffen hergestellt, davon 20 % aus Neuschrott und 80 % aus Altschrott.

Tabelle 2-76: Recyclingfähigkeit von Wolfram

Anwendung	Verwendung	Recyclingverfahren
Schneidwerkzeuge	Wolframcarbid / Cobalt Gemisch	verunreinigte Schrotte: Oxidation und chemische Umsetzung zu Ammoniumparawolframat (APT) auch mit Wiedergewinnung z.B. von Cobalt reine Schrotte: Ausschmelzen von Cobalt mit Zink und Abdestillation hinterlässt Wolframcarbid-Pulver als Zusatz zu Neumaterial
Stahl/Legierungen	Legierungsgehalte	Einschmelzen von Stahlschrotten mit Neumaterial im Elektrolichtbogenofen (EAF) Oxidations-/Reduktionsprozesse für Schwermetallschrott

Quellen: BGS 2011, USGS 2011.

Tabelle 2-77: Substitutionsmöglichkeiten für Wolfram

Anwendung	Substitution Element/Material	Substitution Komponente/Produkt
Schneidwerkzeuge (Wolframcarbid)	Diamant, Molybdän-carbid, Titancarbid, Keramik, Cermets, Werkzeugstahl	Laserschneiden
Stahl/Legierungen	Molybdän als Legierungszusatz in manchen Anwendungen	-

Quellen: BGS 2011, ISI/IZT 2009.

Substitute für Wolfram haben generell geringere Leistungsfähigkeit und oft auch höhere Kosten. Die meisten chemischen Anwendungen für Wolfram – mit Ausnahme von Katalysatoren – sind dissipativ. Auch durch den Verschleiß von Schneidwerkzeugen und Legierungen sowie in elektrischen Kontakten und Elektroden geht Wolfram in der Nutzungsphase verloren.

Zu den Wolfram-haltigen **Altschrotten** gehören benutzte Schneidwerkzeuge, Superlegierungen (u.a. Turbinenblätter aus Düsentriebwerken), zahlreiche weitere metallische Wolfram-Produkte (u.a. Sägeblätter, Munition, Messer) und Katalysatoren. Lücken gibt es in der Erfassung z.B. von Leuchten. Schrottaufkäufer sortieren in der Regel die Altschrotte, trennen die nicht-metallischen Anteile ab und veräußern die metallischen Verbindungen. Je nach Schrottart erfolgen weitere Behandlungen.

3 Governance-Indikatoren für ausgewählte Länder

Index	China	USA	Kasachstan	Kongo
Human Development Index ¹¹¹	Rang 89 von 169 Staaten	Rang 4 von 169 Staaten	Rang 66 von 169 Staaten	Rang 126 von 169 Staaten
World Bank Governance Index ¹¹²				
Voice and Accountability	5,2	86,3	19,0	8,5
Political Stability	29,7	59,0	69,8	2,8
Government Effectiveness	58,1	89,0	48,1	1,9
Regulatory Quality	46,2	89,5	38,6	4,3
Rule of Law	45,3	91,5	34,9	1,9
Control of Corruption	36,2	85,2	19,0	2,9
Failed States Index ¹¹³	Rang 62 von 177 Staaten	Rang 158 von 177 Staaten	Rang 104 von 177 Staaten	Rang 5 von 177 Staaten
TI Corruption Perception Index ¹¹⁴	2.0 (Rang 164 von 178 Staaten)	7.1 (Rang 22 von 178 Staaten)	3.5 (Rang 78 von 178 Staaten)	2.9 (Rang 105 von 178 Staaten)
Gini-Koeffizient ¹¹⁵	42	41	34	44
Doing Business Index ¹¹⁶	Rang 79 von 183 Staaten	Rang 5 von 183 Staaten	Rang 59 von 183 Staaten	Rang 175 von 183 Staaten
WTO Dispute Settlement Body ¹¹⁷				
as complainant	-	97 Fälle	7 Fälle	-
as respondent	-	11 Fälle	21 Fälle	-
as third party	-	80 Fälle	71 Fälle	-
OECD Liste Exportrestriktionen ¹¹⁸	Siehe Bericht China	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe

Quelle: adelphi-Analysen.

111 HDI 2010. <http://hdr.undp.org/en/statistics/>.

112 WGI 2009. http://info.worldbank.org/governance/wgi/sc_country.asp. 0 = lowest rank; 100 = highest rank.

113 Failed State Index 2010. http://www.foreignpolicy.com/articles/2010/06/21/2010_failed_states_index_interactive_map_and_rankings.

114 Transparency International Corruption Perception Index 2010. http://www.transparency.org/policy_research/surveys_indices/cpi/2010. Scale: 0.0 (highly corrupt) ; 10.0 (highly clean).

115 Gini-Koeffizient: Worldbank, China: 2005-2009; USA: 2000-2004; Kasachstan: 2003; D.R. Kongo: 2005-2009. <http://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI>. 0 = perfect equality, 100 = perfect inequality.

116 DBI 2010. <http://www.doingbusiness.org/rankings>.

117 WTO Dispute Settlement Body. http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/dispu_by_country_e.htm.

118 <http://www.oecd-ili-brary.org/docserver/download/fulltext/5kmh8pk441g8.pdf?expires=1297353826&id=0000&accname=guest&checksum=1996946D04606065799C42F028E5CC91>, p. 25.

4 Literaturverzeichnis

- adelphi/RNE (Rat für Nachhaltige Entwicklung). 2003. Janischewski, J; Henzler, M.P.; Kahlenborn, W. Gebrauchtgüterexporte und Technologietransfer. Berlin: RNE.
- Adroit Resources. 2011. Antimony Project Update as Antimony Price Hits New Highs. Vancouver: Adroit Resources.
- Alonso, E; Gregory, J.; Field, F.; Kirchain, R. 2007. Material Availability and the Supply Chain: Risks, Effects, and Responses. *Environmental Science and Technology* Vol. 41, No. 19 6649-6656.
- Asian Metals. 2007. 2007 Annual Report on Chinese Indium Market. Asian Metals Ltd.
- Asian Metals. 2008a. 2008 Annual Report on Germanium Market. Asian Metals Ltd.
- Asian Metals. 2008b. 2008 Annual Report on Tungsten Market. Asian Metals Ltd.
- Ayres, R.U.; Ayres, L.W.; Masini, A. 2006. An Application of Exergy Accounting to Five Basic Metal Industries. In: Sustainable Metals Management. Hrsg.: von Gleich, A. und Ayres, R.U. Dordrecht: Springer.
- BCC Research. 2006. Sinton, C.W. Study of the Rare Earth Resources and Markets for the Mt. Weld Complex. For Lynas Corp. Wellesly, MA: BCC Research.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2007. Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2008. Liedke, M; Vasters, J. Renaissance des deutschen Kupferschieferbergbaus? Commodity Top News Nr. 29. Hannover, Germany: BGR
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2009. Liedke, M. und Elsner, H. Seltene Erden. Commodity Top News Nr. 31. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2010a. Elsner, H.; Melcher, F.; Schwarzschaemper, U.; Buchholz, P. Elektronikmetalle – zukünftig steigender Bedarf bei unzureichender Versorgungslage? Commodity Top News Nr. 33. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2010b. Heavy Minerals of Economic Importance. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2011. Kritische Versorgungslage mit schweren Seltene Erden – Entwicklung „Grüner Technologien“ gefährdet? Commodity Top News Nr. 36. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). RoSit 2008. Rohstoffsituation Deutschland 2007. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). RoSit 2009. Rohstoffsituation Deutschland 2008. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). RoSit 2010. Rohstoffsituation Deutschland 2009. Hannover: BGR.
- BGS (British Geological Survey). 2009a. European Mineral Statistics 2004-2008. Keyworth, Nottingham: BGS.
- BGS (British Geological Survey). 2009b. World Mineral Production 2003-2007. Keyworth, Nottingham: BGS.
- BGS (British Geological Survey). 2010. Rare Earth Elements. Keyworth, Nottingham: BGS.

- BGS (British Geological Survey). 2011. Tungsten. Keyworth, Nottingham: BGS.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2011. Arbeitsentwurf des BMU für ein Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Entwurf – V 2.1 –Stand 7.4.2011. Berlin: BMU.
- BMWFJ (Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend). 2010. Weber, L.; Zsak, G.; Reichl, C.; Schatz, M. World Mining Data. Wien: BMWFJ.
- BMW i (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie). 2010. Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 2009. Bergwirtschaft und Statistik – 61. Jahrgang. Dokumentation Nr. 592.
- BMW i (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie). 2010b. Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin: BMW i.
- Chegwidden, J.; Jahangir, K. 2010. Molybdenum. An overview of current and future supply. IMOA September 2010.
- Chen, Z. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. *Journal of Rare Earths*, Vol. 29, No. 1, Jan. 2011 1-6.
- Chinahrly. 2010. Global reserves are only enough resources for 40 years and look forward. www.chinahrly.com/bizchina/4206/
- CM. 2008. O'Driscoll, M. The structure of the talc supply market. Ed. Industrial Minerals. London: CM.
- Commodity Online 2010. www.commodityonline.com
- Cordell, D. 2008. The story of phosphorous: Sustainability implications of global phosphorous scarcity for food security. PHD thesis. Linköping University Press.
- Cornerstone Industrial Minerals Corporation USA. 2011. www.cornerstonemineral.com
- CPM Group. 2010. Molybdenum. CPM Group Molybdenum Reception at the 2010 PDAC. New York: CPM Group.
- CRU Group. 2009. Growth in tungsten market deficit will threaten non-Chinese processors. London: CRU Group.
- de Ruijter. 2009. Interview mit Herrn de Ruijter von Fa. Umicore (Marwede, M; Caporal, S.; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung) am 11.9.2009.
- DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung). 2010. Information Hartmetallarbeitsplätze. September 2010.
- DRAG (Deutsche Rohstoff AG). 2010. Ressourcen und Werte DRAG Projekte (Stand 25.06.2010).
- DRAG (Deutsche Rohstoff AG). 2011. Pressemitteilung April 2011.
- Du, X.; Graedel, T.E. 2011. Global In-Use Stocks of the Rare Earth Elements: A First Estimate. *Environmental Science and Technology*.
- Duclos, S.J.; Otto, J.P.; Konitzer, G.K. 2008. Design in an era of constrained resources. *Mechanical Engineering Magazine*.
- EC (European Commission). 2010. *Critical raw materials for the EU*. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Brussels, Belgium: EC.

Ecoinvent. 2007. ecoinvent data v2.0. ecoinvent reports No. 1-25. Dübendorf: SwissCentre for Life Cycle Inventories.

EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt)/ IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung). 2003. Hilty, L.; Behrendt, S. et al. Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft: Auswirkungen des Pervasive Computing auf die Umwelt und die Gesundheit. Bern: TA Swiss.

EnvirChem. 2010. Antimony in the Environment. www.internetchemie.info/news/2010/apr10/antimony.htm

Erdmann, L.; Graedel, T. 2011. The criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses. Eingereicht bei *Environmental Science and Technology*.

Farmakom MB. 2009. www.farmakommb.com

Fayram, T.S.; Anderson, C.G. 2008. The Development and Implementation of Industrial Hydrometallurgical Gallium and Germanium Recovery. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Lead and Zinc.

FOEN (Swiss Federal Office for the Environment). 2007. Antimony in Switzerland. 24/07. Bern: FOEN.

Frontier. 2010. Developing a world-class rare earth deposit in South Africa. November 2010. Frontier Rare Earths.

Fujitsu. 2010. www.fujitsu.com

Gößling-Reisemann, S. 2006. Entropy as a Measure for Resource Consumption – Application to Primary and Secondary Copper Production. In: Sustainable Metals Management. Hrsg.: von Gleich, A. und Ayres, R.U. Dordrecht: Springer.

GWMG (Great Western Minerals Group). 2011. Rare Earth Elements. Mine to Market. www.gwmg.ca/index.cfm

Harder, J. 2008. Feinvermahlung von Industriemineralien. AT Aufbereitungstechnik International 11/12/2008.

H.C. Starck. 2009. High-Tech-Recycling für Refraktärmetalle. Goslar: H.C. Starck.

Hedrick, J.B.; Sinha, S.P.; Kosynkin, V.D. 1997. Loparite, a rare earth ore (Ce, Na, Sr, Ca)(Ti, Nb, Ta, Fe³⁺)O₃. *Journal of Alloys and Compounds* 250, 467-470.

Holleman, A.F.; Wiberg, E. 1985. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Huachang. 2007, Huachang Antimony Industry. Shenyang: Huachang.

i2a. 2011. The International Antimony Association (i2a) www.iaoia.org

IAMGOLD. 2009. Stothart, G. Biobec Tour Presentation. 23th June 2009. Toronto: IAMGOLD Corp.

ibc. 2010. A Vertically Integrated Beryllium and Advanced Alloys Company. Corporate Presentation, February 2010. Vancouver: ibc.

ICA (International Copper Association). 2010. www.copperinfo.com

ICSG (International Copper Study Group). 2010. The World Copper Fact Book 2010. Lisbon: ICSG.

ILUKA. 2010. Titanium Metal. Mineral Sands Briefing Paper.

ILZSG (International Lead and Zinc Study Group). 2011. www.ilzsg.org

Infomine. 2006. Materials for Electronics in CIS: Gallium and Indium. Infomine Research Group.

Infomine. 2007. Tungsten Market in the CIS. Moscow: Infomine Research Group.

International Geological Congress Oslo. 2008. The 33rd International Geological Congress Oslo, 6-14 August 2008. Proceedings.

International Magnesium Association. 2011. www.intlmag.org

IPM Iperlit Mining & Construction Limited Company. 2011 www.iperlit.com

IRCA Online. 2010. Graphite India Limited. Mumbai: IRCA Online.

ISI/IZT. 2009. Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwede, M. 2009. Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Karlsruhe: Fraunhofer IRB Verlag.

ITC Group LLC. 2011. Information on Mineral Resources of Private Owners and the Government of Kazakhstan. <http://itcgrouppllc.com/pro5.htm>

ITIA (International Tungsten Industry Association). 2011. www.itia.info

IUTA (Institut für Energie- und Umwelttechnik). o.J. Walter, E. Metallurgische Rückgewinnung von Indium, Gallium und Germanium aus Elektronikschrott und Entwicklung von Aufbereitungsmethoden für die Verwertungsindustrie. Duisburg: IUTA.

IVF. 2010. Exploration of Management options for HBCD. Project report 10/11. Mölndahl: swerea/IVF.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung) / Helmholtz-Zentrum/ Umicore. 2009. Handke, V. Ressourceneffizienz in der Herstellung von Dünnschicht Photovoltaik durch Recycling strategischer Metalle. Präsentation am 17. September 2009 im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung). 2004. Erdmann, L.; Handke, V.; Klinski, S.; Behrendt, S.; Scharp, M. Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht-erneuerbarer knapper Ressourcen – Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente zur Schließung von Kreislaufücken für Kupfer und Blei unter Einbeziehung ökonomischer, rechtlicher und ökologischer Kriterien. IZT-Werkstattbericht Nr. 68. Berlin: IZT.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung)/ ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie). 2010. Erdmann, L.; Behrendt, S.; Nolte, R.; Wehnert, T. Integrated Technology Roadmap Automation 2020+ Megacities. Frankfurt: ZVEI.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung)/FVA. 2011. Marwede, M.; Clausen, M.; Handke, V. Kritische Rohstoffe der elektrischen Antriebstechnik. FVA-Heft Nr. 614.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung)/MaRess (Materialeffizienz und Ressourcenschonung). 2011. Behrendt, S.; Caporal, S.; Erdmann, L.; Marwede, M. Roadmap ressourceneffiziente Photovoltaik. Berlin: IZT.

KGHM. 2011. Largest global copper producers in 2010. http://www.kghm.pl/index.dhtml?category_id=258&lang=en.

Kingsnorth, D.J. Meeting the Challenges of Rare Earths Supply in the Next Decade. Industrial Minerals Company of Australia. The Hague Centre for Strategic Studies 1st Dec. 2010.

Kopacek, B. 2009. Case Study: Multi Life Cycle Center Vienna. Wien: Austrian Society for Systems Engineering and Automation.

- Krüger, J. 2006. Optimisation Possibilities of Copper Smelting and –Processing. In: Sustainable Metals Management. Hrsg.: von Gleich, A. und Ayres, R.U. Dordrecht: Springer.
- Lipmann, A. 2005. Rhenium. Minerals Yearbook.
- LME (London Metal Exchange) 2010. Minor Metals. LME Cobalt and LME Molybdenum. London: LME.
- Lynas. 2010. Rare Earths. We touch them every day. Investor Presentation Sept. 2010. J.P. Morgan Australia Corporate Access Days New York. Lynas Corp.
- Lynas. 2011a. Rare Earths. We touch them every day. Investor Presentation Feb. 2011. Lynas Corp.
- Lynas. 2011b. Rare Earths. We touch them every day. Investor Presentation Mar. 2011. Lynas Corp.
- Mackie Research. 2011. 2011 Rare Earth Industry Update. Mackie Research Capital Corporation.
- Mandalay Resources. 2010. Mandalay Resources Announces Mineral Resources and Reserves for its Costerfield Gold-Antimony Mine and Completion of an Updated NI 43-101 Report. Toronto: Mandalay Resources.
- Mayer, A. 2007. Optische Technologien. Wirtschaftliche Bedeutung für Deutschland. Hrsg.: BMBF.
- MCP Group. 2011. www.mcp-group.com
- Mei, Z. 2009. Advances of Overseas Copper Resource Exploration and Selection of Potential Investment Area. Beijing: Informtaion Center of Ministry of Land and Resources.
- MEP (Ministry of Environmental Protection). 2009. The Explanation of Compiling Emission Standards of Pollutants from Rare Earths Industry 2009. MEP.
- Mikolajzak, C. 2010. Verfügbarkeit von Indium und Gallium. *Galvanotechnik* 2/2010 390-392.
- MIT 2008. McAdams, D. und Reavis, C. DeBeer's Diamond Dilemma. MITSloan.
- MMTA (Minor Metals Trade Association). 2011. www.mmta.co.uk/home
- Munnoch, S. o.J. Hafnium. Minerals Yearbook. Avon Metals.
- Nanomarkets. 2009. Indium Markets for Photovoltaics. June 2009. Glen Allen, VA: NanoMarkets.
- Naumov, A.V. 2008. Review of the World Market of Rare-Earth Metals. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 2008, Vol. 49, No. 1 14-22.
- Naumov, A.V. und Grinberg, E.E.. 2009. Several Peculiarities in the Analysis of the Markets of Rare and Scattered Metals after 2004. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 2009, Vol. 50, No. 1 61-68.
- NIW (Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung). Forschungs- und wissensintensive Wirtschaftszweige in Deutschland: Außenhandel, Spezialisierung, Beschäftigung und Qualifikationserfordernisse. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 17-2007.
- NN. 2005a. Gallium. By a special contributor. Minerals Yearbook.
- NN. 2005b. Germanium. By a special contributor. Minerals Yearbook.
- Northwest Resources. 2010a. Antimony Fact Sheet.
- Northwest Resources. 2010b. Antimony. Project information. www.nw-resources.com.au/project_information/antimony.phmtl
- NRC (National Research Council). 2008. Eggert, R.G.; Carpenter, A.S.; Freiman, S.W.; Graedel, T.E.; Meyer, D.A.; Mc Nulty, T.P.; Moudgil, B.M., Poulton, M.M.; Surges, L.J. and others. 2008. *Minerals, Criti-*

cal Minerals, and the U.S. Economy. National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press.

Oakedene Hollins. 2010. Kara, H.; Chapman, A.; Crichton, T.; Willis, P.; Morley, N. Lanthanide Resources and Alternatives. Aylesbury. Oakedene Hollins.

OECD. 2010a, Korinek, J. and Kim, J. 2010. *Export Restrictions on Strategic Raw Materials and Their Impact on Trade*. OECD Trade Policy Working Papers, No. 95. Paris, France: OECD.

OECD. 2010b. *Materials Case Study 1: Critical Metals and Mobile Devices. Working Document*. OECD Global Forum on Environment focusing on Sustainable Materials Management. Paris, France: OECD Environment Directorate.

Öko-Institut. 2011. Schüler, Doris, Matthias Bucher, Ran Liu, Stefanie Dittrich und Cornelia Merz 2011: Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament, Darmstadt: Öko-Institut.

Öko-Institut/UNEP. 2009. Buchert, M.; Schüler, D.; Bleher, D. *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*. United Nations Environment Programme.

Ökopol/UBA (Umweltbundesamt). 2010. Sander, K.; Schilling, S. Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten /Elektroschrott. UBA-Texte 11/2010. Hamburg: Ökopol.

Ormonde. 2011. Tungsten Market Overview. October 2010.

Raja, B.V.R. 2009. Global Bismut Metal Market. Metalworld September 2009.

Recycling magazin. 2009. Die Nullnummer. Metallschrott. Indium ist wertvoll, unverzichtbar und knapp. In Deutschland wird es nicht recycelt. Warum? Nr. 10/2009.

Rio Tinto Borax. 2011. www.borax.com

Rombach, G. 2006. Limits of Metal Recycling. In: Sustainable Metals Management. Hrsg.: von Gleich, A. und Ayres, R.U. Dordrecht: Springer.

Rosenau-Tornow, D.; Buchholz, P.; Riemann, A.; Wagner, M. 2009. Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials – a combined evaluation of past and future trends. *Resources Policy* 34(2009) 161-175.

Roskill 2007a. The Economics of Zirconium. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2007b. The Economics of Antimony. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2007c. The Economics of Tungsten. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2008. The Economics of Magnesium Metal. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2009. The Economics of Niobium. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2010a. Molybdenum: Market Outlook to 2014. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2010b. Rhenium: Market Outlook to 2015. London: Roskill Information Services Ltd.

Roskill 2011. Indium: Global industry markets and outlook. London: Roskill Information Services Ltd.

Safeport. 2010. Das Metall Rhenium. Verbraucher und Anwendungen 2008-2028. Triesen: Safeport.

- SCHER 2010 (Scientific Committee on Health and Environmental Risks). Opinion on the Risk from the Use of Diantimony Trioxide in Toys. Brussels: European Commission.
- Scoyer, J.; Guislain, H.; Wolf, H.U. 2005. Germanium and Germanium Compounds. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Selenium-Tellurium Development Association. 2011. Applications for Selenium. www.stda.org
- Shalatov, V.V.; Nikonov, V.I.; Kotsar, M.L. Propects for Zirconium and Hafnium Supplies for Nuclear Power in Russia. *Atomic Energy* Vol. 105, No. 4, 2008.
- Sinolatin. 2010. Bethel, E.; Ku, A. Niobium: A Bridge Between China and Brazil. Shanghai: Sinolatin.
- SMG Indium Resources. 2011. The Indium Market. www.smg-indium.com/Market.html
- SMI (Strategic Metal Investments Ltd.). 2010. China's growing role in the production & supply of minor metals. www.strategic-metal.com
- SRI Consulting. 2008. Fink, U.; Hajduk, F.; Mori, H.; Yang, W. Flame Retardants. Zürich: SRI Consulting.
- StaBuA (Statistisches Bundesamt). 2009. Produzierendes Gewerbe. Produktion des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2008. Wiesbaden: StaBuA.
- StaBuA (Statistisches Bundesamt). 2010. Produzierendes Gewerbe. Produktion des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2009. Wiesbaden: StaBuA.
- StaBuA (Statistisches Bundesamt). 2011. Zeitreihenservice des Statistischen Bundesamtes für den Außenhandel (Beryllium, Hafnium, Germanium, Tellur).
- Stevens, L. 2007. Indium as a Critical Metal. Indium Corporation.
- Strzelecki 2009. A world class, high grade Molybdenum – Copper deposit in Poland. Strzelecki Metals Ltd. Nov. 2009
- Thiele, U.K. 2004. Quo vadis Polyester catalyst? *Chemical Fibers International* Vol. 54 (2004) 162-163.
- TIC (Tantalum-Niobium International Study Center). 2010. Progress with Nb₃Sn conductors for fusion and particle accelerator applications. Bulletin No. 143. Brussels: TIC.
- TIC (Tantalum-Niobium International Study Center). 2011. TIC Statistics and Transport Project. Bulletin No. 145. Brussels: TIC.
- Troitsch, J. 2011. Commercially Available Halogen-Free Alternatives to Halogen-Containing Flame Retardant Systems in Polymers. Status January 2010. Wiesbaden.
- TU Berlin/UBA (Umweltbundesamt). 2003. Hassan, A. (TU Berlin): Stand der Verwertung von verbrauchten Katalysatoren aus der chemischen Industrie sowie Einflussfaktoren zur Verbesserung der Kreislauf-führung. Berlin: Umweltbundesamt.
- UC RUSAL. 2011. www.aluminiumleader.com
- Uebrick, S. und Henningfeld, R. 2011. Der Kampf um Seltene Erden. Doppelinterview in *Giesserei* 98 01/2011.
- UNEP (United Nations Environmental Programme). 2010. Metal stocks in society. Lead Author: T.E. Graedel. Nairobi, Kenya: UNEP.
- US DOE (Department of Energy). 2010. Critical Materials Strategy. Washington, DC: US DOE.

USGS (United States Geological Survey) MCS. 2005. USGS Mineral Commodity Summaries 2005. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MCS. 2007. USGS Mineral Commodity Summaries 2007. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MCS. 2009. USGS Mineral Commodity Summaries 2009. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MCS. 2010. USGS Mineral Commodity Summaries 2010. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MCS. 2011. USGS Mineral Commodity Summaries 2011. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2006a. 2005 Minerals Yearbook Antimony. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2006b. 2005 Minerals Yearbook Gallium. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2006c. 2005 Minerals Yearbook Germanium. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2006d. 2005 Minerals Yearbook Rare Earths. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2006e. 2005 Minerals Yearbook Tungsten. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007a. 2005 Minerals Yearbook Indium. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007b. 2005 Minerals Yearbook Copper. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007c. 2005 Minerals Yearbook Molybdenum. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007d. 2005 Minerals Yearbook Niobium (Columbium) and Tantalum. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007e. 2005 Minerals Yearbook Rhenium. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007f. 2005 Minerals Yearbook Ferroalloys. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2007g. 2006 Minerals Yearbook Mica. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2010a. 2008 Minerals Yearbook Copper [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2010b. 2008 Minerals Yearbook Rare Earths [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2010c. 2008 Minerals Yearbook Ferroalloys [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011a. 2009 Minerals Yearbook Antimony [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011b. 2009 Minerals Yearbook Gallium [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011c. 2009 Minerals Yearbook Germanium [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011d. 2009 Minerals Yearbook Indium [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011e. 2009 Minerals Yearbook Molybdenum [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011f. 2009 Minerals Yearbook Niobium (Columbium) and Tantalum [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011g. 2009 Minerals Yearbook Rhenium [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey) MYB. 2011h. 2009 Minerals Yearbook Tungsten [Advance Release]. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey). 2004. Sibley, S.F. Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey). 2005. Jorgensen, J.D. Germanium Recycling in the United States in 2000. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey). 2010. Long, K.R.; Van Gosen, B.S.; Foley, N.K.; Cordier, D. 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States — A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective. Scientific Investigations Report 2010–5220. Reston: USGS.

USGS (United States Geological Survey). 2011. Shedd, K.B. Tungsten Recycling in the United States in 2000. Washington, DC: USGS.

USGS (United States Geological Survey). Profile 2004. USGS Profile Antimony. Washington, DC: USGS.

VDI Nachrichten 17.9.2010.

Village Main Reef. 2010. Press Release 7 March 2011. www.villagemainreef.co.za

Vulcan, T. 2008. Rhenium: Son of Moly. 5 August 2008.

Vulcan, T. 2009a. Germanium: Winkler's Metal. Hard Assets Investor. 26 March 2009.

Vulcan, T. 2009b. Indium: No Screen Test Needed. Hard Assets Investor. 21 December 2009.

Vulcan, T. 2010. Niobium. Or Columbium? Hard Assets Investor. 21 June 2010.

Waltritsch, S. (Treibacher Industrie AG) 2010. Die Seltenen Erden und ihre Anwendungen. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 155 Jg. (2010) Heft 1. 17-19.

Wellmer, K.-W.; Wagner, M. 2006. Metallic Raw Materials – Constituents of our Economy. In: Sustainable Metals Management. Hrsg.: von Gleich, A. und Ayres, R.U. Dordrecht: Springer.

Weltbank. 2010. World Governance Indicators (WGI) 2009. http://info.worldbank.org/governance/wgi/sc_country.asp. 0 = lowest rank; 100 = highest rank.

Wirtschaftsvereinigung Stahl. 2011. Bericht zur Marktlage Legierungsrohstoffe. 4. Quartal 2010.

Wolf Minerals Ltd. 2010. Tungsten Market Update – Price and Demand remain strong. ASX Release. 30th Nov. 2010

Wuppertal Institut. 2010a. Endbericht des Projekts "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (Ma-Ress). Ressourceneffizienz Paper 0.2.

Wuppertal Institut. 2010b. Thema, J. Umwelt- und Ressourcenaspekte einer verstärkten Nutzung von Leuchtdioden (LED). Ressourceneffizienz Paper 14.4.

Wuppertal-Institut/ IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung). 2007. Lucas, R.; Scharp. M.; Bleischwitz, R.; Krause, M.; Stürmer, M. Kupfereffizienz – unerschlossene Potentiale, neue Perspektiven. Wuppertal-Institut.

WVM (Wirtschaftsvereinigung Metalle). 2010. Metallstatistik 2009. Berlin: WVM.

Zieman, S. and Schebek, L. Substitution knapper Metalle – ein Ausweg aus der Rohstoffknappheit? *Chemie Ingenieur Technik* 2010, 82, No. 11.

5 Liste der Interviews und persönlichen Mitteilungen

Name	Institution	Datum	Inhalte
Hr. Baader	Verband der Automobilindustrie (VDA)	20.1.2011	Kritische Rohstoffe für die Automobilindustrie
Hr. Baeder	Fa. Metaleurope	3.5.2011	Buntmetallerzverarbeitung in Deutschland
Hr. Beißwenger	Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM)	28.1.2011	Wertschöpfungsketten der Buntmetalle
Hr. Benzing	Verband der Chemischen Industrie (VCI)	20.1.2011	Kritische Rohstoffe für die Chemieindustrie
Hr. Breese	Stahl-Zentrum	31.1.2011	Legierungsrohstoffe für Stahl
Hr. Carlsson	Verband für Schiffbau und Meerestechnik (VSM)	26.1.2011	Kritische Rohstoffe für den Schiffbau und die Meerestechnik (inkl. Offshore-Windenergie)
Hr. Frischholz	Bundesverband der Keramikindustrie (BVKI)	26.1.2011	Kritische Rohstoffe für die Keramikindustrie
Hr. Dr. Hagelüken	Fa. Umicore	20.4.2011	Altproduktrecycling
Hr. Dr. Hartel	Fa. Wacker Chemie	31.1.2011	Silicium für Zukunftstechnologien
Hr. Lochte / Fr. Stade	Fa. Recapture Metals	19.4.2011	Auskopplung und Raffination von Gallium
Hr. Reimann	Fa. Knauf	4.1.2011	Gipsstein und REA-Gips
Hr. Rölke	Bundesverband der Deutschen Gießereindustrie (BDG)	20.1.2011	Kritische Rohstoffe für die Gießereindustrie
Hr. Dr. Scheeren	Fa. XStrata Zink	4.5.2011	Buntmetallerzverarbeitung in Deutschland
Fr. Senninger	Fa. Infineon	13.4.2011	Produktionsabfallrecycling in der elektrischen und elektronischen Industrie
Fr. Dr. Wilken	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	20.4.2011	Rohstoffversorgung
Hr. Wolf	Verband des Deutschen Maschinen- und Anlagenbaus (VDMA)	26.1.2011	Kritische Rohstoffe für den Maschinen- und Anlagenbau

6 Abkürzungen und Glossar

Länderkürzel (3-stellig nach ISO-Code 3166-1)	Land
ARG	Argentinien
ARM	Armenien
AUS	Australien
AUT	Österreich
BEL	Belgien
BGR (BUL)*	Bulgarien
BOL	Bolivien
BRA	Brasilien
BWA	Botswana
CAN	Kanada
CHL	Chile
CHN	Volksrepublik China
COD	Demokratische Republik Kongo
CUB	Kuba
CZE	Tschechische Republik
DEU	Deutschland
DNK	Dänemark
ESH	Westsahara
ESP	Spanien
EST	Estland
FIN	Finnland
FRA	Frankreich
GAB	Gabun
GBR	Vereinigtes Königreich / Großbritannien
GHA	Ghana
GIN	Guinea
GRC	Griechenland
GUS**	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (der ehemaligen Sowietunion)
HUN	Ungarn
IDN	Indonesien
IND	Indien
IRL	Irland
IRN	Iran
ITA	Italien
JOR	Jordanien
JPN	Japan
KAZ	Kazachstan
KGZ	Kirgistan
KOR	Südkorea
MAR	Marokko

MEX	Mexiko
MNG	Mongolei
MWI	Malawi
NAM	Namibia
NLD	Niederlande
NOR	Norwegen
NZL	Neuseeland
PAN	Panama
PER	Peru
PHL	Philippinen
PNG	Papua-Neuguinea
POL	Polen
PRK	Demokratische Republik Nordkorea
PYF	Französisch Polynesien
RUS	Russland
RWA	Ruanda
SRB	Serbien
SUI	Schweiz
SVK	Slowakei
SWE	Schweden
THA	Thailand
TUR	Türkei
UKR	Ukraine
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
UZB	Usbekistan
VNM	Vietnam
ZAF	Republik Südafrika
ZMB	Sambia

Anmerkungen: * - abweichend vom offiziellen Länder-Code (BGR) als BUL abgekürzt; ** - kein offizieller Länder-Code, da Staatengemeinschaft.

Abkürzung	Volltext
°C	Grad Celsius
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol (chemische Verbindung)
Ag	Silber (chemisches Element)
AKW	Atomkraftwerk
Al	Aluminium (chemisches Element)
APR	Ammoniumpererrhenat (chemische Verbindung)
APT	Ammoniumparawolframat (chemische Verbindung)
a-Si	amorphes Silicium
ATO	Antimontrioxid (chemische Verbindung)
Au	Gold (chemisches Element)
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
Be	Beryllium (chemisches Element)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Bi	Bismut (chemisches Element)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BSZ	Brennstoffzelle
BVKI	Bundesverband der Keramikindustrie
Ca	Calcium (chemisches Element)
CCS	Carbon Capture and Storage
Cd	Cadmium (chemisches Element)
Ce	Cer (chemisches Element)
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid (chemische Verbindung)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (komplementären Metalloxid-Halbleiter)
Co	Cobalt (chemisches Element)
Cr	Chrom (chemisches Element)
CRT	Cathodic Ray Tube (Kathodenstrahlröhre)
c-Si	kristallines Silicium
Cu	Kupfer (chemisches Element)
D	Deutschland
Dy	Dysprosium (chemisches Element)
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
EEE	Elektrische und Elektronische Geräte und Ausrüstung
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
EoL	End of Life
EP	Epoxid (chemische Verbindung)
Eu	Europium (chemisches Element)
FCC	Fuel Cracking Catalyst (Aufspaltungs-Katalysatoren für Erdöl)
FCPA	Foreign Corrupt Practices Act
FDI	Foreign Direct Investment
Fe	Eisen (chemisches Element)
FSM	Flammschutzmittel
FTTx	Glasfaser bis zum Gebäude, Haus oder zur Liegenschaft (Fibre to the Building, Home, Premises)

FuE	Forschung und Entwicklung
G&K	Glas- und Keramikindustrie
Ga	Gallium (chemisches Element)
Gd	Gadolinium (chemisches Element)
Ge	Germanium (chemisches Element)
GPS	Global Positioning System
GTZ	Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit
Hf	Hafnium (chemisches Element)
HIPS	Hochschlagzähes Polystyrol (chemische Verbindung)
Ho	Holmium (chemisches Element)
HSLA	High Strength Low Alloy Stahl
HTS	Hochtemperatursupraleiter
IC	Integrated Circuit (integrierter Schaltkreis)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
In	Indium (chemisches Element)
IR	Infrarot
ITO	Indium-Zinnoxid (chemische Verbindung)
JOGMEC	Japan, Oil, Gas, and Metals National Corporation
KORES	Korea Resources Corporation
L&R	Luft- und Raumfahrt
La	Lanthan (chemisches Element)
LaWi	Landwirtschaft
LCA	Life Cycle Analysis
LCC	Life Cycle Costing
LED	Light Emitting Diode (Licht emittierende Diode)
Li	Lithium (chemisches Element)
LME	London Metal Exchange
Lu	Luthetium (chemisches Element)
M&A	Maschinen- und Anlagenbau
MAN	Metropolitan Area Network
Mg	Magnesium (chemisches Element)
Mn	Mangan (chemisches Element)
Mo	Molybdän (chemisches Element)
MRI	Magnete Resonance Imaging
MW	Megawatt
N&G	Nahrungs- und Genussmittelindustrie
NATO	North Atlantic Treaty Organization
Nb	Niob (chemisches Element)
Nd	Neodym (chemisches Element)
NDS	National Defense Stockpile
Ni	Nickel (chemisches Element)
NRO	Nichtregierungsorganisation
NYMEX	New York Mercantile Exchange
NYSE	New York Stock Exchange

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
OLED	Organic Light Emitting Diode (Organische Licht emittierende Diode)
OSZE	Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
PA	Polyamid (chemische Verbindung)
Pb	Blei (chemisches Element)
PBT	Polybutylenterephthalat (chemische Verbindung)
PC	Polycarbonat (chemische Verbindung)
Pd	Palladium (chemisches Element)
PE	Polyethylen (chemische Verbindung)
PEN	Polyethylenphthalat (chemische Verbindung)
PET	Polyethylenterephthalat (chemische Verbindung)
PGM	Platingruppenmetalle (Gruppe chemischer Verbindungen)
PP	Polypropylen (chemische Verbindung)
PPE	Polyphenylenether (chemische Verbindung)
ppm	parts per million (Anzahl der Teile pro Millionen Teile)
Pr	Praseodym (chemisches Element)
Pt	Platin (chemisches Element)
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid (chemische Verbindung)
Re	Rhenium (chemisches Element)
REA	Rauchgasentschwefelung
REACH	Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals (EU-Regulierung 1907/2006/EC zur Überwachung von Chemikalien auf dem europäischen Markt)
RoHS	Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment (EU-Richtlinie 2002/95/EC zur Verwendungsbeschränkung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten)
Sb	Antimon (chemisches Element)
Se	Selen (chemisches Element)
SEE	Seltene Erden Elemente (Gruppe chemischer Elemente)
SEO	Seltene Erden Oxide (Gruppe chemischer Verbindungen)
Si	Silicium (chemisches Element)
Sm	Samarium (chemisches Element)
Sn	Zinn (chemisches Element)
Sr	Strontium (chemisches Element)
SR	Strategisches Risiko
SX-EW	Solvent Extraction – Electro Winning
t	Tonnen
Ta	Tantal (chemisches Element)
TAGS	Tellur-Antimon-Germanium-Silber $(\text{GeTe})_x(\text{AgSbTe}_2)_{100-x}$ (chemische Verbindung)
Tb	Terbium (chemisches Element)
Te	Tellur (chemisches Element)
Ti	Titan (chemisches Element)
TI	Transparency International
Tm	Terbium (chemisches Element)
U	Uran (chemisches Element)

UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environmental Programme
UP	ungesättigte Polyester (chemische Verbindung)
USA	United States of America
USGS	United States Geological Survey
V	Vanadium (chemisches Element)
VCI	Verband der Chemischen Industrie
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDMA	Verband des Deutschen Maschinen- und Anlagenbaus
VR	Volksrepublik
W	Wolfram (chemisches Element)
WAN	Wide Area Network
WC	Wolframcarbid (chemische Verbindung)
WEEE	Waste electrical and electronic equipment (EU-Richtlinie 2002/96/EC zum End-of-Life Management von Abfall elektrischer und elektronischer Geräte und Ausrüstung)
WGI	World Governance Index
WLAN	Wireless Local Area Network (Drahtloses Funknetz im Nahbereich)
WTO	World Trade Organisation (Welthandelsorganisation)
XtL-Synthese	Herstellung von Treibstoffen durch Kohle-/Gas-/Biomasse-Verflüssigung
Y	Yttrium (chemisches Element)
Yb	Ytterbium (chemisches Element)
Zn	Zink (chemisches Element)

Term	Erläuterung
Bestand	Materiallager in Gebäuden, Infrastrukturen, Fahrzeugen und Produkten in der Nutzungsphase
Dissipativ	fein verteilt; für eine Rückgewinnung nicht geeignet
Gehobene Gebrauchstechnologie	umfasst Güter mit einem internen FuE-Anteil am Umsatz von 2,5 – 7 %
Governance	Regelsetzung und Steuerung durch den Staat, aber auch durch öffentlich-staatliche Partnerschaften oder nichtstaatliche Akteure
kurzfristig	innerhalb der nächsten fünf Jahre
langfristig	innerhalb der nächsten zehn bis zwanzig Jahre
mittelfristig	innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre
Reservebasis	Teil der identifizierten Ressourcen, der minimale physische und chemische Kriterien nach heutigen Bergbauerfordernissen erfüllt (Gehalt, Mächtigkeit, Tiefe, Qualität).
Reserven	Teil der Reservebasis, der zur Zeit der Bestimmung ökonomisch gewonnen werden kann.
Resilienz	Maß für die Rückkehrfähigkeit eines Systems in einen stabilen Zustand nach einer Störung
Ressourcen	Eine Konzentration natürlich vorkommender fester, flüssiger oder gasförmiger Materie, die heute oder potentiell ökonomisch gewinnbar ist.
Seltene und verteilte Metalle	keine eigene Mineralbildung, sondern isomorphe Einbindung in die Gitter von Kristallen anderer Minerale
Spitzentechnologie	umfasst Güter mit einem internen FuE-Anteil am Umsatz von über 7 %
Stückig	kompakt vorkommend
Verbrauch, berichteter	durch statistische Erhebungen von den Befragten angegebener Verbrauch
Verbrauch, errechneter	durch Bilanzgleichungen errechneter Verbrauch
Versorgungsrisiko	Möglichkeit einer Versorgungsstörung
Vulnerabilität	Verletzbarkeit eines Systems gegenüber einer Versorgungsstörung
Zukunftstechnologie	industriell verwertbare technische Fertigkeiten, die revolutionäre Innovationschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren hinaus auslösen