



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

Abschlussbericht

Lorenz Erdmann

Siegfried Behrendt

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

Moira Feil

adelphi, Berlin

Berlin, den 30. September 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
1 Einleitung.....	11
2 Methodik	14
2.1 Stand der Forschung.....	14
2.2 Forschungsdesign	15
2.3 Systemgrenzen	17
3 Import und Verbrauch von Rohstoffen in Deutschland.....	20
3.1 Daten- und Berechnungsgrundlagen.....	20
3.2 Import und Verbrauch nach Menge	22
3.3 Import und Verbrauch nach Wert	26
3.4 Auswahl von Rohstoffen für das Kritikalitäts-Screening	28
4 Screening der Kritikalität.....	31
4.1 Grundkonzept und Indikatoren	31
4.2 Ergebnisse	43
4.3 Diskussion.....	48
4.3.1 Datenunsicherheiten	49
4.3.2 Methodische Unsicherheiten	51
4.3.3 Kurzfrist- und Mittel-/Langfristkritikalität.....	51
4.3.4 Einordnung der Ergebnisse	53
5 Rohstoffprofile	58
5.1 Überblick	58
5.2 Einzelbetrachtungen.....	59
5.2.1 Antimon	59

5.2.2	Gallium	60
5.2.3	Germanium.....	61
5.2.4	Indium	61
5.2.5	Kupfer.....	62
5.2.6	Molybdän.....	63
5.2.7	Niob.....	63
5.2.8	Rhenium.....	64
5.2.9	Seltene Erden.....	64
5.2.10	Wolfram.....	65
5.3	Querschnittsbetrachtungen	65
5.3.1	Entwicklung von Angebot und Nachfrage sowie Preisen	65
5.3.2	Schwachstellen in der Wertschöpfungskette der Rohstoffe.....	68
5.3.3	Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung	70
6	Die Rolle von Governance für die Kritikalität von Rohstoffen	73
6.1	Strukturierung der Governance-Faktoren (Typologie).....	73
6.2	Governance-Profile für Seltene Erden.....	78
6.2.1	VR China.....	78
6.2.2	USA.....	82
6.3	Governance-Profile für Kupfer.....	86
6.3.1	Kasachstan.....	87
6.3.2	DR Kongo.....	91
6.4	Zwischenfazit.....	95
7	Fazit und Handlungsoptionen.....	97
7.1	Kritische Rohstoffe als Schlüssel für die Entwicklung von Leitmärkten.....	97
7.2	Rohstoffkritikalität aus der Wertschöpfungsketten-Perspektive.....	101
7.3	Von der operativen Rohstoffbeschaffung zur strategischen Rohstoffsicherung im Unternehmen	102
7.4	Ausbau und Diversifizierung der primären Rohstoffversorgung	105

7.4.1	Änderung der Importquellen	105
7.4.2	Neubewertung der Potentiale des Inlandsbergbaus	105
7.4.3	Ausweitung von Beteiligungen im Auslandsbergbau	107
7.5	Ausbau und Intensivierung der sekundären Rohstoffversorgung	108
7.6	Erhöhung der Materialeffizienz über den Lebensweg	111
7.7	Verbesserung der Informationsbasis	112
7.8	Forschung und Entwicklung	113
7.9	Außen-, handels- und entwicklungspolitische Elemente der Ressourcengovernance	115
7.10	Fortentwicklung der Programmatik	116
8	Literaturverzeichnis	119
9	Liste der Interviews und persönlichen Mitteilungen	129
10	Abkürzungen und Glossar	131

Ergänzend zu diesem Abschlussbericht gibt es einen separaten Anhangsband mit detaillierten Hintergrundinformationen zu den Kapiteln 4, 5 und 6.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Forschungsdesign	16
Abbildung 2-2:	Systematik der Ressourcen.....	17
Abbildung 2-3:	Rohstoffe im vereinfachten Lebenszyklusmodell eines Metalls.....	18
Abbildung 3-1:	Import und Verbrauch von Steinen und Erden für Deutschland (2008)	22
Abbildung 3-2:	Import und Verbrauch von silikatischen Industriemineralien für Deutschland (2008)	23
Abbildung 3-3:	Import und Verbrauch von nicht-silikatischen Industriemineralien für Deutschland (2008)	24
Abbildung 3-4:	Import und Verbrauch von Erzen und Konzentraten für Deutschland (2008)	25
Abbildung 3-5:	Schätzungen des Imports und Verbrauchs von Metallen auf höherer Wertschöpfungsstufe für Deutschland (2008)	26
Abbildung 3-6:	Prozentualer Anteil der mineralischen Rohstoffe am Gesamtwert der Rohstoffeinfuhren nach Deutschland (2008)	27
Abbildung 4-1:	Das Matrix-Konzept der Kritikalität	31
Abbildung 4-2:	Analysekriterien für die Dimensionen der Rohstoffkritikalität.....	33
Abbildung 4-3:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Referenzwerte)	43
Abbildung 4-4:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Minimalwerte) .	49
Abbildung 4-5:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Maximalwerte)	50
Abbildung 4-6:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung)	51
Abbildung 4-7:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung, Kurzfristindikatoren)	52
Abbildung 4-8:	Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung, Mittel-/Langfristindikatoren).....	53
Abbildung 5-1:	Verortung der vertieften Rohstoffe im Periodensystem der Elemente	59
Abbildung 5-2:	Preismuster von Nebenprodukten in Abhängigkeit vom Hauptprodukt	66
Abbildung 5-3:	Einschätzung des quantitativen Beitrags und der Wirkungslatenz von Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung.....	71
Abbildung 6-1:	Abbauggebiete von Seltenen Erden in China.....	79

Abbildung 6-2:	Wichtige Distrikte mit Lagerstätten von Seltenen Erden in den USA	83
Abbildung 6-3:	Bergbauprojekte der Firma Kazakhmys in Kasachstan.....	88
Abbildung 6-4:	Karte der DR Kongo mit der Provinz Katanga im Südosten	92
Abbildung 7-1:	Instrumente der Rohstoffsicherung für Unternehmen.....	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Rohstoff-Set für das Kritikalitäts-Screening	29
Tabelle 4-1:	Indikatoren für das Kritikalitäts-Screening	34
Tabelle 4-2:	Datenquellen und Gewichtung für die Indikatoren	42
Tabelle 4-3:	Indikatorwerte für die Vulnerabilität der Rohstoffe höchster und hoher Kritikalität	47
Tabelle 4-4:	Indikatorwerte für das Versorgungsrisiko der Rohstoffe höchster und hoher Kritikalität	48
Tabelle 4-5:	Zentrale Kategorien und Ergebnisse dieser Studie im Vergleich zur VBW-Studie und zur EU-Studie	54
Tabelle 5-1:	Angebots- und Nachfragetendenzen der untersuchten Rohstoffe..	67
Tabelle 5-2:	Wichtige Schwachstellen in den Wertschöpfungsketten der untersuchten Rohstoffe.....	69
Tabelle 6-1:	Typologie für die Ressourcengovernance von Ländern	76
Tabelle 6-2:	Schätzungen der Abbaumengen von Seltenen Erden in China nach Regionen (2008)	79
Tabelle 7-1:	Bedarfsfelder der Hightech-Strategie der Bundesregierung und der globale Rohstoffbedarf für einzelne Zukunftstechnologien 2030 im Verhältnis zur gesamten globalen Rohstoffproduktion 2008 (Auswahl).....	99
Tabelle 7-2:	Charakterisierung der Materialdepots für Sekundärrohstoffe (Auswahl).....	109

1 Einleitung

Noch vor wenigen Jahren war die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit mineralischen Rohstoffen ein Thema, das nur enge Fachkreise beschäftigte. Heute dagegen berichten die Massenmedien fast täglich über die essentielle Bedeutung von mineralischen Rohstoffen für Zukunftstechnologien und über Gefahren für die Rohstoffversorgung. Zu den mineralischen Rohstoffen gehören Erze der Metalle (z.B. Zink),¹ Industriemineralien (z.B. Baryt) und Steine und Erden (z.B. Kalk).

Globales Bevölkerungswachstum, neue Lebensstile, Marktdynamik, technologischer Wandel und Regierungshandeln haben die Rohstoffbasis unseres Wirtschaftens am Anfang dieses Jahrhunderts gravierend verändert. Insbesondere die Umwelt- und Klimaschutzpolitik ist ein wichtiger Treiber für die Entwicklung neuer Technologien wie Elektromobilität oder Offshore-Windenergie. Die Materialanforderungen in diesen Produkten und Prozessen sind oft sehr speziell (ISI/IZT 2009). Die Gewährleistung dieser Anforderungen erfordert über die seit langem verwendeten Rohstoffe hinaus (z.B. Kupfer) zunehmend das ganze Periodensystem der Elemente (z.B. Seltene Erden).

Anders als bei Energieträgern wie Öl gibt es bei den meisten mineralischen Rohstoffen keine geologische Knappheit.² Zur Frage der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen standen lange Zeit quantitative Angebots- und Nachfrageuntersuchungen im Vordergrund der Forschung, die sich mit der vermeintlichen geologischen Erschöpfung befassten. In der arbeitsteiligen, aber stark vernetzten Weltwirtschaft steigt die Bedeutung von kurz- und mittelfristigen Versorgungsrisiken. Zu diesen neueren Risiken gehören Liefer- und Preisrisiken durch die Konzentration der Förderung auf nur wenige Unternehmen oder Länder. Insbesondere bei den Rohstoffen für Metalle und bei vielen Industriemineralien ist Deutschland stark von Importen abhängig.³

Das Konzept der **Rohstoffkritikalität** umfasst sowohl die potentiellen Versorgungsrisiken als auch die Verletzbarkeit eines Systems (z.B. Unternehmen, Branche, Volkswirtschaft, globale Gesellschaft) gegenüber einer Versorgungsstörung. Inzwischen gibt es einige Aktivitäten zur Bestimmung der Rohstoffkritikalität und Maßnahmen zur Verbesserung der Versorgung. Der Wissenschaftsrat der USA (NRC 2008) hat eine Studie zur Kritikalität von Ressourcen vorgelegt, in deren Folge weitere Regierungsaktivitäten angeschoben wurden (US DOD 2009; US DOE 2010). Die Rohstoffinitiative der EU hat eine Studie zur Kritikalität von Ressourcen erstellt (EC 2010), die einige Mitgliedsstaaten wie zum Beispiel die Niederlande dazu bewogen hat, Folgeaktivitäten zu veranlassen (CBS/TNO 2010).

1 einschließlich Halbmetalle.

2 Laut Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gibt es ausreichend Ressourcen in der Erdkruste, um die Industrie langfristig zu versorgen.

3 So wird zum Beispiel die Preishausse bei Tantal im Jahr 2001 eng mit dem Krieg im Osten der DR Kongo verbunden. In den letzten Jahren machten vor allem Chinas Förderquoten und Exportrestriktionen zu Seltenen Erden Schlagzeilen, als statt den im Ausland benötigten 48.000 Tonnen nur 30.000 Tonnen Seltene Erden exportiert wurden. Auch deshalb wurde in den USA die Mountain-Pass-Mine wieder in Betrieb genommen, die Anfang des Jahrtausends ursprünglich auch aus Umweltgründen geschlossen worden war (adelphi/UBA 2011c, s. Governance-Profil China).

Die Aktivitäten einiger rohstoffarmer Länder mit wirtschaftlich bedeutsamer verarbeitender Industrie sind besonders auffällig. Hierzu zählen die intensiven Aktivitäten zur Sicherung der Rohstoffversorgung von Korea und Japan⁴ und Studien mit unterschiedlicher Ausrichtung in Deutschland (RWI/ISI/BGR 2007; ISI/IZT 2009; VWB 2009). Die Bundesregierung hat im Dialog mit Vertretern des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), der rohstoffverarbeitenden Industrie, der Recyclingwirtschaft und der Gewerkschaften eine Rohstoffstrategie erarbeitet. Neben rohstoffwirtschaftlichen Fragen kommen auch außenpolitische, entwicklungspolitische und umweltpolitische Grundsätze und Ziele zum Tragen. Bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurde eine Rohstoffagentur eingerichtet (BMWi 2010).

Vor diesem Hintergrund hat die KfW Bankengruppe das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, und adelphi, Berlin, beauftragt, aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsame mineralische Rohstoffe zu identifizieren, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte. Die Untersuchung fand im Zeitraum von Dezember 2010 bis Mai 2011 statt.

Die Kritikalität der Versorgung der deutschen Wirtschaft mit mineralischen Rohstoffen umfasst zwei Hauptdimensionen:

1. Die deutsche Wirtschaft ist Risiken für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Versorgung mit mineralischen Rohstoffen ausgesetzt (Versorgungsrisiken).
2. Die deutsche Wirtschaft kann bei auftretenden Störungen der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen besonders geschädigt werden (Verletzbarkeit / Vulnerabilität).

Die Ausprägungen und die Ausmaße dieser beiden Hauptdimensionen lassen sich durch vorsorgende Maßnahmen der Unternehmen und der politischen Akteure beeinflussen.

Die vorliegende Studie verfolgt den **Leitgedanken**, ein umfassendes Bild der Kritikalität der Rohstoffversorgung zu zeichnen. Dazu muss auch auf unsichere, qualitative und halbquantitative Daten zurückgegriffen werden. Damit hebt sich die Studie von anderen Arbeiten ab, die nur das darstellen, was quantitativ gesichert darstellbar ist. Die Unterschätzung von Versorgungsrisiken bis vor wenigen Jahren geht nach Auffassung der Autoren zu einem großen Anteil auf die Fokussierung auf die quantitativ gut belegten Rohstoffe und deren Angebots- und Nachfragemuster zurück. Gerade für die schlecht dokumentierten Stoffströme der manchmal nur in kleinen Mengen verwendeten Rohstoffe und durch Faktoren, die sich einer Quantifizierung entziehen (z.B. politische Entscheidungen), sind jedoch reale Versorgungsengpässe entstanden (z.B. Tantal).

⁴ Erhöhung der Selbstversorgungsrate und Lagerung von strategischen Rohstoffen durch die Korea Resources Corporation (KORES 2009) in Korea bzw. Japan, Oil, Gas, and Metals National Corporation (JOGMEC 2010) in Japan.

Die Studie hat daher vier wesentliche **Alleinstellungsmerkmale**:

- Fokus auf Deutschland,
- Schwerpunkt auf Rohstoffe für Zukunftstechnologien,
- systematische Berücksichtigung auch nicht oder nur schwer quantifizierbarer Faktoren,
- explorative Aufbereitung des Themas Rohstoffkritikalität vor dem Hintergrund der Aufgaben der KfW.

Kapitel 2 beschreibt die verwendete Methodik in ihren Grundzügen. Eine Vorauswahl an Rohstoffen wird anhand von Import und Verbrauch sowie weiterer Kriterien in Kapitel 3 getroffen. Kapitel 4 stellt das Screening der Kritikalität für 52 Rohstoffe vor, bevor in Kapitel 5 ausgewählte Rohstoffe im Detail untersucht werden. Kapitel 6 untersucht den Einfluss von Governance-Faktoren auf die Rohstoffversorgung. Governance bezeichnet die Regelsetzung und Steuerung durch den Staat, aber auch durch öffentlich-staatliche Partnerschaften oder nichtstaatliche Akteure (Wirtschaft, Zivilgesellschaft). Kapitel 7 schließt mit einem Fazit und Handlungsempfehlungen aus Sicht von IZT und adelphi.

Ergänzend zu diesem Abschlussbericht gibt es einen separaten Anhangsband mit detaillierten Hintergrundinformationen zu einzelnen Rohstoffen (Kapitel 4 und 5) und Ländern (Kapitel 6).

2 Methodik

Dieses Kapitel bündelt zunächst den Stand der Kritikalitätsforschung, stellt dann das Forschungsdesign für diese Untersuchung vor und legt schließlich die Systemgrenzen fest.

2.1 Stand der Forschung

Bis vor wenigen Jahren beschränkten sich die meisten Studien zur Versorgung mit mineralischen Rohstoffen auf Trendanalysen von Preisen und die Berechnung zukünftiger Angebots- und Nachfragemuster.⁵ Inzwischen liegen mehrere Studien vor, die Versorgungsrisiken von Unternehmen, Branchen, Staaten oder der Welt und deren Wirkungen mit verschiedenen Indikatoren breiter fassen. Diese Studien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Daten, Methoden, Zeitskalen und Systemgrenzen – und damit auch hinsichtlich der Einschätzung, welche mineralischen Rohstoffe kritisch sind.

Zur Prüfung verschiedener Indikatoren-Sets wurden 12 wesentliche Studien ausgewählt, die einen umfassenden Zugang zur Kritikalität haben (vgl. Erdmann/Graedel 2011). Sie verwenden vier Hauptkonzepte:

1. Kritikalitätsindex: Verschiedene Indikatoren werden zu einem Index aggregiert. Zwei Studien gewichten die Indikatoren unterschiedlich (NEDO 2009; VBW 2009), eine dritte Studie gewichtet sie gleichwertig (Oakedene Hollins 2008).
2. Kritikalitätsmatrix: Die Versorgungsrisiken und die Vulnerabilität des von einer Versorgungsstörung bedrohten Systems werden als zwei Achsen einer Matrix gefasst, in der jeder Rohstoff verortet wird (EC 2010; US DOE 2010; Duclos et al. 2009; NRC 2008). Öko-Institut/UNEP (2009) führen als dritte Dimension das Recycling ein.
3. Berechnungen von zukünftigem Angebot und Nachfrage: Die IDA-Studie (2009) errechnet für verschiedene Szenarien den Quotienten von Angebot und Nachfrage als Maß für die Kritikalität. Die RWI/ISI/BGR-Studie (2007) errechnet zukünftiges Angebot und zukünftige Nachfrage, setzt sie aber nicht quantitativ ins Verhältnis zueinander.
4. Multi-Indikatoren-Sets: Die MIT-Studie (Alonso et al. 2008) und der Ansatz der Volkswagen AG (Rosenau-Tornow et al. 2009) untersuchen zahlreiche Indikatoren für die Versorgungsrisiken, allerdings ohne sie auf ein hohes Niveau zu aggregieren.

Trotz unterschiedlicher Zugänge stimmen die meisten Studien weitgehend darin überein, dass sie die Verletzbarkeit und das Versorgungsrisiko abbilden und Rohstoffe hinsichtlich dieser beiden Dimensionen klassifizieren. Hinsichtlich der Indikatoren wird wenig Wert auf die Begründung der Auswahl gelegt. Auch die zeitliche Dynamik, der Geltungsbereich und welches Kriterium eigentlich gemessen werden soll, sind nur wenig belichtet.

⁵ Die Malthusianische Schule beschäftigt sich vorwiegend mit der Berechnung statischer und dynamischer Reichweiten. Die Ricardianische Schule untersucht Knappheitstrends wie abnehmende Erzgehalte und zunehmenden Energieaufwand für die Förderung (vgl. Alonso et al. 2008).

Erdmann und Graedel (2011) haben den Einfluss von Methoden auf die erzielten Ergebnisse untersucht und vier wichtige Faktoren identifiziert:

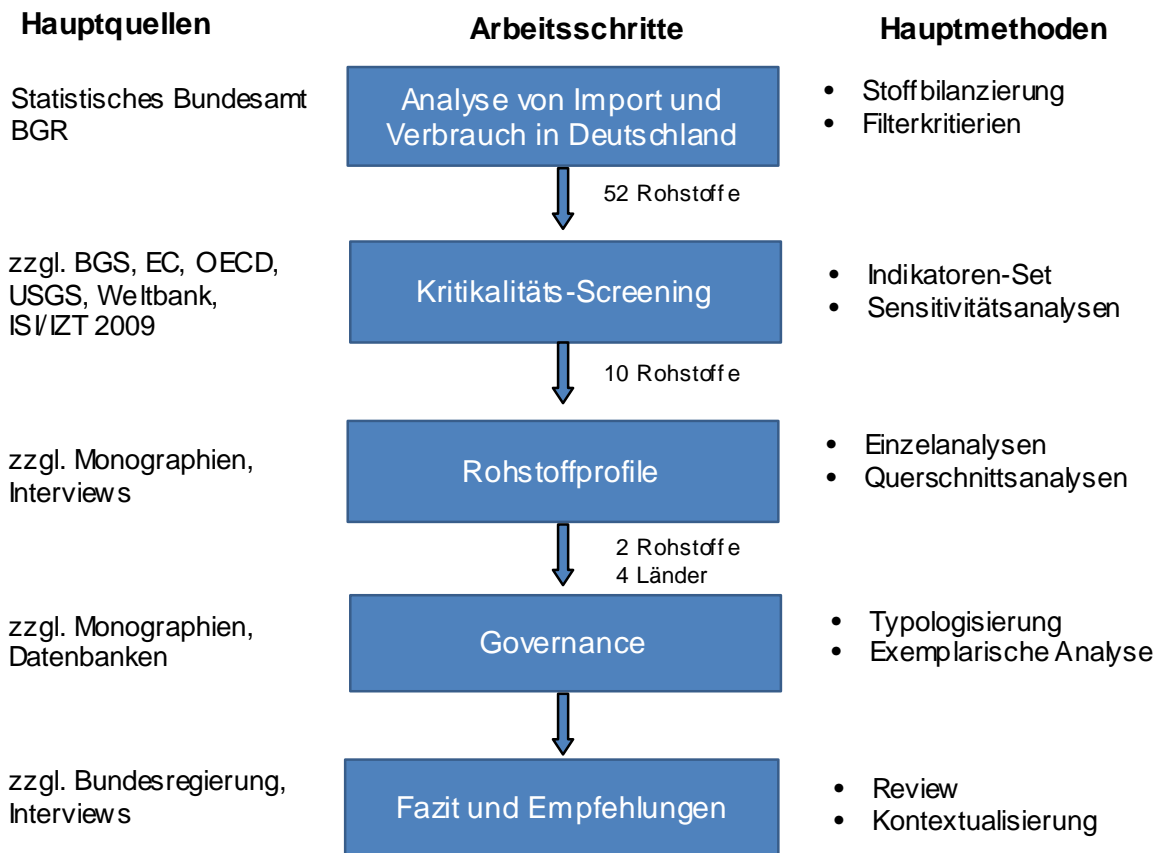
- Grundgesamtheit und Auswahlverfahren für Rohstoffe,
- Konzeptionalisierung von Vulnerabilität im allgemeinen (z.B. Bruttowertschöpfung der Abnehmerbranche) und von Substituierbarkeit im besonderen (z.B. als Determinante für Vulnerabilität oder für Versorgungsrisiken),
- Aggregation der Kritikalitätsmatrix-Achsen zu einem Kritikalitätsindex für verschiedene Verfahren und
- die Relativität des Kritikalitätskonzepts, d.h. ein Rohstoff ist kritischer als ein anderer (Größe der Kritikalitätsklasse).

Vor dem Hintergrund dieses summarisch wiedergegebenen Standes der Forschung wurde eine der Fragestellung angemessene Methodologie für diese Untersuchung entwickelt.

2.2 Forschungsdesign

Das Forschungsdesign hat die Aufgabe, den Terms of Reference und dem Stand der Forschung gerecht zu werden. Um innerhalb der Projektlaufzeit sinnvolle Ergebnisse zu erzielen, ist die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes pragmatisch, aber möglichst systematisch zu reduzieren. Die Auswahl einzelner Methodenbausteine erfolgt anhand von Datenverfügbarkeit, sachlicher Angemessenheit, methodischer Robustheit und anderer Kriterien. Folgendes Forschungsdesign wurde entwickelt (Abbildung 2-1):

Abbildung 2-1: Forschungsdesign



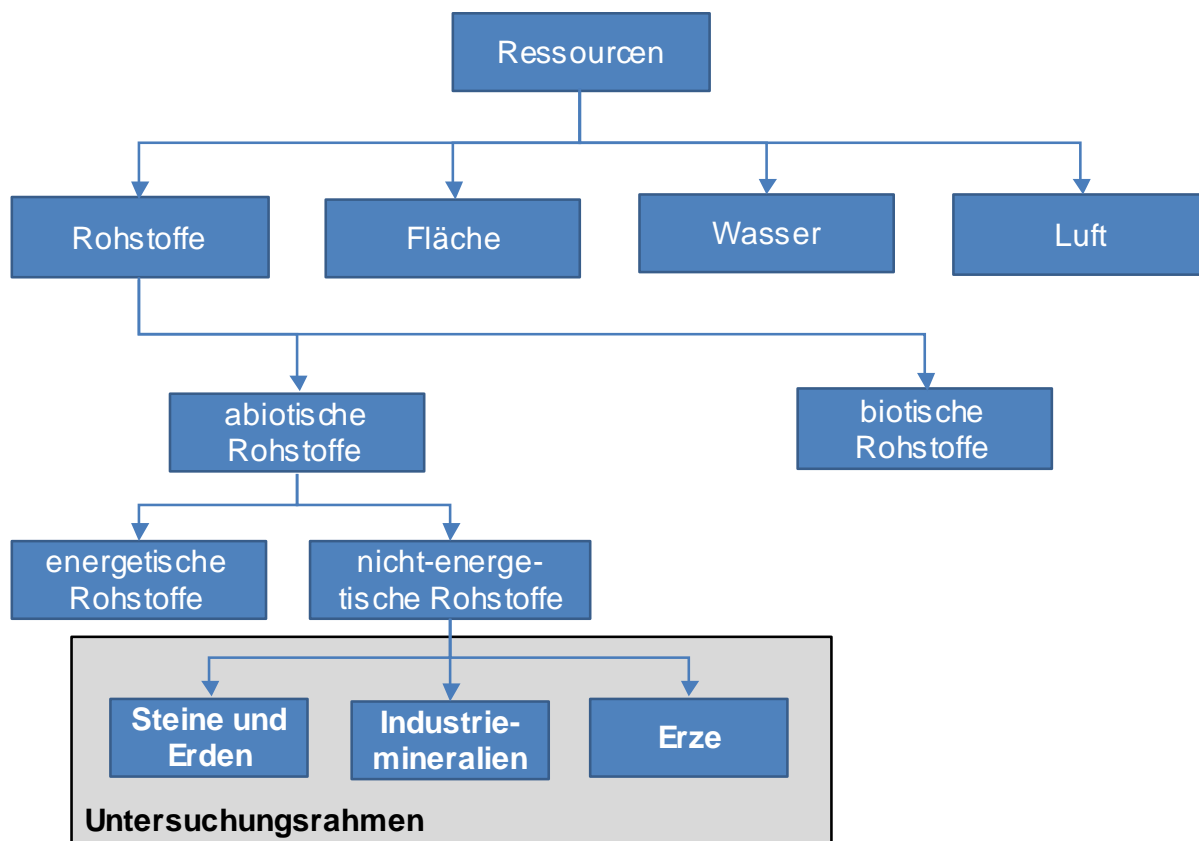
Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGS – British Geological Survey, EC – Europäische Kommission, OECD – Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, USGS – United States Geological Survey.

Aus der Grundgesamtheit mineralischer Rohstoffe werden zunächst anhand der Produktions- und der Außenhandelsdaten von Statistischem Bundesamt und BGR der Rohstoffverbrauch und der Nettoimportanteil Deutschlands am Rohstoffverbrauch bilanziert. Mit Hilfe von Filterkriterien werden 52 Rohstoffe für das Kritikalitäts-Screening ausgesucht. Auf Grundlage einer erweiterten Datenbasis wird anschließend anhand eines Indikatoren-Sets eine Beurteilung der Kritikalität der ausgesuchten Rohstoffe vorgenommen. Die Einschätzungen werden verschiedenen Sensitivitätsanalysen unterzogen. Für zehn besonders interessante Rohstoffe, darunter die allerkritischsten, werden im Detail Nachfrage und Verwendung, Angebot und Vorräte, Marktstruktur und -dynamik und Materialeffizienz (u.a. Substitution und Recycling) systematisch untersucht. Der besondere Einfluss der Governance auf die Rohstoffversorgung wird exemplarisch für zwei Rohstoffe in je zwei Produktionsländern analysiert. Ein Review der bisherigen Arbeiten in dieser Studie ist die Basis für die Identifizierung und Einordnung von Empfehlungen in die bestehenden und geplanten Governance-Aktivitäten zur Verbesserung der Rohstoffversorgung.

2.3 Systemgrenzen

Mineralische Rohstoffe werden im Bergbau aus natürlichen Lagerstätten gewonnen. Lagerstätten sind das langwierige Ergebnis geologischer Prozesse, wodurch sie ortsgebunden, räumlich begrenzt und nicht reproduzierbar sind (BMW 2010). Die im Rahmen dieser Studie untersuchten mineralischen Rohstoffe verorten sich im **Ressourcensystem** wie folgt (Abbildung 2-2):

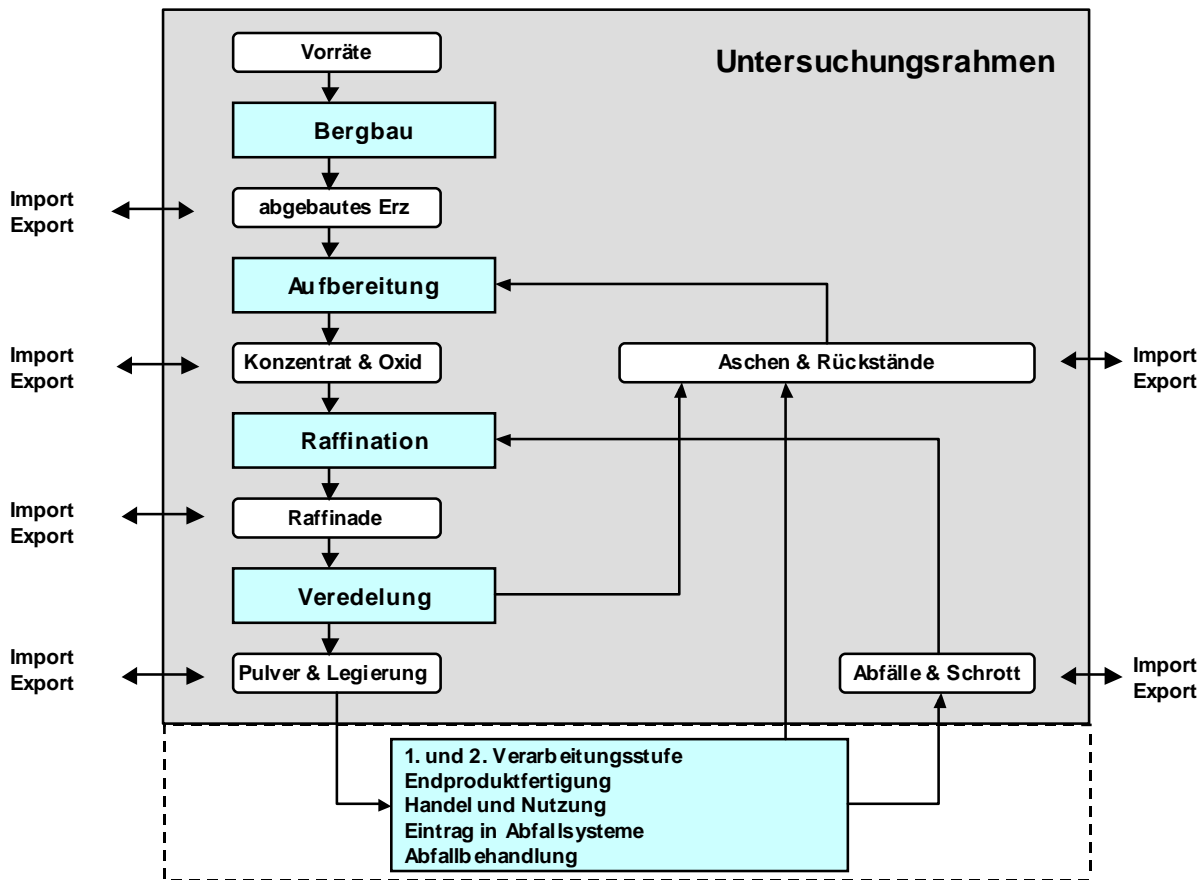
Abbildung 2-2: Systematik der Ressourcen



Quelle und Anmerkung: Eigene Darstellung IZT/adelphi in Anlehnung am BMU 2011.

Zum untersuchten Rohstoffspektrum gehören die Steine und Erden, Industriemineralien und Erze als nicht-energetische, abiotische Rohstoffe. Weiterhin ist zu definieren, auf welche Stufen des Lebenszyklus' sich der **Rohstoffbegriff** bezieht. Zur Veranschaulichung wird hierfür ein vereinfachtes Lebenszyklusmodell für ein typisches Metall herangezogen (Abbildung 2-3):

Abbildung 2-3: Rohstoffe im vereinfachten Lebenszyklusmodell eines Metalls



Quelle: Eigene Darstellung IZT/adelphi.

Das abgebildete System für den Lebenszyklus eines Metalls hat die Bilanzgrenzen von Deutschland. Der grau unterlegte Bereich in Abbildung 2-3 grenzt Rohstoffe von anderen Material- und Produktformen ab, die nicht unter den in dieser Studie gewählten Rohstoffbegriff fallen. Zu den Rohstoffen gehören zunächst die heimischen Vorräte in ihren Lagerstätten. Auf den folgenden Wertschöpfungsstufen findet jeweils Außenhandel statt.⁶ Werden Erze und Konzentrate zweifelsfrei zu den Primärrohstoffen gezählt, und Aschen und Rückstände, Abfälle und Schrott eindeutig zu den Sekundärrohstoffen, so ist dies bei Raffinade, Pulver und Legierungen sowie Oxiden unschärfer.⁷ Aus Sicht der deutschen Unternehmen gehören auch solche Verbindungen der Metalle zu den Rohstoffen, da sie als Vorstoffe bezogen und weiterverarbeitet werden. Im Rahmen dieser Untersuchung werden die 1. Verarbeitungsstufe (z.B. Umformung), die 2. Verarbeitungsstufe (z.B. Bauteilherstellung) und die Endproduktherstellung, der Handel und die Nutzung, der Eintrag in Abfallsysteme und die Abfallbehandlung einschließlich Recyclingprozessen (z.B. Demontage, Shreddern) vom Rohstoffbegriff ausgenommen (gestrichelter Bereich). Als Untersuchungsrahmen für die metallischen Rohstoffe verbleiben die Vorräte

⁶ Dieser Außenhandel umfasst abgebaute Erze, Konzentrate und Oxide, Raffinade, Metallpulver und Legierungen sowie Aschen und Rückstände, Abfälle und Schrott.

⁷ Aluminiumoxid wird beispielsweise für die Raffination zu Aluminiummetall verwendet, wohingegen Bismutoxid eher ein verarbeitetes chemisches Produkt auf Basis von Bismutmetall ist.

te, abgebautes Erz, Konzentrat und Oxid, Raffinade, Pulver und Legierung, Abfälle und Schrott sowie Aschen und Rückstände.

Die Lebenszyklen von Industriemineralien und Steine und Erden ähneln grundsätzlich denjenigen der Metalle. Sie unterscheiden sich vor allem dadurch, dass die Aufbereitung von zum Beispiel Kalk der Gewährleistung bestimmter physikalisch-chemischer Eigenschaften (z.B. Korngröße, Dichte, Wassergehalt) dient, ohne dass in den folgenden Prozessen eine Isolierung der einzelnen chemischen Elemente (z.B. Calcium) erfolgt.⁸ Die Sekundärrohstoffe aus der Nachnutzung von Industriemineralien und Steinen und Erden werden im Gegensatz zu den Metallen nicht als Schrott, sondern zum Beispiel als Bauschutt, Ofenausbruch oder Schleifstäube bezeichnet. Als Untersuchungsrahmen für Industriemineralien und Steine und Erden verbleiben die Vorräte, abgebauter Rohstoff, aufbereiteter Rohstoff, Sekundärrohstoffe aus der Nachnutzung sowie Aschen und Rückstände.

Als Bezugszeitraum für das Screening wird das **Jahr 2008 gewählt**. Zwar gibt es teilweise neuere Daten für 2009 und 2010, aber die Datengrundlage wäre bei ihrer Verwendung uneinheitlich. Zudem war das Jahr 2009 stark von der weltweiten Wirtschaftskrise geprägt, die zu verschiedenen Verwerfungen auf den Rohstoffmärkten führte. Das Basisjahr 2008 ist das letzte weitgehend stabile Gesamtjahr vor der weltweiten Wirtschaftskrise.

Ziel ist die Identifizierung von Rohstoffen, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte. Solche mittel- bis langfristig kritischen Versorgungslagen können aus kurz- (konjunkturelle Nachfrage), mittel- (z.B. Minenerschließungen) und langfristig wirksamen Dynamiken (z.B. globale Energiewende) entstehen, die sich zudem überlagern. Unter **kurzfristig** wird ein Zeitraum von bis zu 5 Jahren, unter **mittelfristig** von 5 bis zu 10 Jahren und unter **langfristig** von 10 bis zu 20 Jahren verstanden. In Kapitel 4.1 werden Kurz- und Mittel-/Langfristindikatoren für die Kritikalität von Rohstoffen definiert.

Das untersuchte System ist das **produzierende Gewerbe in Deutschland**. Zum produzierenden Gewerbe gehören der Bergbau, die Gewinnung von Steinen und Erden und das verarbeitende Gewerbe. Statistisch wird der Rohstoffverbrauch von deutschen Unternehmen im Ausland nicht berücksichtigt, wohl aber der Rohstoffverbrauch ausländischer Unternehmen in Deutschland.

⁸ Wie bei den Metallen erfolgt auch hier eine Abgrenzung des aufbereiteten Rohstoffs (z.B. gemahlener Kalk) von der 1. Verarbeitungsstufe (z.B. Zement) und der 2. Verarbeitungsstufe (z.B. Beton), die außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Studie liegen.

3 Import und Verbrauch von Rohstoffen in Deutschland

Deutschland gilt im Allgemeinen als rohstoffarmes Land. Einige Rohstoffe werden dennoch im Lande selbst produziert und teilweise auch in größerem Umfang exportiert. Deutschland führt aber auch eine Fülle an Rohstoffen ein. Die Darstellung des Imports und Verbrauchs von Rohstoffen dient erstens der orientierenden Übersicht und zweitens der Auswahl von Rohstoffen für das Screening der Kritikalität.

3.1 Daten- und Berechnungsgrundlagen

Für die Vorauswahl von Rohstoffen für das Kritikalitäts-Screening interessieren vor allem Rohstoffe mit hoher Importabhängigkeit. Die Importabhängigkeit eines Rohstoffs kann definiert werden als der Nettoimportanteil am Verbrauch eines Rohstoffs.

Nur für wenige Rohstoffe wird der Verbrauch berichtsmäßig erfasst, deshalb muss er berechnet werden.⁹ Für die Bestandsänderungen eines Materials (Speicher S) über die Zeit t gilt folgende Bilanzgleichung:

$$\frac{\delta S}{\delta t} = \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta F}{\delta t} \quad (1)$$

Q steht als Quellterm für die physische Produktion bzw. die physische Vernichtung des Materials und F als Flussterm für den Import (I) und den Export (E). Für den Verbrauch (V) lässt sich Formel (1) ausdrücken als:¹⁰

$$V = P + I - E \quad (2)$$

Der Verbrauch eines Rohstoffes V errechnet sich vereinfacht aus der Produktion P und dem Außenhandelssaldo I – E. Die Importabhängigkeit γ wird ausgedrückt als:

$$\gamma = \frac{I - E}{V} \quad (3)$$

Für Werte von γ zwischen 0 und 1 besteht eine Importabhängigkeit, für negative Werte ein Exportüberschuss.

Es gibt kein umfassendes statistisches Kompendium des Rohstoffverbrauchs für alle wichtigen Stoffe wie Blei, Neodym, Kalisalz, Lithium und Graphit. Hierzu sind Stoffbilanzen erforderlich, die zwar in einzelnen Monographien vorliegen, aber insgesamt stark lückenhaft sind.¹¹ Im Rohstoff-Screening muss zur Abschätzung des Verbrauchs behelfsweise auf Formel (2) zurückgegriffen werden. Die unterschiedlichen Handelsformen lassen sich nicht einfach vertikal addieren oder subtrahieren, da die Rohstoffgehalte unterschiedlich sind.

⁹ Unter Vernachlässigung von Bestandsänderungen ist der errechnete Verbrauch idealerweise mit dem berichteten Verbrauch identisch.

¹⁰ Im stationären Gleichgewicht und bei Vernachlässigung von physischer Vernichtung von Rohstoffen.

¹¹ Nach dem Jahr 2003 wurden die umfassenden statistischen Stoffbilanzen des Statistischen Bundesamtes für Basismetalle wie Blei und Kupfer abgeschafft. Nur für wenige Rohstoffe wie Eisen und Stahl wurden sie bis 2009 weiter geführt.

Das vorliegende Datenmaterial vom Statistischen Bundesamt (Produktions- und Außenhandelsstatistik) und von der BGR (Rohstoffsituation, Rohstoffsteckbriefe, Monographien), die europäischen Bergbaudaten vom British Geological Survey (BGS), die vom österreichischen Bundesministerium für Wirtschaft, Frauen und Jugend (BMWFJ) herausgegebenen globalen Bergbaudaten (World Mining Data) und verschiedene Daten vom United States Geological Survey (USGS Mineral Yearbook, Mineral Commodity Summaries) weisen erhebliche Unterschiede in der Klassifizierung und Quantifizierung von Rohstoffdaten auf. Hauptunterschiede sind das Aggregationsniveau, der (Nicht-)Einbezug von Zwischenprodukten und Halbzeugen, sowie verschiedene methodische Zugänge bei der Indikatorenbildung.

Als Grundgerüst werden der BGR-Publikation „Rohstoffsituation Bundesrepublik Deutschland“ (BGR RoSit 2010) die Außenhandels- und Produktionsdaten entnommen. Die Produktionsdaten der BGR beschränken sich auf Primärrohstoffe auf niedriger Wertschöpfungsstufe. Für die Primärproduktion auf höherer Wertschöpfungsstufe (z.B. von Galliumraffinate als Nebenprodukt der Aluminiumherstellung) und die Sekundärproduktion (z.B. von Kupferraffinate aus Kupferschrott) muss auf andere Quellen zurückgegriffen werden. Die Produktions- und Handelsstatistiken des Statistischen Bundesamtes können punktuell einzelne Lücken der BGR Studie schließen.¹² Einige ausländische Quellen führen die Produktion von Rohstoffen in Deutschland auf, die von der BGR und vom Statistischen Bundesamt nicht abgedeckt werden (z.B. Feldspat von BGS 2009, Selenmetall von USGS MYB 2010). Zur Berechnung der Stoffbilanzen werden auch die Recyclingquoten des EU Criticality Projektes (EC 2010), des UNEP Stocks and Flows Berichtes (UNEP 2010) und der BGR Steckbriefe (2007) verwendet. Für viele Rohstoffe wird ein Metallgehalt benötigt, um aus Produktions- und Handelsdaten auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen einen aggregierten Metallverbrauch zu berechnen (z.B. für Antimontrioxid und Antimon in Erz). Die Metallgehalte finden sich oft nur in Monographien (z.B. FOEN 2007).

Es ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich, die Unterschiede zwischen den Statistiken aufzuklären oder umfassend die Lücken mit Daten aus Monographien zu füllen. Unsicherheiten resultieren aus den Datenunsicherheiten selbst, eigenen Schätzungen und der Aggregation ggf. unterschiedlich definierter Kategorien. Der Einfluss der Unsicherheit unserer Schätzungen auf das Kritikalitätsergebnis wird mit einer Sensitivitätsanalyse untersucht (vgl. Kapitel 4.3.1). Import und Verbrauch an Rohstoffen nach Wert und Menge werden wie folgt dargestellt.

- Der **mengenmäßige Rohstoffverbrauch** wird in dieser Studie aus der inländischen Produktion und dem Außenhandelssaldo errechnet (Gleichung 2). Als Maß für die Importabhängigkeit dient der Anteil des Außenhandelssaldos am Gesamtverbrauch (Gleichung 3).
- Der **wertmäßige Rohstoffverbrauch** wird statistisch nicht erfasst und kann auch nicht sinnvoll errechnet werden, da für viele im Inland eingesetzte Rohstoffe keine Marktpreise existieren. Der Wert der Importe wird von der BGR erfasst und für die Zwecke dieser Studie aufbereitet.

¹² Oft gibt es nur Angaben für ein einzelnes Berichtsjahr (z.B. Produktion von Antimontrioxid für 2006), oder mehrere Rohstoffe sind unter einem Posten aggregiert (z.B. Handel mit Blei, Zink und Zinn). Viele Produktionsdaten sind unbekannt oder geheim, insbesondere wenn es nur einen oder wenige Akteure gibt (z.B. für Industriediamanten, Bimsstein, Schmirgel/Korund/Granat).

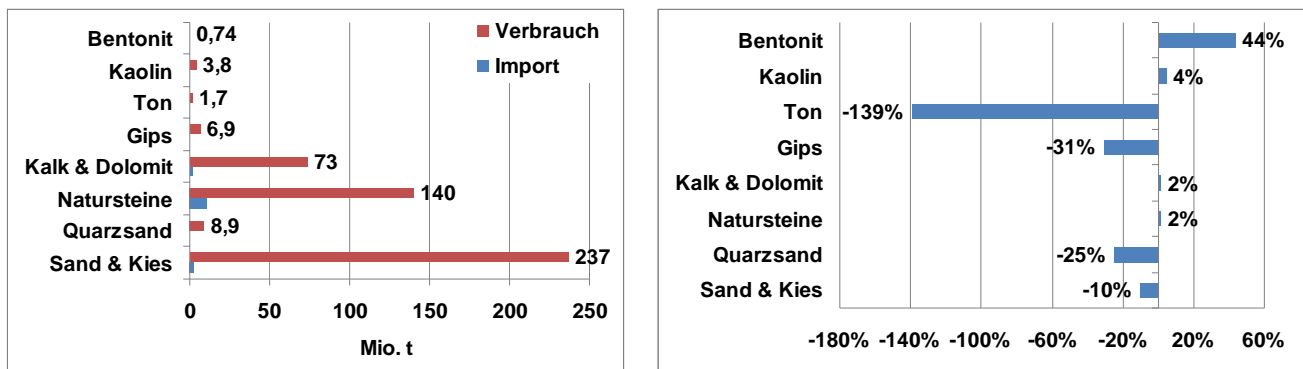
Für die Darstellung des Imports und Verbrauchs werden diejenigen Rohstoffe gewählt, die sowohl in den Berichten der BGR zur Rohstoffsituation Deutschland (2010) als auch in den USGS Mineral Commodity Summaries (2010) dokumentiert sind.¹³ Es resultieren somit rund 70 Rohstoffe für die Unterkategorien Steine und Erden, Industriemineralien und Erze.¹⁴ Daraus wird anhand weiterer Kriterien ein Set von 52 Rohstoffen für das Kritikalitäts-Screening ausgewählt.

3.2 Import und Verbrauch nach Menge

Im Folgenden werden Import und Verbrauch von Steinen und Erden, Industriemineralien und Erzen dargestellt. Im linken Teil der Abbildungen sind die Import- und Verbrauchsmengen abgebildet (die Verbrauchsmengen auch mit Datenbeschriftung). Im rechten Teil der Abbildungen sind die Nettoimportanteile am Verbrauch (ebenfalls mit Datenbeschriftung) angezeigt.

Für Steine und Erden ergibt sich folgendes Bild:

Abbildung 3-1: Import und Verbrauch von Steinen und Erden für Deutschland (2008)



Import und Verbrauch [Mio. Tonnen]

Nettoimportanteil am Verbrauch [Gew.-%]

Quelle und Anmerkungen: BGR RoSit 2010; Gips - Gips- und Anhydritstein inkl. Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen; Naturstein - gemahlen und als Werkstein (minimal); Kalk & Dolomit - für Zement und andere Verwendungen.

Sand & Kies, Natursteine und Kalk & Dolomit dominieren den Verbrauch an Steinen und Erden in Deutschland mit zusammen rund 450 Mio. Tonnen im Jahr 2008. Verschiedene Tone, einschließlich Bentonit und Kaolin (u.a. für die Feuerfest- und Keramikindustrie), Gips und Quarzsand, werden jährlich im Umfang von 6,2 bis 8,9 Mio. Tonnen verbraucht. Die Produktion von

¹³ In USGS MCS (2010) sind einige Rohstoffe aufgeführt, für die es in BGR RoSit (2010) keine Entsprechung gibt: Ammonium, Brom, Caesium, Iod, Helium, Natriumcarbonat und -sulfat, Rubidium und Scandium. Künstliche Schleifmittel und Zement zählen nicht zu den Rohstoffen im engeren Sinn, da sie Zwischenprodukte des verarbeitenden Gewerbes sind. Torf und die radioaktiven Elemente Thorium und Uran werden vorwiegend energetisch und weniger stofflich verwendet. USGS MCS (2011) führt erstmalig die Rohstoffe Wollastonit und Zeolith auf.

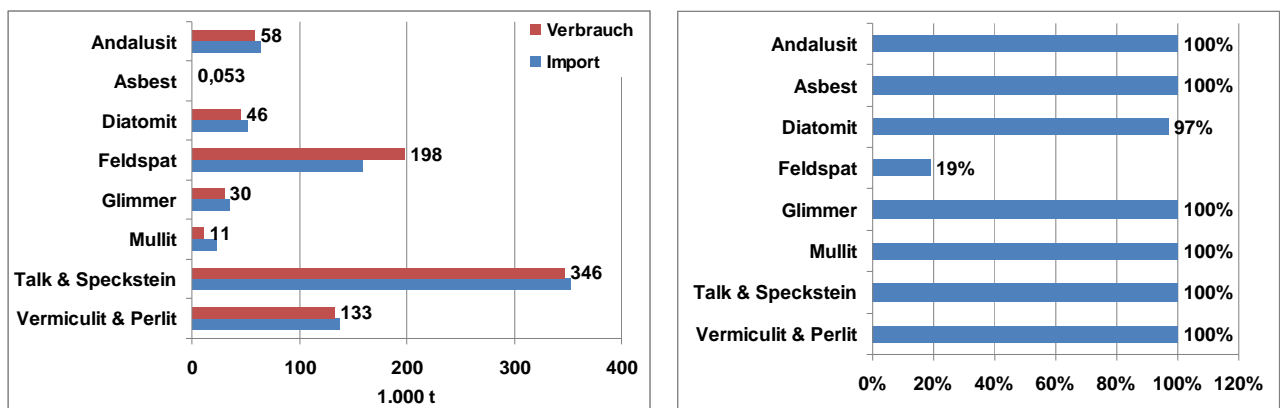
¹⁴ Die u.a. als Schleifmittel verwendeten Minerale Schmirgel, Korund, Granat und Bimsstein bleiben unberücksichtigt, da sich aufgrund fehlender Produktionsangaben für Deutschland kein Verbrauch errechnen lässt.

Gips erfolgt zu rund 7 Mio. Tonnen aus der Rauchgasentschwefelung v.a. von Kraftwerken und zu rund 2 Mio. Tonnen aus dem Abbau von Gips- und Anhydritstein.

Insgesamt ist der Rohstoffverbrauch an Steinen und Erden in Deutschland im Vergleich zu allen anderen mineralischen Rohstoffen sehr hoch. Die Steine und Erden werden vorwiegend für den Eigenverbrauch in Deutschland abgebaut. Nur Bentonit weist mit 44 % einen hohen Nettoimportanteil am Verbrauch auf, für Kaolin, Kalk & Dolomit und Natursteine war der Außenhandelssaldo Deutschlands im Jahr 2008 knapp positiv. Für Gips, Quarzsand und Sand & Kies überwiegt der Export den Import, für Ton sogar sehr deutlich.

Industriemineralien werden in silikatische und nicht-silikatische Rohstoffe eingeteilt,¹⁵ denn die silikatischen Industriemineralien können einander in vielen Anwendungen gegenseitig ersetzen, darunter als Füll- und Filtriermittel.

Abbildung 3-2: Import und Verbrauch von silikatischen Industriemineralien für Deutschland (2008)



Import und Verbrauch [1.000 Tonnen]

Nettoimportanteil am Verbrauch [Gew.-%]

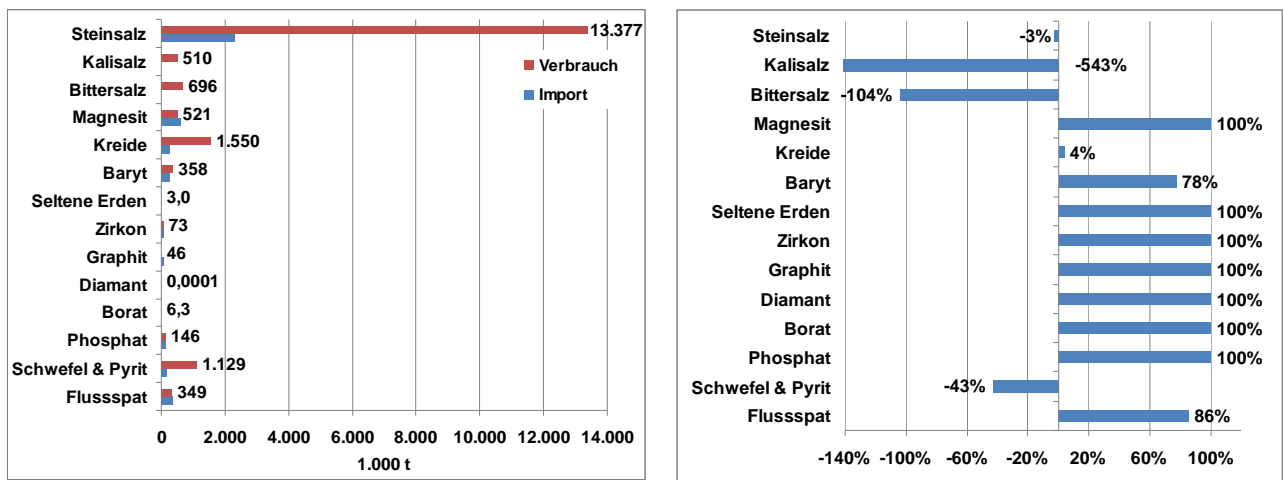
Quellen und Anmerkung: BGR RoSit 2010, USGS MYB 2010; Andalusit – inkl. Cyanit, Sillimanit.

Insgesamt betrachtet liegt der Rohstoffverbrauch an silikatischen Industriemineralien in Deutschland fast drei Größenordnungen unterhalb des Verbrauchs an Steinen und Erden. Der Verbrauch an Talk & Speckstein, Vermiculit & Perlit und Feldspat in Deutschland betrug 2008 zusammen rund 675.000 Tonnen. Asbest wird von Deutschland nur in geringen Mengen importiert. Lediglich für Feldspat trägt die Produktion in Deutschland nennenswert zum Verbrauch bei. Der Nettoimportanteil am Verbrauch liegt für Feldspat bei 19 %, für alle anderen hier abgebildeten silikatischen Industriemineralien bei 100 % oder knapp darunter.

Der Import und der Verbrauch zeigen für die nicht-silikatischen Rohstoffe folgendes Bild:

¹⁵ Natürliche Silikate und Siliciumdioxid machen rund 90 % der Masse der festen Erdkruste aus. Silikate sind Salze der Kieselsäure, die entweder als räumlich begrenzte Inselsilikate oder als räumlich unbegrenzte Ketten-, Band-, Schicht- oder Gerüstsilikate vorkommen (Holleman/Wiberg 1985).

Abbildung 3-3: Import und Verbrauch von nicht-silikatischen Industriemineralien für Deutschland (2008)



Import und Verbrauch [1.000 Tonnen]

Nettoimportanteil am Verbrauch [Gew.-%]

Quellen und Anmerkungen: BGR RoSit 2010, BGR 2010b, BGS 2009, USGS MYB 2010; Flussspat - Hüttenspat und Säurespat; Steinsalz – inkl. Industriesole und Salzlauge (Brine); Nettoimportanteil am Verbrauch für Kalisalz abgeschnitten.

Den höchsten Verbrauch aller Industriemineralien in Deutschland haben die Salze. Die Steinsalze dominieren klar mit über 13 Mio. Tonnen im Jahr 2008, aber auch Kalisalz und Bittersalz werden in Deutschland in großen Mengen verbraucht. Weitere große Verbrauchsposten sind Kreide, Schwefel & Pyrit, Magnesit, Baryt und Flussspat. Verschwindend gering ist der Verbrauch an natürlichem Diamant. Der Verbrauch an Seltenen Erden Oxiden liegt bei geschätzten 3.000 Tonnen, wobei sie teilweise als Industriemineral in Prozessen und teilweise als einzelne Metalle in Produkte eingehen.¹⁶

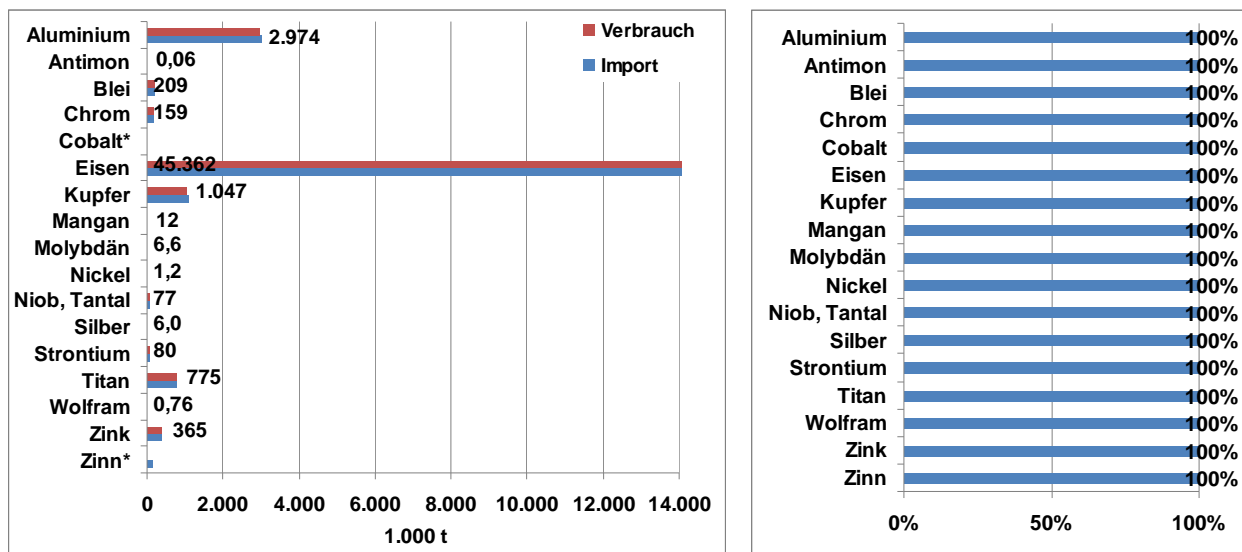
Deutschland hat einen hohen Nettoexportanteil für Kalisalz und das als Kuppelprodukt gewonnene Bittersalz. Auch für Schwefel & Pyrit besteht ein großer Außenhandelsüberschuss. Für Steinsalz und Kreide halten sich Import und Export in etwa die Waage. Für Flussspat und Baryt besteht mit 86 % bzw. 78 % eine hohe Importabhängigkeit. Alle anderen hier aufgeführten Industriemineralien Magnesit, Seltene Erden, Zirkon, Graphit, Naturdiamant,¹⁷ Borat und Phosphat werden vollständig nach Deutschland eingeführt.

Metalle werden als Rohstoffe in Erzen, aber auch in anderen Handelsformen verbraucht. Folgende Erze werden nach Deutschland eingeführt:

¹⁶ Die Seltenen Erden können sowohl den Industriemineralien als auch den Metallen zugeordnet werden. In dieser Studie sind sie den Industriemineralien zugeordnet (vgl. u.a. auch Harder 2008), da die Produktion von Industriemineralien grundsätzlich nachfolgend auch die aufwändige Gewinnung der einzelnen Metalle zulässt.

¹⁷ Edelsteine werden nur in geringem Maße technisch verwendet.

Abbildung 3-4: Import und Verbrauch von Erzen und Konzentraten für Deutschland (2008)



Import und Verbrauch [1.000 Tonnen]

Nettoimportanteil am Verbrauch [Gew.-%]

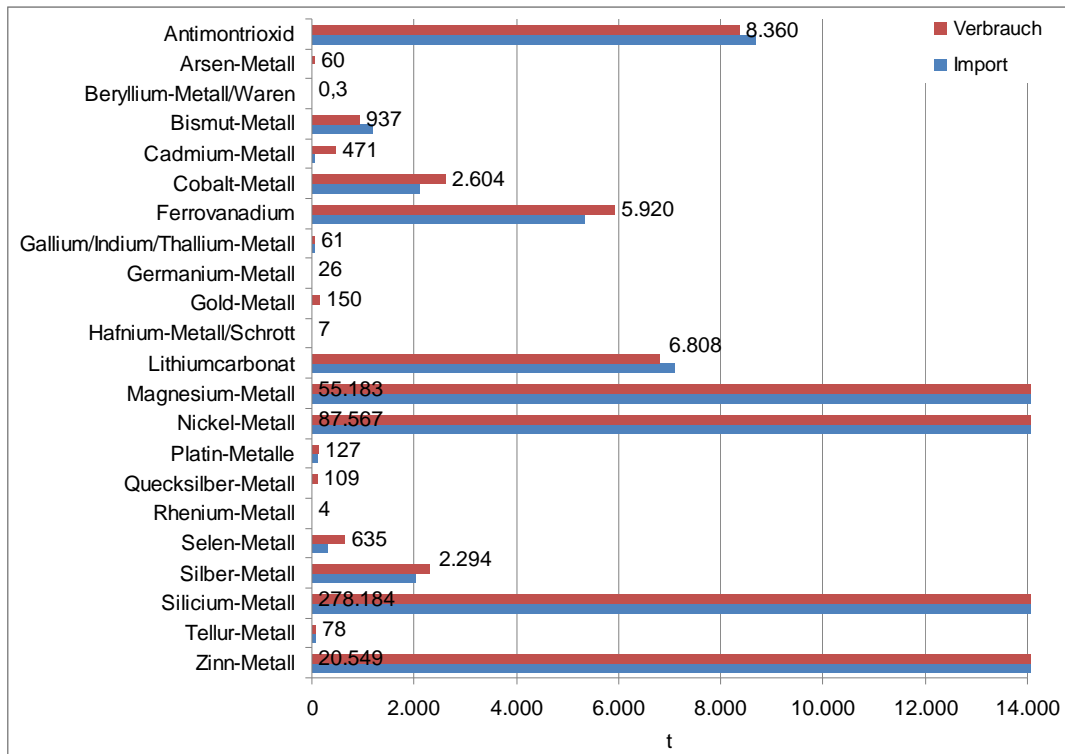
Quellen und Anmerkungen: BGR RoSit 2010, BGS 2009, USGS MYB 2010; Niob, Tantal – zusammen ausgewiesen; Import und Verbrauch für Eisen abgeschnitten; * negative Verbrauchswerte durch Exportüberschuss.

Die **Importabhängigkeit von primären Rohstoffen** beträgt für alle Metalle 100 %, weil in Deutschland zur Zeit keine Erze und Konzentrate von Metallen produziert werden. Mengenmäßig dominieren die Einfuhr und der Verbrauch an Eisenerz-Konzentraten, vor Bauxit (Aluminium), Kupfer- und Titanerzkonzentraten. Die Einfuhren von Niob und Tantal sind nicht getrennt ausgewiesen. Im Jahr 2008 wurden auch Erze und Konzentrate von Antimon, Cobalt, Nickel, Silber und Zinn nach Deutschland eingeführt. Im Vergleich zu den anderen Handelsformen dieser Metalle (u.a. Ferrolegierungen, Chemikalien oder raffinierte Metalle) sind die gehandelten Erz- und Konzentratmengen aber sehr gering. Andere Rohstoffe werden überhaupt nicht als Erze und Konzentrate gehandelt (z.B. Hafnium, Rhenium). Auch wenn die direkten Importe dieser Rohstoffe teilweise unterhalb ihres Verbrauchs liegen, beträgt der Importanteil der primären Rohstoffe am Gesamtverbrauch für alle diese Rohstoffe doch in erster Näherung 100 %, weil sie für ihre Primärproduktion in anderen Erzen mit nach Deutschland eingeführt werden.

In den Handelsformen als Ferrolegierungen, Chemikalien oder raffinierte Metalle ist nicht erkennbar, ob die Vorstoffe aus primären oder sekundären Rohstoffquellen stammen. Durch sekundäre Vorstoffe kann die benötigte Menge an primären Rohstoffen verringert werden. Die **Importabhängigkeit von Rohstoffen in allen Handelsformen (einschließlich Sekundärrohstoffe)** unterscheidet sich deshalb in der Regel von der Importabhängigkeit von primären Rohstoffen (vgl. Kapitel 2 „Rohstoffprofile“ im separaten Anhangsdokument).

Folgende Abbildung gibt einen Größeneindruck vom Import und Verbrauch der Haupthandelsform von Metallen, die nicht oder nur geringfügig als Erze und Konzentrate nach Deutschland importiert werden.

Abbildung 3-5: Schätzungen des Imports und Verbrauchs von Metallen auf höherer Wertschöpfungsstufe für Deutschland (2008)



Quellen und Anmerkung: Eigene Darstellung IZT/adelphi basierend auf BGR RoSit 2010, BGS 2009, StaBuA 2009, 2011; USGS MYB 2010; Import und Verbrauch für Magnesium-, Nickel-, Silicium- und Zinnmetall abgeschnitten.

Überwiegt der Verbrauch bei einer dieser Handelsformen den Import, so deutet dies in einigen Fällen auf die Produktion als Nebenprodukt aus importierten Hauptrohstoffen hin. Beispiele sind Ferrovandium (Nebenprodukt der primären Aluminiumproduktion), Cadmium (Nebenprodukt der primären Blei/Zinkproduktion), Cobalt und Selen (Nebenprodukte der primären Kupferproduktion). Die Importe für einzelne Metalle, die nur in aggregiert ausgewiesenen Handelskategorien (wie bei Gallium/Indium/Thallium oder Rhenium in Verbindung mit Niob) vorliegen, können nur grob geschätzt werden. Ähnlich unsicher sind die Verbrauchsangaben für Edelmetalle wie Silber, Gold und Platinmetalle. Überwiegt für diese Edelmetalle der Verbrauch die Importe, so ist dies nicht nur auf den Import als Nebenprodukte von Hauptrohstoffen zurückzuführen, sondern in hohem Maße auch auf die Produktion aus Sekundärrohstoffen.

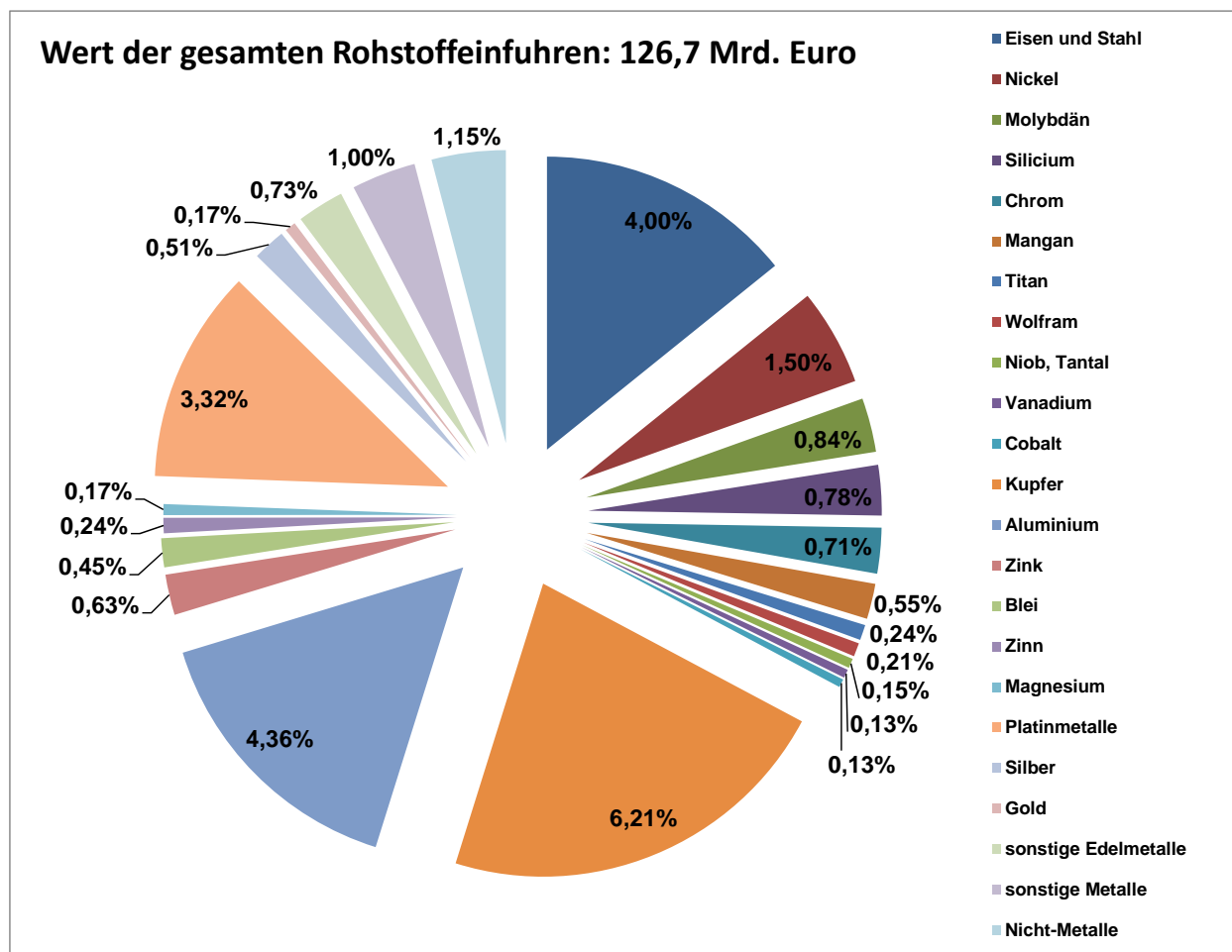
3.3 Import und Verbrauch nach Wert

Die bisherigen Betrachtungen fokussieren auf die Menge an mineralischen Rohstoffen in Gewichtseinheiten. Der Wert von Rohstoffen in monetären Einheiten kann insgesamt noch schwieriger beziffert werden, weil die Datenlage noch prekärer ist. Unter anderem verzichten die ausländischen Quellen auf monetäre Betrachtungen. Der Wert eines Rohstoffes kann als Importwert, Produktionswert, Verbrauchswert und so weiter bestimmt werden. Diese Betrachtungen sind jedoch unzureichend: Der eigentliche Wert eines Rohstoffes für die deutsche Volkswirtschaft bemisst sich vielmehr an der Wertschöpfung der verarbeitenden Industrie und nachgelagerter Wertschöpfungsketten. Die Frage nach der Wertschöpfung ist aber zu komplex, um sie

auf dieser allgemeinen Ebene zu behandeln. Es wird deshalb an dieser Stelle auf eine detaillierte Analyse des Import- und Verbrauchswertes verzichtet. Um einen groben Eindruck für die Größenordnung der Rohstoffwerte zu geben, wird eine Übersicht der BGR (RoSit 2009) zum Wert der Rohstoffeinfuhren für mineralische Rohstoffe aufbereitet und es wird der Gesamtwert aller Roh-, Hilfsstoffe und fremdbezogenen Vorprodukte des produzierenden Gewerbes in Deutschland des Statistischen Bundesamtes (2009) angegeben.

Insgesamt dominieren die energetischen Rohstoffe mit 73 % den Wert der gesamten deutschen Rohstoffeinfuhren in Höhe von insgesamt 126,7 Mrd. Euro im Jahr 2008 (BGR RoSit 2009). Die verbleibenden 34,2 Mrd. Euro (27 %) entfallen auf die mineralischen Rohstoffe. Die Einfuhr dieser mineralischen Rohstoffe nach Deutschland hatte 2008 folgende Verteilung nach Wert (Abbildung 3-6):

Abbildung 3-6: Prozentualer Anteil der mineralischen Rohstoffe am Gesamtwert der Rohstoffeinfuhren nach Deutschland (2008)



Quelle und Anmerkungen: BGR RoSit 2009; Die Summe des Wertes der dargestellten mineralischen Rohstoffeinfuhren beträgt 27 % der gesamten Rohstoffeinfuhren.

Alle Nicht-Eisen Metalle (Kupfer, Aluminium, Zink, Blei, Zinn, Magnesium) kommen zusammen auf etwa 12 % des Wertes der gesamten deutschen Rohstoffeinfuhren, wobei Kupfer und Aluminium dominieren. Eisen und Stahl rangieren als eigene Kategorie mit 4 % direkt dahinter. Bei den Stahlveredlern entfällt mit 1,5 % der größte Anteil auf Nickel, bei den Edelmetallen vereinen

die nur in geringen Mengen gehandelten Platingruppenmetalle mit über 3 % einen beträchtlichen Anteil des Importwertes auf sich.

Die Material- und Wareneingangserhebung des Statistischen Bundesamtes erfasst die Kategorien Roh-, Hilfsstoffe, fremdbezogene Vorprodukte, Betriebsstoffe, Verpackungsmaterial und Energie für das produzierende Gewerbe. Im Bergbau und verarbeitenden Gewerbe entfielen 2006 mit 884 Mrd. Euro 92,4 % des gesamten Material- und Wareneingangswertes in Höhe von 956 Mrd. Euro auf Roh-, Hilfsstoffe und fremdbezogene Vorprodukte (StaBuA 2009).

3.4 Auswahl von Rohstoffen für das Kritikalitäts-Screening

Die nach Import und Verbrauch dargestellten Rohstoffe sind im Hinblick auf das Kritikalitäts-Screening weiter zu differenzieren, zu aggregieren und zu filtern. Während sich Differenzierung und Aggregation nach der Datenlage in BGR RoSit (2010) und USGS MCS (2010) richten, werden folgende Filterkriterien angewendet:

1. Importabhängigkeit: Die Konzeption der Kritikalität als vornehmlich externes Versorgungsrisiko in den Terms of Reference und in der Rohstoffstrategie der Bundesregierung rückt das Kriterium der Importabhängigkeit in den Vordergrund.
2. Ökonomische Mindestrelevanz: Da die Kritikalität neben dem Versorgungsrisiko auch die Vulnerabilität der Volkswirtschaft einschließt, muss eine ökonomische Mindestbedeutung erfüllt sein.
3. Repräsentation: Aus den Rohstoffgruppen Steine und Erden, silikatischen und nicht-silikatischen Industriemineralien, Erzen und anderen Handelsformen von Metallen sollen jeweils mehrere Rohstoffe ausgewählt werden, um die Breite des Rohstoffspektrums abzudecken.

Im Einzelfall wird die (Nicht-)Berücksichtigung eines Rohstoffs im Kritikalitäts-Screening mit der Bedeutung für Zukunftstechnologien und dominierenden Spekulationsfaktoren begründet, und somit das Erkenntnisinteresse der Studie als Maßstab angelegt. Folgendes Set an Rohstoffen wurde für das Kritikalitäts-Screening ausgewählt:

Tabelle 3-1: Rohstoff-Set für das Kritikalitäts-Screening

Steine und Erden	silikatische Industriemineralien	sonstige Industriemineralien	Erze der Metalle	sonstige Metalle
Bentonit	Diatomit	Bauxit (Al)	Aluminium	Beryllium
Kaolin	Glimmer	Magnesit (Mg)	Antimon	Gallium
Gips	Talk & Speckstein	Ilmenit & Rutil (Ti)	Blei	Germanium
Kalk	Vermiculit & Perlit	Baryt	Chrom	Hafnium
		Borat	Cobalt	Indium
		Diamant	Eisen	Lithium
		Flussspat	Kupfer	Magnesium
		Graphit	Mangan	Palladium
		Phosphat	Molybdän	Platin
		Seltene Erden	Nickel	Rhenium
		Zirkon	Niob	Selen
			Silber	Silicium
			Strontium	Tellur
			Tantal	Vanadium
			Titan	Bismut
			Wolfram	
			Zinn	
			Zink	

Quelle und Anmerkung: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Analysen basierend auf den Kriterien Importabhängigkeit, ökonomische Mindestrelevanz und Repräsentation der Rohstoffgruppen.

Bentonit hat von den Steinen und Erden die höchste Importabhängigkeit, gefolgt von Kaolin. Trotz geringer Importabhängigkeit werden Gips und Kalk weiter verfolgt. Gips ist aufgrund seiner besonderen Produktionsstruktur von Interesse, da im Zuge der Energiewende der Bedarf nach Rauchgasentschwefelung und damit die Hauptquelle für Gips sinken wird.¹⁸ Die Produktion der deutschen Baustoffindustrie wird wertmäßig von Betonbauteilen, Zement und Transportbeton dominiert (BBS 2010), für alle drei Segmente ist Kalk der zentrale Rohstoff. Zudem wird gebrannter Kalk für die Rauchgasentschwefelung bzw. die Gipsproduktion eingesetzt.

Die silikatischen Industriemineralien können einander in vielen Anwendungen gegenseitig ersetzen, darunter als Füll- und Filtriermittel. Deshalb sind vor allem die massenhaft verbrauchten Industriemineralien von Interesse (Talk & Speckstein, Vermiculit & Perlit, Feldspat). Mit Ausnahme von Feldspat ist bei allen untersuchten silikatischen Industriemineralien die Importabhängigkeit sehr hoch. Von den drei mengenmäßig folgenden Industriemineralien (Andalusit/Cyanit/Sillimanit, Diatomit, Glimmer) gelangen Glimmer und Diatomit ins Kritikalitäts-Screening. (Platten)Glimmer wird in Elektrik und Elektronik verwendet. Diatomit hat nach USGS MCS (2010) einzigartige Eigenschaften, wogegen es für Cyanit und Mullit geeignete Substitute auf dem Markt gibt. Asbest hat in Deutschland eine geringe Mengenrelevanz. Für die Salze (Kali-, Bitter- und Steinsalz) und Schwefel & Pyrit erzielt Deutschland teilweise hohe Exportüberschüsse, die Importabhängigkeit für Kreide ist gering. Für die übrigen hier aufgeführten

¹⁸ Interview mit Herrn Reimann (Fa. Knauf) 2011.

Industrieminerale ist die Importabhängigkeit hoch.¹⁹ Bauxit, Magnesit und Zirkon werden in der Feuerfestindustrie eingesetzt, aus ihren Mineralen können auch die Metalle gewonnen werden. Letzteres gilt auch für Ilmenit & Rutil, hauptsächlich werden sie aber zu Titandioxid-Weißpigment für Farben und Lacke verarbeitet. Baryt, Borat, Diamant, Flussspat, Graphit, Phosphat, Seltene Erden haben sehr spezifische Eigenschaften, die sie in einigen Anwendungen nur schwer ersetzbar machen. Für die natürlichen Schleifmittel Korund/Schmirgel/Granat und Bimsstein sind dagegen künstliche Schleifmittel wie Aluminiumoxide und Siliciumcarbide als Ersatzstoffe auf dem Markt.²⁰

Für die als Erze importierten Metalle beträgt die Importabhängigkeit durchgängig 100 %, weshalb sie alle in das Screening eingeschlossen werden. Bei den sonstigen Handelsformen von Metallen müssen aufgrund ihrer unüberschaubaren Vielfalt dagegen Abstriche gemacht werden. Es wird auf die Analyse besonders toxischer Metalle verzichtet, deren Absatz aufgrund staatlicher Regulierungen in Europa im letzten Jahrzehnt stark rückläufig gewesen ist. Dazu gehören Arsen, Cadmium und Quecksilber. Auch Thallium ist hoch toxisch und zudem gesamtwirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung. Aufgrund ihrer minimalen volkswirtschaftlichen Relevanz werden auch Caesium und Rubidium nicht untersucht. Ausnahmen wurden für Beryllium, Hafnium und Rhenium gemacht, deren Nachfrage für Zukunftstechnologien bedeutsam ist. Edelmetalle haben nicht nur Anwendungen in Zukunftstechnologien, sondern sie sind auch Spekulationsobjekte. In Anbetracht dessen werden Silber, Platin und Palladium auf Grund ihrer hohen Bedeutung für Zukunftstechnologien betrachtet, während Gold und einige Platingruppenmetalle wegen des hohen Spekulationseinflusses nicht weiter verfolgt werden.²¹

¹⁹ Für Schmirgel, Korund, Granat und Bimsstein ist die Importabhängigkeit quantitativ nicht bekannt, vermutlich aber ebenfalls hoch.

²⁰ Der Einfluss von massenmarktgängigen künstlichen Substituten auf die Kritikalität wird für natürlichen Diamant illustriert.

²¹ Bei starkem Spekulationseinfluss, wie z.B. bei Gold, spielt die Nachfrage des produzierenden Gewerbes nur eine untergeordnete Rolle, was große Unsicherheiten für Kritikalitätsabschätzungen aus Sicht des produzierenden Gewerbes aufwirft.

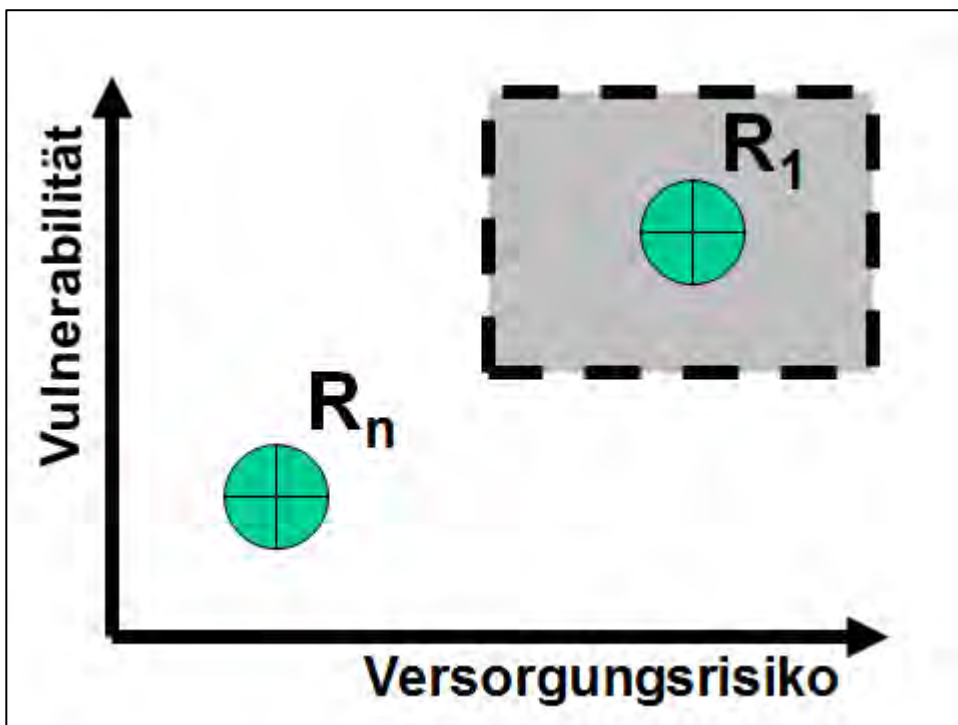
4 Screening der Kritikalität

Für das Kritikalitäts-Screening wird in diesem Kapitel eine eigene Methodik entwickelt. Der Darstellung der Ergebnisse schließen sich eine Diskussion von Daten- und methodischen Unsicherheiten, Kurz- und Langfristaspekten der Kritikalität sowie eine Einordnung der Ergebnisse vor dem Hintergrund anderer Studien an.

4.1 Grundkonzept und Indikatoren

Aus den vier grundsätzlichen Konzepten zur Bestimmung der Kritikalität von Rohstoffen (Index, Matrix, Angebot/Nachfrage-Modell und Multi-Indikatoren-Set, vgl. Kapitel 2.1) wird im Rahmen dieser Studie das **Matrixkonzept** gewählt. Das Indexkonzept erscheint aus Sicht der Autoren zu hoch aggregiert, das Multi-Indikatoren-Set dagegen zu desaggregiert, um handlungsrelevante Schlüsse zu ziehen. Ein quantitatives Angebot/Nachfrage-Modell unterschlägt die weichen, unsicheren und qualitativen Faktoren, die für die Rohstoffversorgung ausschlaggebend sein können. Das Matrixkonzept bietet den Vorteil, das Versorgungsrisiko von der Vulnerabilität der Wirtschaft zu trennen. Zudem hat das Matrix-Konzept den Vorteil hoher Anschaulichkeit (Abbildung 4-1).

Abbildung 4-1: Das Matrix-Konzept der Kritikalität



Quelle und Anmerkungen: NRC 2008; R_1 - R_n sind Rohstoffe, die durch ihre Werte für die beiden Dimensionen Vulnerabilität und Versorgungsrisiko in der Kritikalitätsmatrix verankert sind; der Bereich hoher Kritikalität ist grau unterlegt.

Das Matrix-Konzept unterscheidet sich von anderen Konzepten auch dadurch, dass es zwei notwendige Bedingungen für die Kritikalität eines Rohstoffs aufstellt: hohe Vulnerabilität und ein hohes Versorgungsrisiko. Nur eine hohe Vulnerabilität bei geringem Versorgungsrisiko oder nur

ein hohes Versorgungsrisiko bei geringer Vulnerabilität sind keine hinreichenden Kriterien für Kritikalität.

Die Kritikalität eines Rohstoffs wird **in vier Schritten** in der Kritikalitätsmatrix mit ihren beiden Achsen verortet:

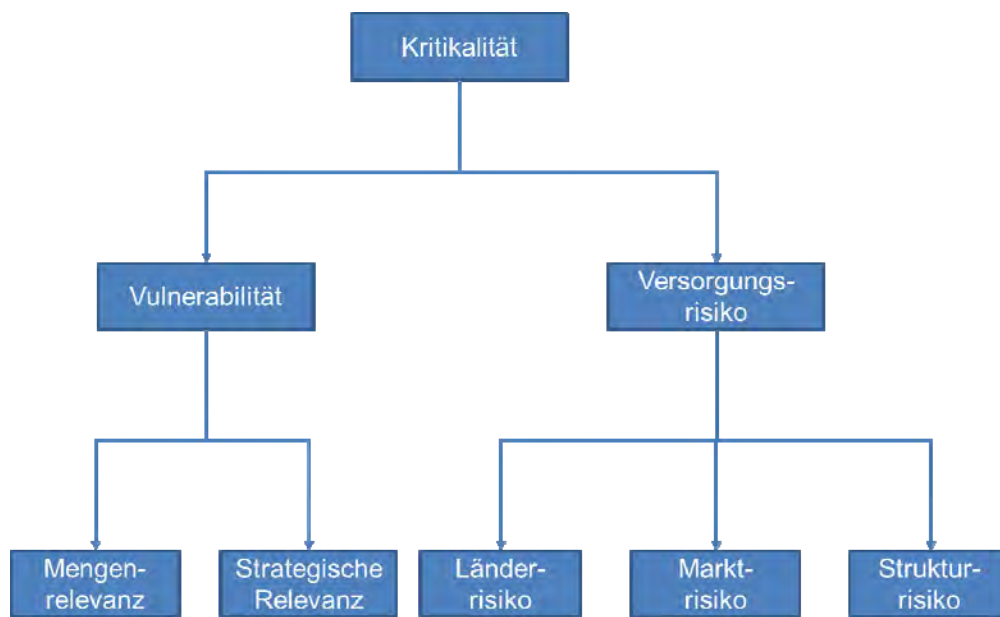
1. Es werden jeweils mehrere Indikatoren für die Vulnerabilität und für das Versorgungsrisiko definiert.
2. Jedem Rohstoff wird für jeden Indikator ein Wert zugewiesen. Die einzelnen Indikatoren können Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je näher der Wert eines Rohstoffs für den Indikator bei 1 liegt, desto höher ist der Beitrag des Indikators zur Vulnerabilität bzw. zum Versorgungsrisiko.
3. Die Indikatorwerte für die beiden Dimensionen der Kritikalität, die Vulnerabilität und das Versorgungsrisiko, werden unterschiedlich gewichtet und jeweils zu einem Gesamtwert für die Vulnerabilität und für das Versorgungsrisiko addiert. Die Vulnerabilität und das Versorgungsrisiko eines Rohstoffs können wie die einzelnen Indikatoren jeweils Werte zwischen 0 und 1 annehmen.
4. Die beiden Werte eines Rohstoffs für die Vulnerabilität und für das Versorgungsrisiko legen die Position des Rohstoffs in der Kritikalitätsmatrix fest.

Durch Verortung mehrerer Rohstoffe in einer Kritikalitätsmatrix können nur relative Aussagen bezüglich ihrer Kritikalität getroffen werden, d.h. ob ein Rohstoff „kritischer“ als ein anderer ist.

Die Zuweisung eines Wertes für einen Indikator beruht auf Datenanalysen und eigenen Berechnungen (vgl. separater Anhangsband). Wenn Unsicherheiten in der Zuweisung bestehen, geht die aus Sicht der Autoren plausibelste Einschätzung als Referenzwert in die Bestimmung der Kritikalität ein (Kapitel 4.2). Durch Angabe eines – nach Auffassung der Autoren – minimalen und maximalen Wertes wird in Kapitel 4.3.1 der Einfluss von Datenunsicherheiten auf die Kritikalität simuliert.

Bevor Indikatoren für die verschiedenen Bewertungen entwickelt werden, wird ein **Kriterienrahmen** für die beiden Analysedimensionen entfaltet (Abbildung 4-2). Die Kriterien sollen sowohl mit Kurzfrist- (Status Quo, jüngere Dynamik) als auch mit Mittel/Langfrist-Indikatoren (Projektionen, Struktur) gemessen werden. Kurzfristige Trends können sich zu mittel- bis langfristigen Trends entwickeln und/oder mittel- bis langfristige Wirkung entfalten.

Abbildung 4-2: Analysekriterien für die Dimensionen der Rohstoffkritikalität



Quelle: Eigene Darstellung IZT/adelphi.

Die Vulnerabilität der deutschen Volkswirtschaft hat eine Mengendimension und eine strategische Dimension. Zur Abbildung der Mengendimension werden Daten zum Import und Verbrauch von Rohstoffen herangezogen. Die Mengendimension wird mit drei Kurzfristindikatoren gemessen: (1) Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008), (2) Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) und (3) Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008). Die strategische Dimension eines Rohstoffs für die Volkswirtschaft berührt die zentralen Fragen der heutigen und zukünftigen Wertschöpfung sowie die Ersetzbarkeit des Rohstoffs. Die Messung der strategischen Rohstoffrelevanz umfasst die mittel- bis langfristigen Indikatoren (1) Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland, (2) globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030) und (3) Substituierbarkeit.

Zu den Versorgungsrisiken für die deutsche Volkswirtschaft gehören Länderrisiken, Marktrisiken und Strukturrisiken. Länderrisiken können sich auf die Produktion oder den Import beziehen. Länderrisiken resultieren aus der Abhängigkeit von wenigen Ländern, wenn die Rohstoffversorgung durch schlechte Governance oder durch strategische Rohstoffpolitik erschwert wird. Die kurzfristigen Länderrisiken werden (1) für die Hauptimportquellenländer Deutschlands und (2) für die globalen Hauptproduktionsländer mit Gewichtung durch länderspezifische Risikofaktoren gemessen. Die mittel- bis langfristigen Länderrisiken werden (3) als Konzentration der globalen Reserven gefasst. Marktrisiken der Rohstoffversorgung (Preis- und Lieferrisiken) können ihren Ursprung beispielsweise in großer Marktmacht weniger Unternehmen oder in beschränkten ökonomisch gewinnbaren Vorräten haben. Als kurzfristiges Marktrisiko wird die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion gewählt (1), als mittel- bis langfristiges Marktrisiko wird (2) das Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion analysiert. Zu den Strukturrisiken gehören physikalisch-technische Restriktionen der Rohstoffgewinnung. Sie werden gemessen (1) als Anteil der globalen Gewinnung eines Rohstoffs als Haupt- bzw. Nebenprodukt und (2) als Recyclingfähigkeit. Diese beiden Indikatoren werden eher mittel- bis langfristig wirksam.

Die Versorgungsstörungen durch physische Unterbrechungen der Supply Chain durch menschliche oder natürliche Ursachen bleiben unberücksichtigt (z.B. durch Sabotage bzw. Erdbeben), weil ihre Messung unausgereift ist und die Auswirkungen in der Regel innerhalb weniger Wochen/Monate behoben werden können (u.a. Umleitung von Handelsströmen).²² Der Bergbau kann lokal auch durch interne Ursachen eingeschränkt werden, wie durch Einbrüche von Stollen oder Dämmen, in deren Folge die Betriebsgenehmigung aufgehoben wird (z.B. Abbau von Seltenen Erden am Mountain Pass Deposit in den USA). In allgemeinerer Sichtweise bestehen strukturelle Versorgungsrisiken durch Landnutzungskonkurrenz und die Haltung der lokalen Bevölkerung zu Bergbauprojekten. All die lokalen und regionalen Indikatoren haben gemeinsam, dass sie wenig entwickelt sind und dass – von wenigen Ausnahmen abgesehen – die Datenlage unzureichend bzw. sehr lokalisiert ist. Auch auf eine Behandlung der geologischen Verfügbarkeit wird wegen unzureichender Operationalisierung der Indikatoren und fehlender Relevanz für den Zeitraum dieser Studie verzichtet (maximal 20 Jahre, vgl. Kapitel 2.3).

Folgende Tabelle zeigt die **Indikatoren für die Analysekriterien** mit ihrer zeitlichen Relevanz im Überblick, bevor ihre Operationalisierung im Einzelnen erläutert wird:

Tabelle 4-1: Indikatoren für das Kritikalitäts-Screening

Vulnerabilität	Zeitliche Relevanz	Versorgungsrisiko	Zeitliche Relevanz
Mengenrelevanz		Länderrisiko	
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	kurzfristig	Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	kurzfristig
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	kurzfristig	Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	kurzfristig
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	kurzfristig	Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	mittel- bis langfristig
Strategische Relevanz		Marktrisiko	
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland	mittel- bis langfristig	Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	kurzfristig
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	mittel- bis langfristig	Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	mittel- bis langfristig
Substituierbarkeit	mittel- bis langfristig	Strukturrisiko	
		Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	mittel- bis langfristig
		Recyclingfähigkeit	mittel- bis langfristig

Quelle: Eigene Darstellung IZT/adelphi.

²² Anhaltende, politisch motivierte Sabotage oder Unterbrechungen auf Grund von kriegerischen Auseinandersetzungen führen hingegen zu häufigen und/oder längeren Lieferunterbrechungen. Liegen die Ursachen hierfür in schlechter Governance (vgl. Kapitel 6), so werden diese potentiellen Lieferunterbrechungen unter den Länderrisiken der Importe Deutschlands bzw. der globalen Produktion indirekt erfasst.

In die Bestimmung der Vulnerabilität und des Versorgungsrisikos eines Rohstoffs gehen alle in Tabelle 4-1 aufgeführten Indikatoren ein (vgl. Kapitel 4.2). Darüber hinaus wird in einer weiteren Auswertung nach kurz- und mittel/langfristigen Indikatoren für die Vulnerabilität und das Versorgungsrisiko unterschieden (Kapitel 4.3.3).

Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)

Der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch für 2008 signalisiert die Bedeutung eines Rohstoffs für die verarbeitende Industrie speziell in Deutschland. Der Weltverbrauch an Primärrohstoffen kann mit Hilfe der Primärproduktion angenähert werden. Der Verbrauch in Deutschland findet jedoch vielfach auf verschiedenen höheren Wertschöpfungsstufen statt. Problematisch für die Bildung dieses Indikators ist die uneinheitliche Datenbasis. Der weltweite Gesamtverbrauch an Rohstoffen wird deshalb aus dem Weltverbrauch an Primärrohstoffen mit Berücksichtigung der Aufbereitungsverluste und der globalen Recyclingquote abgeschätzt. Alle Handelsformen der Metalle werden mit ihren Rohstoffgehalten berücksichtigt.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für einen Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) von $\geq 10\%$,
- 0,7 für einen Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) zwischen $< 10\%$ und $\geq 5\%$,
- 0,3 für einen Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) zwischen $< 5\%$ und $\geq 1\%$ und
- 0 für einen Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) von $< 1\%$.

Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)

Dieser Indikator gibt Hinweise auf Verbrauchstendenzen in Deutschland zwischen 2004 und 2008. Zusätzlich zu den Unsicherheiten der Bestimmung des Rohstoffverbrauchs für 2008 (Kapitel 3.1) kommt eine noch schlechtere Datenlage für ältere Jahre hinzu. Kann eine Datenlücke für 2004 nicht geschlossen werden, so wird der entsprechende Wert für 2008 angesetzt. Die Verbrauchsdynamik wird somit eher konservativ abgeschätzt.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für eine Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) von $\geq +50\%$,
- 0,7 für eine Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) zwischen $< +50\%$ und $\geq +25\%$,
- 0,3 für eine Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) zwischen $< +25\%$ und $\geq +10\%$ und
- 0 für eine Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) von $< +10\%$.

Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)

Die Änderung der Importe Deutschlands zwischen 2004 und 2008 ist indirekt in der Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch enthalten. Verbrauchszuwächse können aber auch aus eigenen Quellen gedeckt werden. Die spezifische Ausweisung der Änderung der Importe nach Deutschland gibt an, ob Vulnerabilität tatsächlich gegenüber den externen Versorgungsstörungen der Importe besteht.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für eine Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) von $\geq +50\%$,
- 0,7 für eine Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) zwischen $< +50\%$ und $\geq +25\%$,
- 0,3 für eine Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) zwischen $< +25\%$ und $\geq +10\%$ und
- 0 für eine Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) von $< +10\%$.

Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland

Preisanstiege oder Lieferengpässe für Rohstoffe können einen unterschiedlichen Einfluss auf die deutsche Wirtschaft haben. Für die Sensitivität der Wertschöpfungskette gibt es kein geeignetes quantitatives Maß. Der Ansatz der EU, über die Verwendungsstruktur eines Rohstoffes in Megasektoren die ökonomische Bedeutung zu messen (EC 2010), führt nach Auffassung der Autoren zu keinen hinreichend sinnvollen Differenzierungen. Deshalb werden semantische Indikatoren verwendet, die über die potentielle Breitenwirkung einer Rohstoffversorgungskrise auf die deutsche Wirtschaft Auskunft geben. Eine solche Breitenwirkung wird eher mittel- bis langfristig voll wirksam.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für Auswirkungen auf weite Teile der Volkswirtschaft,
- 0,7 für Auswirkungen auf einzelne Schlüsselbranchen,²³
- 0,3 für Auswirkungen auf einzelne andere Branchen und
- 0 für isolierte Auswirkungen auf einzelne Unternehmen.

Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)

Unter Zukunftstechnologien verstehen die Autoren dieser Studie industriell verwertbare technische Fertigkeiten, die revolutionäre Innovationsschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren hinaus auslösen (vgl. ISI/IZT 2009). Sie zeichnen sich dadurch aus, dass ihre

²³ Zu den Schlüsselbranchen gehören nicht nur Zukunftsbranchen, sondern auch andere etablierte Branchen, die eine hohe Bruttowertschöpfung erzielen, hohe Beschäftigtenzahlen aufweisen oder aus anderen Gründen für die Volkswirtschaft essentiell sind (z.B. Werkzeugmaschinenherstellung, Kunststoffverarbeitung, Landwirtschaft).

zukünftige Marktdurchdringung vermutlich schneller als das Wirtschaftswachstum verlaufen wird und dass ein großer Anteil der zukünftigen Wertschöpfung in einer Volkswirtschaft von ihnen abhängt. Hierzu gehören zum Beispiel die Elektromobilität und die Radio Frequency Identification (RFID) zur Identifizierung von Objekten über Funk. In einer globalisierten Welt, die im Wettbewerb bei diesen Zukunftstechnologien steht, ist die nationale Perspektive aber nur begrenzt sinnvoll.²⁴ Aufbauend auf ISI/IZT (2009) werden die globalen Impulse auf die Rohstoffnachfrage durch Zukunftstechnologien im Jahr 2030 neu bewertet²⁵ und klassifiziert. Der Indikator gibt das Verhältnis der geschätzten Rohstoffnachfrage durch Zukunftstechnologien im Jahr 2030 zur Produktionsmenge des Rohstoffs im Jahr 2008 an.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für einen globalen Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030) von ≥ 200 % der globalen Rohstoffproduktion (2008) (sehr sensitiv),
- 0,7 für einen globalen Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030) zwischen < 200 % und ≥ 100 % der globalen Rohstoffproduktion (2008) (sensitiv),
- 0,3 für einen globalen Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030) zwischen < 100 % und ≥ 50 % der globalen Rohstoffproduktion (2008) (intensiv) und
- 0 für einen globalen Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030) von < 50 % der globalen Rohstoffproduktion (2008) (unkritisch).

Substituierbarkeit

Die Substitution kann auf elementarer oder auf werkstofflicher Ebene, auf Komponenten- oder Produktebene oder auf Funktionsebene erfolgen. Für rohstoffliche Analysen ist insbesondere die Materialsubstitution auf elementarer oder auf werkstofflicher Ebene relevant. In der EU-Studie (EC 2010) wurde diese Substituierbarkeit für die wesentlichen Rohstoffanwendungen in vier Klassen geschätzt, für die jeweils ein numerischer Wert vergeben wurde. Diese Werte wurden mit dem Anteil der Anwendung in der globalen Verwendungsstruktur gewichtet und über alle Anwendungen eines Rohstoffes zu einem Gesamtwert aufsummiert. Im Prinzip wäre eine Korrektur dieses Gesamtwerts mit der spezifisch deutschen Verwendungsstruktur wünschenswert, diese liegt aber nur für wenige Rohstoffe zuverlässig vor. Aus diesem Grunde werden im Rahmen dieser Untersuchung die Verwendungsstrukturen und die Klassifizierungen für die Substituierbarkeit aus der EU-Studie übernommen. Für die nicht von der EU-Studie abgedeckten 12 Rohstoffe werden eigene Einschätzungen der Substituierbarkeit in den verschiedenen Anwendungen vorgenommen.

Die Klassifizierung der Substituierbarkeit eines Rohstoffs in einer Anwendung kann folgende Werte annehmen:

²⁴ In den Handlungsempfehlungen (Kapitel 7.1) werden Rohstoffe der Hightech-Strategie der Bundesregierung zugeordnet.

²⁵ Das Rohstoff- und Technologiespektrum wurde durch EC (2010), USGS MCS (2010) und weitere Studien ergänzt. Zudem wurden einige Einschätzungen entsprechend neuerer Kenntnisse modifiziert (vgl. Erdmann 2011).

- 1 für fehlende Substituierbarkeit,
- 0,7 für Substituierbarkeit zu hohen Kosten und/oder mit Funktionalitätsverlust,
- 0,3 für Substituierbarkeit zu geringen Kosten und
- 0 für leichte und vollständige Substituierbarkeit ohne zusätzliche Kosten.

Die Gewichtung der Klassifizierungswerte mit dem Anteil der Anwendung in der globalen Verwendungsstruktur und die Summierung zu einem Gesamtwert erfolgt analog zur EU-Studie. Insgesamt entsteht dadurch ein hybrid diskret/kontinuierliches Spektrum der Werte für die Substituierbarkeit.

Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)

Deutschland weist bei vielen Rohstoffen eine hohe Importabhängigkeit auf. Die Länderrisiken des Imports sollen mögliche Unregelmäßigkeiten in den Abbauländern außerhalb Deutschlands fassen.²⁶ Im Rahmen dieser Studie werden die drei wichtigsten Importquellenländer Deutschlands mit ihren Importanteilen für das Jahr 2008 und jeweils zwei Risikobewertungen analysiert. Die Importströme der Rohstoffe werden von der BGR in aggregierter Form veröffentlicht.²⁷ Als erstes Risikomaß wird der Worldwide Governance Indikator der Weltbank (WGI) im Hinblick auf den Einfluss der operativen Regierungsführung auf die Rohstoffgewinnung und -bereitstellung verwendet.²⁸ Als zweites Risikomaß wird eine Liste der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zu Exportrestriktionen verwendet, das strategische Rohstoffaußenhandelspolitik adressiert.²⁹ Zu Importanreizen für Rohstoffe oder zu Investitionsanreizen für den Rohstoffabbau liegen keine vergleichbaren Zusammenstellungen vor.

- Der WGI der Weltbank (Werte von -2,5 bis +2,5) wird linear auf Werte zwischen 0 und 1 skaliert, so dass die theoretisch beste Governance (+2,5) einen Wert von 0 und die theoretisch schlechteste Governance (-2,5) einen Wert von 1 erhält.
- Für die Risiken durch Exportrestriktionen werden semantische Indikatoren zugrunde gelegt. Ihnen wird für jedes Land und jeden Rohstoff der diskrete Wert 0 (keine Exportrestriktionen) oder 1 (Exportrestriktionen) zugewiesen.³⁰

²⁶ Dabei bleibt unbeachtet, dass auch der Bergbau in Deutschland Risiken unterliegt, die wie die Importrisiken mehr oder weniger beeinflussbar sind.

²⁷ Das statistische Bundesamt gibt im Einzelfall detailliertere, kostenpflichtige Auskünfte (hier für Beryllium, Germanium, Hafnium und Tellur in Anspruch genommen).

²⁸ Der WGI bewertet die Regierungsführung von Ländern und wird aus sechs Teilindikatoren gebildet: Mitspracherecht und Verantwortlichkeit, politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, Leistungsfähigkeit der Regierung, staatliche Ordnungspolitik, Rechtsstaatlichkeit und Korruptionskontrolle.

²⁹ Die OECD-Liste erstreckt sich nur auf Metalle. Ergänzungen zu Industriemineralien werden USGS MCS (2010) entnommen.

³⁰ Die Datenunsicherheit für einen Rohstoff wird simuliert, indem auch solchen Ländern ein Wert von 1 zugewiesen wird, die nur für andere Rohstoffe strategische Exportrestriktionen in Kraft haben (vgl. Kapitel 4.3.1).

Strategische und operative Risiken werden für jedes der drei Hauptländer (2008) mit ihren Importanteilen gleichwertig gewichtet und zu einem Gesamtrisiko mit Werten zwischen 0 (minimales Risiko) und 1 (maximales Risiko) addiert.

Länderrisiko für die globale Produktion (2008)

Für die Rohstoffversorgung Deutschlands ist auch die Verteilung der Anteile der globalen Produktion (2008) auf einzelne Länder mit ihrer operativen Regierungsführung und ihrer strategischen Rohstoffpolitik relevant. Das Länderrisiko für die globale Produktion der untersuchten Rohstoffe im Jahr 2008 lässt zwei Interpretationen zu: zum einen als potentiell kurzfristig verfügbare Importbasis im Gegensatz zur realen Importbasis, zum anderen als derzeit miteinander konkurrierende Produktionsländer einschließlich Deutschlands. Große Produktionsländer können die Versorgungssituation zahlreicher Empfängerländer, so auch Deutschlands, beeinflussen.

Es werden die Produktionsanteile der drei globalen Hauptproduktionsländer zugrunde gelegt (2008) und mit den operativen und strategischen Risikofaktoren – wie beim vorgenannten Indikator beschrieben – gleichwertig gewichtet und zu einem Gesamtrisiko mit Werten zwischen 0 (minimales Risiko) und 1 (maximales Risiko) addiert.

Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)

Als mittel- bis langfristiger Indikator für das Länderrisiko wird die Konzentration der Reserven in den drei Ländern mit den größten Reserven im Jahr 2008 untersucht. Eine Gewichtung mit länderspezifischen Risikofaktoren unterbleibt, da bei den Indikatoren von OECD und Weltbank nur heutige und keine zukünftigen Aspekte Berücksichtigung finden. Projektionen der zukünftigen Werte für diese Risikofaktoren sind hoch spekulativ und bedürfen besonders sorgfältiger Rechtfertigung (vgl. Kapitel 6).

Die Reserve-Anteile der drei Länder mit den größten Reserven (2008) werden deshalb ohne weitere Gewichtung addiert. Einer maximalen Länderkonzentration entspricht der Wert 1, einer minimalen Länderkonzentration ein Wert, der gegen 0 tendiert.

Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)

Die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion im Jahr 2008 gibt Hinweise darauf, inwiefern kurzfristig die Möglichkeit besteht, dass Anbieter das Rohstoffangebot und die Rohstoffpreise in ihrem Sinne beeinflussen. Grundlage der Beurteilung ist die globale Produktion. Abweichend von dieser Systematik wurde für in Deutschland produzierte Steine und Erden sowie Industriemineralien die deutsche Versorgungsbasis einschließlich der in Deutschland produzierenden Unternehmen zugrunde gelegt, da diese Rohstoffe vorwiegend national gehandelt werden.³¹

³¹ So wird z.B. die in Deutschland Baryt produzierende Sachtleben Bergbau so behandelt, als ob sie 25 % Marktanteil hätte. Sand & Kies werden typischerweise in einem Radius von 50-60 Kilometern gehandelt (BBS 2011). Die Marktanteile der ausländischen Unternehmen auf dem deutschen Markt werden anhand ihres Weltmarktanteils geschätzt.

Die Produktionsanteile der drei Unternehmen mit den größten Produktionsanteilen (2008) werden ohne weitere Gewichtung addiert. Einer maximalen Unternehmenskonzentration entspricht der Wert 1, einer minimalen Unternehmenskonzentration ein Wert, der gegen 0 tendiert.

Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)

Oft wird das Verhältnis von Reserven zu Produktion irreführend als (statische) Reichweite angegeben und der geologischen Verfügbarkeit zugerechnet. Die beiden Komponenten zur Berechnung der statischen Reichweite, die Produktion und die Reserven (Vorräte zu derzeitigen Preisen wirtschaftlich gewinnbar) sind aber ökonomische Größen. Das Verhältnis von Reserven zu Produktion gibt also den mittel- bis langfristigen Bedarf an, das Angebot an Reserven auszuweiten und/oder die Nachfrage zu reduzieren.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für ein Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008) von ≤ 20 Jahren,
- 0,7 für ein Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008) zwischen > 20 Jahren und ≤ 50 Jahren,
- 0,3 für ein Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008) zwischen > 50 Jahren und ≤ 100 Jahren und
- 0 für ein Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008) von > 100 Jahren.

Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)

Viele essentielle Rohstoffe für Zukunftstechnologien hängen von Materialien ab, die als Nebenprodukte von Hauptprodukten gewonnen werden und deren Nachfrage schneller steigt als die Nachfrage nach den entsprechenden Hauptprodukten. Wächst die Nachfrage nach Nebenprodukten dauerhaft stärker als nach dem Hauptprodukt so steigt der Preis für das Nebenprodukt, weil das Angebot an Nebenprodukten nicht entsprechend ausgeweitet werden kann. Oft ist die Zahl der produzierenden Unternehmen von Nebenprodukten sehr klein. Der Indikator gibt an, zu welchen Anteilen ein Rohstoff im globalen Maßstab im Jahr 2008 als Haupt- oder Nebenprodukt gewonnen wird. Angesichts von Überkapazitäten zur Zeit der globalen Wirtschaftskrise kommt dieser Aspekt vor allem mittel- bis langfristig zum Tragen.

Der Indikator kann folgende Werte annehmen:

- 1 für ausschließliche Nebenproduktion,
- 0,7 für überwiegende Nebenproduktion,
- 0,3 für überwiegende Hauptproduktion und
- 0 für ausschließliche Hauptproduktion.

Recyclingfähigkeit

Rohstoffe können auf materieller Ebene mehr oder weniger gut rezykliert werden. Wichtige Kriterien für die Recyclingfähigkeit eines Materials sind physikalisch-chemische Grenzen der Wiedergewinnung (u.a. Eigenschaften des Materialdepots,³² prozesstechnische Trennung), die Qualität des wiedergewonnenen Sekundärrohstoffs, die Kosten für das Recycling (u.a. Infrastruktur, Technologie) und das Vorhandensein funktionierender Recyclingsysteme (Technologien und Märkte).³³

In Anlehnung an die Konzeption der Substituierbarkeit in der EU-Studie wird in dieser Studie die Recyclingfähigkeit definiert, indem die Anteile eines Rohstoffs in seinen wesentlichen Verwendungen mit spezifischen Faktoren für die Recyclingfähigkeit gewichtet und die resultierenden Werte zu einem Gesamtwert für die Recyclingfähigkeit aufaddiert werden. Die Recyclingfähigkeit eines Rohstoffs kommt als Effekt auf die Rohstoffversorgung vorwiegend mittel- bis langfristig zur Geltung.

Die Klassifizierung der Recyclingfähigkeit eines Rohstoffs in einer Anwendung kann folgende Werte annehmen:

- 1 für physikalisch-chemisch nahezu unmögliches Recycling,
- 0,7 für Recycling möglich zu hohen Kosten und/oder bei Qualitätsverlust,
- 0,3 für Recycling möglich zu geringen Kosten und
- 0 für funktionierende Recyclingsysteme in Deutschland.

Die Klassifizierungswerte für die Recyclingfähigkeit eines Rohstoffs in einer Anwendung werden mit dem Anteil der Anwendung in der globalen Verwendungsstruktur gewichtet und über alle Anwendungen zu einem Gesamtwert für die Recyclingfähigkeit aufsummiert.

Die Werte für die Indikatoren werden für jeden der 52 untersuchten Rohstoffe bestimmt und durch **Gewichtung** zu je einem Gesamtwert für die Vulnerabilität und für das Versorgungsrisiko aggregiert. Die Hauptdatenquellen (Details im separaten Anhangsband) und die Gewichtungsfaktoren zeigt Tabelle 4-2 im Überblick. Den Berechnungen der Kritikalität in Kapitel 4.2 wird die Gewichtung nach Tabelle 4-2 zugrundegelegt. Zwar ist die Gewichtung natürlich nicht wissenschaftlich belegbar, sie beruht aber auf dem umfangreichen Erfahrungswissen der Autoren. Als Sensitivitätsanalyse für diese methodische Unsicherheit wird die Kritikalität auch für eine Gleichgewichtung aller Kriterien berechnet (Kapitel 4.3.2). Mit den Daten im Anhang (siehe Ka-

³² Je stückiger das Material im Produkt vorliegt und je weniger verteilt die Produkte sind, desto geeigneter ist ein Materialdepot für das Recycling. Beispielsweise liegt Kupfer in Staubsaugern stückig vor, Staubsauger sind aber über alle Haushalte verteilt.

³³ Die Recyclingfähigkeit wird von Öko-Institut/UNEP (2009) anhand der vier Kriterien (1) Anteil dissipativer Verwendungen, (2) physikalisch-chemische Grenzen, (3) Fehlen von Recyclingtechnologie und/oder -infrastruktur und (4) Fehlen von Preisanreizen abgeschätzt.

pitel 1 des Anhangs zum Abschlussbericht „Datenblätter für das Screening“) kann jede beliebige Gewichtung vorgenommen werden, um eigene Bewertungen anzusetzen.

Tabelle 4-2: Datenquellen und Gewichtung für die Indikatoren

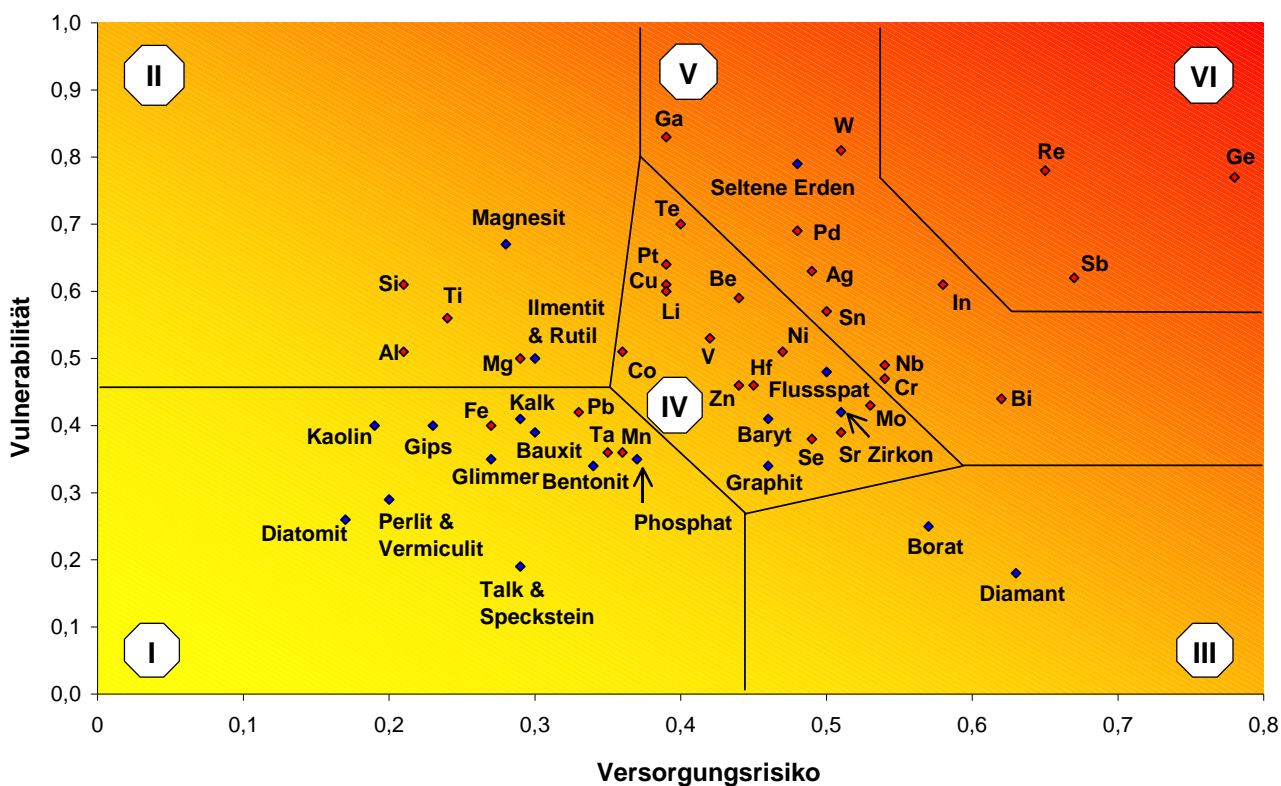
Vulnerabilität	Hauptdatenquellen	Gewichtung	Versorgungsrisiko	Hauptdatenquellen	Gewichtung
Mengenrelevanz			Länderrisiko		
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	StaBuA 2009, BGR RoSit 2007, 2009, USGS MCS 2010	25 %	Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	BGR 2009 i.V.m. OECD 2010 & Weltbank 2010	10 %
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	StaBuA 2009, BGR RoSit 2007, 2009	10 %	Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	USGS MCS 2010 i.V.m. OECD 2010 & Weltbank 2010	10 %
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	BGR RoSit 2007, 2009	10 %	Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	USGS MCS 2010	10 %
Strategische Relevanz			Marktrisiko		
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland	StaBuA 2009, ISI/IZT 2009	25 %	Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	BGR 2007	25 %
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	ISI/IZT 2009, USGS MCS 2010, Erdmann 2011	20 %	Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	USGS MCS 2010	25 %
Substituierbarkeit	EC 2010, USGS MCS 2010	10 %	Strukturrisiko		
			Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Verhoef et al. 2004, USGS MCS 2010	10 %
			Recyclingfähigkeit	EC 2010, USGS MCS 2010	10 %
Summe		100 %	Summe		100 %

Quelle: Eigene Darstellung IZT/adelphi.

4.2 Ergebnisse

Das Ergebnis des Kritikalitäts-Screenings wird in einer Kritikalitätsmatrix für Deutschland 2008 festgehalten. Die Achse für die Vulnerabilität ist von 0 bis 1,0, die Achse für das Versorgungsrisiko ist von 0 bis 0,8 aufgetragen (Abbildung 4-3). Bei Datenunsicherheiten sind die plausibelsten Schätzungen der Autoren verwendet worden (Referenzwerte). Die Matrix enthält idealtypisch sechs Zonen unterschiedlicher Kritikalität für sechs Rohstoffcluster, deren Übergänge in der Praxis fließend sind.

Abbildung 4-3: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Referenzwerte)



Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle rot.

Abbildung 4-3 zeigt die Ergebnisse des Kritikalitäts-Screenings für Deutschland 2008. Die 52 untersuchten Rohstoffe sind in den sechs Kritikalitätszonen folgendermaßen verortet:

- I. Geringe Kritikalität (geringes Versorgungsrisiko, geringe Vulnerabilität): Diatomit, Perlit & Vermiculit, Talk & Speckstein, Kaolin, Gips, Glimmer, Eisen, Kalk, Bauxit, Bentonit, Blei, Tantal, Mangan, Phosphat
- II. Geringes Versorgungsrisiko, hohe Vulnerabilität: Aluminium, Silicium, Titan, Magnesit, Magnesium, Ilmenit & Rutil
- III. Hohes Versorgungsrisiko, geringe Vulnerabilität: Diamant, Borat
- IV. Mittlere Kritikalität (mittleres Versorgungsrisiko, mittlere Vulnerabilität): Graphit, Selen, Strontium, Baryt, Zirkon, Molybdän, Zink, Hafnium, Flussspat, Nickel, Vanadium, Cobalt, Beryllium, Lithium, Kupfer, Platin, Tellur
- V. Hohe Kritikalität (hohes Versorgungsrisiko, hohe Vulnerabilität): Wolfram, Seltene Erden, Gallium, Palladium, Silber, Zinn, Indium, Niob, Chrom, Bismut
- VI. Höchste Kritikalität (sehr hohes Versorgungsrisiko, sehr hohe Vulnerabilität): Germanium, Rhenium, Antimon

Insgesamt dominieren einige seltene Metalle das Kritikalitäts-Screening, wohingegen die meisten Massenmetalle, Steine und Erden sowie Industriemineralien geringere Kritikalitätswerte erreichen. Die Klassifizierung der Rohstoffe hinsichtlich der Kritikalität ist das Ergebnis von Berechnungen der zugrundeliegenden Indikatoren und ihrer Gewichtung gemäß Abschnitt 4.1 sowie von idealtypischen Grenzziehungen in die sechs Zonen. Die hier gewählten Grenzen sind pragmatisch in Bezug auf den Bereich höchster Kritikalität gezogen worden (vgl. Abbildung 4-1). Durch Verschiebung der Zonenränder könnten einzelne Klassifizierungen auch anders ausfallen. Unzweifelhaft ist jedoch die exponierte Stellung von Germanium, Rhenium und Antimon. Auch Rohstoffe mit vergleichsweise geringer Kritikalität können einzelne Indikatoren mit besorgniserregenden Werten aufweisen. Bei Bauxit sticht z.B. die Herkunft eines Großteils der Importe aus Guinea (66 %) und bei Phosphat die fehlende Substituierbarkeit für Phosphatdünger in der Landwirtschaft hervor. Das breite Indikatoren-Set filtert nur solche Rohstoffe als kritisch heraus, die bei mehreren Indikatoren schlecht abschneiden.

Die Zonen höchster und hoher Kritikalität umfassen insgesamt 13 Rohstoffe. Tabelle 4-3 und 4-4 zeigen die Indikatorwerte für die Vulnerabilität und für das Versorgungsrisiko der Rohstoffe mit höchster und hoher Kritikalität im Überblick. Folgende Eigenschaften haben zu ihrer Klassifizierung geführt:

Germanium (höchste Kritikalität)

Deutschland hat für Germanium mit 15 bis 25 % einen sehr hohen Anteil am Weltverbrauch. Die Bedeutung von Germanium für Zukunftstechnologien ist sehr hoch (u.a. Glasfaserkabel, Photovoltaik, Infrarot-Sensoren). Auf der Versorgungsseite bestehen hohe Länderrisiken für den Import und für die globale Produktion durch die Abhängigkeit insbesondere von der VR China. Germanium wird nur als Nebenprodukt gewonnen und besitzt ein globales Reserven-zu-Produktionsverhältnis von 17 Jahren. Die Recyclingfähigkeit von Germanium ist begrenzt.

Rhenium (höchste Kritikalität)

Rhenium hat zwischen 2004 und 2008 eine dynamische Import- und Verbrauchsentwicklung in Deutschland erfahren (Zuwachs jeweils rund 80 %). Rhenium wird in Zukunftstechnologien wie hocheffizienten Flugzeugturbinen und Kraftwerken verwendet. Unter den Versorgungsrisiken sind die hohe Unternehmenskonzentration der globalen Produktion – insbesondere durch das dominierende chilenische Unternehmen – und die ausschließliche Gewinnung als Nebenprodukt ausschlaggebend.

Antimon (höchste Kritikalität)

Der Verbrauch von Antimon in Deutschland ist zwischen 2004 und 2008 um über 30 % gestiegen. Auf Versorgungsstörungen könnten die Wertschöpfungsketten mit den Anwendungen Flammenschutzmittel (insbesondere für Kunststoffe) und von Antimonblei für Starterbatterien sehr sensibel reagieren. Das Länderrisiko für die globale Produktion ist wegen der starken Konzentration auf die VR China sehr hoch. Das globale Reserven-zu-Produktionsverhältnis ist mit 11 Jahren sehr gering. Die Recyclingfähigkeit von Antimon ist begrenzt.

Indium (hohe Kritikalität)

Indium hat eine sehr hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien (Displays, Photovoltaik) und ist nur schwer zu substituieren. Auch die Rezyklierbarkeit ist begrenzt. Indium wird nur als Nebenprodukt gewonnen und besitzt ein geringes globales Reserven-zu-Produktionsverhältnis von 17 Jahren. Die Unternehmenskonzentration und das Länderrisiko für die globale Produktion – insbesondere in der VR China – sind erhöht.

Wolfram (hohe Kritikalität)

Deutschland ist im globalen Maßstab ein Großverbraucher von Wolfram (ca. 12 %), insbesondere für die Werkzeugindustrie und den Maschinenbau. Verbrauch und Import sind zwischen 2004 und 2008 stark gestiegen (über 30 % bzw. 50 % Zuwachs). Versorgungsstörungen könnten die Wertschöpfungskette stark erschüttern. Das Länderrisiko der Produktion – insbesondere in der VR China – ist beträchtlich.

Seltene Erden (hohe Kritikalität)

Importe und Verbrauch von Seltenen Erden sind in Deutschland zwischen 2004 und 2008 um jeweils rund 50 % gestiegen. Die Bedeutung von Seltenen Erden für Zukunftstechnologien ist immens (Elektromobilität, Windenergie, Katalysatoren, miniaturisierte Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)). Die Wertschöpfungskette reagiert im Falle einer Versorgungsstörung sensibel. Die Länderrisiken für die Importe und die globale Produktion sind durch die Abhängigkeit insbesondere von der VR China erhöht, die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion ist ebenfalls bedenklich.

Gallium (hohe Kritikalität)

Gallium ist der Rohstoff mit der höchsten Vulnerabilität. Verantwortlich dafür sind der sehr hohe Verbrauchsanteil Deutschlands (15 bis 25 %) und der wachsende Verbrauch, fast ausschließlich für Zukunftstechnologien (u.a. IKT, Photovoltaik). Die Rezyklierbarkeit von Gallium ist sehr eingeschränkt. Gallium wird nur als Nebenprodukt gewonnen.

Palladium (hohe Kritikalität)

Deutschland ist im Weltmaßstab ein großer Palladium-Verbraucher (ca. 11 %) mit stark gestiegenen Importen zwischen 2004 und 2008. Hauptanwendungsgebiete von Palladium sind Abgaskatalysatoren für Kraftfahrzeuge, Elektrik/Elektronik und Schmuck. Die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion und die Länderkonzentration der globalen Reserven (hauptsächlich Südafrika und Russland) sind bedenklich hoch. Palladium wird zu großen Anteilen als Nebenprodukt gewonnen.

Silber (hohe Kritikalität)

Deutschland hat mit über 10 % einen hohen Anteil am globalen Silberverbrauch. Importe und Verbrauch sind zwischen 2004 und 2008 stark gestiegen. Hauptanwendungsgebiete von Silber sind Schmuck, Elektrik/Elektronik und die rückläufige analoge Photographie. Der geringe Wert für das globale Reserven-zu-Produktionsverhältnis in Höhe von 19 Jahren sowie die überwiegende globale Gewinnung als Nebenprodukt sind bemerkenswert.

Zinn (hohe Kritikalität)

Deutschland ist im Weltmaßstab ein großer Zinn-Verbraucher (ca. 10 %). In Deutschland wird aber kein Zinnerz verarbeitet. Hauptanwendungsgebiete von Zinn sind Lote, Weißblech und diverse Chemikalien. Die Substituierbarkeit von Zinn ist begrenzt. Das globale Reserven-zu-Produktionsverhältnis ist mit 19 Jahren gering.

Niob (hohe Kritikalität)

Die Vulnerabilität der deutschen Wirtschaft gegenüber Versorgungsstörungen von Niob beruht auf einer Vielzahl leicht erhöhter Indikatorwerte, darunter der Anteil am Weltverbrauch (ca. 8 %) und die Sensitivität der Wertschöpfungskette. Hauptanwendungsgebiete von Niob sind hochfeste, leichte Stähle für den Automobilbau, Pipelines und das Bauwesen. Von herausragender Bedeutung ist die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion mit wenigen brasilianischen Firmen als Hauptakteure (99 %).

Chrom (hohe Kritikalität)

Hauptanwendungsgebiete von Chrom sind rostfreie und warmfeste Stähle u.a. für Verbrennungskraftmaschinen (z.B. Motoren, Triebwerke, Turbinen), Industrieanlagen (z.B. Wärmetauscher, Kessel, Rohrleitungen, Wandverkleidungen) und Gebäudefassaden. Chrom ist in den meisten rostfreien Stahlsorten nicht substituierbar. Die Länderkonzentration der globalen Reserven ist stark erhöht (89 % in Kasachstan und Südafrika). Das globale Reserven-zu-Produktionsverhältnis ist mit 17 Jahren gering.

Bismut (hohe Kritikalität)

Deutschland ist im Weltmaßstab ein bedeutender Bismut-Verbraucher (ca. 12 %). Hauptanwendungsgebiete von Bismut sind diverse Chemikalien, metallurgische Additive sowie Weichlote und andere Legierungen. Aus Versorgungssicht sind die Unternehmenskonzentration der globalen Produktion, die Nebenproduktgewinnung und die Länderkonzentration der Reserven (82 % in der VR China und Peru) bedenklich.

Einige Rohstoffe wie Tellur, Beryllium, Nickel, Fluorapatit und Molybdän sind dem Bereich hoher Kritikalität nur knapp nicht zugeordnet worden. Leichte Veränderungen der Datenlage oder der Methodik können hier zu anderen Einstufungen führen.

Tabelle 4-3: Indikatorwerte für die Vulnerabilität der Rohstoffe höchster und hoher Kritikalität

	Germanium	Rhenium	Antimon	Indium	Wolfram	Seltene Erden	Gallium	Palladium	Silber	Zinn	Niob	Chrom	Bismut
Mengenrelevanz													
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	1	0,7	0,7	0,3	1	0,3	1	1	1	1	0,7	0,3	1
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	0,3	1	0,7	0,3	0,7	1	1	0,3	1	0	0,3	0,3	0
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	0,3	1	0	0,3	1	0,7	0,3	1	0,7	0	0,3	0,3	0
Strategische Relevanz													
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland	0,7	0,7	1	0,7	1	1	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,3
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	1	0,7	0,3	1	0,3	1	1	0,3	0,3	0,3	0	0,3	0,3
Substituierbarkeit	0,8	0,84	0,64	0,9	0,77	0,87	0,74	0,75	0,71	0,82	0,7	0,97	0,58
Gewichtete Summe	0,77	0,78	0,62	0,61	0,81	0,79	0,83	0,69	0,63	0,57	0,49	0,47	0,44

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelpi; Färbung für Indikatorwert $\geq 0,85$: rot-orange, $0,85 > \text{Indikatorwert} \geq 0,5$: orange, $0,5 > \text{Indikatorwert} \geq 0,15$: gelb, Indikatorwert $< 0,15$: grün.

Tabelle 4-4: Indikatorwerte für das Versorgungsrisiko der Rohstoffe höchster und hoher Kritikalität

	Germanium	Rhenium	Antimon	Indium	Wolfram	Seltene Erden	Gallium	Palladium	Silber	Zinn	Niob	Chrom	Bismut
Länderrisiko													
Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	0,69	0,23	0,40	0,08	0,19	0,38	0,08	0,26	0,19	0,14	0,26	0,19	0,12
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	0,61	0,13	0,76	0,48	0,65	0,76	0,14	0,44	0,19	0,25	0,24	0,26	0,27
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	0,46	0,80	0,74	0,37	0,78	0,69	0,58	0,99	0,46	0,53	0,68	0,89	0,82
Marktrisiko													
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	0,71	0,80	0,51	0,56	0,50	0,76	0,50	0,77	0,18	0,4	0,99	0,50	0,75
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	1	0,7	1	0,7	0,7	0	0	0	1	1	0,3	1	0,7
Strukturrisiko													
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	1	1	0,3	1	0	0,3	1	0,7	0,7	0	0,3	0	0,7
Recyclingfähigkeit	0,67	0,54	0,67	0,71	0,45	0,75	0,84	0,53	0,41	0,63	0,66	0,32	0,68
Gewichtete Summe	0,78	0,65	0,67	0,58	0,51	0,48	0,39	0,48	0,49	0,50	0,54	0,54	0,62

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Färbung für Indikatorwert $\geq 0,85$: rot-orange, $0,85 > \text{Indikatorwert} \geq 0,5$: orange, $0,5 > \text{Indikatorwert} \geq 0,15$: gelb, Indikatorwert $< 0,15$: grün.

4.3 Diskussion

Dieses Unterkapitel untersucht den Einfluss der Datenunsicherheit und einer methodischen Unsicherheit (Gewichtung der Indikatoren) auf die Kritikalitätseinstufung. Zudem wird eine Auswertung getrennt nach Kurzfrist- und Mittel-/Langfristindikatoren vorgenommen. Abschließend werden die Ergebnisse des Kritikalitäts-Screenings in die Forschungslandschaft eingeordnet.

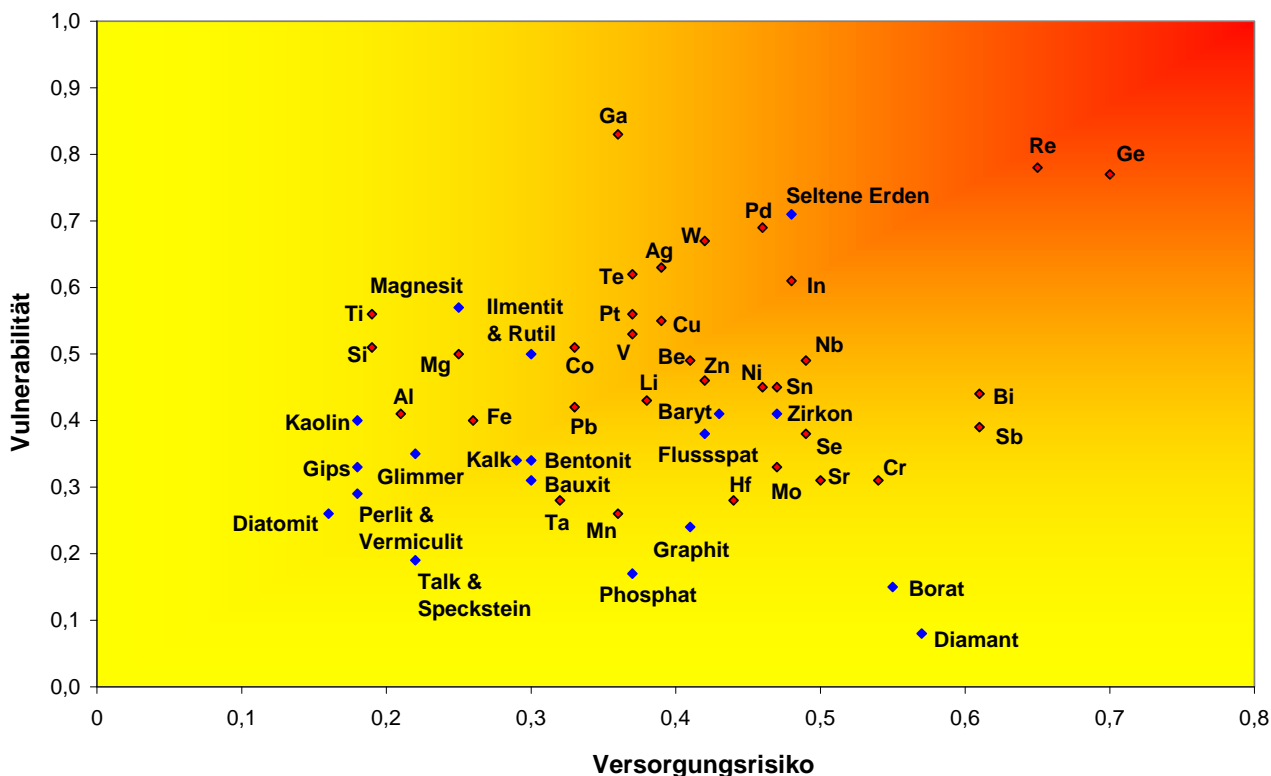
Die Zoneneinteilung gemäß Abbildung 4-3 wird in den folgenden Kritikalitätsmatrices nicht weiter verwendet, da die Kritikalität von Rohstoffen ein relatives Konzept ist und für jede Kritikalitätsmatrix eine neue Zoneneinteilung anhand von Rohstoffclustern entworfen werden müsste.

Durch die einheitliche farbige Unterlegung der Matrices sind Quervergleiche der Positionierung einzelner Rohstoffe möglich.

4.3.1 Datenunsicherheiten

In Kapitel 1 des Anhangs zum Abschlussbericht „Datenblätter für das Screening“ ist für jeden Indikator ein Referenzwert als plausibelster Wert aus Sicht der Autoren angegeben, der den bisherigen Berechnungen zugrunde liegt. Zur Berücksichtigung der Unsicherheit werden für einige Abschätzungen auch von den Referenzwerten abweichende Minimal- und Maximalwerte aus Sicht der Autoren ausgewiesen. Dies bedeutet, dass es nicht ausgeschlossen ist, dass die realen Datenwerte dem Minimal- oder dem Maximalwert entsprechen. Im Folgenden wird der Einfluss dieser Datenunsicherheiten, zunächst für die Minimalwerte (Abbildung 4-4) und dann für die Maximalwerte (Abbildung 4-5), auf die Kritikalitätsklassifizierung der Rohstoffe untersucht.

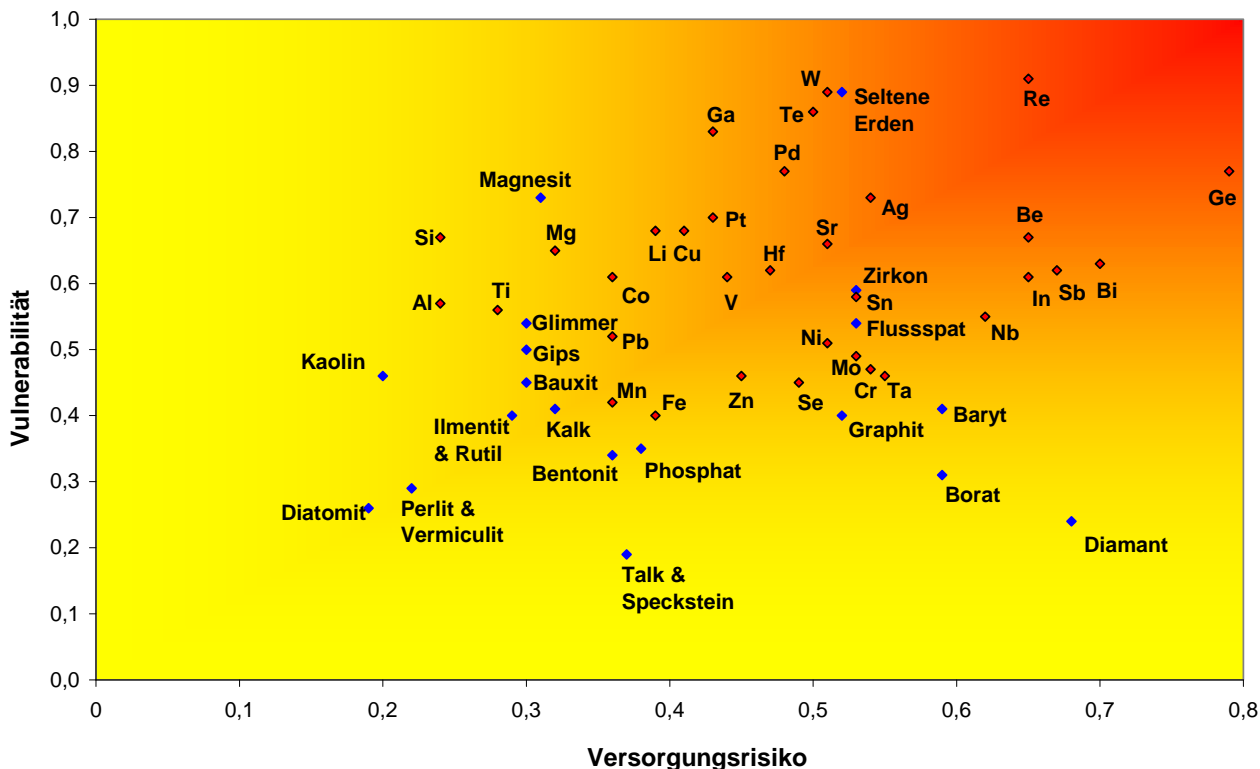
Abbildung 4-4: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Minimalwerte)



Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle: rot.

Die Verwendung der Minimalwerte führt im Vergleich zur Referenz zu leicht modifizierten Schlüssen. Rhenium und Germanium behalten ihre sehr hohe Kritikalität bei, wohingegen Antimon in den Bereich hoher Kritikalität – oder gar darunter – (in die Nähe von Bismut) abrutscht. Zinn und Chrom sind bei Anwendung minimaler Werte eher dem Mittelfeld, denn dem Bereich hoher Kritikalität zuzurechnen.

Abbildung 4-5: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Maximalwerte)



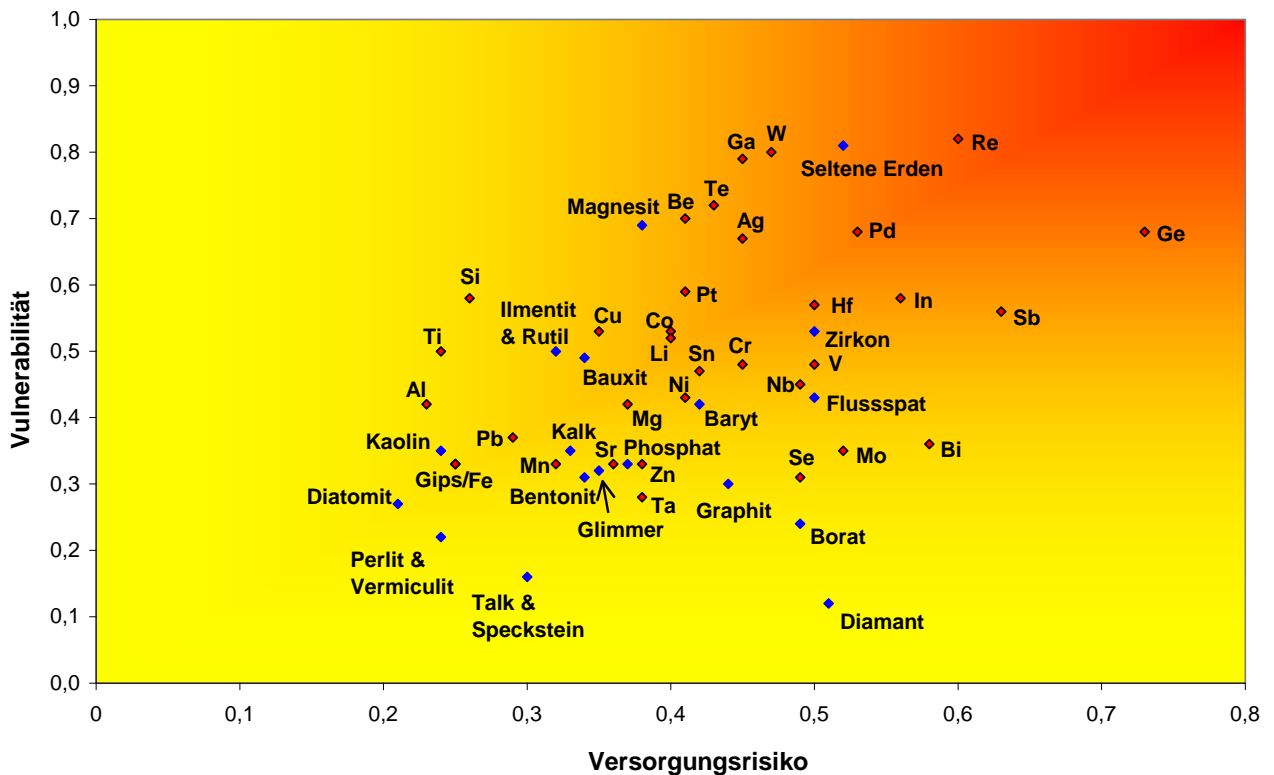
Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle rot.

Die Verwendung der Maximalwerte belässt Rhenium und Germanium im Bereich sehr hoher Kritikalität. Auch Wolfram, Seltene Erden, Silber, Antimon, Indium, Bismut und – erstmalig – Beryllium sind in dieser Klassifizierung mindestens im Bereich hoher Kritikalität. Strontium und Zirkon haben in dieser Maximalbetrachtung ebenfalls erhöhte Kritikalitätswerte. Niob, Chrom und Nickel rutschen relativ zu den anderen Rohstoffen hoher Kritikalität etwas ab.

4.3.2 Methodische Unsicherheiten

Der Einfluss der Gewichtungsmethodik wird untersucht, indem im Gegensatz zur unterschiedlichen Gewichtung gemäß Tabelle 4-2 alle Indikatoren gleich gewichtet werden (Abbildung 4-6).

Abbildung 4-6: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung)



Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle rot.

Bei Gleichgewichtung der Indikatoren bleiben Rhenium, Germanium und Antimon im Bereich sehr hoher Kritikalität. Indium, Palladium und Seltene Erden schließen an, gefolgt von einem erweiterten Gürtel hoher Kritikalität mit Wolfram, Gallium, Tellur, Silber, Hafnium und Zirkon. Zinn, Chrom, Niob und Bismut sind dann eher im Mittelfeld.

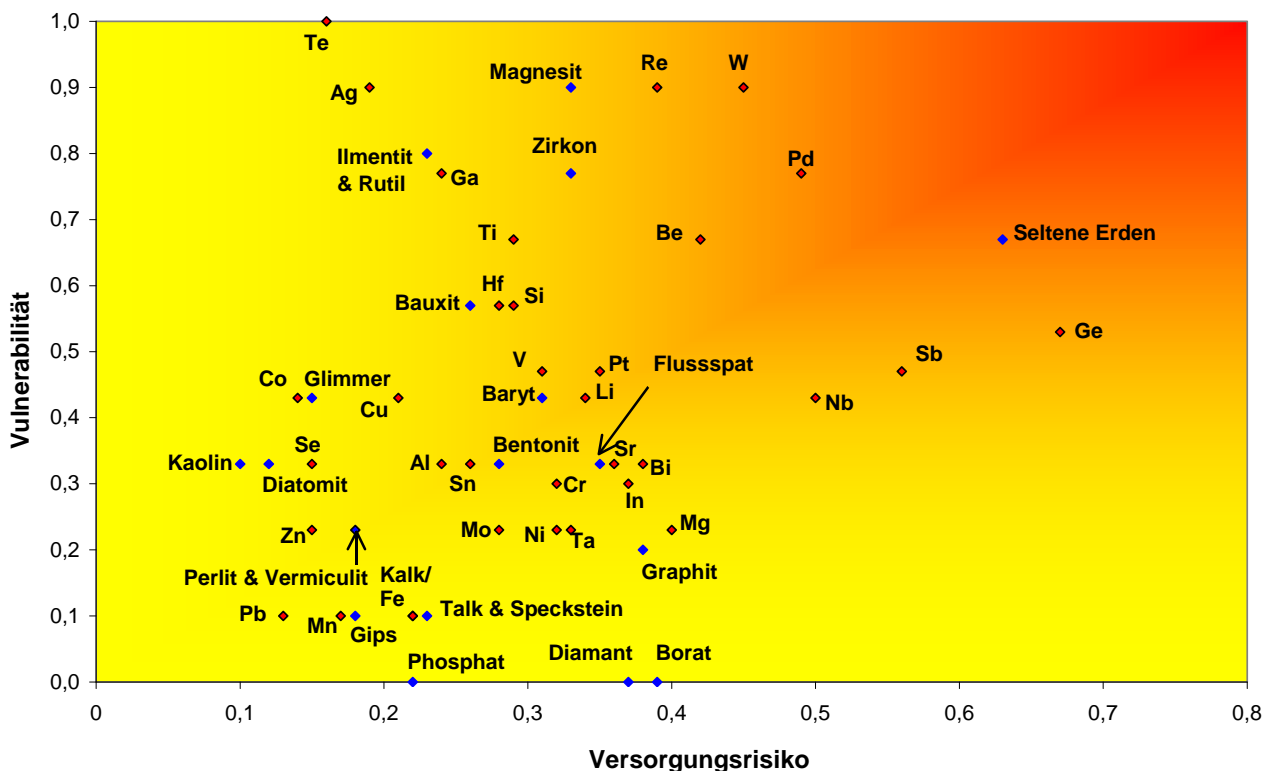
4.3.3 Kurzfrist- und Mittel-/Langfristkritikalität

Die Indikatoren beziehen sich zum Teil auf die jüngere Vergangenheit, den Status Quo und die naheliegende Zukunft (Kurzfristindikatoren) und zum Teil auf die spätere Zukunft und Strukturen (Mittel- und Langfristindikatoren). Die kurzfristige Vulnerabilität wird durch die drei Mengenindikatoren beschrieben, die kurzfristigen Versorgungsrisiken durch die Länderrisiken der Importe und der globalen Produktion und die globale Unternehmenskonzentration der Produktion. Die langfristige Vulnerabilität umfasst die drei Indikatoren für die strategische Relevanz, das langfristige Versorgungsrisiko die Konzentration der globalen Reserven, das globale Reserven-zu-Produktionsverhältnis, die globale Haupt- und Nebenproduktion sowie die Recyclingfähigkeit.

Im Folgenden wird anstelle der integrierten Berücksichtigung aller Indikatoren unabhängig von ihrer zeitlichen Relevanz eine analytische Trennung von Kurz- und Mittel-/Langfristindikatoren jeweils für die Vulnerabilität und das Versorgungsrisiko vorgenommen, um Aufschlüsse über die zeitliche Relevanz der Kritikalitätseinschätzungen zu erhalten.

Zunächst wird die Kritikalität der Rohstoffe nur anhand der Kurzfristindikatoren bei angenommener Gleichgewichtung bestimmt (Abbildung 4-7). Ebenfalls bei angenommener Gleichgewichtung folgt darauf die Bestimmung der Mittel-/Langfristkritikalität (Abbildung 4-8).

Abbildung 4-7: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung, Kurzfristindikatoren)

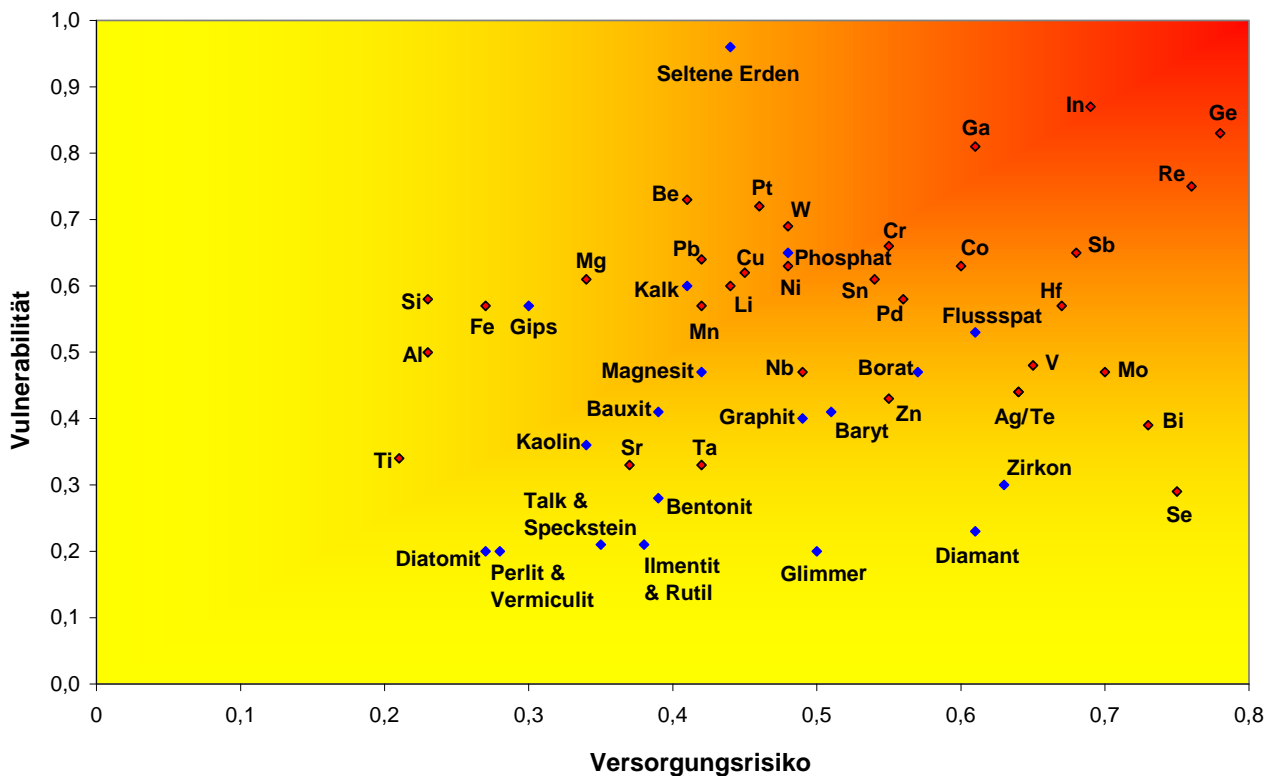


Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle rot.

In der Kurzfristperspektive (Abbildung 4-7) ist der Bereich sehr hoher Kritikalität nur gering besetzt. Die höchste Kritikalität ist hier für Germanium und Seltene Erden sichtbar. Hohe Kritikalität weisen Rhenium, Beryllium, Wolfram, Palladium, Niob und Antimon auf. Die kurzfristige Vulnerabilität für Tellur erreicht den Maximalwert von 1, allerdings bei geringem kurzfristigem Versorgungsrisiko. Anders herum liegt die kurzfristige Vulnerabilität von Phosphat, Diamant und Borat bei Verwendung der drei kurzfristigen Mengenindikatoren bei 0.³⁴

³⁴ Dies bedeutet nicht, dass die faktische kurzfristige Vulnerabilität der deutschen Wirtschaft bei diesen Rohstoffen bei 0 liegt (in Wahrheit liegt sie über 0), sondern dass alle Werte für die Indikatoren der kurzfristigen Vulnerabilität für diese Rohstoffe in Relation zu den anderen untersuchten Rohstoffen unterhalb der Signifikanzschwelle (vgl. Kapitel 4.1) liegen.

Abbildung 4-8: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland (Gleichgewichtung, Mittel-/Langfristindikatoren)



Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; Datenpunkte für Industriemineralien, Steine und Erden: blau, für Metalle rot.

In der Mittel- bis Langfristperspektive (Abbildung 4-8) gibt es einen relativ klar ausgeprägten Bereich sehr hoher Kritikalität, der Germanium, Rhenium, Indium, Antimon und Gallium einschließt. Zum nur unscharf abgrenzbaren Bereich von Rohstoffen hoher Kritikalität gehören Chrom, Cobalt und Hafnium. Dahinter schließt sich ein breiter Bereich mit geringerer Kritikalität an. Die langfristige Vulnerabilität ist für die Seltenen Erden sehr hoch, das Versorgungsrisiko aber vergleichsweise gering. Ein sehr hohes langfristiges Versorgungsrisiko weisen Selen, Bismut und Molybdän auf, allerdings bei relativ geringer langfristiger Vulnerabilität der deutschen Wirtschaft.

4.3.4 Einordnung der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse in Bezug auf Datenunsicherheit und konzeptioneller Variationen zeigt, dass in der Extremzone höchster Kritikalität die Ergebnisse gut reproduzierbar sind. Germanium, Rhenium und mit leichten Abstrichen Antimon gehören durchgängig zu den kritischsten Rohstoffen. Für alle anderen hängt der Grad der gemessenen Kritikalität in gewissem Maß von der Datenqualität und von wissenschaftlich nicht aufzulösenden methodischen Beschränkungen ab.

Es gibt zwei aktuelle Studien zur Kritikalität der Rohstoffversorgung, deren Thematik – die Identifizierung kritischer Rohstoffe – und Bezugsgebiete sich mit dieser Studie überschneiden. Die

Europäische Kommission deckt mit ihrer Studie „Critical Raw Materials for the EU“ (EC 2010) Deutschland als Teilgebiet mit ab. Die Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft untersucht mit ihrer Studie „Rohstoffsituation Bayern: Keine Zukunft ohne Rohstoffe“ (VBW 2009) hingegen nur ein Teilgebiet Deutschlands. Durch einen Vergleich dieser Studie mit jenen beiden Studien kann diskutiert werden, welche Unterschiede in der Kritikalitätseinstufung auf methodische Differenzen und welche auf den unterschiedlichen Untersuchungsgegenstand zurückzuführen sind. Die EU-Studie und die VBW-Studie werden in der folgenden Tabelle in ihren Grundzügen beschrieben,³⁵ um eine Einordnung dieser Studie mit ihren Ergebnissen zu erleichtern.

Tabelle 4-5: Zentrale Kategorien und Ergebnisse dieser Studie im Vergleich zur VBW-Studie und zur EU-Studie

	Diese Studie	VBW-Studie (2009)	EU-Studie (2010)
Ziel und Untersuchungsrahmen			
Bezugsgebiet	Deutsche Unternehmen	Bayerische Unternehmen	Wirtschaft der EU
Untersuchte Rohstoffe	52 Rohstoffe gemäß definierter Kriterien (vgl. Abschnitt 3.4)	37 Rohstoffe mit BGR-Faktenblättern	41 Rohstoffe gemäß Vorstudie und Expertenratschlag
Zeithorizont	kurzfristig (< 5 Jahre), mittel- (5-10 Jahre) bis langfristig (10-20 Jahre)	nicht explizit definiert	10 Jahre
Methodik			
Grundkonzept	Kritikalitätsmatrix mit den Achsen Vulnerabilität und Versorgungsrisiko	Risikoindex (eindimensional)	Kritikalitätsmatrix mit den Achsen ökonomische Bedeutung und Versorgungsrisiko
Indikatoren	6 Indikatoren für die Vulnerabilität und 7 Indikatoren für das Versorgungsrisiko (vgl. Tabelle 4.2)	7 Indikatoren für den Risikoindex	1 Indikator für die wirtschaftliche Bedeutung und 3 Indikatoren für das Versorgungsrisiko
Ergebnisse			
Darstellung	Kritikalitätsmatrix mit 6 Zonen unterschiedlicher Kritikalität	3 Risikoklassen	Kritikalitätsmatrix mit eindeutigem Kritikalitätsbereich
Rohstoffe höchster Priorität	Ge, Re, Sb (höchste Kritikalität), Ag, Bi, Cr, Ga, In, Nb, Pd, Seltene Erden, Sn, W (hohe Kritikalität)	Co, Cr, Ge, In, Li, Mo, Nb, Platingruppe, Se, Seltene Erden (Nd, Sc, Y), Phosphat, W (Gefahrenklasse 1)	Be, Co, Flussspat, Ga, Ge, Graphit, In, Mg, Nb, Platingruppe, Sb, Seltene Erden, Ta, W (kritische Rohstoffe)

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi basierend auf Erdmann/Graedel 2011, EC 2010, VBW 2011; BGR- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, EU – Europäische Union.

Die Alleinstellungsmerkmale der vorliegenden Studie – der Fokus auf Deutschland, der Schwerpunkt auf Rohstoffen für Zukunftstechnologien und die systematische Berücksichtigung

³⁵ Methodische Details dieser und anderer Kritikalitätsstudien sind in Erdmann und Graedel (2011) vergleichend beschrieben.

auch nicht, oder nur schwer quantifizierbarer Faktoren – haben wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der Kritikalitätseinschätzung. Im Folgenden wird versucht, den Einfluss dieser Alleinstellungsmerkmale auf die Ergebnisse im Vergleich zur EU-Studie und zur VBW-Studie argumentativ zu beschreiben. Es gibt zahlreiche weitere, im Rahmen dieser Studie nicht isolierbare Faktoren, die das Ergebnis von Kritikalitätseinstufungen beeinflussen wie zum Beispiel die Wahl der Aggregationsmethode und die Behandlung der Substituierbarkeit entweder unter der Vulnerabilitäts- oder unter der Versorgungsrisikodimension. Eine solche Faktorenanalyse ist jedoch ein eigenes, aufwändiges wissenschaftliches Unterfangen (vgl. Erdmann/Graedel 2011).

Die **Spezifika der deutschen Wirtschaft** im Vergleich zu den anderen Gebieten (EU, Bayern) drücken sich – für die Vulnerabilität – im Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008), in der Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008), in der Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) sowie in der Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland und – für das Versorgungsrisiko – im Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008) aus. In der EU-Studie ist nur die Bruttowertschöpfung in Megasektoren EU-spezifisch, die gewichtet mit den globalen Verbrauchsanteilen der Rohstoffe als Maß für die ökonomische Bedeutung dient. Die drei Indikatoren der EU-Studie für das Versorgungsrisiko (Substituierbarkeit, globale Recyclingquote und Länderrisiko der globalen Produktion) sind nicht EU-spezifisch, sondern könnten ebenso gut auch für Deutschland gelten. Für die Methodik der VBW-Studie sind überhaupt keine bayerischen Spezifika erkennbar. Dies bedeutet, dass die Aussagen der EU-Studie und der VBW-Studie in ihren Grundzügen auch für Deutschland gelten müssten. Die Unterschiede der vorliegenden Studie zu den beiden vorgenannten Studien sind deshalb vorwiegend durch die Methodik bedingt, die auch spezifisch deutsche Verhältnisse berücksichtigt.

Zur Einstufung der Rohstoffe unter hohe oder höchste Kritikalität in dieser Studie haben folgende Deutschland-spezifische Indikatoren wesentlich beigetragen:³⁶

- der Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) für Bismut, Gallium, Germanium, Palladium, Silber, Wolfram und Zinn;
- die Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008) für Antimon, Gallium, Rhenium, Seltene Erden, Silber und Wolfram;
- die Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008) für Palladium, Rhenium, Seltene Erden, Silber und Wolfram;
- die Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland für Antimon, Seltene Erden und Wolfram;
- das Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008) für Antimon, Germanium und Seltene Erden.

Unter den 13 Rohstoffen, die in dieser Studie mit hoher oder sehr hoher Kritikalität identifiziert wurden, spielen nur für die Kritikalitätseinstufungen von Chrom, Indium und Niob die Deutschland-spezifischen Indikatoren keine große Rolle.

³⁶ d.h. Indikatorwert für den Rohstoff ≥ 120 % des Mittelwerts aller 52 Rohstoffe.

In dieser Studie ist der **globale Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien** in die Bestimmung der Vulnerabilitätsdimension der Kritikalität eingegangen. Grundlage hierfür ist eine halbquantitative Einstufung des globalen Rohstoffbedarfs für Zukunftstechnologien (2030) im Verhältnis zur globalen Produktionsmenge im Jahr 2008 auf Basis der Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ (ISI/IZT 2009) sowie ein neues Kurzgutachten für den Nachhaltigkeitsrat (Erdmann 2011, RNE 2011). Der globale Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien hat für folgende Rohstoffe wesentlich zur Einstufung unter hoher bzw. höchster Kritikalität beigetragen:

- Gallium: Informations- und Kommunikationstechnik, Photovoltaik;
- Germanium: Glasfaser, Infrarot-Sensoren, Photovoltaik;
- Indium: Displays, Photovoltaik;
- Rhenium: hocheffiziente Flugzeugturbinen und Kraftwerke, Verflüssigung von Kohle, Gas oder Biomasse zu Kraftstoffen (XtL-Synthese);
- Seltene Erden: Elektromobilität, Katalyse, miniaturisierte Informations- und Kommunikationstechnik, Windenergie.

In der VBW-Studie ist die Bedeutung der Rohstoffe für Zukunftstechnologien bis 2030 ebenfalls durch einen Indikator berücksichtigt. Die dreistufige qualitative Experteneinschätzung beruht für viele Rohstoffe ebenfalls auf der Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ (ISI/IZT 2009). Zwar werden in der VBW-Studie Germanium, Indium und Seltene Erden untersucht und in die höchste Gefahrenklasse eingestuft, nicht aber Gallium und Rhenium. Gallium ist in die geringere Gefahrenklasse 2 eingestuft und Rhenium wurde nicht berücksichtigt. Die qualitativen Experteneinschätzungen der VBW-Studie sind nicht nachvollziehbar dokumentiert. Die Nicht-Berücksichtigung von Rhenium kann auf fehlende BGR-Faktenblätter für Rhenium zurückgeführt werden. In der EU-Studie ist für die Vulnerabilität (ausgedrückt über die ökonomische Bedeutung) die Verwendungsstruktur mit hohen Anteilen im Megasektor „Metalle“ ausschlaggebend. Dadurch erfolgt keine Diskriminierung von Rohstoffen für Zukunftstechnologien. Die Vulnerabilität für das High-Tech Metall Rhenium wird in der EU-Studie als hoch eingestuft. Gleichwohl zählt Rhenium in der EU-Studie nicht zu den kritischen Rohstoffen, da das Versorgungsrisiko als gering eingeschätzt wird, was im Wesentlichen auf die fehlende Berücksichtigung von Indikatoren wie dem Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008), der Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008) und des Anteils von globaler Haupt- und Nebenproduktion (2008) zurückzuführen ist.

Weitere Einflüsse der **Berücksichtigung auch nicht, oder nur schwer quantifizierbarer Indikatoren** und andere konzeptioneller Unsicherheiten lassen sich durch einen direkten Vergleich der identifizierten Rohstoffe mit höchster Priorität aufdecken:

- Das in dieser Studie ausgewiesene Set an Rohstoffen deckt sich mit der Kritikalitätseinstufung der EU-Studie in der Hinsicht, dass Seltene Erden, Palladium, Niob, Wolfram, Indium, Gallium, Germanium und Antimon als kritisch eingestuft werden. Die EU-Studie identifiziert auch Magnesium, Beryllium, Cobalt, Tantal, Flussspat und Graphit als kritisch. Können die Unterschiede für Beryllium, Cobalt, Tantal, Flussspat und Graphit

auf die Grenzziehung zwischen kritisch und unkritisch in der Kritikalitätsmatrix zurückgeführt werden,³⁷ so gibt es für Magnesium tatsächlich eine divergierende Einschätzung. Ausschlaggebend ist, dass die EU-Studie für das Versorgungsrisiko einen starken Akzent beim Länderrisiko der globalen Produktion hat, während in dieser Studie zahlreiche weitere Indikatoren für die Versorgungssicherheit – mit geringen Werten für Magnesium – auch eine Rolle spielen. Nicht als kritisch identifiziert werden in der EU-Studie dagegen Rhenium, Chrom und Silber; Zinn und Bismut waren nicht in die Untersuchung einbezogen. Die Konzeptionalisierung der ökonomischen Bedeutung im Rahmen der EU-Studie über den Anteil der Verwendung in sogenannten Megasektoren weist für Rhenium und Silber relativ geringe Werte aus, während in dieser Studie insbesondere die Deutschland-spezifischen Indikatoren wesentlich zu ihrer Einstufung als kritisch beitragen.

- Die VBW-Studie führt Seltene Erden (Nd, Sc, Y), Cobalt, Wolfram, Phosphat, Niob, Selen, Germanium, die Platingruppe, Lithium, Chrom, Indium und Molybdän in der höchsten Gefahrenklasse. Gallium und Silber sind im Übergangsbereich angesiedelt. Der eindimensionale Risikoindex ermöglicht im Gegensatz zur Kritikalitätsmatrix die Kompensation niedriger Versorgungsrisiken durch hohe Vulnerabilität. Dies ist – neben der unterschiedlichen Operationalisierung der Indikatoren – ursächlich für die hohen Bewertungen von z.B. Cobalt und Phosphat in der VBW-Studie.³⁸

Die in dieser Studie gewählte Methodik bedingt, dass ein Rohstoff gleichzeitig hinsichtlich mehrerer Indikatoren problematisch sein muss, um als kritisch eingestuft zu werden. Dies ist durchaus so gewollt, denn es bedeutet im Umkehrschluss, dass es nur wenige Ausweichmöglichkeiten gibt. Falls nur wenige Indikatoren den Status „kritisch“ auslösen könnten, fielen einzelne fehlerhafte Daten und konzeptionelle Unsicherheiten stärker ins Gewicht, was leichter zu Fehlschlüssen führen könnte.

Insgesamt weisen die Ergebnisse dieser Studie teilweise ein hohes Maß an Übereinstimmung mit anderen Studien zur Rohstoffkritikalität auf. Diese Studie hebt sich von vergleichbaren Ansätzen wie der VBW-Studie und der EU-Studie dadurch ab, dass sie ein breites Set auch nicht oder nur schwer quantifizierbarer Indikatoren berücksichtigt, deutsche Spezifika wie den Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008) (Bismut, Gallium, Germanium, Niob, Palladium, Silber, Wolfram und Zinn) berücksichtigt und den globalen Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (Gallium, Germanium, Indium, Rhenium und Seltene Erden) wiedergibt. Durch diese Alleinstellungsmerkmale kommen einige Rohstoffe neu auf die Agenda der Kritikalitätsdiskussion (Bismut, Rhenium, Silber, Zinn).

³⁷ Durch eine geringe Verkleinerung des Kritikalitätsbereiches in der EU-Studie wären Beryllium, Cobalt, Tantal, Flussspat und Graphit nicht als kritisch zu betrachten.

³⁸ Würde in dieser Studie wie in der VBW-Studie ein eindimensionaler Risikoindex mit gleicher Gewichtung der Vulnerabilitäts- und der Versorgungsrisikodimension (bei unterschiedlicher Gewichtung der einzelnen Indikatoren) gebildet, so wären folgende 14 Rohstoffe in die höchste Gefahrenklasse einzuordnen (in abnehmender Bedeutung): Germanium, Rhenium, Wolfram, Antimon, Seltene Erden, Gallium, Indium, Palladium, Silber, Tellur, Zinn, Bismut, Beryllium und Niob.

5 Rohstoffprofile

5.1 Überblick

Im Kritikalitäts-Screening sind 52 Rohstoffe mit Hilfe von Indikatoren analysiert worden. Einige Aspekte von Kritikalität sind mit diesen Indikatoren nicht ausreichend darstellbar. Für zehn ausgesuchte Rohstoffe werden deshalb Rohstoffprofile angelegt, die detaillierte Informationen analysieren und bündeln. Auf einer ordinalen Skala ist es leicht möglich, die zehn kritischsten Rohstoffe zu identifizieren, nicht aber bei einer Kritikalitätsmatrix. Die Kritikalitätsmatrix bildet Zonen unterschiedlicher Kritikalität auf zwei Dimensionen ab. Es gibt eine Zone mit sehr hoher Vulnerabilität und sehr hohen Versorgungsrisiken. Für die darin enthaltenen drei Rohstoffe werden Rohstoffprofile angelegt (Antimon, Germanium, Rhenium). Das Nebenprodukt Rhenium wird von primärem Molybdän abgetrennt, das wiederum etwa zur Hälfte als Hauptprodukt und zur anderen Hälfte als Nebenprodukt vom Hauptprodukt Kupfer gewonnen wird. Deshalb werden exemplarisch auch Molybdän und Kupfer untersucht.

An die Zone sehr hoher Kritikalität schließt sich ein Gürtel immer noch erhöhter Kritikalität mit unterschiedlichen Ausprägungen von Vulnerabilität und Versorgungsrisiken an. Darin befinden sich Gallium, Chrom, Wolfram, Palladium, Seltene Erden, Indium, Niob, Zinn, Silber und Bismut. Aus diesem Set wird Gallium als Rohstoff mit der höchsten Vulnerabilität für die Detailanalyse ausgesucht. Außerdem werden im Detail die Rohstoffe Indium, Niob, Wolfram und die Gruppe der Seltenen Erden analysiert, bei denen Differenzierungen für einzelne Elemente vorgenommen werden. Bismut entfällt aus der Detailanalyse, weil die Vulnerabilität von Bismut (u.a. wegen stark rückgängigem Import und Verbrauch in Deutschland zwischen 2004 und 2008) am unteren Rande des Kritikalitätsbereiches rangiert. Eine Analyse von Silber und Palladium unterbleibt. Zwar werden sie in Zukunftstechnologien eingesetzt, aber auch zu hohen Anteilen für Schmuck und als Geldanlage. Diese Edelmetalle stehen aufgrund ihres hohen Wertes seit langem im Fokus der Rohstoffpolitik und unterliegen starker Spekulation. Ebenfalls vergleichsweise gut untersucht sind Zinn und Chrom.

Abbildung 5-1: Verortung der vertieften Rohstoffe im Periodensystem der Elemente

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									
		*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
		**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; in den Rohstoffprofilen vertiefte Rohstoffe gelb hervorgehoben; Yttrium und die Lanthanoide (Nr. 57-71) bilden die Gruppe der Seltenen Erden Elemente.

Das Set der im Rahmen der Detailanalyse untersuchten Rohstoffe (Abbildung 5-1) umfasst vier Halbleiter (Gallium, Germanium, Indium und Antimon), vier Elemente für hochwertige Legierungen (Niob, Molybdän, Wolfram, Rhenium), das Elektro- und Elektronikmetall Kupfer und die Gruppe der Seltenen Erden, die u.a. auch im Elektro- und Elektroniksektor eine prägende Rolle spielen.

5.2 Einzelbetrachtungen

Die Rohstoffprofile gliedern sich in vier Abschnitte: (1) Verwendung und Nachfrage, (2) Vorräte und Angebot, (3) Marktstruktur- und -dynamik, (4) Materialeffizienz. Die entsprechenden Detailanalysen sind ausführlich in Kapitel 2 „Rohstoffprofile“ im separaten Anhangsband dargestellt.

Für die einzelnen Rohstoffe wird die Versorgungslage wie folgt summarisch eingeschätzt:

5.2.1 Antimon

Antimon wird vorwiegend als Synergist halogenhaltiger Flammschutzmittel in Kunststoffen und zur Härtung von Bleikomponenten in Starterbatterien eingesetzt. In Deutschland ist insbesondere die kunststoffverarbeitende Industrie abhängig von einer gesicherten Antimonversorgung aus dem Ausland und hier insbesondere von der VR China, während es für Starterbatterien und das darin enthaltene Antimon eine funktionierende Kreislaufwirtschaft gibt. Die Konsolidierung des

Antimonsektors in der VR China (Schließung illegaler Minen, Verbesserung des Umweltschutzes) begrenzt derzeit und in naher Zukunft das auf dem Weltmarkt verfügbare Angebot.

Es gibt vor allem einen kurz- bis mittelfristigen Bedarf zur Sicherung der Antimonversorgung. Langfristig ist nicht auszuschließen, dass sich der Antimonbedarf in Deutschland verringert, weil sich die beiden Hauptanwendungen durch die angestrebte Entwicklung von Alternativen stark rückläufig entwickeln können. In der Entwicklung von halogenfreien Flammenschutzmitteln und von alternativen Batteriesystemen liegen große industriepolitische Chancen. Gleiches gilt für die Förderung von Antimon-basierten Zukunftstechnologien (thermoelektrische Generatoren, Speichermedien, transparente Elektroden), die im Vergleich zu den derzeitigen globalen Massen-anwendungen aber nur einen untergeordneten Einfluss auf die globale Antimonnachfrage haben werden.

Aus wirtschaftsstrategischer Sicht scheinen Minder- oder Mehrheitsbeteiligungen im Auslandsbergbau eine vielversprechende Option zu sein, kurz- bis mittelfristig die Antimonversorgung zu sichern. Dies gilt insbesondere dann, wenn es in nächster Zeit nicht gelingt, geeignete Mehrjahresverträge für die Abnahme von Antimon abzuschließen. Auch die Förderung von Explorationsaktivitäten scheint angesichts der überschaubaren Antimon-Projektlage sinnvoll.

5.2.2 Gallium

Gallium wird großteils für die Herstellung von Halbleitermaterialien in der elektrischen und elektronischen Industrie verwendet (für integrierte Schaltkreise, Beleuchtung und Photovoltaik). Primäres Gallium kommt mit dem Aluminiumerz Bauxit nach Deutschland. Bislang scheint sich das Angebot von primärem Gallium relativ gut an die Nachfrage anpassen zu lassen. Kurzfristig ist mit erhöhter Preisvolatilität zu rechnen, mittel- und langfristig sind Maßnahmen zu treffen, um die mögliche zukünftige Angebotslücke zu schließen.

Der verhältnismäßig geringe Aufwand der Gallium-Separierung beim Bayer-Verfahren³⁹ zur Aluminiumgewinnung spricht dafür, diesen Ansatz vermehrt einzusetzen. Dies wird bei der Aluminiumproduktion in Stade bereits gemacht. Das in Deutschland separierte und raffinierte Gallium wird aber im Ausland auf eine höhere Reinheitsstufe (von N4 auf N6) raffiniert und dann wieder importiert. Chancen liegen in der Ausrüstung anderer Aluminiumhütten mit Gallium-Separationsanlagen, sofern es gelingt, attraktive Verträge über die Abnahme von Gallium zu schließen. Die Erschließung der Zink-gebundenen Gallium-Vorkommen in Deutschland wäre ein neues Feld, das auch nur unter Berücksichtigung des gesamten darin enthaltenen Metallspektrums beurteilt werden kann.

Hinsichtlich der Substitutionsmöglichkeiten ergibt sich ein differenziertes Bild. Es ist mittelfristig wahrscheinlich, dass immer neue Anwendungen von Gallium den möglichen punktuellen Substitutionen, wie z.B. bei organischen Licht emittierenden Dioden (OLED) anstelle von Licht emittierenden Dioden auf anorganischer Festkörperbasis (LED), entgegenwirken. Es wird empfohlen, das Produktionsabfallrecycling auf etwaige Defizite und Maßnahmen zu ihrer Behebung hin zu untersuchen. Vom Altproduktrecycling sind wegen der dissipativen Verwendung und bei

³⁹ Nasser Aufschluss von Bauxit mit Natronlauge unter Druck bei erhöhter Temperatur.

Photovoltaik auch wegen der langen Nutzungsdauern mittelfristig keine nennenswerten Beiträge zur Entlastung der Gallium-Primärproduktion zu erwarten.

5.2.3 Germanium

Germanium hat seine Hauptanwendungsgebiete in den Bereichen Glasfasertechnik, Infraroptik und Polyethylenterephthalat (PET)-Katalyse. Deutschland ist aufgrund der hohen Wertschöpfung mit Produkten aus Germanium sehr abhängig von einer gesicherten Versorgung. Einen Großteil seines Bedarfs bezieht Deutschland aus der VR China. Da wenig Substitute in Sicht sind, die Modernisierung der Telekommunikationsnetze ansteht und neue Anwendungen wie Mehrfachsolarzellen⁴⁰ vor der Markteinführung stehen, ist die Versorgungslage kurz-, mittel- und langfristig ins Auge zu fassen.

Es ist wahrscheinlich, dass die Germaniumpreise mittelfristig ansteigen – auch wenn kurzfristige Senkungen möglich sind. Hohe Preise begünstigen auch das Recycling von Germanium, das aber aufgrund geringer Germanium-Gehalte und teilweise auch Materialvielfalt erschwert ist. Es wird empfohlen, die Gewinnung von Germanium aus Kohle und Erzen national und international, z.B. über ein Engagement im Rahmen der Rohstoffpartnerschaften, engagiert zu verfolgen, um die Versorgung mittel- bis langfristig zu sichern.

Die noch erschließbaren Produktionsabfallrecyclingpotentiale für Germanium sind unbekannt, aber vermutlich deutlich weitgehender ausgeschöpft als beim Altproduktrecycling. Insbesondere für das Glasfaserkabelrecycling sollten die Recyclingpotentiale heute und in Zukunft identifiziert und geeignete Verfahren zur Wiedernutzung der Stoffeigenschaften des Germaniums entwickelt werden. Dieser potentielle Leitmarkt könnte neben Abfällen aus der Produktion von Glasfasern auch ausgediente Glasfasern aus ganz Europa aufnehmen.

Ein Verfolgen der Substitutionsstrategie ist mit Risiken behaftet, z.B. indem (1) die hohe Wertschöpfung mit Germanium-haltigen Produkten gefährdet werden kann und (2) nicht die volle Funktionalität des Germaniums für die Entwicklung von Zukunftstechnologien genutzt wird. Insbesondere die Chancen von Mehrfachsolarzellen sollten in Deutschland mit Nachdruck realisiert werden.

5.2.4 Indium

Die Verwendung von Indium wird durch Dünnschichtanwendungen, insbesondere transparente Elektroden für Displays, dominiert. Bisher scheint sich das Angebot von primärem Indium bis zu einer gewissen Grenze relativ gut an die Nachfrage anpassen zu lassen. Kurzfristig ist mit erhöhter Preisvolatilität zu rechnen, mittel- und langfristig sind Maßnahmen zu treffen, um die erwartete Angebotslücke zu decken.

Es bestehen Potentiale zur verbesserten Zuführung von Rückständen aus der Zink-/Blei-Verhüttung zu Indium-Raffinerien und zur Erhöhung der Wiedergewinnungsraten. Dies ist die Voraussetzung für die Abnahme von Indium durch die heimische verarbeitende Industrie. Die

⁴⁰ Mehrfachsolarzellen bestehen aus mehreren Schichten von verschiedenen Halbleitermaterialien, die im Vergleich zu einzelnen Schichten deutlich höhere Wirkungsgrade bis zu über 40 % erzielen.

Erschließung der Zink-gebundenen Indium-Vorkommen in Deutschland ist nur unter Berücksichtigung des gesamten darin enthaltenen Metallspektrums bewertbar.

Während der Markt für Halbleiterschichten in der Photovoltaik genügend Alternativen zum Einsatz von Indium anbietet, ist dies für die Verwendung als Indiumzinnoxid (ITO) nicht der Fall. ITO wird als transparente, leitfähige Elektrode vor allem für Displays und auch für Photovoltaik verwendet. Sollte die intensivierete Suche nach großtechnisch einsetzbaren Ersatzstoffen für transparente, leitfähige Elektroden zum Erfolg führen, so könnten die Indium-Märkte stark einbrechen. Es wird empfohlen, das Produktionsabfallrecycling systematisch auf Defizite und Maßnahmen zu ihrer Behebung hin zu untersuchen. Vom Altproduktrecycling sind wegen der dissipativen Verwendung – und bei Photovoltaik auch wegen der langen Nutzungsdauern (IZT/MaRes 2010) – mittelfristig keine nennenswerten Beiträge zur Entlastung der Indium-Primärproduktion zu erwarten.

5.2.5 Kupfer

Auf Grund seiner leichten Formbarkeit, hohen Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion und insbesondere seiner elektrischen Leitfähigkeit und bakteriziden Eigenschaft ist Kupfer bis heute eines der am häufigsten verarbeiteten Metalle der Industrie. In Deutschland wird mit Kupfer eine erhebliche Wertschöpfung in zahlreichen Branchen erzielt, darunter in Komponenten für die Stromversorgung, den Maschinen- und Anlagen- sowie den Fahrzeugbau.

Die wenigen Kupferhütten in Deutschland konkurrieren mit größeren ihrer Art in der VR China und in Japan. Das Kupferrecycling ist eine hervorragende, praktisch etablierte Rohstoffquelle für Deutschland. Durch den Export von gebrauchten Kraftfahrzeugen, Maschinen und Anlagen (adelphi/RNE 2003) sowie elektrischen und elektronischen Geräten (Ökopol/UBA 2010) geht Deutschland aber ein Großteil des nationalen Altschrottaufkommens verloren. Über Exportrestriktionen hinaus bieten Länder wie die VR China Importanreize für Kupferschrott. Von strategischem Interesse sind der Import und die Verarbeitung von Kupfererz und -konzentrat auch zur indirekten Versorgung mit Molybdän, Rhenium, Cobalt, Selen, Tellur und weiteren Begleitstoffen. Eine ausreichende und sichere Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Kupfer wird kurz-, mittel- und langfristig von zentraler Bedeutung sein.

Die Konzentration in der Kupferhüttenindustrie und deren Marktmacht erschwert den Markteintritt neuer Akteure. Die Versorgung Deutschlands mit Kupfererzen und den darin enthaltenen Begleitstoffen fokussiert deshalb auf nur ein Unternehmen, den europäischen Kupferkonzern Aurubis aus Hamburg, während das zweite Unternehmen, Kazakhmys, zwar in Deutschland produziert, aber in Kasachstan beheimatet ist (vgl. Kapitel 6.3.1). Die Erschließung von Vorkommen in Deutschland (Lausitzer Kupferschiefer) scheint eine sinnvolle Strategie zur Kupferversorgung zu sein, ihr potentieller Beitrag ist aber quantitativ begrenzt.

Der hohe Kupferbestand in Materiallagern in Deutschland (Gebäude, Infrastrukturen, Fahrzeuge und Produkte in der Nutzungsphase) legt eine Ausweitung des Konzepts der nachhaltigen Bestandsbewirtschaftung nahe (IZT 2004). Stoffstrombezogene Defizite gibt es insbesondere bei der Erfassung von elektrischen und elektronischen Altgeräten und dem Rückfluss von Kupfer aus Bauschutt und Altkraftfahrzeugen. Auch außenhandelspolitische Maßnahmen können hier flankierend zur Verbesserung des nationalen Kupferschrottaufkommens beitragen. Es wird

empfohlen, die Rolle Deutschlands in einer globalen Recyclingwirtschaft zu stärken und mit dem vorhandenen Know-How auch Auslandsmärkte stärker zu erschließen.

Die Umsetzung der Substitutionsstrategie für Kupfer ist nur in begrenzten Teilsegmenten wie der Telekommunikationstechnik sinnvoll (Glasfaser, Funk), im Bereich der quantitativ dominierenden Stromübertragung sind die technischen Vorteile des Kupfers gegenüber Aluminium substitutionshemmend und für viele Anwendungen im Automobilbereich sind keine geeigneten Substitute bekannt. Auf der anderen Seite gilt es, die Eigenschaften von Kupfer in grünen Leitmärkten wie Offshore-Windenergie und Elektromobilität sinnvoll zu nutzen.

5.2.6 Molybdän

Molybdän wird zu großen Anteilen zur Legierung von Stahl verwendet, der für die Energiegewinnung, den Bausektor, Schwermaschinen und im Transportwesen benötigt wird. Die Nachfrage nach Molybdän ist stark an die Weltkonjunktur gekoppelt. Angesichts der konjunkturellen Schwankungen ist wie beim Kupfer eine eng an den Verbrauch gekoppelte Rohstoffsicherung sinnvoll. Die mittel- und langfristigen Optionen zur Rohstoffsicherung ähneln deshalb denen von Kupfer.

Molybdän wird je zur Hälfte aus Molybdänerzen und als Nebenprodukt der Verhüttung von Kupfererzen gewonnen. Die Veränderungen im primären Molybdänangebot hin zu Molybdänerzen und die Verringerung des Molybdänaustrags bei der zunehmenden Kupfergewinnung mit Lösemittelextraktion und anschließender Elektrolyse (SX-EW Verfahren) sind im Auge zu behalten. Deutsche Unternehmen scheinen angesichts mehrjähriger Abnahmeverträge und strategischer Beteiligungen an Auslandsprojekten gut vorgesorgt zu haben.

Die Substitutionsmöglichkeiten für Molybdän sind gering, während das Recyclingpotential nicht ausgereizt ist. Der Rückfluss von Altschrott ins Stahlrecycling ist zwar erheblich, die gezielte Nutzung der Molybdän-spezifischen Eigenschaften ist jedoch nur selten das Ziel des Recyclings. Hier wird empfohlen, für die Legierungsbestandteile von Altschrott (neben Molybdän u.a. auch Cobalt, Mangan, Niob, Rhenium, Vanadium, Wolfram) neue integrierte Recyclingkonzepte zu entwickeln.

5.2.7 Niob

Niob kommt vorwiegend als Legierungselement für Stahl zum Einsatz. Die entsprechenden Stähle werden großteils für Pipelines, den Automobilbau und als Konstruktionswerkstoff verwendet. Die Versorgung mit Niob hängt sehr stark von wenigen Minen in Brasilien ab. Kurz-, mittel- und langfristig ist kein Projekt bekannt, was an dieser Vormachtstellung etwas ändern könnte. Das dominierende brasilianische Unternehmen CBMM lässt sich die gute Marktpflege auch etwas kosten, die herausragenden Eigenschaften von Niob lassen die Stahlhersteller aber nicht auf andere Legierungen ausweichen.⁴¹ Insofern ist eine Verbreiterung der Versorgungsbasis für Niob mittel- bis langfristig wünschenswert. Allerdings gibt es für die Verbesserung der Niob-Versorgung nur wenige Möglichkeiten.

⁴¹ Interview mit Herrn Breese (Stahl-Zentrum) 2011.

Die Materialeffizienz durch Substitution und Recycling kann nur unter weitreichenden Annahmen einen nennenswerten Beitrag zur Verringerung der Nachfrage nach primärem Niob beitragen: Weder ist ein gleichwertiges Substitut für Niob in leichten, hochfesten Stählen in Sicht, noch ist ein Altproduktrecycling angesichts der geringen Konzentrationen im Stahlschrott (weniger als 1 %) und anderer wertgebender Legierungsbestandteile (z.B. Chrom, Nickel) derzeit wirtschaftlich darstellbar.

Zwar schließen die deutschen Unternehmen langfristige Abnahmeverträge mit den brasilianischen und – in geringem Umfang auch – den kanadischen Produzenten. Vor dem Hintergrund der Beteiligungen asiatischer Stahlproduzenten an brasilianischen Niob-Projekten stellt sich jedoch die Frage nach strategischen Auslandsbeteiligungen deutscher Firmen. Die Vorherrschaft der CBMM mit ihrer Araxas-Mine scheint mittelfristig nicht durch neue Projekte aufzubrechen. Deshalb besteht ein großer Explorationsbedarf für Niob.

5.2.8 Rhenium

Rhenium wird vorwiegend in der Luftfahrt, in Gasturbinen und in der Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus festen Energieträgern wie Kohle und Biomasse oder gasförmigen Energieträgern wie Erdgas (XtL-Synthese) eingesetzt. Die Versorgung mit primärem Rhenium als Nebenprodukt von gerösteten Molybdänerzen unterliegt starken Restriktionen. Deutschland verfügt aber mit dem Recycling von Superlegierungen und Katalysatoren über nennenswerte eigene Rhenium-Quellen. Die wenigen großen Rhenium-Abnehmer aus der Luftfahrtindustrie und der Herstellung von Kraftwerksturbinen haben eigene Versorgungsstrukturen aufgebaut. Für den weiteren Ausbau der Luftfahrt, von Gaskraftwerken und der XtL-Synthese müssen aber mittel- bis langfristig neue Antworten gefunden werden.

Die realen Versorgungsmuster für Rhenium sind nur wenig bekannt. Am erfolgversprechendsten erscheinen zwei Versorgungsstrategien: (1) Die Ausrüstung von Molybdän-Röstanlagen mit Anlagen zur Wiedergewinnung von Rhenium und (2) mittel- und langfristig auch die globale Recyclingwirtschaft.

5.2.9 Seltene Erden

Seltene Erden werden in den Hauptsegmenten Magnete, Batterien, Metallurgie, Poliermittel, Glas- und Keramikadditive und Leuchtstoffe verwendet. Zur Festigung und Stärkung der Position Deutschlands bei Zukunftstechnologien ist eine sichere und wirtschaftliche Versorgung mit Seltenen Erden als Rohstoff oder in Komponenten unerlässlich. Zentrale Aufgabe ist es, die Produktion rechtzeitig mit der Nachfrage in Einklang zu bringen. Die Angebotssituation ist kurzfristig prekär, sie wird sich aber zumindest bei der Cer-Gruppe (den sog. leichten Seltenen Erden) in den nächsten Jahren voraussichtlich deutlich entspannen, wohingegen bei der Versorgung mit der Yttrium-Gruppe (den sog. schweren Seltenen Erden) noch erhebliche Anstrengungen nötig erscheinen (vgl. BGR 2011).

Deutschland versteht Zukunftstechnologien wie Elektromobilität und Windenergie als Leitmärkte, wofür es vermutlich das technische Potential der Seltenen Erden sinnvoll nutzen und weiterentwickeln muss (IZT/FVA 2011). Vom Recycling sind wegen zahlreicher auch physischer Hemmnisse in vielen Anwendungsbereichen wenig entlastende Impulse zu erwarten. Für die

mittel- bis langfristige Versorgung sind Verfahren für das Recycling von Seltenen Erden aus Batterien und Magneten zu entwickeln. Die wiedergewonnenen Seltenen Erden müssen zudem in ihrer Zusammensetzung nicht unbedingt mit dem Bedarf übereinstimmen.

Insgesamt scheint die Versorgung mit Seltenen Erden ein kurz- bis mittelfristiges Problem zu sein (vgl. Kapitel 6.2). Die langfristige Versorgung wird sich voraussichtlich entspannen. Es wird empfohlen, sich über die akute Rohstoffsicherung hinaus bei einigen hochwertigen Bergbauprojekten im Ausland (mit hohen Anteilen an Neodym und der Yttrium-Gruppe) zu engagieren.

5.2.10 Wolfram

Deutschland hat mit seiner metallverarbeitenden Industrie und dem Bausektor wichtige Branchen, die mit den speziellen Eigenschaften von Wolfram (Wolframcarbid-Schneidwerkzeuge) ihre Wettbewerbsfähigkeit sichern und verbessern. Die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Wolfram ist kurzfristig unter Druck, mittel- und langfristig ist aber eine Entlastung zu erwarten.

Der Auslandsbergbau auch in stabilen Ländern scheint den möglichen mittelfristigen Versorgungsengpässen aus der VR China proaktiv zu begegnen. Der Bezug von Wolfram-Produkten über Mehrjahresverträge und/oder über Auslandsbeteiligungen wird empfohlen.

Die Substitutionsmöglichkeiten für Wolfram sind wegen der außergewöhnlichen Eigenschaften begrenzt. Das Recycling von Wolfram-haltigem Altschrott aus der Investitionsgüterindustrie ist weit verbreitet. Neben Wolfram tragen oft auch Kupfer, Cobalt, Niob, Nickel, Rhenium, Silber, Titan und Tantal zu den Erlösen aus dem Recycling bei. Wesentliche Aufgabe für ein verstärktes Recycling von diesen Metallen ist die Verbesserung der Erfassung von Altschrott, die im industriellen Bereich deutlich weiter gediehen ist als im bislang kaum erschlossenen, weniger mächtigen Haushaltsbereich (z.B. Erfassung von Wolfram in Messern und Sägeblättern über eine allgemeine „Wertstofftonne“).

5.3 Querschnittsbetrachtungen

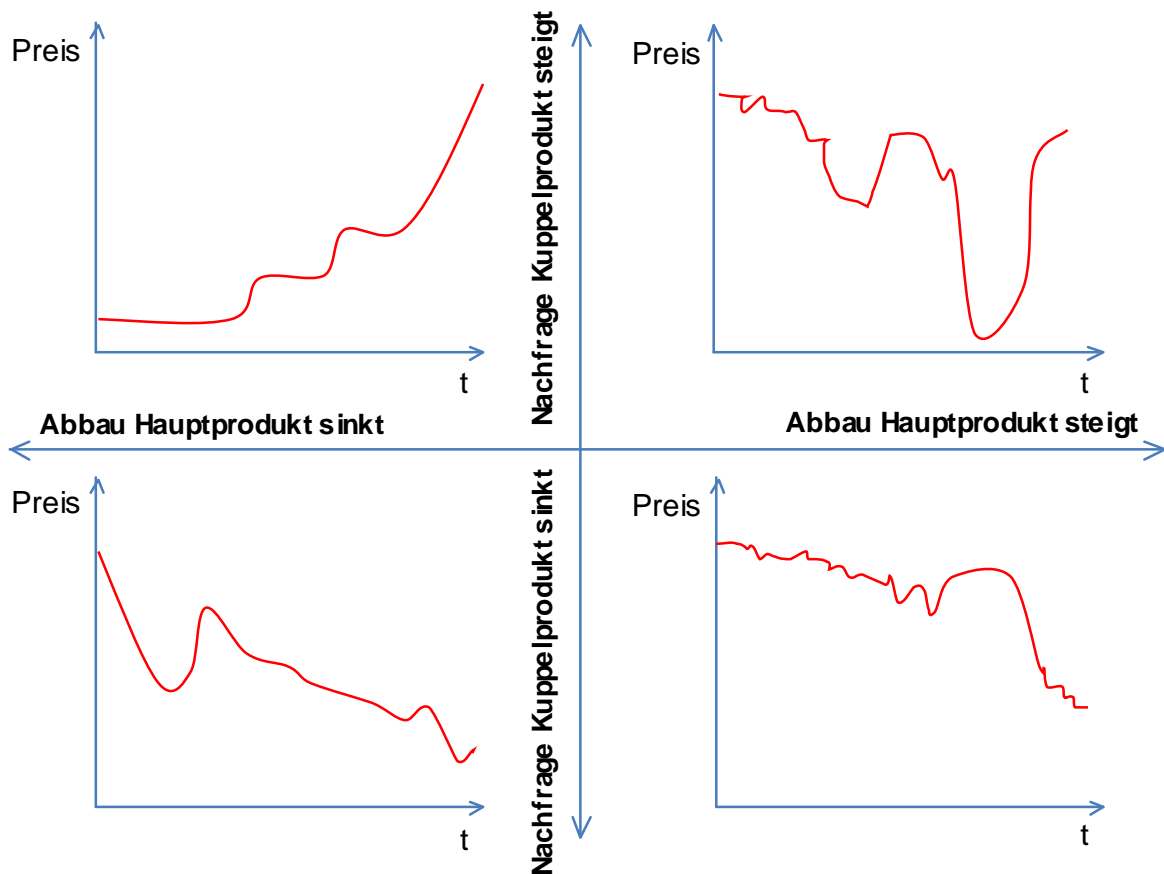
5.3.1 Entwicklung von Angebot und Nachfrage sowie Preisen

Die Entwicklung von Angebot und Nachfrage bestimmt zu einem hohen Maße den zukünftigen Rohstoffpreis. Kurz-, mittel- und langfristig kann es durchaus unterschiedliche Preisentwicklungen geben. Für das Zusammenspiel von Haupt- und Nebenprodukten lassen sich strukturelle Preismuster skizzieren (Abbildung 5-2).

Für Hauptprodukte gilt, dass die Preise steigen, wenn der Abbau der Nachfragesteigerung nicht folgen kann. Komplexer sind die Preismuster für Nebenprodukte. Zahlreiche kritische Rohstoffe werden als Nebenprodukte von Hauptprodukten gewonnen. Bergbauprojekte werden vorwiegend wegen der Hauptprojekte unternommen, weshalb die Nebenprodukte meist nur einen geringen Einfluss auf die Erlössituation der Bergbauunternehmen haben. Dazu gehören insbesondere die seltenen und verteilten Metalle, die in der Regel aus Produktionsabfällen und Zwischenprodukten gewonnen werden (Naumov/Grinberg 2009). Für die Preisentwicklungen von

Nebenprodukten als Funktion des Abbaus von Hauptprodukten und der Nachfrage nach den Nebenprodukten ergeben sich charakteristische Verläufe:

Abbildung 5-2: Preismuster von Nebenprodukten in Abhängigkeit vom Hauptprodukt



Quelle: Naumov/Grinberg 2009

Es können vier Fälle unterschieden werden. Im 1. Fall (Quadrat rechts oben) steigen der Abbau des Hauptproduktes und die Nachfrage nach dem Nebenprodukt. Die Unmöglichkeit einer Feinabstimmung von Angebot und Nachfrage äußert sich in hoher Preisvolatilität des Nebenproduktes. Im 2. Fall (Quadrant rechts unten) steigt zwar der Abbau des Hauptproduktes, die Nachfrage nach dem Nebenprodukt sinkt aber. In diesem Fall sinken die Preise für das Nebenprodukt nachhaltig. Im 3. Fall (Quadrant links unten) sinken sowohl der Abbau des Hauptproduktes, als auch die Nachfrage des Nebenproduktes, was zu einem langsamen, aber Schwankungen unterworfenem Preisverfall des Kuppelproduktes auf ein für Produzent und Verbraucher akzeptables Niveau führt. Im 4. Fall (Quadrant links oben) sinkt der Abbau des Hauptproduktes, aber die Nachfrage nach dem Kuppelprodukt steigt, wodurch die Preise für das Nebenprodukt stark ansteigen.

Für die zehn vertieft untersuchten Rohstoffe werden aus heutiger Sicht kurzfristig beziehungsweise mittel-/langfristig voraussichtlich folgende Angebots- und Nachfragemuster erwartet:

Tabelle 5-1: Angebots- und Nachfragetendenzen der untersuchten Rohstoffe

Rohstoff	Charakterisierung	Kurzfristig		Mittel- bis langfristig	
		Angebot	Nachfrage	Angebot	Nachfrage
Antimon	überwiegend Hauptprodukt	↓ / →	↑	→	→ / ↓
Gallium	Nebenprodukt von Aluminium	↑	↑	↑	↑↑
Germanium	Nebenprodukt von Blei/Zink, Kupfer, Kohle	↑	↑	↑	↑↑
Indium	Nebenprodukt von Blei/Zink, Zinn	↑	↑	↑	↑↑
Kupfer	Hauptprodukt	↑	↑	↑	↑
Molybdän	Hauptprodukt/Nebenprodukt 50/50	↑	↑	↑	↑
Niob	überwiegend Hauptprodukt	↑	↑	↑	↑
Rhenium	Nebenprodukt von Molybdän	↑	↑	→	↑↑
Seltene Erden	überwiegend Hauptprodukt	↓ / →	↑	↑ / ↑↑	↑↑
Wolfram	überwiegend Hauptprodukt	↓ / →	↑	↑	↑

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; → geringe Veränderungen, ↓ sinkend, ↑ steigend, ↑↑ stark steigend.

Für Antimon ist bei leicht steigender Nachfrage derzeit ein deutlicher Rückgang der Bergbauaktivität in der VR China zu verzeichnen. Mittel- bis langfristig dürfte sich das Angebot stabilisieren und die Nachfrage aufgrund der intensiven Anstrengungen zur Substitution halogenhaltiger Flammenschutzmittel wahrscheinlich verringern. Die kurzfristigen starken Preissteigerungen könnten mittel- bis langfristig von einem Preisverfall abgelöst werden. Wie im Falle des Antimons bestehen auch bei den Seltenen Erden und Wolfram zumindest vorübergehend Angebotsreduzierungen aufgrund der Konsolidierung des Minensektors und von Exportrestriktionen in der VR China. Kurzfristig dürften die Preise bei zunehmender Nachfrage also weiter steigen. Mittel- und langfristig werden sowohl die steigende Nachfrage nach Wolfram, als auch die stark steigende Nachfrage nach Seltenen Erden durch Angebotsausweitungen des Bergbaus voraussichtlich gedeckt werden können. Dauerhaft anhaltende Angebotslücken sind bei einigen schweren Seltene-Erden-Elementen (u.a. Terbium, Dysprosium) nicht ausgeschlossen.

Gallium, Germanium, Indium und mit Abstrichen auch Rhenium weisen vermutlich ähnliche zukünftige Angebots- und Nachfragemuster auf. Die kurzfristig steigende Nachfrage kann durch verstärkte Separierung und Aufbereitung gedeckt werden. Mittel- bis langfristig stößt die voraussichtlich exponentiell steigende Nachfrage aber auf Grenzen der Angebotsausweitung aufgrund der dominierenden Nebenproduktion (Fall 4). Bei Rhenium ist die mittel- bis langfristige Angebotssituation noch dadurch verschärft, dass die zunehmende Extraktion von Kupfer aus dem Erz mit dem SX-EW-Verfahren auf Kosten des pyrothermischen Verfahrens nicht zu einer Separierung von Molybdän führt. Molybdän wird deshalb zunehmend aus primären Rohstoffen

gewonnen, die nicht solch günstige Rhenium-Anreicherungsbedingungen aufweisen wie die gerösteten Kupfer-/Molybdänerze.

Bei Kupfer, Molybdän und Niob wird erwartet, dass die kurz-, mittel- und langfristigen Nachfrageanstiege durch Angebotsausweitungen weitgehend gedeckt werden können. Es sind deshalb zwar volatile (Molybdän: Fall 1), im langjährigen Mittel aber weitgehend stabile Preise für diese stark von der Weltkonjunktur abhängigen Rohstoffe zu erwarten.

Eine große Unbekannte bei Projektionen des zukünftigen Preisniveaus sind Marktinterventionen durch Regierungen und die oligopolartigen Angebotssituationen. Beide Faktoren sprechen für weitere Preissteigerungen und/oder -volatilität. Die Spekulation mit Nebenprodukten ist aufgrund ihrer kleinen Marktvolumina, der oft unzureichenden Datenbasis und fehlender Preisfixierungen besonders begünstigt (Naumov/Grinberg 2009). Auch andere Rohstoffe aus dem Screening könnten mit dieser Heuristik klassifiziert werden. Dies erfordert jedoch eine eingehende Analyse der Märkte für die Haupt- und die Nebenprodukte.

5.3.2 Schwachstellen in der Wertschöpfungskette der Rohstoffe

Über den Lebenszyklus der Rohstoffe gehen Materialien verloren, entstehen Emissionen und Umweltbelastungen. Über diese stofflichen Schwachstellen hinaus birgt die Wertschöpfungskette für Deutschland spezifische strukturelle Defizite. Für die zehn untersuchten Rohstoffe lassen sich die Schwachstellen synoptisch folgendermaßen wiedergeben:

Tabelle 5-2: Wichtige Schwachstellen in den Wertschöpfungsketten der untersuchten Rohstoffe

Rohstoff	Bergbau	Verarbeitung	Komponenten	Endprodukte	Recycling
Antimon	Dominanz Chinas Umwelt & Gesundheit	Antimontrioxid (ATO) aus China	Nachfrage halogenhaltiger Flammenschutz- mittel unsicher	Humantoxizität in PET-Flaschen	dissipative Verwendung wenig geeignete Verfahren (Altprodukte)
Gallium	Kopplung an Aluminium	keine Raffination zu N6-Qualität in Deutschland	Konkurrenz mit anderen Halbleitern geringe Prozess- ausbeuten	Toxizität von Arsen in Galliumarsenid	dissipative Verwendung wenig geeignete Verfahren (Altprodukte)
Germanium	Dominanz Chinas Kopplung an Blei/Zink, Kupfer, Kohle	Germaniummetall und -oxid aus China	-	Staatliche Investitionen in Glasfasernetz unsicher	dissipative Verwendung wenig geeignete Verfahren (Altprodukte)
Indium	Kopplung an Blei/Zink, Zinn	Indiummetall aus China	geringe Prozess- ausbeuten	Abwanderung der Displaybranche aus Deutschland	unzureichendes Produktionsabfall- recycling dissipative Verwendung wenig geeignete Verfahren (Altprodukte)
Kupfer	Abnahme der Erzgehalte	Energiepreise und Umweltauflagen in Deutschland	Druck durch Glasfaserkabel	Aquatoxizität im Außenbereich (Gebäude)	kein global flächen- deckendes Rück- führungssystem Schrottexport
Molybdän	Teil-Kopplung an Kupfer	Ferromolybdän- Import	-	-	dissipative Verwendung Schrottexport
Niob	Dominanz Brasi- liens	Ferroniob-Import	-	-	dissipative Verwendung Schrottexport
Rhenium	Kopplung an Molybdän/Kupfer	Ammoniumper- rhenat (APR)- Import	-	-	dissipative Verwendung kein global flächen- deckendes Rück- führungssystem
Seltene Erden	Dominanz Chinas Umwelt & Gesundheit	Dominanz Chinas Umwelt & Gesundheit	Wenige Patent- inhaber für Mag- nete	Nachfrage- unsicherheit	unzureichendes Produktionsabfall- recycling dissipative Verwendung wenig geeignete Verfahren (Altprodukte)
Wolfram	Dominanz Chinas Umwelt & Gesundheit	Arbeitssicherheit & Umweltauflagen in Deutschland	-	-	teilweise dissipative Verwendung Schrottexport

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi; - unbekannt; N6 – 99,999999 %ige Reinheit.

Die Schwachstellen in der Wertschöpfungskette für die zehn im Detail untersuchten Rohstoffe sind mannigfaltig. Im Bergbau finden sich vier Hauptformen: (1) Dominanz weniger Länder / Unternehmen (Antimon, Germanium, Niob, Seltene Erden, Wolfram), (2) Umwelt- und Gesundheitsprobleme (Antimon, Seltene Erden, Wolfram) (3) Abnahme der Erzgehalte (Kupfer) und (4) Nebenproduktion (Gallium, Germanium, Indium, Molybdän, Rhenium).

In Deutschland wird keiner der zehn Rohstoffe abgebaut, aber sie werden teilweise hier verarbeitet. Durch die Einfuhr der Erz-Konzentrate von Aluminium, Blei/Zink, Zinn und Kupfer kommen auch einige Nebenprodukte wie Gallium, Indium und Molybdän ins Land. Gallium wird auch separiert, aber in Deutschland nur bis zur Qualität N4 raffiniert. Über die Extraktion von Indium und Molybdän ist wenig bekannt. Beim Import zur weiteren Verarbeitung hat eine Verschiebung hin zu höheren Verarbeitungsstufen stattgefunden (Antimonzinnoxid, Ferromolybdän, Ferroniob). Bei der Verarbeitung der Metalle erschweren hohe Umwelt- und Gesundheitsauflagen und Energiepreise die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands (Kupfer, Wolfram), in anderen Ländern werden gravierende Umwelt- und Gesundheitsprobleme bei der Verarbeitung verursacht (z.B. Kupfer in Iran, Seltene Erden in der VR China, vgl. Kapitel 6.2.1).

Auf Komponenten- und Endprodukt-Ebene ist die Nachfrage bisweilen sehr unsicher. Teilweise ist dies auf mögliche staatliche Interventionen (z.B. toxizitätsbegründete Verwendungsbeschränkungen von Antimon) oder Investitionen (z.B. Germaniumbedarf für die Modernisierung der Telekommunikationsnetze) zurückzuführen, teilweise aber auch auf Marktunsicherheiten (z.B. marktgetriebene Substitution von Kupferkabeln für die Telekommunikation, Seltene Erden Abnehmermärkte). Die Prozessausbeuten bei der Verarbeitung von Gallium und Indium sind sehr gering, so dass ein effizientes Produktionsabfallrecycling erforderlich ist.

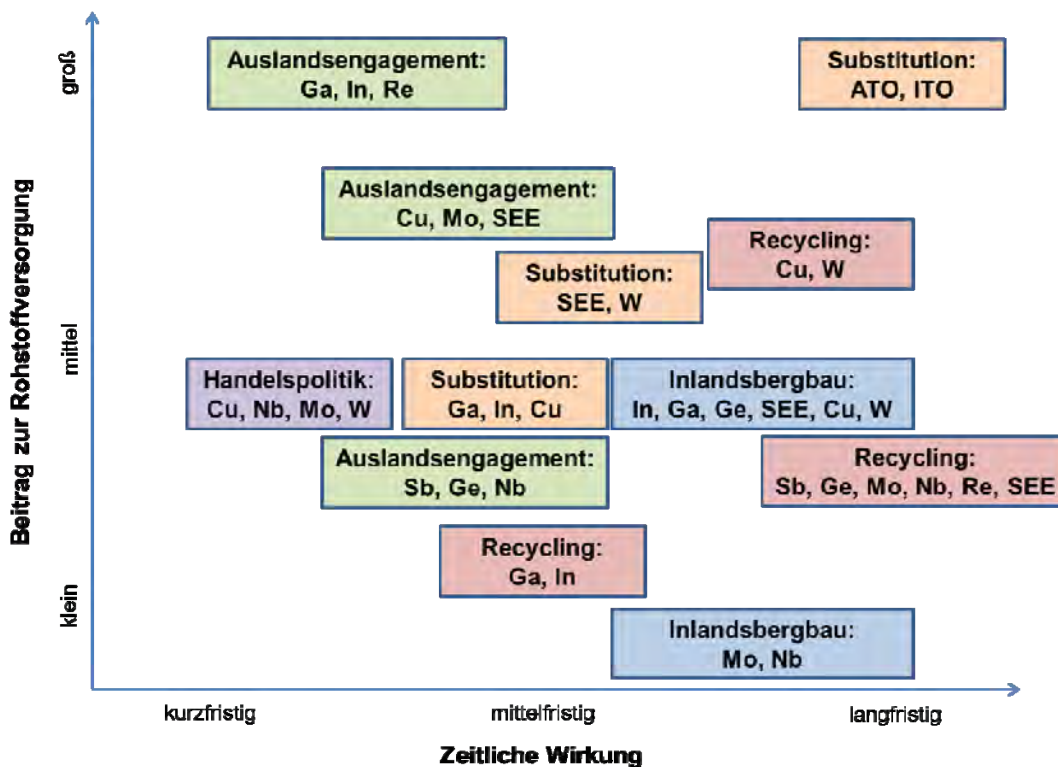
Für einige Rohstoffe gibt es vermutlich noch vergleichsweise große Potentiale zur Verbesserung des Produktionsabfallrecyclings (u.a. Indium-Zinnoxid aus der Beschichtungstechnik, Seltene Erden als Polier- und Schleifmittel). Schwachstellen beim Altproduktrecycling ergeben sich vor allem durch die dissipative Verwendungsstruktur (Antimon, Gallium, Germanium, Indium) und Schrottexporte (Kupfer, Molybdän, Niob, Wolfram). Für Rhenium und Kupfer gibt es kein global flächendeckendes Rückführungssystem. Für das Recycling von Altprodukten fehlt es teilweise an geeigneten Recycling-Verfahren (u.a. Antimon aus Kunststoffen, Seltene Erden aus Magneten). Für Molybdän und Niob ist das Recycling durch fehlende Ausnutzung der Materialeigenschaften im Recyclingstahl eher ein Downcycling.

5.3.3 Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung

Die operative Rohstoffbeschaffung gehört zu den originären Unternehmensaufgaben. Die Marktbeobachtung ist teilweise sehr schwierig, denn es gibt nur wenige Marktteilnehmer und es fehlt an Transparenz (v.a. Gallium, Indium, Rhenium). Besonderes Augenmerk muss vorübergehend auf die Folgen der Markteinführung von Molybdän an der London Metal Exchange (LME) gelegt werden. Kupfer ist dagegen seit langem an der LME notiert und wird dort heute nahe am Erzeugerpreis gehandelt. Für Niob ist die Marktpflege durch die Oligopolisten kritisch zu beobachten.

Jenseits der operativen Beschaffung sind in den Rohstoffprofilen der Inlandsbergbau, der Auslandsbergbau, die Außenhandelspolitik, das Recycling und die Substitution untersucht worden. Diese fünf Maßnahmenbereiche unterscheiden sich hinsichtlich ihres spezifischen Beitrages zur Versorgung des jeweiligen Rohstoffes und auch hinsichtlich ihrer zeitlichen Wirksamkeit, d.h. selbst wenn unmittelbar mit der Einführung der Maßnahme begonnen würde, träten die Effekte zur Verbesserung der Rohstoffversorgung erst mit einem gewissen Zeitverzug ein (Latenz). Eine orientierende Einschätzung bietet Abbildung 5-3.

Abbildung 5-3: Einschätzung des quantitativen Beitrags und der Wirkungslatenz von Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung



Quelle und Anmerkung: Eigene Darstellung IZT/adelphi; ATO - Antimontrioxid, ITO – Indiumzinnoxid, SEE – Seltene Erden Elemente.

Die derzeit erkennbaren potentiellen Bergbauprojekte in Deutschland werden, wenn sie realisiert werden, ihre Wirkung auf die Rohstoffversorgung erst mittel- bis langfristig entfalten. Kleine bis mittlere Versorgungsbeträge sind für Indium, Gallium, Germanium, Seltene Erden, Kupfer und Wolfram möglich; für Antimon und Rhenium sind derzeit keine Projekte in Deutschland bekannt.

Wesentlich größer sind die Potentiale von Engagements im Auslandsbergbau. Separations- und Aufbereitungsanlagen für Gallium, Indium und Rhenium können bei entsprechendem Zugang in bestehende und entstehende ausländische Rohstoffgewinnungsprozesse integriert werden. Kurz- bis mittelfristig ließen sich somit große Versorgungsbeiträge realisieren. Etwas später wirksam und mit einem etwas geringeren spezifischen Versorgungsbeitrag angelegt wären Auslandsengagements bei primären Kupfer-, Molybdän- und Seltenen Erden-Projekten.

Das Vorgehen gegen Exportrestriktionen und/oder Anreize für Importe können potentiell relativ kurzfristig die Versorgungslage für Kupfer, Niob, Molybdän und Wolfram signifikant verbessern.

Unausgereiftes Produktionsabfallrecycling und kurze Lebensdauern der entsprechenden Produkte lassen Recyclingpotentiale für Gallium und Indium mittelfristig in kleinerer bis mittlerer Größenordnung vermuten; für Germanium, Molybdän oder Niob entfalten solche Maßnahmen aufgrund der längeren Lebensdauern der Materialdepots erst langfristig ihre Wirkung. Höhere Recyclingbeiträge könnten mittel- bis langfristig für Kupfer und Wolfram erzielt werden.

Die Substitution eines Rohstoffes in einer bestimmten Anwendung verbessert indirekt über die Senkung der Nachfrage die Rohstoffversorgung für die anderen Rohstoffanwendungen. Langfristige Substitutionsprojekte mit großer Wirkung wären die Substitution von Antimon in Flammenschutzmitteln und von Indium in transparentem Elektrodenmaterial. Kurzfristigere, aber in ihrem Versorgungsbeitrag auch begrenztere Substitutionsmöglichkeiten gibt es für Gallium und Indium als Halbleitermaterial in Photovoltaik und für Kupfer in der Telekommunikation und in einigen Kraftfahrzeuganwendungen.

6 Die Rolle von Governance für die Kritikalität von Rohstoffen

In diesem Kapitel wird der Frage nachgegangen, wie sich Governance-Faktoren auf die Kritikalität von Rohstoffen auswirken. Nach einer Einleitung zur Rolle von Governance in dieser Fragestellung werden zunächst allgemeine Governance-Faktoren aufgezeigt, die für die Frage nach Versorgungssicherheit und Kritikalität mineralischer Rohstoffe relevant sind. Zweitens werden spezifische Ressourcengovernance-Faktoren erfasst. Beide Faktoren werden in einer Governance-Typologie zusammengebracht. Diese bietet die Grundlage für die vertiefende Analyse zu ausgewählten Rohstoffen und Ländern in den folgenden Abschnitten.

Unter *Governance* wird hierbei die Regelsetzung und Steuerung verstanden, die durch den Staat aber auch öffentlich-staatliche Partnerschaften oder nichtstaatliche Akteure (Wirtschaft, Zivilgesellschaft) vollzogen werden. Governance-Faktoren beeinflussen einerseits die Versorgung (*pressure*) und andererseits die politisch-wirtschaftlichen Handlungsspielräume (*response*). Für die Analyse der Kritikalität bestimmter Rohstoffe sind in erster Linie die Einflüsse auf die Versorgung von Interesse. Der folgende Teil systematisiert diese Governance-Faktoren und fasst sie in einer Typologie zusammen.

6.1 Strukturierung der Governance-Faktoren (Typologie)

Bei der Frage nach der sicheren Versorgung mit Rohstoffen wirken verschiedene Facetten von Governance: die allgemeine Governance-Situation im Abbau- und Exportland sowie die spezifischen Governance-Strukturen im Hinblick auf Rohstoffe. Diese spiegeln auch die spezifischen Rohstoffeigenschaften wider.

Governance im Abbau- und Exportland

Der Zugang zu Rohstoffen hängt unmittelbar mit der Stabilität und den dahinterliegenden Governance-Faktoren des Exportlandes und der Abbauregionen zusammen. Rohstoffexploration und -abbau können aber im Zusammenhang mit Instabilität bis hin zu gewaltförmigen Kriegen stehen (adelphi/UBA 2011a; Mildner/Perthes 2010). Selbst wenn es nicht zu den extremen Ausprägungen wie Krisen und Konflikten kommt, können sich Governance-Faktoren, wie beispielsweise Korruption, negativ auf die Rohstoffversorgung auswirken. Auch in stabilen Staaten können diese Governance-Faktoren restriktive Wirkung auf die Rohstoffversorgung entfalten, beispielsweise wenn die effektive Umsetzung von Umweltgesetzgebung gegen die Erschließung von Reserven wirkt.

Für die Rohstoffversorgung sind folgende allgemeine Governance-Faktoren besonders relevant:

- Stabilität und Konfliktgeschichte
- Rechtsstaatlichkeit und Korruption
- Effektivität staatlicher Institutionen
- Verteilung von Gewinnen und Verlusten
- Umwelt- und Sozialgesetzgebung

Diese Faktoren können neben ihrer generellen Relevanz auch einen direkten Ressourcenbezug haben. So hat die Konfliktgeschichte eines Landes allgemein Auswirkungen auf die Verlässlichkeit von Produktion und Exporten. Wenn jedoch die Auseinandersetzungen eng mit Ressourcen verbunden sind, können Angriffe auch direkt auf die Exploration, Logistik und Wertschöpfungskette der Rohstoffe abzielen (adelphi/USAID 2004; adelphi/UBA 2011a).

Zur Abschätzung des allgemeinen Governance-Kontextes im rohstoffproduzierenden Land stehen verschiedene Indizes und Indikatoren zur Verfügung (OECD 2006; Weltbank 2008a). Der etablierte Worldwide Governance Indicator der Weltbank (WGI) verfügt dabei über das breiteste Set an Indikatoren und Quellen. Der Index misst Governance in sechs Teilbereichen, die die ersten drei der fünf genannten Governance-Faktoren erfassen.⁴² Die Daten werden allerdings nur auf nationaler Ebene erhoben und können keine Auskunft über die tatsächliche Praxis in bestimmten Abbauregionen geben. Außerdem bildet der Indikator „politische Stabilität“ nicht die Frage ab, ob eine mögliche Instabilität mit dem Rohstoffvorkommen oder -abbau zusammenhängt. Wenn Rohstoffe Konfliktgegenstand sind, werden Beeinträchtigungen im Abbau und Transport wahrscheinlicher. Diese Fragen müssen qualitativ von Fall zu Fall erhoben werden. Ebenso kann der Gini-Koeffizient eine Andeutung zur Verteilung von Gewinnen und Verlusten geben. Wie die Verteilung bezüglich Rohstoffgewinne ausfällt sowie die Umwelt- und Sozialgesetzgebung, muss aber in Einzelfallstudien empirisch erhoben werden. Ebenso muss erhoben werden, inwieweit die effektive Implementierung von Gesetzgebung auf nationaler Ebene eine restriktive Wirkung ausübt, z.B. in Hinblick auf die Investitionskosten für die Erschließung neuer Vorkommen.

⁴² Die Teilbereiche sind: Voice and Accountability, Political Stability, Government Effectiveness, Regulatory Quality, Rule of Law, Control of Corruption (World Bank Worldwide Governance Indicators, http://info.worldbank.org/governance/wgi/sc_country.asp (20.12.2010).

Ressourcengovernance

Neben der allgemeinen staatlichen Governance und der damit verbundenen staatlichen Stabilität gibt es insbesondere in Abbauländern Governance-Faktoren, die spezifisch auf Ressourcen abzielen und die Versorgungslage beeinflussen. Dazu gehören:

- Gestaltung des Rohstoffsektors
- Handelspolitik in Bezug auf Rohstoffe
- Ressourcenmanagement

Hinter diesen Governance-Faktoren stehen sowohl staatliche als auch privatwirtschaftliche Akteure. Die Gestaltung des Rohstoffsektors kann sich beispielsweise durch staatliche Kontrollen der Reserven und Rohstoffunternehmen darstellen. Sie kann aber auch durch komplizierte und unsichere Prozesse der Auftragsvergabe und Vertragsdurchsetzung charakterisiert sein. Weiterhin bedeutend sind die Infrastruktur in Bezug auf Logistik, Energie- und Wasserversorgung sowie Institutionen und Fachkompetenzen.

Im Bereich der Rahmensetzung für den Rohstoffhandel kann versucht werden, Investitionen in den eigenen Bergbau durch bestimmte Investitionsbedingungen für Auslandskapital zu fördern und die Aufbereitung und Produktion im eigenen Land durch Exportrestriktionen zu begünstigen.

Schließlich wird unter Ressourcenmanagement ein breites Spektrum an Maßnahmen in Bezug auf Versorgung zusammengefasst: ob temporäre Rohstoffvorräte angelegt werden, neue Rohstoffquellen entdeckt und erschlossen werden (z.B. Ölsand, Tiefsee-Bergbau), welche Recyclingraten erzielt werden bzw. ob Recycling- und Substitutionsforschung stark gefördert wird.

Für diese Analyse der Ressourcengovernance einzelner Länder werden öffentlich verfügbare und zugängliche Berichte herangezogen (z.B. Market Access Database der EU⁴³ und WTO Dispute Settlement Body⁴⁴). Dabei stellt sich die Datenlage zur Gestaltung des Rohstoffsektors und des Ressourcenmanagements für verschiedene Länder sehr unterschiedlich dar.

Governance von Ressourcen - Typologie

Im Hinblick auf die genannten Faktoren können aufgrund der empirischen Datenlage und aus eigener Vorerfahrung der Autoren (adelphi/Wuppertal-Institut/UBA 2011a, adelphi/USAID 2004) folgende Ländertypen in Bezug auf Governance von Ressourcen abgeleitet werden (Tabelle 6-1):

⁴³ vgl. Market Access Database, <http://madb.europa.eu/mkacddb2/indexPubli.htm> (05.01.2011).

⁴⁴ vgl. WTO, Dispute Settlement, http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/dispu_e.htm (05.01.2011).

Tabelle 6-1: Typologie für die Ressourcengovernance von Ländern

		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
	Typ- beschreibung	Kollabierter/ fragiler Staat	Transformations- land / junge De- mokratie	Etablierte Demokratie	Autoritärer Staat
		Angebotsland	vor allem Angebotsland	Angebots- und Nachfrageland	Angebots- und Nachfrageland
Governance im Abbau- und Exportland	Stabilität und Konfliktgeschichte	Instabilität, (post-)Konflikt	Fragile Stabilität	Stabilität	Eingeschränkte Stabilität
	Rechtsstaatlichkeit und Korruption	Kein Rechts- staat, systema- tische Korruption	Rechtsstaat & Korruption	Rechtsstaat, geringe Korrupti- on	Kein Rechtsstaat, Korruption
	Effektivität staatlicher Institu- tionen	Nicht vorhan- den	Niedrig	Mittel bis Hoch	Mittel bis Hoch
	Verteilung von Gewinnen und Verlusten	Politisch- militärisch Mächtige er- halten alle Gewinne	Wenig transpa- rent, in Ansätzen umgesetzt	Transparent umgesetzt	Intransparent, kaum umgesetzt
	Umwelt- und Sozial- gesetzgebung	Defizitär & nicht umge- setzt	Besteht in Grund- zügen aber kaum umgesetzt	Besteht, wird umgesetzt	Besteht in Grund- zügen, sporadisch umgesetzt
Ressourcengovernance	Gestaltung des Rohstoffsektors	Klientelismus; Förderung von Investition im Abbau; Ver- kauf von Roh- stoffen	Eingeschränkter Protektionismus; Förderung von FDI und Investi- tionen in die Wert- schöpfung	Marktinstrumente; Förderung der eigenen Wett- bewerbsfähigkeit, ggf. Investition in Abbau im Aus- land	Protektionismus; Marktrestrictionen, Investition in Ab- bau im Ausland
	Handelspolitik in Bezug auf Rohstoffe	Intransparente Zölle und Steu- ern	Selektive Liberalisierung	Multi- und bi- laterales Vorge- hen gegen Han- delshemmnisse	Exportkontrollen oder Zölle
	Ressourcen- management	Nicht existent	Fragmentierte Ansätze	Fokus auf Angebots- steigerung und Effizienz (entlang der Wert- schöpfungskette)	Steuerung des Angebots nach Wirtschafts- und Entwicklungs- zielen

Quelle und Anmerkungen: IZT/adelphi 2011; FDI – Foreign Direct Investment (Auslandsdirektinvestitionen).

Rohstoffcharakteristika

Die genannten Governance-Einflüsse stellen sich wiederum in Wechselwirkung mit Rohstoffcharakteristika dar (vgl. Rohstoffprofile). Dies betrifft verschiedene Faktoren auf der Mikro- und Makroebene:

- Komplexität des Abbaus
- Komplexität der Aufbereitung
- Markt und Preis

Diese Charakteristika gestalten sich für verschiedene Rohstoffe unterschiedlich aus und schaffen entsprechend unterschiedliche Interaktionsdynamiken mit den vorher genannten Governance-Faktoren. So bedarf die Regulierung und Kontrolle von Rohstoffen, die auf der Erdoberfläche zur Verfügung stehen und ohne technische Hilfsmittel abgebaut werden, einer höheren staatlichen Effektivität als die Vergabe einer Konzession für tiefliegende Reserven, die nur durch wenige multinationale Konzerne abgebaut werden können (adelphi/USAID 2004). Denn erste können durch eine Vielzahl von Akteuren leicht und ad-hoc (auch illegal) abgebaut werden, während zweite nur durch entsprechend finanzstarke und technisch konkurrenzfähige Organisationen erschlossen werden können. Zum anderen weist die Komplexität der Aufbereitung darauf hin, ob und inwiefern Transportwesen und Wertschöpfungsstufen nachvollzogen werden können. Dies betrifft neben der technischen Herausforderung vor allem die Anzahl und Reichweite (multinationale Konzerne oder lokales Kleinunternehmen) der involvierten Akteure. Die Frage nach der Komplexität im Abbau lässt sich teils für Reserven und Abbaustätten sowie die Komplexität der Aufbereitung teils für bestimmte Standorte erfassen. Bei diesen Faktoren gibt es selbst in Bezug auf qualitative Informationen eine variable und sehr lückenhafte Datenlage.

Auch Markt und Preis für verschiedene Rohstoffe unterscheiden sich. Neben dem Marktzugang, also wie einfach ein Rohstoff auf dem globalen Markt angeboten werden kann, ist die Marktstruktur entscheidend. Einflussfaktor ist hier der Grad der Regulierung: Wird die Ressource an eher stärker regulierten Warenterminbörsen oder außerbörslich („over-the-counter“) gehandelt? Ebenso ist die Anzahl der Marktteilnehmer wichtig: Wird der Markt von wenigen Anbietern beherrscht (Oligopol; vgl. Rohstoffprofile)? Dies beeinflusst den Preis und die Preisvolatilität, die wiederum auf Planungssicherheit und Investitionen einwirken, sowohl im Rohstoffsektor als auch in der verarbeitenden Industrie.

Im Folgenden werden Governance-Profile für jeweils ein Land der vierteiligen Typologie entwickelt. Für Seltene Erden werden die Volksrepublik (VR) China⁴⁵ (Typ 4) und die USA (Typ 3) untersucht, für Kupfer Kasachstan (Typ 2) und die Demokratische Republik (DR) Kongo⁴⁶ (Typ 1).⁴⁷

⁴⁵ Im folgenden ist mit China die VR China gemeint (ohne Taiwan).

⁴⁶ Die DR Kongo ist nicht zu verwechseln mit dem Nachbarland Republik Kongo.

⁴⁷ Die Zuordnung der vier Länder zu den vier Ländertypen der Typologie ist idealtypisch. In der Realität weisen die vier den Ländertypen zugeordneten Länder auch von der Typologie abweichende einzelne Charakteristika auf.

6.2 Governance-Profile für Seltene Erden⁴⁸

Seltene-Erden-Vorkommen unterscheiden sich stark in ihrer Zusammensetzung (USGS 2010). Ein gemeinsames Charakteristikum ist jedoch, dass sie immer zusammen auftreten und damit auch immer zusammen abgebaut werden müssen. Damit können Seltenen Erden nicht genau dem Bedarf entsprechend gefördert werden. Zeitweilig werden ca. 25 % der geförderten Seltenen Erden nicht verbraucht (ISI/IZT 2009).

Der Abbau sowie die Aufbereitung Seltener Erden sind mit erheblichen Umwelteinflüssen verbunden. Hauptrisiko sind Absetzteiche und Halden, die die Abwässer und Rückstände der Seltenen-Erden-Produktion enthalten und zum Teil radioaktiv sind. So entsteht bei der Verarbeitung von 100.000 Tonnen Seltene-Erden-Konzentrat Schlamm,⁴⁹ der ca. 200 Tonnen radioaktives Thoriumdioxid enthält. Je nachdem welche Aufbereitungsmethode verwendet wird, können pro hergestellter Tonne Seltene-Erden-Konzentrat bis zu 12.000 Kubikmeter Abgase, die Fluoride, Schwefeldioxid und -trioxid enthalten, sowie 75 Kubikmeter säurehaltiges Abwasser und eine Tonne radioaktiver Abfall entstehen (Öko-Institut 2011: 43-50).

Da 97 % aller Seltenen Erden in China produziert werden, ist der Markt durch chinesische Staatsunternehmen beherrscht (USGS MCS 2007, 2010).⁵⁰ Dadurch kann China sowohl Preis als auch Menge von Seltenen Erden auf dem Weltmarkt entscheidend beeinflussen.

6.2.1 VR China

Die Volksrepublik (VR) China steht hier als stellvertretendes Beispiel für ein Typ-4-Land. Die Volksrepublik verfügt über reichliche Bodenschätze, einschließlich aller kritischen Mineralien. Sie ist aus deutscher Sicht mit Abstand der wichtigste Produzent von Rohstoffen in Asien: in Bezug auf Rohstoffreserven, Rohstoff- und Raffinadeproduktion (BGR 2010a: 18-22). Beispielsweise beläuft sich der Anteil der Rohstoffimporte aus China am deutschen Gesamtimport für Baryt auf 81,1 %, Germanium auf 77,8 %, Wolframoxid auf 70,0 %, Ferrowolfram 70,0 %, Seltene Erden 65,1 % und bei Eisenlegierungen auf 20,8 % (ibid.: 55).

China hat die zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt (in Kaufkraftparitäten gemessen) und verzeichnet ein starkes Wirtschaftswachstum. Auch in Bezug auf Seltene Erden steigt daher der Eigenverbrauch Chinas: Bei gleichbleibender Wachstumsrate der chinesischen Abbaukapazitäten und einem konservativ geschätzten jährlichen Wachstum von 8 bis 11 % der chinesischen Nachfrage wird China ab 2012 seine gesamte Seltene-Erden-Produktion für den Eigenkonsum benötigen (Kingsnorth 2008).

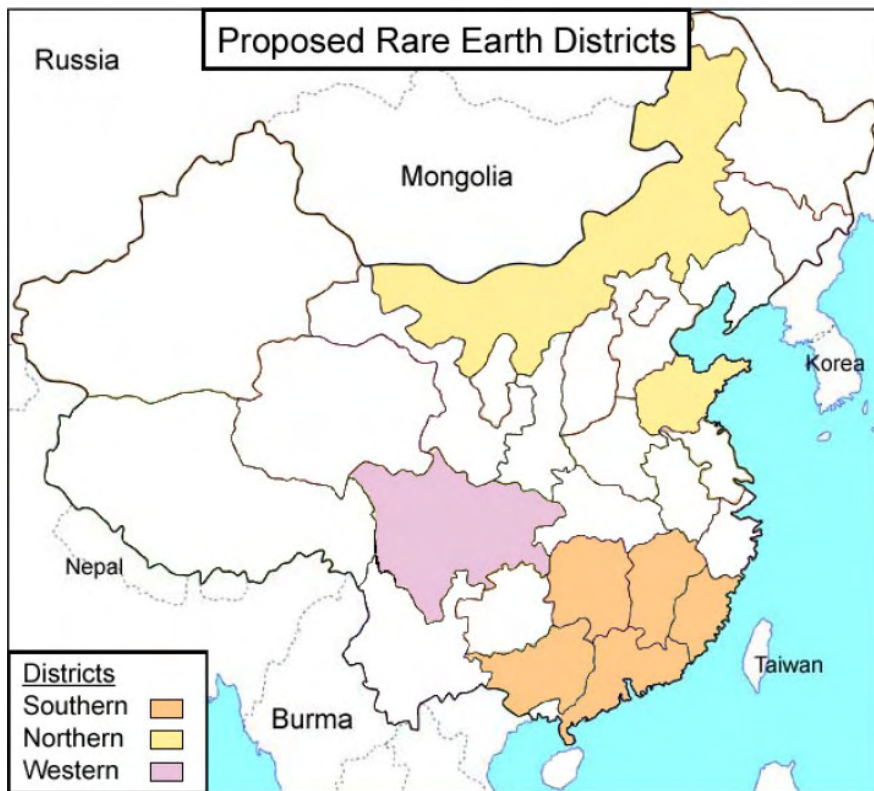
Der Seltene-Erden-Abbau und die Aufbereitung sind vor allem auf drei Abbauregionen konzentriert (vgl. Abbildung 6-1 und Tabelle 6-2).

⁴⁸ vgl. auch Kapitel 2.9 (Rohstoffprofil Seltene Erden) im separaten Anhangsband.

⁴⁹ Seltene-Erden-Konzentrat ist eine Vorstufe der aufbereiteten Selten-Erden-Oxide.

⁵⁰ Manche Analysten relativieren diese Zahl auf Basis eigener Schätzungen leicht nach unten auf 95 % (VBW 2009).

Abbildung 6-1: Abbauggebiete von Seltenen Erden in China



Quelle: IAGS 2010

Tabelle 6-2: Schätzungen der Abbaumengen von Seltenen Erden in China nach Regionen (2008)

	Bayan Obo Bastnäsit	Sichuan Bastnäsit	Ionen- absorbierende Tone	Andere	Gesamt
in Tonnen	60.000-70.000	10.000-15.000	45.000-55.000	8.000-12.000	125.000-140.000
in Prozent	48-50	8-11	36-39	6-9	100

Quelle und Anmerkung: Kingsnorth; ohne illegale Produktion (nach Cox 2010).

Ein Großteil der Seltene-Erden-Weltproduktion wird aktuell in zwei Tagebauminen in China gefördert. Die größere der beiden Minen befindet sich in Bayan-Obo. Dort werden ca. 40 bis 50 % der chinesischen Seltenen Erden gefördert (Cox 2010). Seltene Erden können jedoch auch in kleinen, eher artisanalen Minen abgebaut werden. Dies ist vor allem der Fall in Südchina, wo sie aus Ionen-absorbierenden Tonen gewonnen werden. Dabei werden Erdschichten abgetragen und in offenen Becken mit Säure versetzt. Falls der Tagebau nicht möglich ist, wenn die Seltenen Erden tiefer liegen, wird Säure direkt in die Seltenen Erden tragenden Erdschichten gepumpt (Bradsher 2009b, Öko-Institut 2011). Die Erschließung neuer Vorkommen ist im internationalen Vergleich kostengünstig (s. Governance Profil USA).

Governance

Die Volksrepublik wird in einem Einparteiensystem von kommunistischen Parteifunktionären regiert. Das sozialistische Wirtschafts- und Staatssystem ist in der Verfassung verankert, jedoch nach einigen Liberalisierungen mit marktwirtschaftlichen Elementen versetzt („Kader Kapitalismus“, Holz 2007). Die politische Stabilität im Land wird einerseits durch Unterdrückung von Dissens (vgl. Governance Indikator Voice & Accountability) und andererseits durch wirtschaftliche Entwicklung gewährleistet. Trotz des augenscheinlich starken Staates sieht sich China einigen Governance-Herausforderungen gegenüber.

Dazu gehören Korruption und Nepotismus vor allem auf lokaler Ebene (Gang 2009), jedoch können diese zum Teil auch auf zentralstaatlicher Ebene verortet werden (Holz 2007). Es gibt eine enge Verstrickung von Partei- und Wirtschaftseliten. So haben Parteifunktionäre oft direkte Verbindungen mit der lokalen Industrie und die Judikative ist oft zu schwach, um gegen korrupte Parteifunktionäre vorzugehen (Gang 2009; Economy 2007). Obwohl Korruption von Präsident Hu Jintao als Bedrohung der politischen und gesellschaftlichen Stabilität genannt wurde und entsprechende Gegenmaßnahmen seit 2002 eine politische Priorität sind (OECD 2005), ist in diesem Bereich kein Fortschritt erzielt worden (vgl. Transparency International (TI) Indikator Corruption Perception).

Während die Regierung im Allgemeinen als effektiv gilt (s. Governance Indikator Government Effectiveness), ist die Zentralregierung bei der Implementierung oftmals auf lokale Behörden angewiesen, beispielsweise für die Umsetzung der Umweltgesetzgebung (Gang 2009; OECD 2005). Anreize für lokale Parteifunktionäre, ein möglichst hohes Wirtschaftswachstum zu fördern, führen jedoch dazu, dass Umweltgesetzgebung nicht implementiert wird und sogar Gelder, die für den Umweltschutz gedacht sind, in wirtschaftliche Projekte fließen (Economy 2007). Auch im Bergbau werden gesetzliche Vorlagen missachtet oder durch Korruption unterwandert, was zu illegalem Abbau und Handel führt (vgl. Ressourcengovernance).

Die VR China ist seit ihrer Kulturrevolution intern relativ stabil.⁵¹ Sezessionstendenzen einzelner Provinzen wurden bisher in Schach gehalten. Gleichzeitig werden jedoch die Diskrepanzen zwischen Regionen und gesellschaftlichen Schichten mit zunehmendem Wirtschaftswachstum und Verstädterung deutlich. Die Anzahl von Protesten, die zum Teil auch gewalttätig eskalieren, nimmt zu (Economy 2007; Blanchard/ Laurence 2010; vgl. Governance Indikator Political Stability). Zum Teil sind solche Proteste durch gravierende Umweltauswirkungen der Industrialisierung und des Bergbaus mit verursacht. Zum Beispiel eskalierte 2005 nach Protesten und Petitionen um verseuchtes Ackerland und verpestete Luft die Lage in Zhejiang zu gewalttätigen Ausschreitungen. 30.000 bis 40.000 Dorfbewohner waren in 13 Chemiefabriken eingedrungen und hatten Sachschaden verursacht sowie lokale Regierungsvertreter angegriffen. Erst nachdem die Regierung 10.000 Soldaten schickte, kam die Lage wieder unter Kontrolle (Economy 2007).

⁵¹ Zu den wichtigen Ausnahmen zählen die immer wieder kehrenden regionalen Unruhen insbesondere in Xinjiang und Tibet und oft auch gewalttätige Auseinandersetzungen über Arbeitsbedingungen und Zwangsräumungen sowie punktuell insbesondere die Niederschlagung der Protestbewegung auf dem Tiananmen-Platz in Peking im Jahr 1989 mit geschätzten 2.600 Toten.

Das Beispiel zeigt auch, wie negative und positive Auswirkungen der Industrialisierung oder der Rohstoffproduktion ungleich verteilt werden. Die sich durch Agrarwirtschaft ernährende Landbevölkerung bleibt arm und verliert ggf. durch zunehmenden Bergbau Land und Einkommen auf Grund von Enteignung oder Umweltverschmutzung (Zakaria 2009; Liu 2007a; Blanchard/Laurence 2010; Jing 2003).

Die Umweltauflagen in China haben überwiegend einen niedrigeren Standard als in entwickelten Industriestaaten und werden nur begrenzt implementiert (Economy 2007; Gang 2009; OECD 2005; s. Governance Indikator: Regulatory Quality). Daher kommt es bei Seltene-Erden-Abbau und Aufbereitung zu oft erheblichen Umweltauswirkungen. So tritt aus den Absetzteichen der Seltene-Erden- und Eisenerzproduktion in Bayan Obo Sickerwasser aus und verseucht das Grundwasser (Öko-Institut 2011: 49; Hilsum 2009a; Jiabao und Jie 2009). Ebenso wird Abwasser aus der Seltene-Erden-Produktion oft unbehandelt in den Gelben Fluss geleitet (Hurst 2010).

Im südlichen China sind es vor allem kleine, unregulierte und zum Teil illegale Minen, die zu vergifteten Böden und Gewässern führen. Obwohl die Regierung beschlossen hat, gegen illegale Minen vorzugehen, gibt es immer noch Berichte über lokale Parteifunktionäre, die zusammen mit Strukturen der organisierten Kriminalität illegale Minen betreiben (Bradsher 2009a, b). Dies hat in der Vergangenheit auch zu Konflikten mit der lokalen Bevölkerung geführt. So blockierten im September 2009 wütende Dorfbewohner in Pitou Lastwagen mit Chemikalien und protestierten vor dem örtlichen Ratsgebäude (Hilsum 2009a).

Ressourcengovernance

Schon jetzt ist absehbar, dass die chinesischen Seltene-Erden-Lagerstätten mittel- bis langfristig auf einige technische und physikalische Grenzen treffen. So müssen in Bayan-Obo mittelfristig, um die Produktionsmenge aufrecht erhalten zu können, neue Lagerstätten mit geringer Seltene-Erden-Konzentration erschlossen werden. Ebenso müssten neue Methoden zur Extraktion Seltener Erden aus dem Abwasser der Produktion entwickelt werden (Kingsnorth 2008; Jiabao/Jie 2009). Unabhängig davon könnten jedoch nach einigen Schätzungen die physischen Reserven im südlichen China schon in den nächsten 15 Jahren, die gesamten chinesischen Vorräte schon in 20 bis 30 Jahren ausgebeutet sein (Bradsher 2009b; Jiabao/Jie 2009).

Neben diesen strukturellen Herausforderungen im Seltene-Erden-Sektor wirft die illegale Produktion Herausforderungen auf. Bis zu 50 % aller weltweit gehandelten schweren Seltene Erden⁵² sollen aus solchen Minen stammen (Bradsher 2010). Dabei sind legale und illegale Strukturen oft schwer voneinander zu trennen, da Mittelhändler sowohl aus illegalen als auch legalen Quellen Seltene-Erden-Oxide (SEO) beziehen und diese dann mischen. Hinzu kommt der illegale Auslandsschmuggel, der nach Schätzungen im Jahr 2009 ca. 20.000 Tonnen SEO umfasste. Bei einem legalen chinesischen Gesamtexport von 48.000 Tonnen ist diese Zahl beachtlich (Öko-Institut 2011).

⁵² Die Gruppe der Seltene Erden wird unterteilt in schwere Seltene Erden (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) und leichte Seltene Erden (Sc, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu); s. Rohstoffprofil.

Die chinesische Regierung hat jedoch damit begonnen, die Kontrolle über den Seltenen-Erden-Sektor und insbesondere über die illegalen Minen zu erhöhen. Ziel ist die Konsolidierung des Sektors sowie die Umsetzung höherer Umweltstandards (adelphi/UBA 2011c, Bradsher 2009a, 2010; Stewart 2010; Öko-Institut 2011: 51-55). Im Februar 2011 erklärte dazu das Land- und Rohstoffministerium die Absicht, 11 staatlich kontrollierte Seltene-Erden-Bergbauzonen im Ganzhou Prefekt in der östlichen Jiangxi Provinz einzurichten.⁵³ Dies soll zum einen zu weniger Umweltproblemen führen, wird jedoch auch die Kontrolle der chinesischen Regierung über die Exporte weiter erhöhen.

Nach außen ist die Monopolstellung Chinas im Bereich Seltene Erden eine Folge des kontinuierlichen Ausbaus der Seltene-Erden-Produktion seit Mitte der 1980er Jahre. Durch niedrigere chinesische Preise ab Mitte der 1990er Jahre wurden die bis dahin dominanten amerikanischen Produzenten aus dem Markt gedrängt. Die Monopolstellung Chinas nutzt die Regierung bewusst als wirtschaftspolitisches Instrument, um die eigene High-Tech-Industrie zu fördern. Um ausländische Investitionen in diesem Bereich zu fördern, wurden Exportquoten und -zölle sowie Versorgungsgarantien für inländische Firmen und Sonderwirtschaftszonen eingeführt (Jubak 2009; Hilsum 2009b; vgl. Rohstoffprofil).

Darüber hinaus hat China im letzten Jahr wegen seines Exportstopps von Seltenen Erden gegenüber Japan Schlagzeilen gemacht, so dass die EU, die USA und Mexiko ein WTO-Streitbeilegungsverfahren angeregt haben (Hilpert/Kröger 2011: 167). Eine protektionistische Haltung gegenüber seinen Seltenen Erden hätte allerdings für China auch riskante Folgen (Kingsnorth 2008). Die zu erwartenden steigenden Preise würden den illegalen Bergbausektor in China anheizen und damit die Kontrollversuche der Regierung unterminieren. Ebenso würden steigende Preise dazu führen, dass die Verbraucherländer alternative Versorgungsstrukturen aufbauen sowie mehr in Substitution und Recycling investieren und damit der langfristigen Strategie Chinas entgegenwirken, High-Tech-Firmen ins Land zu locken.

Auch im Forschungsbereich beginnt China aufzuholen. In 2009 wurde Professor Xu Guangxian mit dem State Supreme Science and Technology Preis ausgezeichnet, Chinas Äquivalent zum Nobel Preis. Prof. Xu gilt als Vater der chinesischen Seltene-Erden-Forschung (Hurst 2010).

6.2.2 USA

Die USA stehen hier stellvertretend für Länder vom Typ 3, einer entwickelten Demokratie mit funktionierendem Rechtsstaat. Die USA ist sehr reich an Bodenschätzen, mit Vorkommen u.a. von Blei, Eisenerz, Gold, Kalk, Calciumphosphat, Kupfer, Molybdän und Zink (USGS 2008b). Seltene Erden wurden bisher ausschließlich in der Mountain-Pass-Mine in Kalifornien abgebaut, die 2002 geschlossen wurde aber seit 2010 wieder etwa 3.000 Tonnen kommerzieller Seltene-Erden-Materialien pro Jahr produziert (vgl. auch Rohstoffprofil). Die Produktion soll bis Ende 2012 auf 20.000 Tonnen pro Jahr ausgebaut werden. Zudem plant die Betreiberfirma Molycorp Seltene-Erden-Produkte wie hochreine Oxide, Metalle, Legierungen und Dauermagneten zu produzieren und hat zu diesem Zweck Ende 2010 eine Vereinbarung mit Hitachi Metals getrof-

⁵³ vgl. Offizielles Webportal der chinesischen Regierung: http://english.gov.cn/2011-02/16/content_1804598.htm

fen (Junker 2011). Der Wert von Molycorp-Aktien an der New York Stock Exchange (NYSE) Anfang Januar 2011 lag bei 57,50 USD, eine vierfache Wertsteigerung seit dem Börsengang des Unternehmens im Juli 2010. Gleichzeitig gibt es eine Reihe weiterer Vorkommen von Seltenen Erden in den USA (Abbildung 6-2), die zunehmend in das Interesse von Investoren rücken (USGS 2010: 2):

Abbildung 6-2: Wichtige Distrikte mit Lagerstätten von Seltenen Erden in den USA



Quelle: USGS 2010

Governance

Die USA verfügen als entwickelte Demokratie über Gewaltenteilung sowie getrennte öffentliche und private Sektoren. Während der Bergbau und die Wertschöpfung von privatwirtschaftlichen Unternehmen betrieben werden, legt die Politik Governance-Leitplanken fest.

Die USA haben eine ausgeprägte Antikorruptionsgesetzgebung (vgl. Governance Indikator Control of Corruption & TI Corruption Perception Index), die auch Vergehen amerikanischer Personen oder Unternehmen im Ausland ahndet. Der Foreign Corrupt Practices Act (FCPA) hat in den letzten Jahren wiederholt Bergbau und Energieunternehmen wegen Bestechung von Beamten im Ausland verurteilt (Connor 2010). So haben in einem berühmten FCPA-Fall zu einem 6 Milliarden-US\$-Vertrag über den Bau von Flüssiggasanlagen in Nigeria mehrere US

amerikanische und internationale Unternehmen Schuldgeständnisse abgelegt und 1,28 Milliarden US\$ Strafe gezahlt (ibid.). Dieses Beispiel zeigt, dass Gesetze auch umgesetzt werden und die staatlichen Organe effektiv handeln (vgl. Governance Indikator: Governmental Effectiveness).

Diese Antikorruptionsrechtslage wurde mit dem US Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act (US Dodd-Frank Act)⁵⁴ im Juli 2010 noch erweitert. Dieses Gesetz sieht in Abschnitt 1504 vor, dass Unternehmen, die an amerikanischen Börsen gehandelt werden, in ihren Jahresberichten gegenüber der U.S. Securities and Exchange Commission Zahlungen an ausländische Regierungen im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Nutzung von Öl, Gas und Mineralien offenlegen müssen. Mit dieser Transparenzregelung soll insbesondere der Handel mit Rohstoffen unterbunden werden, die zur Finanzierung von Gewaltkonflikten dienen. Abschnitt 1502 geht spezifisch auf Konfliktressourcen aus der Demokratischen Republik Kongo und seinen Nachbarländern ein (und benennt explizit Coltan⁵⁵, Gold, Wolfram und Zinnerz). Unternehmen, die diese Stoffe verarbeiten, sollen jährlich nachweisen, dass die Rohstoffe ihrer Produkte nicht zur Finanzierung bewaffneter Gruppen in der Region beitragen. Dieses Gesetz führt durch den Herkunftsnachweis erstmals weitreichende Prüfungspflichten für Lieferanten und Stoffströme ein. Diese werden von der Industrie aus Wettbewerbsgründen stark kritisiert (Mildner et al. 2010: 4). In jedem Fall verfolgt die USA durch diesen Vorstoß eine Politik, die Rohstoffe außerhalb des eigenen Landes betrifft. In Zentralafrika wird das Gesetz zunächst als Handelsbarriere wahrgenommen, da bisher keine Systeme etabliert sind, um den Herkunftsnachweis zu gewährleisten.⁵⁶

Im eigenen Land sind auf Grund funktionierender Institutionen keine gewaltvollen Auseinandersetzungen um Rohstoffe zu erwarten, allerdings könnten gerade bei Seltenen Erden von Umweltauswirkungen betroffene oder anwohnende Bevölkerungsgruppen durch Klagen die Wiederaufnahme alter oder Entwicklung neuer Standorte beeinträchtigen und Kosten in die Höhe treiben (vgl. auch Ressourcengovernance).

In der Tat haben neben den niedrigeren chinesischen Preisen insbesondere Unfälle mit radioaktivem Abwasser in der Aufbereitungsanlage in Mountain Pass dazu geführt, dass die Produktion eingestellt wurde (Margonelli 2009). Die USA haben aber alle notwendigen Umweltgesetze, einschließlich einem 1980 eingerichteten „Superfund“ (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act), der von der US Umweltagentur auch zur Wiederaufbereitung vergifteter ehemaliger Bergbaustandorte genutzt wird.⁵⁷ Die Critical Materials Strategy des Energieministeriums schlägt auch Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen vor, um umweltverträglichen Bergbau in den USA und im Ausland zu unterstützen (US DOE 2010: 102). Der Betreiber der Mountain-Pass-Mine plant einen höheren Anteil der teuren Säuren zu recyceln

54 Der Original Gesetzestext ist hier erhältlich: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-111publ203/pdf/PLAW-111publ203.pdf> .

55 Mineral zur Gewinnung von Tantal.

56 In Bezug auf die Rohstoffe verfechten die USA im Allgemeinen den freien Handel im Sinne der WTO (vgl. Tabelle 3, WTO Streitschlichtungsverfahren).

57 weitere Informationen zur US Umweltgesetzgebung in Bezug auf Bergbau, vgl. <http://www.pollutionissues.com/Li-Na/Mining.html>

und durch ein separates Recyclingsystem den Wasserverbrauch von ca. 3.850 auf etwa 135 Liter pro Minute zu reduzieren (Molycorp Minerals LCC 2010: 8).

Auch das Thema Arbeitsschutz im Bergbau bleibt relevant: Laut der 1978 eingerichteten Verwaltung für Sicherheit und Gesundheit im Bergbau beim Arbeitsministerium starben 2010 23 Arbeiter im metallischen und nichtmetallischen Bergbau der USA (US DOL 2010). Auf Grund der Radioaktivität sind für den Seltene-Erden-Abbau besondere Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig.

Ressourcengovernance

Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass die Erschließung neuer Seltene-Erden-Vorkommen außerhalb Chinas als teuer und anspruchsvoll eingeschätzt wird. In den USA werden dafür 7 bis 15 Jahre veranschlagt (Bird 2010; GOA 2010). Die Kosten des Aufbaus von Aufbereitungsanlagen ist eine der Haupthürden für Investoren und Produzenten zur Entwicklung einer kompletten Seltene-Erden-Versorgungskette (vgl. Hsu 2010). Die Planungsperspektive dafür wird in den USA auf ca. 15 Jahre geschätzt (GOA 2010).

Trotzdem herrscht in den USA ein starker politischer Wille, sich vom chinesischen Seltene-Erden-Monopol unabhängig zu machen. Im Mai 2010 wurde eine Änderung des National Defense Authorization Act für das Etatjahr 2011 eingebracht (Claburn 2010). Sie verpflichtet das Verteidigungsministerium, einen Plan aufzusetzen und dem Verteidigungskomitee des Kongresses vorzulegen, in dem spezifiziert wird, wie einheimische Kapazitäten für die Produktion von Neodym-Eisen-Bor-Magneten aufgebaut werden sollen. Im September wurde der Gesetzentwurf (Rare Earths and Critical Materials Revitalization Act) vom Repräsentantenhaus verabschiedet und dem Senat vorgelegt; es heißt in ihm, das Verteidigungsministerium solle ein Programm entwickeln: "of research, development, demonstration, and commercial application to assure the long-term, secure, and sustainable supply of rare earth materials sufficient to satisfy the national security, economic well-being, and industrial production needs of the United States".⁵⁸ Es sollen einheimische Reserven erkundet und die Produktion gefördert werden, um einen Engpass bei der Seltene-Erden-Metalle-Versorgung insbesondere des Militärs entgegen zu steuern. Damit wird einerseits die Produktion erhöht, was sich stabilisierend auf den Weltmarkt von Seltene-Erden-Metallen auswirken könnte, andererseits wird deutlich, dass die USA in erster Linie die eigene Nachfrage bedienen.

Die USA haben die geologischen und institutionellen Voraussetzungen, um die einheimische Produktion zu erhöhen. So operiert das Bureau for Land Management nach dem General Mining Law von 1872 und entsprechenden Novellen. Es hat 12 State Offices, unter anderem in Kalifornien, wo es wiederum in drei Distriktbüros und 15 Feldbüros gegliedert ist. Allerdings gibt es Zweifel, ob amerikanische Firmen die „industriellen und intellektuellen“ Kapazitäten haben, um die Rohstoffe aufzubereiten und weiter zu verarbeiten (Bourzac 2010). Laut Experten fehlt es an „intellektueller Infrastruktur“ (ibid.), sprich einheimischer technischer Expertise und naturwissenschaftlichem Nachwuchs.

⁵⁸ <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-111hr6160rfs/pdf/BILLS-111hr6160rfs.pdf>

Mit dem US Geological Survey verfügt die USA über die vermutlich beste Datenlage der Welt als Grundlage für ihr Ressourcenmanagement. Hinzu kommen die genannten Strategien, Gesetze und Förderungen, die explizit für die Versorgung mit Seltene Erden kürzlich verabschiedet wurden.

Besonders hervorzuheben ist dabei die Critical Materials Strategy (US DOE 2010). Die Säulen der Strategie sind 1) Diversifizierung des Angebots, 2) Entwicklung von Substituten, 3) Recycling, Wiedernutzung und Effizienzsteigerung. Die Strategie sieht acht Kategorien von politischen Maßnahmen vor, die Risiken und Hürden entlang der Wertschöpfungen Seltener Erden adressieren: von längerfristigen Maßnahmen in Forschung, Bildung und Information über konkrete ökonomische Anreize (Kreditbürgschaften, Preisgarantien), eine Verbesserung des Lizenzvergabesystems und der Recyclingpolitik im Land bis hin zu außenpolitischen Maßnahmen (Diplomatie).

Die Strategie behandelt auch die Frage nach der Bevorratung. Aktuell bevorratet das National Defense Stockpile (NDS) 25 strategische Materialien an 17 Standorten (ibid.: 58). Die Strategie des Energieministeriums rät von einer Aufnahme von Seltene-Erden-Metallen in diese Bevorratung ab, da sie zunächst durch erhöhte Nachfrage die Preise weiter steigen ließe und weil Nachfrageentwicklungen mittel- bis langfristig kaum abzuschätzen sind. Gleichzeitig wird die Privatwirtschaft angehalten, Vorräte anzulegen, um auf kurzfristige Lieferausfälle reagieren zu können (ibid. 107).

6.3 Governance-Profil für Kupfer⁵⁹

Kupfer kommt als Sulfid oder Oxid relativ häufig in der Erdkruste vor. Die USGS schätzt die weltweiten Reserven auf ca. 490 Mio. Tonnen, die Reservebasis sogar auf ca. 940 Mio. Tonnen (USGS 2008a). Durch gestiegene Preise (s.u.) konnten die Reserven ausgeweitet werden. Von den weltweit geschätzten Ressourcen (2,3 Mrd. Tonnen) sind 12 % bereits abgebaut, 700 Mio. Tonnen werden unter dem Meeresboden vermutet.⁶⁰ Kupfer kann ohne Qualitätsverlust recycelt und wiederverarbeitet werden, allerdings gibt es in der Praxis verschiedene Schwierigkeiten bei der Materialrückführung (vgl. Rohstoffprofil Kupfer).

Das Erz wird meist im Tagebau abgebaut und zu einem Kupferkonzentrat verarbeitet, bevor durch Verhüttung und Raffination Zwischen- und Reinprodukte von Kabeln bis Legierungen hergestellt werden. Auch ohne eigene Vorkommen zählt Deutschland zu den größeren Raffinadekupferproduzenten, wobei sekundäre Vorstoffe einen hohen Anteil haben (WVM 2010). So besteht in Deutschland schon heute mehr als die Hälfte der Kupferproduktion aus recyceltem Material.

Der Preis für Kupfermetall ist in den letzten zehn Jahren stark gestiegen. Als Gründe für den Preisanstieg werden die steigende Nachfrage Chinas angeführt sowie die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten (ISI/IZT 2009: 247-9, vgl. Rohstoffprofil). Kupfer wird an der London Metal

⁵⁹ vgl. auch Kapitel 2.5 (Rohstoffprofil Kupfer) im separaten Anhangsband.

⁶⁰ <http://www.rohstoff-welt.de/basiswissen/kupfer-copper.php>

Exchange (LME) und an der New York Mercantile Exchange (NYMEX) gehandelt und ist das am zweithäufigsten gehandelte Industriemetall (neben Aluminium).

6.3.1 Kasachstan

Kasachstan steht für den Typ 2, ein Transformationsland. Das Land ist reich an Rohstoffen: Es hat Vorkommen an energetischen Rohstoffen wie Öl, Gas, Kohle und war in Sowjetzeiten der weltgrößte Uranproduzent. Auch diverse nicht-energetische Rohstoffe, wie Bauxit, Blei, Chrom, Eisen, Gold, Mangan, Kupfer und Zink, werden produziert und zum Teil weiter verarbeitet. Die Wirtschaft Kasachstans ist stark vom Bergbau geprägt, der einen bedeutenden Teil von 16 bis 20 % des Bruttoinlandproduktes (BIP) darstellt.⁶¹ Der Anteil der Rohstoffimporte aus Kasachstan am deutschen Gesamtimport beläuft sich für Tantalpulver auf 68,4 %, Titan 58,8 % und Silber 28 % – Kupfer spielt bisher keine bedeutende Rolle. Bundeskanzlerin Merkel hat bei einem Besuch in Kasachstan im Januar 2011 Präsident Nasarbajew eine Rohstoffpartnerschaft im Sinne der Rohstoffstrategie der Bundesregierung vorgeschlagen.⁶²

Mit 40 Mio. Tonnen nachgewiesenen Kupferreserven gehört Kasachstan zu den fünf Ländern mit den größten Reserven weltweit, hält den 10. Platz bei der Produktion und spielt auch bei der Raffinade eine bedeutende Rolle (BGR 2010a: 25-7; Engineering & Mining Journal 2010).

In Kasachstan dominiert das Unternehmen Kazakhmys die Kupferproduktion mit seinen 16 Tage- und Unter-Tage-Minen sowie zwei Schmelz- und Raffinerieanlagen. In 2009 hat Kazakhmys etwa 80 % des gesamten kasachischen Outputs an Kupfer produziert. In Deutschland hat Kazakhmys 2004 die MKM Mansfelder Kupfer und Messing GmbH in Hettstett, Sachsen-Anhalt, übernommen. Das Unternehmen beschäftigt ca. 1.000 Mitarbeiter und stellt Vorprodukte und Halbzeuge aus Kupfer und Kupferlegierungen her, die u.a. nach Italien, Frankreich, in die USA, nach Osteuropa sowie Nordafrika vertrieben werden. Kazakhmys ist seit 2005 an der Londoner Börse registriert (E & MJ 2010). Die Hauptaktionäre des Unternehmens sind Mitglieder des Aufsichtsrates. Ihnen gehören insgesamt 98,8% der Anteile, entweder direkt oder durch den Besitz weiterer Unternehmen, die ebenfalls als Aktionäre gelistet werden (Global Witness 2010: 31). Der größte Aktienanteil, 38,9%, kommt dabei dem Vorstandsvorsitzenden Vladimir Kim zu. Die kasachische Regierung hat in den letzten Jahren einige Anteile zurück erworben und wird gegenwärtig als Aktionär mit 15% geführt. Der zweitgrößte Kupferproduzent in Kasachstan, Kazinc, hat 2009 weniger als ein Fünftel von Kazakhmys produziert. Aktuelle Abbaustätten befinden sich vor allem in Zentral- und Nordost-Kasachstan (Abbildung 6-3):

⁶¹ Die Angaben für 2009 schwanken zwischen 16,5 % (BGR 2010a: 30) und 19,6 % (Engineering & Mining Journal 2010: <http://www.e-mj.com/index.php/features/796-kazakhstannot-just-another-istan.html?showall=1>)

⁶² Im Mai 2011 haben die Bundesregierung durch Wirtschaftsminister Rösler und die kasachische Regierung ein „Memorandum of Understanding“ für eine gemeinsame Rohstoffpartnerschaft unterzeichnet. Zum Zeitpunkt des Berichtsabschlusses wurde der Vertragsentwurf für die Rohstoffpartnerschaft zwischen den Regierungen noch abgestimmt. Laut einem Experten ist das Interesse der deutschen Industrie, selbst Investitionen in Kasachstan zu tätigen, verhalten.

Abbildung 6-3: Bergbauprojekte der Firma Kazakhmys in Kasachstan



Quelle: Kazakhmys Webseite (www.kazakhmys.com/our-operations.aspx)

Governance

Die Präsidentialrepublik Kasachstan wird seit ihrer Unabhängigkeit von der Sowjetunion 1990 von Präsident Nursultan Nasarbajew innenpolitisch autoritär regiert. Trotz der verfassungsmäßigen Beschränkung auf zwei Amtszeiten von fünf Jahren hat Nasarbajew sich am 3. April 2011 bei einer vorgezogenen, unfreien Wahl mit 95,5 % der Stimmen im Amt bestätigen lassen (Schlager 2011).⁶³ Die bereits ausgeprägten präsidentialen Rechte Nasarbajews wurden letzten Mai noch durch eine Bestimmung zusätzlich gestärkt, die ihm und nächsten Verwandten lebenslange Immunität verleiht (ICG June 2010; Lillis 2010). Seine Partei verfügt über alle Sitze im Parlament.

In Kasachstan werden die Gewaltenteilung und Rechtsstaatlichkeit durch Klientelismus und Korruption unterwandert (s. Governance Indikatoren „Rule of Law“ & „Control of Corruption“ sowie TI „Corruption Perception Index“). Auch im Bergbaubereich bemängelt die NRO Global Witness Fehlinformationen beim Börsengang von Kazakhmys und enge Verbindungen zwischen dem Management des Unternehmens und dem Präsidenten.⁶⁴ Bereits 2003 wurde im „Kazakhgate“-Skandal ein amerikanischer Bürger wegen Korruption und Geldwäsche festgenommen, da er für U.S. Ölfirmen 80 Mio. US-\$ auf Schweizer Konten des Nasarbajew-Klan überführt haben soll.⁶⁵ Zunächst zögerte Kasachstan, schloss sich jedoch im Juni 2005 der

⁶³ Die Wahlen wurden von der OSCE beobachtet: <http://www.osce.org/odihr/elections/75821>

⁶⁴ <http://enews.fergananews.com/article.php?id=2652>

⁶⁵ Der Fall wurde zum größten Auslandsbestechungsfall in der Geschichte der USA <http://www.eurasianet.org/node/61714>

Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) an, erfüllte aber 2006 nicht die EITI-Kriterien, woraufhin es Hilfe von der Weltbank dazu annahm (E&MJ 2010: 25).

Die staatlichen Institutionen sind relativ effektiv (s. Governance Indikator „Government Effectiveness“). Kasachstan wird besondere Härte bei der Verurteilung von Gesetzesbrüchen nachgesagt (E&MJ 2010: 60). Dieses Phänomen kann allerdings auch als erhöhter bürokratischer Aufwand bis hin zu politischer Einmischung in privatwirtschaftliche Entscheidungsprozesse ausgelegt werden (ibid.). So wurden in der Vergangenheit wiederholt westliche Unternehmen aus Vorhaben gedrängt, die sie für sicher hielten, oder Verträge mussten aufwendig neu verhandelt werden (Brill Olcott 2010).

Die staatliche Effektivität zeigt sich aber auch am relativen wirtschaftlichen Wohlstand Kasachstans im Vergleich zu anderen Ländern der Region. Insgesamt profitiert die Bevölkerung von der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes (vgl. Gini-Koeffizient; vgl. adelphi/UNEP 2003: 9). Auf Grund dessen und des autoritären Regimes ist Kasachstan politisch relativ stabil (s. Governance Indikator „Political Stability“; adelphi/UNEP 2003); die Opposition wird teils gewaltvoll unterdrückt. Auf lokaler Ebene gibt es zudem teils ethnisch geprägte Konflikte (HIIK 2010: 54). Zunehmend wird eine Benachteiligung kasachischer Arbeiter bei der Anstellung im Rohstoffsektor (insbesondere Öl) festgestellt mit zum Teil konflikttreibenden Folgen: Zum Beispiel kam es wiederholt zu Auseinandersetzungen zwischen türkischen und kasachischen Arbeitern auf dem Tengiz Öl- und Gasfeld, im Oktober 2006 sogar zu Ausschreitungen mit Hunderten Beteiligten, die zu Dutzenden Verletzten und Arbeitsunterbrechungen führten. Die vorgezogenen Neuwahlen im April 2011 wurden von Beobachtern auch auf die wachsende Unzufriedenheit in der Bevölkerung, u.a. auf Grund der steigenden Inflation und Lebensmittelpreise, sowie den Volksaufständen in Nordafrika zurückgeführt.

Wie die Qualität der Regularien insgesamt (vgl. Governance Indikator: Regulatory Quality), bleiben auch die Umweltstandards in Kasachstan hinter internationalen Standards zurück. Auch die freiwillige Umsetzung internationaler „good practice“-Standards bleibt eine große Herausforderung (E&MJ 2010: 68). Seit einigen Jahren beginnt die Regierung, Umwelt- und Arbeitsschutzstandards zu verbessern. So sind seit 2003 über 20 Industrieunternehmen in der „Kazakhstan Association of Natural Resource Users for Sustainable Development“ organisiert, darunter Kazakhmys and Kazzinc. Die Regierung hat für 2010 bis 2015 konkrete Ziele für die Umsetzung internationaler Standards und Managementsysteme – auch für den Bergbau – formuliert (ISO 9001, ISO 14000/1, OHSAS 18001 und SA 8000; Kazinst 2008: 16). Der zweite „Environmental Performance Review of Kazakhstan“ der UNECE (2008) hat zudem diverse konkrete Empfehlungen im Hinblick auf Minimierung von Umweltauswirkungen des Bergbaus formuliert. Die Umweltauswirkungen des Bergbaus, insbesondere des Uranabbaus zu Sowjetzeiten, werden im Hinblick auf ihre Sicherheitsauswirkungen auch von der ENVSEC-Initiative untersucht, die u.a. OSZE, NATO, UNEP und UNDP umfasst (ENVSEC 2009).⁶⁶

⁶⁶ ENVSEC ist eine gemeinsame Initiative von OSZE, UNEP, UNDP, REC und NATO (www.envsec.org).

Ressourcengovernance

Das Land hat eine Strategie, um einem „Ressourcenfluch“ entgegenzuwirken⁶⁷. Diese umfasst u.a. die Diversifikation der Wirtschaft und Investitionen zur Stabilisierung der Währung, sowie das Management der Öleinnahmen durch vier Finanzinstitutionen in Rohstofffonds (Kazakhstan Development Bank; State Insurance Corporation for Export Credit and Investment; National Innovation Fund und Investment Fund of Kazakhstan; E&MJ 2010: 25, ENVSEC 2008: 30-1). Diese Maßnahmen zeigen, dass Kasachstan aktiv seinen Rohstoffsektor gestaltet. Gleichzeitig bleiben staatliche oder semi-staatliche Unternehmen zentrale Akteure im Bergbaubereich. Das Land hat von den erhöhten Rohstoffpreisen profitiert und möchte Investitionen von ausländischen Unternehmen anziehen. In der Tat hat sich der Doing-Business-Indikator von Kasachstan in den letzten fünf Jahren deutlich verbessert.⁶⁸ Die Regierung hat das Ziel, die Kupferproduktion bis 2015 zu verdoppeln und möchte 2014 ein Entwicklungsprogramm für die Bergbau- und Hüttenindustrie verabschieden. Das übergeordnete Ziel ist es, Rohstoffe für die Produktion von Hochtechnologieprodukten bereit zu stellen (E&MJ 2010: 58-9). Entsprechend wurde ein Gesetzesrahmen für den Transfer neuer Technologien und Instrumente geschaffen, die eine Modernisierung von Unternehmen im Bergbau unterstützen sollen (ibid.). Weitere Aktivitäten im Bereich Bürokratieabbau und Korruptionsbekämpfung sind vom Ministerium für Industrie und neue Technologien geplant.

In 2010 zeigte der in Melbourne und London registrierte Bergbaukonzern Rio Tinto Explorationsinteresse an Kasachstans Kupfervorkommen. Er schloss mit Samruk-Kazyna,⁶⁹ einer zentralen staatlichen Unternehmensgruppe, eine Vereinbarung für die Zusammenarbeit (MoU). Während Kasachstan um die Attraktivität seiner Bodenschätze weiß, hat die politische Führung diese Position bisher nicht auffällig außenpolitisch ausgespielt. Investitionshemmnisse im Bergbaubereich bestehen vor allem durch die Gesetzeslage, wonach alle Reserven unter der Erde dem Staat gehören. Nutzungsrechte werden nicht dauerhaft vergeben und neue Verträge müssen vor dem Ablauf der laufenden Verträge geschlossen werden. Ebenso können Nutzungsrechte auch entzogen werden, z.B. wenn der Investor gegen Lizenz- oder Vertragsbestimmungen verstößt. Solche Bestimmungen können auch Zahlungen an staatliche Institutionen oder Entwicklungs-, Arbeitsschutz- oder Umwelterfordernisse beinhalten (KAZAKHMYS Annual Report 2009: 32). Das Gesetz zum Unterboden und zur Unterbodennutzung sieht zudem vor, dass internationale Unternehmen lokale Güter und Dienstleistungen beziehen und kasachische Staatsangehörige einstellen müssen (US Gouvernement 2009: 294-5). Im Jahr 2010 wurde ein Moratorium für neue Explorationslizenzen verabschiedet, da einige Unternehmen diese zu Spekulationszwecken gekauft hatten ohne Bestreben, die Standorte zu entwickeln (E&MJ 2010: 62). Eine Vereinbarung mit Rio Tinto und das Interesse sowie erste Betätigungen weiterer in-

⁶⁷ Unter einem Ressourcenfluch leiden Länder, die zwar reich an Ressourcen sind, aber oftmals auch besonders arm und ggf. von Gewaltkonflikten gekennzeichnet sind. Die Gründe hierfür sind vielfältig (vgl. NBER 1995, Bannon/Collier 2003).

⁶⁸ World Bank Group Doing Business, Five Years of Cumulative Change (<http://www.doingbusiness.org/reforms/five-years>)

⁶⁹ Samruk-Kazyna entstand 2008 auf Verordnung des Präsidenten. Darunter wurden teilweise oder ganz staatliche Unternehmen aus Bergbau, Finanzwesen, Transport und Kommunikation konsolidiert.

ternationaler Unternehmen (Arcelor Mittal, Areva, Cameco, Severstal, Ivanhoe Mines) weisen jedoch darauf hin, dass solche Entwicklungen zumindest bei hohen Rohstoffpreisen das Investitionsinteresse nicht erschüttern.

6.3.2 DR Kongo

Die Demokratische Republik (DR) Kongo ist ein sehr rohstoffreiches Land, sowohl in Bezug auf nicht-erneuerbare (Kupfer, Niobium, Cobalt, Tantal, Zinn, Silber, Wolfram, Gold, Industriediamanten, Mineralöl, vgl. USGS 2008a) als auch erneuerbare Rohstoffe (Wasser, Holz). Es ist das drittichtigste Land Afrikas in Bezug auf Rohstoffreserven und -produktion. Bei der Rohstoffproduktion liegt die DR Kongo auf Rang 3 und bei der Raffinadeproduktion auf Rang 6 im afrikanischen Rangwertvergleich (BGR 2010a: 11-12).⁷⁰ Der Rohstoffsektor hat laut Statistik einen Anteil von 13,7 % am BIP, allerdings tauchen „die im Osten des Landes produzierten Rohstoffe Zinn, Wolfram und Coltan [...] nur zu einem kleinen Anteil in den offiziellen Produktionsstatistiken auf, sind aber von ihrer Menge her als bedeutend anzusehen“ (ibid.: 11).

Der kongolesische Kupfergürtel, Teil des 300 Kilometer langen zentralafrikanischen Kupfergürtels von Sambia über DR Kongo nach Angola, führt durch den südlichen Teil der Provinz Katanga im Südosten des Landes (Abbildung 6-4). Er enthält ca. ein Drittel des weltweiten Cobalts, 6 % der weltweiten Kupferreserven sowie u.a. die Rohstoffe Zink, Uran, Silber und Germanium (KfW Bankengruppe 2007). Die Hauptabbaugebiete von Kupfer und Cobalt in Katanga liegen in der Nähe der Städte Lubumbashi, Likasi und Kolwesi (adelphi/UBA 2011b: 7). Kupfer kommt vor allem in Form von Heterogenit⁷¹ vor, das 15 bis 30 Meter unter der Erde liegt. Die Rohstoffe Katangas werden vor allem über Sambia exportiert und dann per Zug oder LKW zu den Häfen von Durban (Südafrika) oder Dar Es Salaam (Tansania) gebracht. Zwei Drittel wird nach China, der Rest in andere fernöstlichen Länder, Europa und die USA verschifft.

⁷⁰ Dieser Länder-Rangwert errechnet sich aus dem Länderanteil an der Weltproduktion eines Rohstoffs gewichtet mit dem Anteil des Nettoimportwerts (Import-Export) des Rohstoffs an den gesamten Rohstoffeinfuhren Deutschlands.

⁷¹ Heterogenit ist ein Erz, das Kupfer, Cobalt, Zink und andere Metalle beinhaltet.

Abbildung 6-4: Karte der DR Kongo mit der Provinz Katanga im Südosten



Quelle: University of Texas (web.mit.edu/cascon/maps/congo_dem_sm97.gif)

Die staatliche Bergbaufirma Gécamines (Générale de Carrières et des Mines)⁷² hatte den industriellen Abbau und die Aufbereitung der Mineralien in Katanga über Jahrzehnte dominiert, bis das Unternehmen nach langem Missmanagement und rückläufigen Produktionszahlen in den 1990er Jahren zusammenbrach. Seitdem werden die Erze oberflächlich wie unter Tage manuell mit einfachen Werkzeugen geschürft (adelphi/UBA 2011b: 7-8). Die Vorkommen gelten als sehr hochwertig; trotzdem gilt die DR Kongo als unterexploriert (KfW Bankengruppe 2007). Grund dafür sind vor allem die von Risiken und Unsicherheit geprägten Governance-Strukturen (vgl. Doing Business Index).

⁷² Gécamines' Konzessionen erstrecken sich über eine Fläche von über 30.000 Quadratmeter und verteilen sich um die Städte Kolwezi, Likasi und Lubumbashi mit Reserven von ca. 30 Mio. Tonnen Kupfer und 3 Mio. Tonnen Cobalt (Fatal Transaction 2006).

Governance

Die DR Kongo befindet sich nach Diktatur, Bürgerkriegen und den ersten demokratischen Wahlen 2006 im (Wieder-)Aufbau. Das riesige Land gilt als fragiler oder kollabierter Staat und besitzt fast keine Infrastruktur. Es hat einen langen Weg vor sich, bevor es tatsächlich als „regiert“ angesehen werden kann (vgl. Failed States Index). Korruption und Klientelismus sind systemdurchdringend und flächendeckend (vgl. Institute for Security Studies 2008; Governance Indikator Control of Corruption & TI Index). Staatliche Ämter werden zur Selbstbereicherung missbraucht, während Führungspositionen in den staatlichen Unternehmen, u.a. im Bergbau, durch klientelistische Netzwerke vergeben werden (Institute for Security Studies 2008; Ngoie/Omeje 2008). So sind zwischen den Wahlen 2006 und Mitte 2008 1,3 Mrd. US-\$ Staatsgelder verschwunden – mehr als die gesamten offiziellen Staatseinnahmen von 2007 (Johnson 2008, Institute for Security Studies 2008). Auch der Verfall von Gécamines ist ein Anzeichen für unlautere Geschäfte. Die DR Kongo hat die Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) 2005 befürwortet und ist seit 2008 Kandidatenland. 2009 hat die Regierung mit der Weltbank und der deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) einen Plan ausgehandelt, um seinen Berichts- und Validierungspflichten nachzukommen.⁷³ In Anbetracht der strukturellen Herausforderungen bleibt fraglich, was EITI in diesem Zusammenhang bewirken kann.

In der DR Kongo kommt die Regierung generischen Staatsaufgaben von Sicherheit, Rechtsstaatlichkeit und Wohlfahrt nicht nach. Gründe dafür sind das fehlende Gewaltmonopol (es gibt diverse bewaffnete Gruppen, vor allem im Osten des Landes), das zentralistische System, fehlende finanzielle Mittel und Kompetenzen, sowie Korruption und Klientelismus. So erpressen z.B. Soldaten ihr Einkommen, weil ihr Sold ausbleibt, statt Sicherheit herzustellen. Straftäter werden nicht verfolgt und wenn sie doch vor Gericht gestellt werden, unterwandert Korruption eine ordentliche Rechtsprechung (Institute for Security Studies 2008). Gesetze, die zum Teil internationalen Standards entsprechen (vgl. Governance Indikator Regulatory Quality), werden nicht umgesetzt (vgl. Ressourcengovernance).

Die DR Kongo hat eine ausgeprägte Konfliktgeschichte (Feil 2011). Praktisch jede größere Konflikteskalation der letzten Jahre steht in Zusammenhang mit dem Management von Ressourcen oder den (legalen oder illegalen) Rohstoffeinnahmen, insbesondere aus dem Bergbau (adelphi/UBA 2011b: 3). In sieben von zehn Konflikten im Jahr 2010 spielten Ressourcen eine Rolle, fünf davon waren als manifeste Konflikte oder Krisen gewaltförmig (HIIK 2010: 24).

Obwohl Katanga von den Bürgerkriegen zwischen 1996 und 2003 weitgehend verschont blieb, ist die politische, soziale und ökonomische Situation in Katanga von Spannungen gezeichnet (vgl. International Crisis Group, ICG 2006). Beispielsweise eskalierte ein Konflikt zwischen manuellen Schürfern und einem Unternehmen in 2008 in gewalttätigen Ausschreitungen (IPIS 2008). Nach Einschätzungen des kongolesischen Pole Institutes ist in Katanga mit solchen Konflikten zu rechnen, da ein Großteil der Bevölkerung vom Bergbau abhängig ist (Pole Institute 2005: 6).

⁷³ vgl. <http://eiti.org/DRCongo>

Das Ergebnis der Gewaltkonflikte in der DR Kongo sind Millionen von Todesopfern und eine desolate Lage der Menschen (vgl. Failed States Index und Human Development Index). Während die Fragilität des Staates auch Freiräume schafft, die von einigen wirtschaftlich genutzt werden, hat der Großteil der Bevölkerung keinen Anteil am Rohstoffreichtum des Landes. Der riskante manuelle Kleinbergbau (artisanal mining) bleibt in manchen Regionen die einzige Arbeitsperspektive.

In Katanga haben die gravierenden Umweltauswirkungen des Bergbaus zum sogenannten „Katanga-Syndrom“ geführt: zerstörte Ökosysteme und kontaminiertes Agrarland. Die Folgen für die Bevölkerung sind Gesundheitsschäden oder sogar erzwungene Migration (Global Witness 2004). Bestehende Umweltbestimmungen sind unzureichend im Hinblick auf Prävention und Minderung dieser Schäden – und werden zudem unzureichend umgesetzt (Weltbank 2008b).

Ressourcengovernance

Der Bergbausektor wurde mit Hilfe der Weltbank und des Internationalen Währungsfonds reformiert (KfW Bankengruppe 2007). Zwei Untersuchungskommissionen (2005 und 2007) kamen zu dem Ergebnis, dass von über 60 Verträgen nicht einer rechtsgültig sei und ein Drittel dieser Verträge annulliert werden müsste (Braeckman 2008). So wurden laut Kritikern über 30 Joint-Venture-Verträgen mit Gécamines stark zuungunsten des staatlichen Unternehmens abgeschlossen (Weltbank 2008b).

Seit 2002 gilt ein den internationalen Standards entsprechendes Bergbaugesetz (Code Minier). Dieses regelt die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Akteuren des formalen und informellen Bergbausektors neu und soll durch die Liberalisierung des Sektors neue Investoren anlocken. Dabei soll die Regierung zukünftig als Regulierer des Bergbausektors auftreten, statt als Betreiber. Ebenso wurden Prozesse geschaffen, die Korruption erschweren sollen (Weltbank 2008b, Global Witness 2004). Das Gesetz wird in der am meisten industrialisierten Bergbau-Provinz Katanga jedoch bisher kaum umgesetzt. Damit bleibt nicht nur für die geschätzten 100.000 bis 300.000 manuellen Schürfer ein unsicherer Arbeitssicherheit- und Arbeitsrechtsstatus bestehen. Auch die Rahmenbedingungen für seriöse Privatinvestoren bleiben riskant (vgl. Doing Business Index). Dies scheint jedoch nicht alle Investoren abzuschrecken (z.B. Glencore, Hatch, Suminka).

Die Rohstoffe Katangas waren und sind für den kongolesischen Staat die wichtigsten und lukrativsten Exportgüter. Fast die Hälfte der Staatseinnahmen kamen 2008 aus dem Rohstoffsektor Katangas (Wild 2008). Nach dem kongolesischen Bergbaugesetz von 2002 muss offiziell dabei die Aufbereitung im Land geschehen, damit die Wirtschaft von dieser Wertschöpfung profitieren kann. Die Provinzführung Katangas versucht dies durchzusetzen und hat nach Expertenangaben bereits einigen chinesischen Erzlieferungen keine Ausfuhrgenehmigung erteilt.

6.4 Zwischenfazit

Die Governance - Ressourcen Typologie zeigt deutlich das Spektrum der rohstoffproduzierenden Länder. Die allgemeinen Governance Faktoren weisen auf Risiken hin, denen unternehmerische und politische Kooperationen gleichermaßen gegenüber stehen. Sie sind für etablierte Demokratien (Typ 3) entsprechend gering, Transformationsländer oder junge Demokratien (Typ 2) sowie autoritäre Staaten (Typ 4) entsprechend höher und für kollabierte oder fragile Staaten (Typ 1) von einem Ausmaß, das Viele von Investitionen und Kooperationen abschrecken lässt. Gleichzeitig gibt es Faktoren im Ressourcengovernance Bereich, die ein anderes Bild aufzeigen. Gerade in etablierten Demokratien ist es auf Grund von Auflagen (Umwelt- und Sozialauswirkungsanalysen etc.) und rechtsstaatlicher Protestmöglichkeiten (Bürgerinitiativen, Rechtsstreitigkeiten) typischerweise sehr kostspielig und langwierig, neue Bergbauprojekte zu realisieren. Dem entgegen sehen manche Unternehmen die Spiegelseite der hohen Risiken der Typ 2 oder gar Typ 1 Länder in den hohen Gewinnen, die dort erwirtschaftet werden können. Die Politik hat die Möglichkeit, durch Instrumente wie Rohstoffpartnerschaften Risiken in solchen Produktionsländern zu adressieren, u.a. durch eine Unterstützung in der Entwicklung von Institutionen, Expertise und Rechtssicherheit für den Rohstoffabbau und -handel. Die Notwendigkeit einer unterschiedlichen, ziellandspezifischen Ausrichtung solcher Partnerschaften wird durch das Spektrum der Typen, aber auch innerhalb der Typen, deutlich. Im Bezug auf Typ 2 wäre beispielsweise für Kasachstan oder andere Länder wie Bolivien ein Anreiz, sich auf eine solche Partnerschaft mit Deutschland einzulassen, wenn daraus Investitionen in die Wertschöpfung der Rohstoffe im Land entstehen. Die allgemeinen Governance Faktoren, die von der Bundesregierung in einer Partnerschaft adressiert werden müssten – aus rohstoffversorgungs-, außen- und entwicklungspolitischen Interessen – divergieren. Für Bolivien liegt der Fokus auf der Entwicklung von Kapazitäten und der Effektivität staatlicher Institutionen, während für die mittelfristige politische Stabilität und damit Investitionssicherheit in Kasachstan mehr Meinungsfreiheit und politische Partizipation der Bevölkerung eine zentrale Rolle spielen.

Die Governance-Profile der vier Beispiele weisen verschiedene Querverbindungen auf, die auf die Komplexität des internationalen Rohstoffregimes hinweisen: Aus der Preispolitik und Produktionsdrosselung zu Seltenen Erden durch die VR China sind in den USA eine Reihe neuer Projekte und vor allem politischer Strategien zur unabhängigen Versorgung mit diesen Rohstoffen entstanden. In einem 2010 verabschiedeten Gesetz nimmt sich die USA zudem besonders Rohstoffkonflikten an und zielt dabei vor allem auf den illegalen Mineralienabbau in der DR Kongo ab. Der Kupferbergbau stellt in der DR Kongo den industrialisiertesten Bereich da, der auf Grund der Governance Faktoren dennoch nicht dem Potential entsprechend genutzt wird. Sowohl die DR Kongo als auch Kasachstan bemühen sich im Kupferbergbau um Investitionen ausländischer Firmen, insbesondere reputabler Unternehmen. Bis diese Investitionen mit dem Ziel der Erschließung, statt der Spekulation, getätigt werden, bleiben wichtige Ressourcen unerschlossen. Deutschland strebt mit Kasachstan währenddessen eine Rohstoffpartnerschaft an, auch um Zugang zu den kasachischen Seltene-Erden-Ressourcen zu sichern. Deutschland steht dabei wieder in Konkurrenz und im Wettlauf mit anderen Interessenten. Anfang April 2011 meldete Bloomberg, das kasachische Staatsunternehmen Kazatomprom wolle etwa US\$ 800

Million in Joint Ventures mit japanischen und russischen Unternehmen zum Abbau Seltener Erden Metalle investieren.⁷⁴

China und USA stehen für sehr unterschiedliche Governance-Typen, aber beide zeigen deutliche politische Flankierung bzw. Steuerung ihrer Seltene-Erden-Politik. Zum Beispiel stellt die Frage nach der Einrichtung strategischer Reserven für beide ein potentiell neues Konfliktfeld mit WTO Bestimmungen dar. Kasachstan und die DR Kongo zeigen auch Ähnlichkeiten, trotz der Unterschiede zwischen einem autoritär geprägtem Regime und einem fragilen bzw. kollabierten Staat. Beide bemühen sich darum, Investitionssicherheit zu schaffen und Auslandsdirektinvestitionen ins Land zu locken. In beiden Fällen verfügt das Land über riesige Reserven und enorme wirtschaftliche Potentiale, die neben logistischen Faktoren vor allem auf Grund von Governance-Rahmenbedingungen nicht ausgeschöpft werden.

Die aufgeführten Fallbeispiele zeigen deutlich, wie stark und vielschichtig Governance-Faktoren mit globalen beziehungsweise deutschen Versorgungsrisiken zusammenhängen. Neben der geologischen Verfügbarkeit von Rohstoffen und der Nachfragentwicklung sollten deshalb vor allem diese Governance-Faktoren in strategischen Überlegungen genauer berücksichtigt werden (vgl. auch Handlungsansätze).

⁷⁴ <http://www.bloomberg.com/news/2011-04-04/kazakhstan-sees-800-million-investment-in-rare-earth-ventures.html>

7 Fazit und Handlungsoptionen

Die Untersuchung der Kritikalität der Rohstoffversorgung in Deutschland ist ein vielschichtiges Unterfangen. Ausgehend von der Identifizierung von Rohstoffen mit hoher Importabhängigkeit erfolgte ein breites Screening von 52 Rohstoffen im Hinblick auf ihre Kritikalität. Für die Operationalisierung der beiden Hauptdimensionen Versorgungsrisiko und Vulnerabilität der deutschen Wirtschaft musste eine eigene Messmethodik entwickelt werden, die den Stand der Forschung weiterentwickelt, aber naturgemäß noch nicht ausgereift sein kann. Die Kritikalitätseinschätzungen sind trotz der großen Datenunsicherheiten und methodischer Variationsmöglichkeiten für die drei kritischsten Rohstoffe Germanium, Rhenium und Antimon sehr robust. Für diese drei hochkritischen Rohstoffe und für sieben weitere Rohstoffe sind Rohstoffprofile angelegt worden, die in komprimierter Form Informationen zu Angebot und Vorräten, Nachfrage und Verwendung, Marktstruktur und -dynamik sowie Materialeffizienz (inkl. Recycling und Substitution) bündeln (vgl. auch Kapitel 2 „Rohstoffprofile“ im separaten Anhangsband zu diesem Abschlussbericht). Durch eine Querschnittsauswertung der Rohstoffprofile und Rückbindung an die Ergebnisse des Screenings werden die strukturellen Muster und Variabilitäten der Rohstoffkritikalität sichtbar, auf deren Basis sich Eckpunkte zum Umgang mit Rohstoffkritikalität ableiten lassen.

In letzter Zeit sind zahlreiche Aktivitäten zur Verbesserung der Rohstoffversorgung zu verzeichnen. Viele Institutionen⁷⁵ eruiieren derzeit Informationen als Grundlage für die potentielle Neuausrichtung ihrer Aktivitäten. Die Bundesregierung hat mit ihrer Rohstoffstrategie 2010 einen Orientierungsrahmen für die zukünftige Rohstoffpolitik geschaffen. Die darin verankerte Programmatik wird vor dem Hintergrund der EU Rohstoffstrategie fortentwickelt und durch verschiedene Ressortaktivitäten konkretisiert. Es wird auf eine umfassende Darstellung dieser Aktivitäten verzichtet. Es werden aber wesentliche Eckpunkte aufgegriffen, um die in dieser Studie identifizierten konkreteren Handlungsoptionen zu verankern.

7.1 Kritische Rohstoffe als Schlüssel für die Entwicklung von Leitmärkten

Die Bundesregierung hat im Jahr 2006 eine Hightech-Strategie für Deutschland auf den Weg gebracht, die Leitbilder und Schwerpunkte für das zukünftige Innovationsgeschehen setzt. Mit der neuen Hightech-Strategie 2020 soll dieser Ansatz fortentwickelt werden (BMBF 2010). Aus den zentralen globalen Herausforderungen wurden fünf Bedarfsfelder identifiziert: (1) Klima & Energie, (2) Gesundheit & Ernährung, (3) Mobilität, (4) Sicherheit und (5) Kommunikation. Eine wesentliche Rolle wird dabei Schlüsseltechnologien⁷⁶ beigemessen, die gezielt zur Lösung spezifischer Probleme in den fünf Bedarfsfeldern gefördert werden sollen. Die Bundesregierung strebt danach, für diese Schlüsseltechnologien durch eine Spitzenstellung bei Forschung, Ent-

⁷⁵ vgl. u.a. die Unternehmensverbände VCI (Interview mit Herrn Benzing (2011)), BVKI (Interview mit Herrn Frischholz (2011)) und VDMA (Interview mit Herrn Wolf (2011)) sowie die BGR (Interview mit Frau Wilken (2011)).

⁷⁶ Unter Schlüsseltechnologien versteht die Bundesregierung solche Innovationen, die die Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft sichern sollen: Bio- und Nanotechnologie, Mikro- und Nanoelektronik, optische Technologien, Mikrosystem-, Werkstoff- und Produktionstechnik, Raumfahrttechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologie und die Dienstleistungsforschung.

wicklung und Markteinführung nationale Leitmärkte mit hohem globalen Wachstums- und Exportpotential zu fördern.

Aufbauend auf der Studie "Rohstoffe für Zukunftstechnologien" (ISI/IZT 2009) können Schlüsseltechnologien mit ihrem zukünftigen Bedarf an mineralischen Rohstoffen identifiziert und den Bedarfsfeldern Klima & Energie, Mobilität und Kommunikation zugeordnet werden.⁷⁷ In Tabelle 7-1 sind solche Rohstoffe angeführt, deren weltweite Nachfrage durch einzelne Zukunftstechnologien bis 2030 voraussichtlich mindestens 50 % (intensiv) bzw. 100 % (sensitiv) der heutigen gesamten Rohstoffproduktion (2008) ausmachen wird.

⁷⁷ Im Bedarfsfeld Gesundheit & Ernährung dominieren organische Rohstoffe, das Bedarfsfeld Sicherheit steht mit den anderen drei Bedarfsfeldern in enger Beziehung.

Tabelle 7-1: Bedarfsfelder der Hightech-Strategie der Bundesregierung und der globale Rohstoffbedarf für einzelne Zukunftstechnologien 2030 im Verhältnis zur gesamten globalen Rohstoffproduktion 2008 (Auswahl)

Bedarfsfeld	Handlungsschwerpunkte	Schlüsseltechnologien	Globale Rohstoffbedarfe 2030/ Globale Produktion 2008	
			intensiv (> 50 %)	sensitiv (> 100 %)
Klima & Energie	CO ₂ -neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt	Schaltbares Architekturglas	Ag	In
		Ultraeffiziente Beleuchtung	Sc, Dy	Ga, Eu, Tb
		Ultraeffiziente Displays	Ge	In, Eu, Tb
		Ultraeffiziente Motoren	Cu	Nd, Dy, Pr
		Magnetisches Kühlen	Gd	
Umbau der Energieversorgung	Smart Home (s. IKT)	Photovoltaik	Ag, Ga, Ge, In , Si, Te	Nd, Dy, Pr Sc
		Windenergie		
		Brennstoffzelle	Pt, Zr	
		Kraftwerkstechnik	Co, Cr, Ni, Re, W	
		Supraleitung	Bi	
Substitution von Öl durch nachwachsende Rohstoffe/ Kohlechemie	Smart Grids (s. IKT)	Redox-Flow Speicher	V	
		Smart Grids (s. IKT)		
		XtL-Synthese	Pd, Pt, Re	
Mobilität	Kernenergie als Brückentechnologie*	diverse	Be, Bi, Hf, Pb, Zr	
	Neue Antriebssysteme	Hybrid- / Elektrofahrzeuge	Cu	
		Brennstoffzellenantrieb	Cu	Pt
	Neue Kraftstoffe	XtL-Synthese	Pd, Pt, Re	
		Speichertechnologien	La, Nd	Co, Li
	Weitere Elektrofahrzeuginnovationen**	Leichtbau	Al, Mg, Nb	
thermoelektrische Generatoren		Ag, Bi, Ge, Sb , Te		
IKT-gestützte Nutzung von Verkehrsinfrastrukturen	Telematik (s. IKT)			
	Smart Grid (s. IKT)			
Nachhaltiges Luftverkehrssystem	Leichtbau	Al, Mg, Sc, Ti, V		
	Antriebstechnologie	Co, Ni, Ti, W	Re	
Maritime Technologien	Schiffbau, Offshore- und Unterwassertechnik	Cr, Mo		
Kommunikation (IKT)	Embedded Systems	Pervasive Computing	Ag, Be, Bi, Cu , Diamant, Ge , Glimmer, Graphit, Sn, Ta, Te, Nd, Dy, Pr	Ga, Hf
	Kommunikationsinfrastrukturen	Glasfaser Satellitenkommunikation		Ge, Er Rb

Quellen und Anmerkungen: ISI/IZT 2009 und eigene Bewertungen und Klassifizierungen; IKT- Informations- und Kommunikationstechnik; * seit der Energiewende nach dem Reaktorunfall in Fukushima aktualisierungsbedürftig; ** in Hightech-Strategie nicht explizit erwähnt, aber essentiell zur Kompensation des erhöhten Gewichts von Elektrofahrzeugen; Fett: Untersuchung in den Rohstoffprofilen in dieser Studie.

Die Umsetzung der Hightech-Strategie der Bundesregierung (BMBF 2010) wird bestimmte Impulse auf die Rohstoffnachfrage in Deutschland auslösen. Entwickeln sich die nationalen Leit-

märkte für einzelne Schlüsseltechnologien zu weltweit massenhaft verbreiteten Lösungen, sind große bis sehr große globale Nachfrageimpulse bis 2030 insbesondere für einige Halbleiter, Leichtmetalle, Legierungselemente und Seltene Erden zu erwarten.⁷⁸

Im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität sind Rohstoffaspekte erstmalig im Hinblick auf die Technologieplanung adressiert. Nicht nur für die Umsetzung der High-Tech Strategie der Bundesregierung, sondern auch für die Entwicklung anderer Leitmärkte für Zukunftstechnologien ist eine frühzeitige und umfassende Berücksichtigung von Rohstoffaspekten notwendig (z.B. Energiekonzept). Das BMBF bereitet derzeit eine Fördermaßnahme zur nachhaltigen Nutzung strategisch relevanter Rohstoffe für Schlüsseltechnologien vor, um präventiv Maßnahmen gegen Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen einleiten zu können.

Insgesamt bedarf es einer differenzierten Resilienzstrategie, die verschiedene Optionen zur vorbeugenden Vermeidung von Versorgungsstörungen oder zur Anpassung im Falle einer Versorgungsstörung beinhaltet. Die Substitution von kritischen Rohstoffen auf Element- oder Materialebene, wie auch auf Komponenten-, Produkt- oder Funktionsebene kann ein wichtiges Element einer solchen Strategie sein. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Funktionalität der Substitute mindestens ebenbürtig ist und die Wertschöpfung der verarbeitenden Industrie keine Einbußen erleidet, denn über den Markterfolg von Zukunftstechnologien entscheidet oft die "Performance" der Produkte, die nur mit Hilfe hoch spezialisierter Materialien erreicht werden kann. Diese Anforderung kann im Einzelfall mit der Substitutionsstrategie konfliktieren, da die Ersatzstoffe oftmals nicht die erforderliche Funktions- und Leistungsfähigkeit haben, teurer sind oder nicht sicher und umweltfreundlich zur Verfügung stehen.

Handlungsansätze:

Unterstützung der Integration von Rohstoffaspekten in die Entwicklung von Leitmärkten für Zukunftstechnologien (z.B. Rhenium in Superlegierungen für Kraftwerke, Seltene Erden für Magnetwerkstoffe)

Förderung der Entwicklung von Substitutionsoptionen (z.B. Indium in transparenten Elektroden, Antimon in Flammschutzmitteln)

Die beiden Handlungsansätze adressieren die strategische Ausrichtung der Technologie-, Rohstoff- und Materialpolitik. Diese Felder sind bei der Ausgestaltung von Förderprogrammen in geeigneter Weise zu verzahnen. Insbesondere in Forschung und Entwicklung sind die Fördermittel im Hinblick auf die Erhöhung der Resilienz von Wertschöpfungsketten hin auszurichten.

⁷⁸ Auch für die nicht in Tabelle 7-1 aufgeführten anderen Rohstoffe wie z.B. Silicium kann es bis 2030 globale Nachfrageimpulse durch Zukunftstechnologien geben (u.a. Photovoltaik, IKT, Silikon-Kunststoffe z.B. für Wärmedämmung). Aufgrund ihres massenhaften Einsatzes in der Grundstoffindustrie und in etablierteren verarbeitenden Industriebranchen fallen die spezifischen Nachfrageimpulse jedoch kleiner aus (Interview mit Herrn Hartel (Fa. Wacker Chemie) 2011). In der Gießerei-Industrie sind über die Seltenen Erden hinaus beispielsweise Phenylalkohol und Furanharz am kritischsten, die nicht zu den mineralischen Rohstoffen gehören (Interview mit Herrn Rölke (BDG) 2011).

7.2 Rohstoffkritikalität aus der Wertschöpfungsketten-Perspektive

In den 70iger und 80iger Jahren wurden noch nahezu alle wichtigen mineralischen Rohstoffe in Deutschland im großen Maßstab verarbeitet. Im Zuge der Liberalisierung und Globalisierung der Weltwirtschaft in den 90iger Jahren wurde die Verarbeitung von Rohstoffen in Deutschland in größerem Umfang reduziert.⁷⁹ Andere Länder haben währenddessen eine strategische Rohstoffpolitik verfolgt. Beispielsweise lässt sich Chinas Strategie in drei Phasen einteilen (SMI 2010): In der 1. Phase fördert China die Exploration, den Abbau und die Raffination von Rohstoffen in Nähe der eigenen Abbaustätten. Wenn ein hoher Weltmarktanteil erreicht ist, werden in der 2. Phase Exportrestriktionen (Quoten, Steuern) eingeführt. Durch Verschärfung der Exportrestriktionen in der 3. Phase werden rohstoffverarbeitende Unternehmen aus anderen Ländern gezwungen, einen Teil ihrer Wertschöpfung nach China zu verlagern, wenn es ihnen nicht gelingt, ihre Abhängigkeit auf anderem Wege zu verringern. Für die abnehmende Industrie in Deutschland, wie z.B. den Schiffbau, kann die Marktabschottung europäischer Stahlhersteller mit Kostensteigerungen verbunden sein, während z.B. asiatische Konkurrenten auf billigeren Stahl zurückgreifen können.⁸⁰

Integrierte Industriestrukturen mit großer Wertschöpfungstiefe sind weniger krisenanfällig, weshalb Deutschland ein Interesse an eigenen industriellen Rohstoffverarbeitungskapazitäten hat (BMW 2010). In Deutschland gibt es für die Verarbeitung von Aluminium-, Kupfer-, Blei- und Zinkerzen heute nur noch wenige Unternehmen und Standorte. Mit den Hauptprodukten kommen auch die Nebenprodukte ins Land: Aluminium mit Gallium und Vanadium, Kupfer z.B. mit Molybdän und Tellur, Blei und Zink z.B. mit Germanium und Indium. Die Verarbeitung der Erze in Deutschland ist in der Regel auch die Voraussetzung für die Separation und Aufbereitung der Nebenprodukte im Inland. Die Integration einer Separierungseinheit in die Hauptprodukthanlagen erfordert spezielles Know-How, über das nur wenige Unternehmen verfügen.⁸¹ Deshalb wird empfohlen, sowohl die Verarbeitung von Erzen in Deutschland als auch den Aufbau von Kompetenz in der Separierung und Aufbereitung der Nebenprodukte zu fördern (z.B. Import von Blei/Zink-Konzentraten mit Auskopplung von Germanium, Indium).

Werden die Hauptprodukte auf höherer Wertschöpfungsstufe importiert (z.B. als Raffinade), dann unterbleibt die gekoppelte Einfuhr der Nebenprodukte. Für Wertschöpfungsketten, bei denen die Upstream-Prozesse nicht mehr in Deutschland selbst erfolgen (z.B. Verarbeitung von Zinn und Nickelerzen), ist die Unterstützung der Versorgung auf höherer Wertschöpfungsstufe

⁷⁹ Die Bundesregierung führt als Gründe dafür hohe Energie- und Lohnkosten sowie das hohe Umweltschutzniveau an (BMW 2010).

⁸⁰ Interview mit Herrn Carlsson (VSM) 2011.

⁸¹ Die Separierung von Nebenprodukten wie Germanium und Indium aus Blei- und Zinkerzen ist keine Selbstverständlichkeit. Das Unternehmen Metaleurope gewinnt aus primären und sekundären Vorstoffen nur Blei, Schwefelsäure und Silber (Interview mit Herrn Baeder 2011). Das Unternehmen XStrata Zink gewinnt als einziger Zinkerzverarbeiter in Deutschland neben Zink einen Kupfer-, Nickel- und Cobalt-haltigen Rückstand und Cadmium-Metall (Interview mit Herrn Scheeren 2011). Die Separierung von Germanium oder Indium erfordert spezifisches Know-How, über das nur wenige Unternehmen verfügen (z.B. Firma Outotec aus Finnland).

zu prüfen (vgl. BMWi 2010: 10).⁸² Wie bei der Primärproduktion ist auch bei der Sekundärproduktion die Wertschöpfung der Hauptprodukte ausschlaggebend dafür, ob die Nebenprodukte gewonnen werden können (vgl. Kapitel 7.5).

Durch den Verlust des Abbaus und der Verarbeitung auf niedrigeren Wertschöpfungsstufen kommt dem Herkunftsnachweis von Rohstoffen immer größere Bedeutung zu. Hauptprobleme im internationalen Bergbau sind konfliktverschärfende Rohstoffextraktion, Arbeitssicherheit und -bedingungen, Schutz der Bevölkerung und Umweltschutzprobleme (u.a. Emission von Säuren, Lösemitteln, Stäuben und Schwermetallen in Böden, Gewässer und die Luft). Die Zertifizierung der Handelskette hat insbesondere für die in den USA tätigen Unternehmen infolge des U.S. Dodd-Frank Financial Reform Law (Section 1502) bereits praktische Bedeutung für Tantal, Zinn, Wolfram und Gold. Die Zertifizierung kann auch dazu beitragen, den illegalen Handel zu unterbinden (z.B. Seltene Erden). Insbesondere bei den als Raffinade bezogenen Metallen ist ein solcher Herkunftsnachweis aufwändig (z.B. Verarbeitung von Primär- und Sekundärrohstoffen in einer Zink-Raffinerie mit Indium-Gewinnung in Japan).

Handlungsansätze:

Förderung der Verarbeitung von Erzen in Deutschland (z.B. Import von Blei/Zink-Konzentraten mit Auskopplung von Germanium und Indium)

Verbesserung der Kompetenz zur Trennung und Aufbereitung von Nebenprodukten (z.B. Pilotanlagen für die Separierung von Germanium und Indium aus der Blei/Zink-Verarbeitung)

Unterstützung der sicheren Versorgung Deutschlands mit Materialien und Komponenten auf höherer Wertschöpfungsstufe (z.B. Antimontrioxid statt Antimon-Metall, Magnetwerkstoffe statt Seltene Erden, Komponenten statt Werkstoffe)

Nachhaltiger Bergbau mit Zertifizierung der Handelskette (z.B. für Antimon, Wolfram)

Für die Förderung der Erzverarbeitung und die Trennung und Aufbereitung von Nebenprodukten kann an das vorhandene Instrumentarium angeknüpft werden, während die Unterstützung der Versorgung auf höherer Wertschöpfungsstufe ggf. neue Instrumente erfordert. Hinsichtlich der Handelsketten-Zertifizierung kann auf die Arbeiten der BGR zu Tantal und internationale Aktivitäten zurückgegriffen werden.

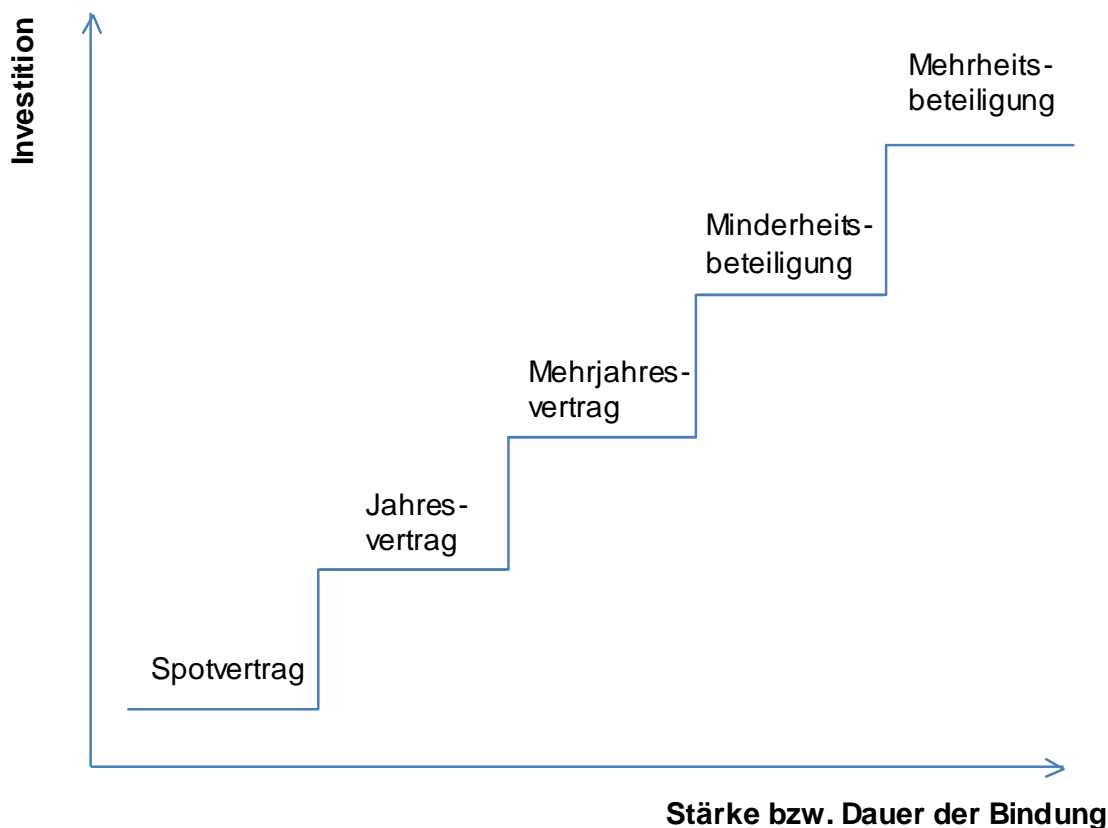
7.3 Von der operativen Rohstoffbeschaffung zur strategischen Rohstoffsicherung im Unternehmen

Herausforderungen für die Unternehmen der deutschen Wirtschaft sind die hohe Preisvolatilität, hohe Preisniveaus und die schwierige Verfügbarkeit einiger Rohstoffe überhaupt. Die Unternehmen der verarbeitenden Industrie haben verschiedene Möglichkeiten der Rohstoffsicherung. Diese reichen von kurzfristigem Sourcing auf Spotmärkten über die Absicherung durch Langfristverträge bis hin zur Rückwärtsintegration (Abbildung 7-1). Die Möglichkeiten unterscheiden sich hinsichtlich der Versorgungssicherheit und der erforderlichen Investitionen. In den 1990er

⁸² d.h. nicht die Förderung des Imports von Erz, sondern z.B. von raffiniertem Metall.

Jahren ist die deutsche rohstoffverarbeitende Industrie fast vollständig aus dem internationalen Bergbau ausgestiegen. Der Wiedereinstieg ist schwierig, die Rückwärtsintegration ist jedoch aus Sicht der Bundesregierung erforderlich (BMW 2010).

Abbildung 7-1: Instrumente der Rohstoffsicherung für Unternehmen



Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi in Anlehnung an Kremser 2010.

Unternehmen der verarbeitenden Industrie in Deutschland haben sich in den letzten Jahren meist über Jahres- oder Mehrjahresverträge mit Rohstoffen versorgt. Mehrjahresverträge können mit dynamischen Preisformeln ausgestaltet werden. Der Abschluss solcher Verträge ist unter Wettbewerbsbedingungen nicht immer möglich, zum Beispiel wenn sich die Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Rohstoffpreise von Anbieter und Nachfrager zu sehr unterscheiden. Dann müssen die Rohstoffe auf Spotvertragsbasis verhältnismäßig teuer eingekauft werden (z.B. LME, "over the counter"). Langfristigere Möglichkeiten der Rohstoffversorgung bietet die Rückwärtsintegration (Beteiligungen oder Joint Ventures). Die Direktinvestition in ein Bergbauprojekt kann beispielsweise durch Rohstofflieferungen zurückgezahlt werden (vgl. Firma ThyssenKrupp Metallurgie für Molybdän). Der Kapitalbedarf für solche strategischen Investitionen ist jedoch im Vergleich zu den in kürzeren Zeiträumen vorgenommenen operativen Beschaffungen sehr hoch. Werden langfristige Investitionsentscheidungen getroffen, wie z.B. die Errichtung einer Fertigungslinie für Elektrofahrzeuge, ist eine lange und dauerhafte Bindung an den Roh-

stofflieferanten durch Minder- oder Mehrheitsbeteiligung eine wichtige Option. Das Investitionsrisiko kann jedoch beträchtlich sein.

Noch vor wenigen Jahren war die Rohstoffversorgung für viele deutsche Unternehmen eine Aufgabe für die operative Beschaffung. Die Rohstoffmärkte sind insgesamt unberechenbarer geworden. Für die Stahlbranche heißt dies beispielsweise alternierend hohe und volatile Preise für Eisen, Koks, Stahl, Nickel, Chrom, Mangan, Kupfer, Molybdän und Cobalt.⁸³ Für die Elektronikbranche wiederum stehen die Kosten für Elektronik,⁸⁴ Kupfer, Eisen und Stahl, Aluminium, Eisen, Nickel, Blei, Cobalt, Lithium, Zink, Mangan und Seltene Erden im Zentrum des Interesses (ZVEI/Commerzbank 2010).⁸⁵

Durch die hohe Preisvolatilität, hohe Preisniveaus und die schwierige Verfügbarkeit einiger Rohstoffe ist die Rohstoffversorgung insbesondere in größeren Unternehmen zu einer strategischen Aufgabe geworden (vgl. z.B. die Aktivitäten der in Deutschland produzierenden Unternehmen Audi und Infineon⁸⁶). Das Risikomanagement kann entweder intern erfolgen (z.B. Rohstoffkauf in Zeiten niedriger Preise und betriebliche Lagerhaltung) oder mit Hilfe von externen Institutionen (z.B. Versicherung gegen Preisänderungen).

Welche Form der Rohstoffsicherung betrieben wird, ist letztendlich eine unternehmerische Entscheidung. Einer stärkeren Rolle des Staates, z.B. in Form von staatlicher Vorratshaltung oder Beschaffungsfirmen, steht die Bundesregierung ablehnend gegenüber (BMW 2010).

Handlungsansätze:

Unterstützung von rohstoffverarbeitenden KMU (ggf. über Verbände) beim Aufbau eines internen Risikomanagements oder bei der Anbahnung von externen Risikomanagements

Absicherung von Investitionsrisiken der Rückwärtsintegration und der Verarbeitung nahe der Rohstoffbasis durch Instrumente wie Kreditbürgschaften (z.B. Magnetwerkstoffproduktion in China mit Lieferung nach Deutschland)

Für die Absicherung von Investitionsrisiken der Rückwärtsintegration und der Produktionsverlagerung hin zur Rohstoffbasis kann auf Instrumente wie Garantien für ungebundene Finanzkredite (UFK) und Investitionsgarantien zurückgegriffen werden. Insbesondere für zahlreiche KMU ist eine strategischere Ausrichtung der Rohstoffversorgung eine neue Aufgabe, weshalb neue Unterstützungsformen für den Aufbau eines internen oder externen Risikomanagements zu empfehlen sind.

⁸³ Interview mit Herrn Breese (Stahl-Zentrum) 2011.

⁸⁴ Elektronik ist kein Rohstoff im engeren Sinn, aber Elektronikkomponenten werden für die Herstellung elektrischer und elektronischer Geräte typischerweise ebenso wie die Rohstoffe von anderen Anbietern bezogen. Aus Sicht eines Herstellers elektrischer und elektronischer Geräte fallen Elektronikkomponenten ebenso unter den Wareneingang wie z.B. Aluminium.

⁸⁵ Ähnlich äußerten sich Herr Baader für die Automobilindustrie (VDA) 2011 und Herr Wolf für den Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) 2011.

⁸⁶ vgl. Konferenz Commodity Masters (Berlin, 2010), Interview mit Frau Senninger (Fa. Infineon) 2011.

7.4 Ausbau und Diversifizierung der primären Rohstoffversorgung

Die Abhängigkeit der Rohstoffversorgung von Importen aus wenigen Ländern und von wenigen Unternehmen macht die verarbeitende Industrie in Deutschland verwundbar. Hauptstrategien zur Verringerung dieser Abhängigkeit sind Änderungen der Bezugsbasis und Investitionen in Bergbauprojekte im In- und Ausland. Die Diversifizierung der Rohstoffversorgung ist eng an Governance-Fragen und die Außen-, Handels- und Entwicklungspolitik gekoppelt (Kapitel 7-9).

7.4.1 Änderung der Importquellen

Die Diversifizierung der Importquellen und der Wechsel zu Ländern mit geringeren Länderrisiken ist vor allem für solche Rohstoffe eine Option, bei denen das Länderrisiko des Imports deutlich oberhalb des Länderrisikos der Produktion liegt. Eine Verringerung des Importrisikos durch Verlagerung auf die allgemeine globale Produktionsbasis um mindestens 50 % weist das Screening für Bauxit, Kupfer, Nickel und Tantal aus.⁸⁷ Bei Bauxit sticht der hohe Anteil der Einfuhren aus Guinea hervor (66 %), bei Kupfer aus Armenien (27 %) und der DR Kongo (17 %), bei Nickel aus Russland (38 %) und bei Tantal vermutlich aus Brasilien.⁸⁸ Eine Verlagerung der Herkunftsländer ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Die chilenischen Kupferausfuhren sind aufgrund ihrer Lage in der Nähe des Pazifiks in Richtung Nordamerika und Asien gerichtet. Bauxit, Nickel- und Tantalerze aus Australien werden durch die langen Transportwege verteuert. Insgesamt scheint diese Strategie bereits von den meisten Unternehmen verfolgt zu werden, eine Diversifizierung der Bezugsquellen sollte dennoch systematisch untersucht werden (vgl. Kapitel 7.8).

7.4.2 Neubewertung der Potentiale des Inlandsbergbaus

In Deutschland werden einige wichtige mineralische Rohstoffe produziert, bei weitem aber nicht alle. Der Selbstversorgungsgrad Deutschlands ist hoch (über 75 %) oder vollständig (100 %) für die wichtigsten Steine und Erden wie Sand & Kies, Ton, Kaolin, Kalk & Dolomit, Gips, Quarzsand sowie für die Industriemineralien Steinsalz, Kalisalz, Bittersalz, Schwefel & Pyrit. Für zahlreiche andere Industriemineralien und für die primären Rohstoffe aller Metalle (u.a. Eisen, Aluminium, Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Nickel, Wolfram, Germanium, Indium) besteht eine hohe bis vollständige Importabhängigkeit. Die Frage nach einer Wiederaufnahme des Erzabbaus in Deutschland zur Erhöhung der Selbstversorgung hat an Aktualität gewonnen.

Die BGR hat in den letzten Jahren einige Untersuchungen zur Rohstoffgewinnung in Deutschland publiziert, darunter für Kupferschiefer (2008) und Gold (2009). Die KSL Kupferschiefer Lausitz (Minera S.A. Muttergesellschaft) hat vor kurzem ihre seismischen Erkundungsarbeiten

⁸⁷ Immer noch 25 % geringer liegt das allgemeine Produktionsrisiko für Glimmer, Perlit & Vermiculit, Zirkon, Aluminium und Rhenium.

⁸⁸ BGR RoSit (2009) enthält keine Angabe zum einzigen Importland für Tantalerz im Jahr 2008. Das deutsche Unternehmen H.C. Starck hat 2011 einen mehrjährigen Liefervertrag für Tantal mit der CIF Mineração aus Brasilien, einer Tochtergesellschaft der AMG Advanced Metallurgical Group, geschlossen. Für 2008 kann ein Import aus Zentralafrika (u.a. DR Kongo, Ruanda) nicht ausgeschlossen werden.

rund um die Gemeinden Spremberg, Graustein und Schleife abgeschlossen.⁸⁹ Dort soll ab 2013 ein Kupferbergwerk entstehen, dessen Betrieb frühestens 2017 erfolgen könnte. Neben den bislang ermittelten 1,5 Mio. Tonnen Kupfer enthält die Lagerstätte Nickel, Cobalt, Molybdän, Palladium, Silber und Gold. Der Teufenbereich liegt zwischen 800 und 1.300 Metern Tiefe. Das Vorkommen ist eine Fortsetzung des Lagerstättenreviers Sieroszowice-Lubin-Głogów, aus dem die polnische Firma KGHM Kupfer, Molybdän und auch Rhenium gewinnt. Die Deutsche Rohstoff AG verfolgt vorwiegend Explorationsvorhaben bereits bekannter Vorkommen in Deutschland. Aufgrund ihrer Devisenknappheit hat die ehemalige DDR ihr Gebiet umfassend auf eigene Rohstoffvorkommen hin untersucht. Die derzeitigen High-Tech Metallvorhaben der Deutschen Rohstoff AG in Deutschland liegen alle in Sachsen. Diese Metallvorkommen sind in ihrer Mächtigkeit begrenzt und sie liegen teilweise in großer Tiefe.⁹⁰ Die tatsächliche Produktionsaufnahme ist deshalb ungewiss.

In einem dicht besiedelten Land wie Deutschland konkurrieren menschliche Nutzungen untereinander (Siedlungsfläche, Agrarfläche, Verkehrsfläche) und mit dem Naturschutz. Der Zugriff auf mineralische Lagerstätten wird durch entsprechend hohe Pachtpreise und zusätzlich durch die Energiepolitik mit den flächenintensiven Energieträgern Photovoltaik, Windenergie und Biomasse erschwert. Die Verbände des Abbaus von Steinen und Erden (Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden (BBS)) sowie von Kali und Salz (Verband der Kali- und Salzindustrie (VKS)) kritisieren die finanziellen Aufwendungen für naturschutzrechtliche Ausgleichsmaßnahmen für Bergbauprojekte (vgl. EU Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Natura 2000), Bundesnaturschutzgesetz). Es wird ein Bedarf für Kredite zum Monitoring der Naturschutzflächen und für Ausgleichsmaßnahmen gesehen, insbesondere für KMU.⁹¹ Auch beim Abbau von Metallerzen ist diese Problematik zu erwarten, beim Übertagebau in stärkerem Maße als im Untertagebau. Der Flächenverbrauch in Deutschland soll gemäß Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung reduziert werden. Während die Bundesregierung in ihrer Rohstoffstrategie "die bundesrechtlichen Grundlagen für die Gewinnung in Deutschland" für "ausreichend" hält (BMW 2010: 2),⁹² ist die Länge von Genehmigungsverfahren angesichts dynamischer Rohstoffpreise kritisch zu sehen. Die Entscheidungen der Bundesländer sind uneinheitlich. Die Bundesregierung fordert, dass die Rohstoffgewinnung mit den anderen Flächennutzungen sinnvoll und ausgewogen in Einklang gebracht wird.

⁸⁹ Die Ergebnisse (vollständige Darstellung des Erzkörpers) sollen im Spätsommer vorliegen und der Planung von Schächten, Strecken und Abbaubetriebspunkten dienen.

⁹⁰ vgl. Angaben der Deutschen Rohstoff AG unter <http://www.rohstoff.de/hightech-metalle-strategische-metalle.shtml> (Zinn-Vorkommen in Geyer (mit Gallium und Indium) und Gottesberg (mit Kupfer), Seltene Erden Vorkommen in Storkwitz (mit Niob), Nickel/Cobalt-Vorkommen in Kiefernberg, Wolfram/Molybdän/Germanium-Vorkommen in Delitzsch).

⁹¹ vgl. Tagung des Bundesverbandes Baustoffe, Steine und Erden (BBS) am 15.3.2011 in Sehnde.

⁹² Sie bezieht sich auf das Raumordnungsrecht sowie das Bundesberggesetz und das Lagerstättenengesetz.

Handlungsansätze:

Neubewertung der geologischen Vorkommen und Finanzierung eines Rohstoffexplorationsprogramms für Deutschland mit Einbeziehung von Nebenprodukten (z.B. Molybdän und Rhenium im Lausitzer Kupferschiefer)

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und ggf. finanzielle Unterstützung für die heimische Produktion und Verarbeitung von Erzen, die kritische Rohstoffe enthalten (z.B. Delitzsch, Storkwitz, Geyer-SW)

Unterstützung der Entwicklung von Governance-Konzepten für die proaktive Identifizierung und das Management von Nutzungskonflikten des Inlandsbergbaus unter Einbeziehung aller Stakeholder

Vor dem Hintergrund steigender Rohstoffpreise und veränderter Nachfragemuster gerade auch nach den kritischen Rohstoffen wird eine umfassende Neubewertung der geologischen Vorkommen in Deutschland empfohlen. Die Autoren dieser Studie sehen den Hauptbedarf in der sinnvollen Bündelung und Bewertung bestehenden Wissens und darauf aufbauend in einer Vertiefung des Wissens durch lokale Prospektion und Exploration durch geologische Landesämter und private Unternehmen.⁹³ Im Hinblick auf eine potentielle Ausweitung des Bergbaus müssen frühzeitig Dialoge über mögliche Nutzungskonflikte und die neue Stellung des Inlandsbergbaus geführt werden.

7.4.3 Ausweitung von Beteiligungen im Auslandsbergbau

Rohstoffbeteiligungen können der Versorgung inländischer und ausländischer Produktionsstandorte deutscher Firmen dienen, aber auch der Versorgung fremder Produktionsstandorte und dem Rohstoffhandel. Die BGR erstellt zur Zeit eine Übersicht über sämtliche Auslandsbeteiligungen deutscher Unternehmen zur Rohstoffgewinnung im Ausland. Nach dem Ende des Metallerzabbaus in Deutschland vor etwa zwei Jahrzehnten sind nur noch vier Unternehmen an einem Metallrohstoffabbau im Ausland beteiligt.⁹⁴

Nur wenige Unternehmen sind in der Lage, Konzessionen im Ausland zu erwerben und Explorationskampagnen durchzuführen (BMWi 2010). Oft fehlt es an der Kenntnis über attraktive Projekte und an der erforderlichen Kapitalbasis. Die Wirtschaft muss also zunächst förderwürdige Explorationsprojekte identifizieren. Vorbehaltlich der Identifizierung förderwürdiger Explorati-

⁹³ Über das systematisch abgelegte Wissen in geologischen Anstalten und Forschungseinrichtungen hinaus birgt auch das Erfahrungswissen der noch lebenden Akteure aus der Zeit des Metallbergbaus in Deutschland Potentiale.

⁹⁴ BGR: Deutscher Auslandsbergbau. Projektstand 3.2.2011. http://www.geozentrum-hannover.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Projekte/Rohstoffwirtschaft-abgeschlossen/deutscher_auslandsbergbau.html.

onsprojekte⁹⁵ ist eine stärkere Beteiligung deutscher Unternehmen an aussichtsreichen Seltene-Erden-Projekten mit hohen Anteilen der Yttrium-Gruppe (vgl. Überblick der BGR (2011)) und die Förderung solcher Auslandsbeteiligungen z.B. durch UFK-Garantien und Investitionsgarantien zu prüfen. Die geologische Erkundung der Ozeane und neuer Frontier-Regionen wie der Arktis im Vorfeld kommerzieller Exploration wird von der Bundesregierung mit Nachdruck betrieben. Eine stärkere Nutzung der Vorfelderkundungsarbeiten durch die deutsche Industrie würde die Bundesregierung begrüßen (BMW 2010). Der Rohstoffabbau in ökologisch sensiblen Gebieten (u.a. Seltene Erde in Grönland) ist aber streng am Prinzip der nachhaltigen Entwicklung auszurichten.

Handlungsansätze:

Neubewertung der bisherigen Ressourcengovernance für Auslandsbeteiligungen (Sichtbarkeit, Effektivität, etc.)

Förderung der Absicherung von Unternehmensbeteiligungen im Ausland bei erfolgsversprechenden Projekten (u.a. Seltene Erden der Yttrium-Gruppe)

Förderung von Explorationskampagnen deutscher Unternehmen im Ausland (z.B. durch Bereitstellung von Risikokapital oder Kreditbürgschaften)

Aufbauend auf einer Neubewertung der bisherigen Ressourcengovernance für Auslandsbeteiligungen können die Handlungsansätze weitgehend mit Hilfe des bestehenden Instrumentariums (UFK-Garantien, Investitionsgarantien, Exportgarantien), ggf. auch durch Aufsetzung neuer Programme, implementiert werden.

7.5 Ausbau und Intensivierung der sekundären Rohstoffversorgung

Zum Recycling gehören das Produktionsabfallrecycling, das Recycling im Produktgebrauch (z.B. Wartung und Reparatur) und das Altproduktrecycling. Die Bundesregierung hat in den letzten Jahren umfangreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Sekundärrohstoffwirtschaft getroffen (BMU 2011). Hervorzuheben ist die Novelle des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, das die Rückführung von den in Abfällen enthaltenen Werkstoffen verbessern soll (5-stufige Abfallhierarchie, Quoten). Darüber hinaus sind Regelungen zum Ende der Abfalleigenschaft zu implementieren, um für Sekundärrohstoffe die eigentlich für die Abfallentsorgung vorgesehenen Pflichten anzupassen und ihren grenzüberschreitenden Verkehr zu erleichtern. Die Entwicklung der Verpackungsverordnung zu einer Wertstoffverordnung ist im Prinzip begrüßenswert ("trockene Wertstofftonne").

Aus Kritikalitätssicht sind die im Abfallrecht enthaltenen massebasierten Verwertungsquoten für Abfallfraktionen problematisch. Die kritischen Rohstoffe sind häufig nur untergeordneter Bestandteil von Altprodukten. Der Fokus auf die Massenwerkstoffe führt zu einer Dissipation der

⁹⁵ Die Fachvereinigung Auslandsbergbau und internationale Rohstoffaktivitäten - FAB - in der Vereinigung Rohstoffe und Bergbau e.V. hat sich die Aufgaben gesetzt, auf Auslandsprojekte hinzuweisen und den Brückenschlag zu solchen Auslandsbeteiligungen zu unterstützen.

kleineren Stoffströme, deren Umweltwirkungen (ökologischer Rucksack) durchaus beträchtlich sein können (u.a. Seltene Erden, Silber, Platingruppenmetalle).

Die Sekundärrohstoffvorkommen haben im Gegensatz zu primären Rohstoffvorkommen spezifische Eigenschaften. Die Bestände sind weit verteilt und wenig mächtig. Die Abfallströme fallen zwar nahe bei den potentiellen Abnehmern der Sekundärrohstoffe, der verarbeitenden Industrie, in Deutschland an, aber die Rückflüsse in den Sekundärrohstoffkreislauf sind im Gegensatz zum kontinuierlichen Primärrohstoffabbau oft unregelmäßig (z.B. Abriss ganzer Siedlungen, Bündelung kleiner Abfallströme).

Tabelle 7-2: Charakterisierung der Materialdepots für Sekundärrohstoffe (Auswahl)

Sektor	Räumlich		Materiell	Zeitlich
	Gehalt (Auswahl)	Verteilung	Reinheit	Nutzungsdauer
Elektrische und elektronische Geräte	gering: Ga, Ge, In, Mo, W , PGM, Ta mittel: Sb, SEE , Ag hoch: Cu	hoch	gering: fast alle mittel: Cu hoch: -	kurz (z.B. Handy) bis mittel (z.B. TV)
Konsumgüter	gering: SEE mittel: Sb, Cu	hoch	gering: SEE, Sb, Cu mittel/hoch: -	kurz bis lang
Fahrzeuge	gering: Sb mittel: SEE hoch: Cu , Stahl, Al	hoch	gering: Cu, SEE mittel: Al, Stahl hoch: -	mittel (z.B. KfZ) bis lang (z.B. Zug)
Gebäude	gering: Sb mittel: Cu , Al, Zn hoch: Stahl	mittel	gering: Sb mittel: Cu hoch: Al, Zn, Stahl	lang
Energieversorgung	gering: Ga, Ge, In , Se, Te (PV) mittel: SEE (Wind), Re, W (Turbinen) hoch: Cu , Stahl, Al	gering (Kraftwerk) bis mittel (PV)	gering: Ga, Ge, In , Se, Te, SEE mittel: Re, W hoch: Cu , Stahl, Al	lang
Telekommunikation	gering: SEE, Ge hoch: Cu , Si	gering (backbone) bis hoch (Anschlusskabel)	gering: Si hoch: Cu	lang
Investitionsgüter	gering: W, Mo, Nb, Re , Ta hoch: Cu , Stahl, Al	gering	gering: Mo, Nb , Ta, Re, W hoch: Cu , Stahl, Al	lang

Quelle und Anmerkungen: Eigene Darstellung IZT/adelphi in Anlehnung an Rombach 2006; Fett: Untersuchung in den Rohstoffprofilen.

Die entsprechenden Recyclingdefizite sind vielfältig. Die Erfassung der Sekundärrohstoffe aus Haushalten könnte in Deutschland wirkungsvoll durch die Wertstofftonne unterstützt werden (insbesondere elektrische und elektronische Geräte, Metallschrott, Konsumgüter). Elektrische und elektronische Geräte, Fahrzeuge und Investitionsgüter gehen der deutschen Sekundärrohstoffwirtschaft aber in hohem Maße durch Exporte verloren. Es sind deshalb flächendeckende globale Rücknahme- und Sammlungsstrukturen erforderlich, die eine Rückführung der sekundären Rohstoffe nach Deutschland ermöglichen (Öko-Institut/UNEP 2009).

Schlüsselement einer Intensivierung der Sekundärrohstoffwirtschaft ist das Zusammenspiel von demontagegerechter Konstruktion und Aufbereitungsverfahren. Die Zerkleinerungsverfahren beispielsweise von Kraftfahrzeugen sind heute noch auf alte Autotypen ausgelegt (Shredder

für Autos mit hohem Stahlanteil). Hier besteht dringender Entwicklungsbedarf im Hinblick auf systemische Lösungen für demontagegerechte Konstruktion und Aufbereitungsverfahren für heutige und zukünftige Autos (höherer Kunststoff- und Leichtmetallanteil, Elektronikmetalle, etc.). Die Qualitätssicherung für die Aufbereitungsprozesse ist oft ungenügend, weshalb „Beste Verfügbare Techniken des Recyclings“ für die wichtigsten Produkte erarbeitet und verbreitet werden sollten (vgl. Kapitel 7.8).

Die dissipative Verwendung in den Materialdepots begrenzt ein ökonomisch sinnvolles Recycling auf Element- oder Werkstoffebene. Das Stahlrecycling lohnt auch für niedriglegierte Stähle, die Wertschöpfung ist aber beim Recycling hochlegierter Stählen noch höher (z.B. durch die in Deutschland aktiven Unternehmen AMG und Cronimet). Ziel des Edelstahlrecyclings ist meist wieder die Herstellung von Edelstahl, wobei die Hauptbestandteile Nickel und Chrom adressiert werden. In der Praxis werden nicht störende Stoffe (z.B. Molybdän und Niob) und störende Stoffe (z.B. Kupfer) eingetragen. Der Stofferkennung und -trennung kommt deshalb elementare Bedeutung für die Nutzung der Materialeigenschaften der Fremdstoffe zu.

Elektronik-Schrott können weltweit nur 5 Firmen im großen Maßstab recyceln, darunter Aurubis (Deutschland), Umicore (Deutschland/Belgien) und Boliden (Schweden). Der monetäre Anreiz für die Erfassung, Vorbehandlung und Raffination ist die Wiedergewinnung der Edelmetalle (Kupfer, Silber, Gold, Platingruppenmetalle), wobei dann auch noch weitere Inhaltsstoffe wie Gallium, Indium, Antimon oder Tellur wiedergewonnen werden können (z.B. Umicore). Solche Wertschöpfungskonstellationen gelingen jedoch nur vereinzelt für einige Abfallfraktionen.

Das Produktionsabfallrecycling birgt insbesondere dort hohe Potentiale, wo geringe Prozessausbeuten erzielt werden (z.B. Beschichtungstechnik für Galliumarsenid und Indium-Zinnoxid). Werden die Produktionsabfälle mehrerer Verarbeiter zum ursprünglichen Lieferanten zurückgeführt und gebündelt, begünstigt dies die Wirtschaftlichkeit des Produktionsabfallrecyclings. Hierzu sind geeignete Rückführungsmodelle der Produktionsabfälle vom Verarbeiter zum Lieferant erforderlich.

Die unsicheren Materialdepots, unregelmäßige Stoffströme, der Bedarf nach präziser Inhaltsbestimmung und die veränderte Wertschöpfung bergen für die Sekundärrohstoffversorgung ganz eigene Investitionsrisiken. Auch die Akzeptanz des Sekundärrohstoffeinsatzes hinkt der von Primärrohstoffen oft hinterher (insb. bei Baustoffen und Kunststoffen). Die Kreislaufwirtschaft bedarf verbesserter Rückführungsmodelle und deren Verbreitung sowohl für Produktions- als auch für Altproduktabfälle.

Handlungsansätze:

Unterstützung der Verbreitung von Produktionsabfallrücknahme- und -recyclinglösungen durch Lieferanten (1) für etablierte Verfahren (z.B. Cer-Poliermittel in der IKT) und (2) beim Aufbau neuer Technologielinien (z.B. Galliumnitrid)

Förderung von Investitionen in die Wertstoffeffassung in Deutschland (z.B. Wertstofftonne)

Unterstützung des Technologietransfers zur Erfassung und Rückführung von Wertstoffen aus Entwicklungs- und Schwellenländern (z.B. Rohstoffgutschriftssysteme für Rhenium in Flugzeugtriebwerken)

Absicherung der Investitionen in Recyclinginfrastrukturen in volatilen Recyclingmärkten (z.B. Seltenen Erden)

Entwicklung des Leitmarktes Stofferkennung und -trennung (u.a. Selektiver Rückbau und Bau-schuttrecycling; Recycling von Konsumgüterabfall, Altfahrzeugen und Elektroschrott; Abfall- und Schrottanalytik)

Förderung ganzheitlicher Sekundärrohstoffgewinnungsprojekte (u.a. Gesamtkonzept für Stahlveredler und Elektroschrott; Lenkung von Stoffströmen in ökologisch sinnvolle Pfade)

Die Handlungsansätze zur Intensivierung der Sekundärrohstoffwirtschaft bedürfen einer Feinabstimmung mit umwelt- und wirtschaftspolitischen Programmen und Zielsetzungen in Deutschland, der EU und internationalen Ansätzen. Die geeignete Verankerung und Spezifizierung dieser Ansätze ist deshalb eine eigenständige Aufgabe.

7.6 Erhöhung der Materialeffizienz über den Lebensweg

Materialeffizienz gibt das Verhältnis von genutzter Materialmenge zu eingesetzter Materialmenge an. Das Thema Materialeffizienz wird in Deutschland inzwischen als wettbewerbs- und umweltrelevant anerkannt. Entsprechend vielfältig sind die entsprechenden Programme und Empfehlungen zur Förderung der Materialeffizienz. Zu den Hauptstoßrichtungen gehören die verbesserte Materialeffizienz in der Produktion (z.B. Prozessausbeute, Substitution und Verringerung des Materialgehaltes), das Recycling (s.o.) und Ansätze, die sich auf den gesamten Lebenszyklus von Produkten beziehen (u.a. Life Cycle Assessment, Design, Life Cycle Costing).

Die Unterstützung der Entwicklung, Implementierung und Diffusion von Materialeffizienzmaßnahmen für Prozesse und Produkte in bestehenden Förderprogrammen für Forschung und Unternehmen sollte im Hinblick auf die Adressierung kritischer Rohstoffe überprüft werden. Lebenszyklusansätze untersuchen die Materialeffizienz vom Rohstoffabbau bis zur endgültigen Ausschleusung des Materials aus dem Wirtschaftskreislauf („von der Wiege bis zur Bahre“). Eine Materialeffizienzmaßnahme an einer Stelle des Lebenszyklus' (z.B. die Verringerung des Materialgehalts eines Produktes in der Produktion) kann die Materialeffizienz an anderer Stelle des Lebenszyklus' verschlechtern (z.B. verringerte Produktlebensdauer). Nur mit Lebenszyklusansätzen kann der Nettoeffekt von Materialeffizienzmaßnahmen bei Produkten hinreichend

sicher bestimmt werden. Die Lebenszyklusperspektive ist deshalb hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Auswirkungen und Gestaltungsmöglichkeiten zu stärken.

Die EU-Ecodesign-Richtlinie für den Energieverbrauch sollte nach Auffassung der Autoren stärker auch an Materialeffizienzzielsetzungen orientiert werden. Mit Hilfe von Normung können Standards vereinheitlicht werden, der Front-Runner Ansatz soll materialeffizienten Produkten Vorteile am Markt verschaffen und ineffiziente Produkte vom Markt verdrängen.

Handlungsansätze:

Ausrichtung der Materialeffizienzförderung am Gedanken der Lebenszyklusperspektive (Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing)

Verbindliche Lebenszykluskostenbetrachtungen (LCC) in Anfragen und Angeboten sowohl in Unternehmen als auch im öffentlichen Auftragswesen, um das „Einkaufs-/Betreiber-Dilemma“ abzubauen.

Unterstützung der Diffusion von Materialeffizienzmaßnahmen für kritische Rohstoffe in Unternehmen

Zur Implementierung dieser Handlungsansätze bedarf es einer Überprüfung und Modifizierung bestehender Materialeffizienzprogramme und -maßnahmen.

7.7 Verbesserung der Informationsbasis

Diese Studie hat mit zahlreichen Datenlücken zur Bestimmung der Kritikalität umgehen müssen (insbesondere Daten zum Verbrauch und zur Unternehmenskonzentration). Dem entsprechend sind die Befunde Tendenzaussagen nach heutiger Kenntnis. Insgesamt scheint in vielen Studien eher die leichte Verfügbarkeit aggregierter Daten die Auswahl von Indikatoren zu bestimmen als methodische Überlegungen über die Sinnhaftigkeit. Für ein Screening kann dies angemessen sein, nicht aber für vertiefende Analysen. Wegen solcher Datenlücken wird die Selbstkorrektur der Märkte geschwächt und die Planung erschwert (US DOE 2010).

Die EU strebt eine Verbesserung der rohstoffwirtschaftlichen Datenlage durch Stärkung und Vernetzung der Staatlichen Geologischen Dienste an (vgl. adelphi/Wuppertal-Institut/UBA 2011a). Das US Department of Energy (2010) sieht Datenlücken vor allem bei Produktion und Verbrauch einzelner Seltener Erden, Preisen, der Materialintensität von Technologien und Substituten. Auch in der Befragung der deutschen Wirtschaft durch die BGR wurde der Preisinformation hohen Stellenwert beigemessen, ebenso rohstoffwirtschaftlichen Analysen.⁹⁶

Deutschland verfügt nur über wenige Haupt- und noch weniger Nebenprodukthersteller von kritischen Rohstoffen. Statistischen Erhebungen der Produktion sind auch aufgrund der Geheimhaltung Grenzen gesetzt. Auf Verbraucherseite ist die Basis breiter, weshalb hier Möglichkeiten für Statistiken, z.B. für die Stahlveredler, bestehen. Einige Unternehmensverbände haben vor kurzem ihre Mitgliedunternehmen über die Verwendung kritischer Rohstoffe befragt

⁹⁶ Interview mit Frau Wilken (BGR) 2011.

(u.a. VCI⁹⁷, BVKI⁹⁸). Allerdings setzt die Heterogenität einiger Branchen, deren Akteure über die ganze Wertschöpfungskette verteilt sind, praktische Grenzen.⁹⁹ Regelmäßige Nachfrageszenarien mit den Stakeholdern können bedingt Abhilfe leisten.

Das EXIOPOL-Projekt beruht auf einer um Umweltaspekte erweiterten Input/Output-Analyse der Volkswirtschaften von EU 25 und weiterer ökonomisch wichtiger Länder.¹⁰⁰ Auf Basis der EXIOPOL-Datenbank könnten sich neue Möglichkeiten der Stoffpolitik ergeben. Die Auflösung nach einzelnen Stoff- und Materialgruppen ist für Fragen der Kritikalität jedoch nur für einige Rohstoffe ausreichend. Ein Risikoradar unter Berücksichtigung von Governance Faktoren könnte zur frühzeitigen Erkennung möglicher Rohstoffknappheiten beitragen (vgl. adelphi/ Wuppertal-Institut/UBA 2011b).

Handlungsansätze:

Aufbau eines Preisinformationssystems der Deutschen Rohstoffagentur

Verbesserung der statistischen Datenbasis durch Berichtspflichten (z.B. Verbrauch von Seltenen Erden)

Förderung der Entwicklung eines Risikoradars zur frühzeitigen Erkennung möglicher Rohstoffknappheiten

Während das Preisinformationssystem bei der Deutschen Rohstoffagentur im Aufbau ist, erfordert die Verbesserung der statistischen Basis tiefgreifende Maßnahmen. Hierbei sind das Brancheninteresse, das Kosten/Nutzen-Verhältnis und die Gestaltungsspielräume der Politik zu klären.

7.8 Forschung und Entwicklung

Der Bereich Forschung und Entwicklung ist eng mit der Informationsbasis verzahnt (u.a. Stoffstromanalysen). Die Forschung und Entwicklung zur Materialeffizienz hat einen beachtlichen Schub erfahren. Nach Auffassung einiger Interviewpartner gehen die Programme r2 und r3 des BMBF, das BMU-Umweltinnovationsprogramm, die Aktivitäten des Zentrums Ressourcen Effizienz und Klimaschutz (VDI-ZRE) und des Netzwerks Ressourceneffizienz und weitere Initiativen wie Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING (Lebensdauer, Ausbeute, Substitution, neue Katalysatoren) des BMBF in die richtige Richtung.¹⁰¹ In den Rohstoffprofilen wurden einzelne Hot Spots für Materialeffizienz identifiziert, darunter die Beschichtungstechnik

⁹⁷ Interview mit Herrn Benzing (VCI) 2011.

⁹⁸ Im Bundesverband der Keramikindustrie (BVKI) wurde Zirkon als möglicherweise kritisch eingestuft, die Unternehmen hätten sich aber bereits darauf eingestellt (Interview mit Herrn Frischholz (BVKI) 2011).

⁹⁹ vgl. Stornierung der geplanten Befragung im VDMA (Interview mit Herrn Wolf (VDMA) 2011).

¹⁰⁰ EXIOPOL ist ein integriertes Projekt der EC im 6. Forschungsrahmenprogramm. <http://www.feem-project.net/exiopol/>

¹⁰¹ vgl. u.a. Interviews mit Herr Hagelüken (Fa. Umicore) 2011 und Frau Wilken (BGR) 2011.

(Halbleiterschichten für IKT und Photovoltaik, Indium-Zinnoxid für Displays). Solche Aspekte sind in den Materialeffizienzprogrammen bereits verankert.

Die Stärkung des Bergbaus im dicht besiedelten Europa, unter der Meeresoberfläche und in Grenzregionen menschlicher Erschließung, wie z.B. die Arktis (Frontier-Regionen), rückt die Umweltverträglichkeit des Bergbaus in den Vordergrund. Auch derzeitig sind der Abbau, die Aufbereitung und die Trennung von einigen primären Rohstoffen wie zum Beispiel von Seltenen Erden problematisch (Lösemittel- und Säureemissionen, Energieverbrauch, geringe Ausbeute). Es besteht ein Bedarf nach neuen Bergbau- und Aufbereitungstechnologien zur Erhöhung der Ausbeuten und Verbesserung des Umweltschutzes (z.B. Brauchwassernutzung, Alternativen zu Absetzbecken, optimierte Zerkleinerung, etc.). Die Aufbereitungsverfahren sind nicht nur für den Bergbau, sondern auch für den Abraum aus historischem Bergbau (u.a. Extraktion von Zink, Gallium und Indium aus Abraum der Zinkgewinnung) und Deponierecycling (u.a. Kupfer) zu entwickeln.

Zum vordringlichen Forschungsbedarf im Hinblick auf Materialeffizienz im verarbeitenden Gewerbe zählen höhere Prozessausbeuten (insbesondere in der Halbleitertechnik), verbessertes Produktionsabfallrecycling (qualitativ und quantitativ) und die Entwicklung von Substituten für besonders kritische Rohstoffe.

Im Bereich des Recyclings ist die Erfassung über eine Wertstofftonne und die systemische Optimierung von demontagegerechter Konstruktion und Aufbereitungstechnik von vorrangigem Forschungsinteresse. Für die Aufbereitungstechnik wichtiger Altprodukte (Trennung und Aufschluss) sollte ein Handbuch zu den Besten Verfügbaren Techniken (BVT) erstellt und fortlaufend aktualisiert werden.

Zur Weiterentwicklung der Kritikalitätsforschung gehören auch die Analyse von Stoffströmen (z.B. Bestand und Flüsse von Legierungsmetallen wie Niob und Molybdän oder Seltenen Erden in Deutschland) sowie eine Machbarkeitsstudie zur Diversifizierung der Bezugsquellen.

Handlungsansätze:

Einführung eines Programms Nachhaltige Rohstoffforschung (Neue Bergbau- und Aufbereitungstechnologien, Abraumverarbeitung, etc.)

Förderung der Forschung und Entwicklung für Materialeffizienz über den Lebensweg für kritische Rohstoffe

Förderung des Kompetenzaufbaus bei der Aufbereitung und Trennung von Seltenen Erden aus primären und sekundären Rohstoffen (u.a. Handbuch zu den Besten Verfügbaren Techniken)

Begleitforschung zur Einführung und Ausgestaltung der Wertstofftonne: Erfassung, Trennung, Aufbereitung (Akzeptanz, Treiber und Hemmnisse, Stoffströme, etc.)

Entwicklung von integrierten Lösungen für Aufbereitungsverfahren von Altprodukten unter Berücksichtigung von Design für Recycling (z.B. Erhöhung der Demontagetiefe, Shredder für das Auto der Zukunft, Elektronikschrottaufbereitung)

Weiterentwicklung der Kritikalitätsforschung (Indikatoren, Aggregation, Datenlücken, Diversifizierung der Bezugsquellen, Stoffstromanalysen, etc.)

Die Entwicklung neuer Bergbau- und Aufbereitungsverfahren, von neuen Produktionsprozessen und Produkten sowie integrierter Recyclingverfahren hat einen erheblichen Kapitalbedarf. In vielen Bereichen kann an das bestehende Förderinstrumentarium für Forschung und Entwicklung angeknüpft werden. Für die Recycling-bezogene Forschung gelten die oben angeführten Abstimmungserfordernisse mit den umwelt- und wirtschaftspolitischen Programmen und Zielsetzungen.

7.9 Außen-, handels- und entwicklungspolitische Elemente der Ressourcengovernance

Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung führt eine Reihe von außen-, handels- und entwicklungspolitischen Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung aus. In einem Positionspapier werden wesentliche Eckpunkte der deutschen Entwicklungspolitik im Rohstoffbereich ausgeführt (BMZ 2010). Neben der Förderung von Good Governance steht insbesondere der sozial- und umweltverträgliche Rohstoffabbau im Vordergrund. Positiv hervorzuheben sind die Kosten-Nutzen-Analysen unter Einbeziehung der externen Kosten. Möglichkeiten für deutsche Unternehmen liegen in der Bereitstellung einfacher, kostengünstiger und umweltverträglicher Bergbau- und Recyclingtechnologien.

Im Rahmen der bilateralen Rohstoffpartnerschaften wird ein konkretes Engagement der deutschen Wirtschaft eingefordert. Ein Beispiel dafür ist das Engagement des BDI bei der geplanten Rohstoffpartnerschaft mit Kasachstan.¹⁰² Ziel dieser Partnerschaften ist die Entwicklung und Umsetzung konkreter Rohstoffprojekte vor Ort. Deutschland will damit zum einen seine Rohstoffversorgung sichern, zum anderen einen Beitrag zur Modernisierung des Rohstoffsektors im Partnerland leisten. Hinsichtlich der Rohstoffpartnerschaften und der Unterstützung von Ressourcengovernance sind angepasste, länderspezifische Lösungen zu entwickeln (vgl. Kapitel 6).

Es wird empfohlen, Exportinitiativen für innovative Recyclingtechnik wie ReTECH (Recycling und Effizienztechnik)¹⁰³ im Hinblick auf kritische Rohstoffe zu überprüfen und gegebenenfalls neu zu justieren. Deutschland engagiert sich im Rahmen internationaler Organisationen gegen Exportrestriktionen für Rohstoffe. Außenhandelsmaßnahmen können zur Erhöhung des Sekundärrohstoffaufkommens in Deutschland erheblich beitragen, beispielsweise durch Unterbindung des illegalen Exports oder durch Unterstützung für den Verbleib bzw. Import von Altprodukten und recycelbarem Abfall. Angesichts der technologischen Exzellenz einiger deutscher Unternehmen beim Recycling könnte hier Neuland in der Versorgung mit kritischen Rohstoffen betreten werden.

¹⁰² Zum aktuellen Stand der Rohstoffpartnerschaft vgl. Fußnote 63.

¹⁰³ Eine Initiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

Handlungsansätze:

Unterstützung des Aufbaus von Ressourcengovernance und staatlicher Kapazitäten in prioritären Entwicklungs- und Schwellenländern

Ausbau der Rohstoffpartnerschaften mit Finanzierung von Modernisierungs- und Infrastrukturmaßnahmen für den Rohstoffsektor

Unterstützung des Verbleibs von Altprodukten und recycelbarem Abfall bzw. von deren Sammlung und Rückführung nach Deutschland (insbesondere Elektroschrott, Altautos, ausgemusterte Maschinen und Anlagen)

Während für die Rohstoffpartnerschaften und den Ausbau der Ressourcengovernance ein Instrumentarium angelegt ist, sind unterstützende Maßnahmen für den Verbleib bzw. Import von Altschrott noch unterbeleuchtet. Angesichts der technologischen Exzellenz einiger deutscher Unternehmen beim Recycling bietet letzteres große Chancen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung.

7.10 Fortentwicklung der Programmatik

Die vorgeschlagenen Instrumente und Maßnahmen wirken im Systemverbund (Zusammenspiel, Zielkonflikte, Synergien)¹⁰⁴ und tragen in unterschiedlichem Maße zur Verbesserung der Rohstoffversorgung Deutschlands bei. Sie machen aber auch deutlich, dass deren Umsetzung erhebliche und gezielte Anstrengungen sowohl auf Seiten der Politik (z.B. im Rahmen der Forschungs-, Innovations- und Diffusionsförderung), auf Seiten der Wirtschaft als auch bei den Anwendern erfordert.

In jüngster Zeit sind eine Reihe von Initiativen ergriffen worden, die sich um die Verbesserung der Rohstoffversorgung bemühen. Dazu zählen z.B. EU-Rohstoffinitiative und Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Insgesamt ist die eingeleitete Programmatik umfangreich, bedarf aber weiterer Analysen, Abstimmungen und Verfeinerungen im nationalen, europäischen und globalen Rahmen. Dabei geht es nicht allein um die Verbesserung der existierenden Forschungs- und Förderinstrumente, sondern vielmehr um die Schaffung und Unterstützung von Leitmärkten für Material-, Produkt- und Systeminnovationen. Für die Erschließung von Materialeffizienzpotentialen in einzelnen Branchen haben sich Roadmaps als geeignet erwiesen (IZT/MaRess 2010). Das Roadmapping ermöglicht eine „Straßenkarte“, die viele Einzelthemen bündelt, Handlungsoptionen identifiziert und Prioritäten benennt. Die Früherkennung von Ressourceneffizienzpotentialen und die Erschließung von Zukunftsmärkten und den damit verbundenen Herausforderungen basiert auf der Analyse von Trends und der Identifikation der treibenden Kräfte. Das Suchfeld richtet sich dabei nicht nur auf die Eigendynamik technologischer und marktlicher Entwicklungen, sondern auch auf leistungsfähige Lebenszyklus- und Systembetrachtungen. Das Roadmapping schafft dafür den notwendigen Rahmen, in dem es eine intelli-

¹⁰⁴ vgl. Erdmann/Graedel 2011.

gente Vernetzung und Kommunikation zwischen zentralen Innovationsakteuren sowie eine Wissensintegration ermöglicht. Auch zur konkreten Verringerung der Kritikalität von einigen Rohstoffen und/oder in einzelnen Branchen können Stakeholder-Roadmaps erheblich beitragen. Stakeholder-Roadmaps binden alle relevanten Akteure in den Roadmapping-Prozess ein, wie zum Beispiel Bergbauunternehmen, Primär- und Sekundärhüttenbetriebe und Recycling-Unternehmen, aber auch Behörden, Finanzgewerbe und NROs.

Handlungsansätze:

Systematische Politikfolgenabschätzung in Bezug auf Ressourcenbedarf und -versorgung (z.B. Energiekonzept)

Abschätzung der Wirkungen von rohstoffpolitischen Interventionen auf die Kritikalität von Rohstoffen

Branchen-Roadmaps zur Verbesserung der Rohstoffversorgung und Erschließung von Materialeffizienzmaßnahmen (v.a. KMU, High-Tech-Felder)

Die systematische Politikfolgenabschätzung in Bezug auf Ressourcenimplikationen und die Abschätzung der Wirkungen von Interventionen auf die Kritikalität von Rohstoffen sind wesentliche Eckpunkte zur Verbesserung der Ressourcengovernance.

8 Literaturverzeichnis

- adelphi/RNE (Rat für Nachhaltige Entwicklung). 2003. Janischewski, J; Henzler, M.P.; Kahlenborn, W. Gebrauchtgüterexporte und Technologietransfer. Berlin: RNE.
- adelphi/UBA (Umweltbundesamt). 2011a. Tänzler, D.; Westerkamp, M. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Konfliktrisiken bei Zugang und Nutzen von Rohstoffen. Dessau: UBA
- adelphi/UBA (Umweltbundesamt). 2011b. Westerkamp, M.; Feil, M.; Tänzler, D. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden. Fallstudie und Szenarien zu Kupfer und Cobalt in der Demokratischen Republik Kongo. Dessau: UBA.
- adelphi/UBA (Umweltbundesamt). 2011c. Feil, M.; Rüttinger, L. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Fallstudie und Szenarien zu China und Seltene Erden. Dessau: Umweltbundesamt.
- adelphi/UNEP (United Nations Development Programme). 2003. Carius, A., Feil, M.; Tänzler, D. Addressing environmental risks in Central Asia. Policies, Institutions, Capacities. Bratislava: UNEP.
- adelphi/USAID (United States Agency for International Development). 2004. Feil, M.; Switzer, J. Minerals and Conflict: A Toolkit for Programming. Washington, D.C.: USAID.
- adelphi/Wuppertal-Institut/UBA (Umweltbundesamt). 2011a. Feil, M., Supersberger, N.; Barkemeyer, N. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Ansätze zur Risikominimierung. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Teilbericht Nr. 4. Berlin: UBA.
- adelphi/Wuppertal-Institut/UBA (Umweltbundesamt). 2011b. Feil, M.; Tänzler, D.; Supersberger, N.; Bleischwitz, R.; Rüttinger, L. 2011b. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Forschungs- und Handlungsempfehlungen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Teilbericht Nr. 5. Berlin: adelphi
- 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.
- Bannon, I.; Collier, P. (Hrsg.). 2003. Natural resources and violent conflict: options and actions. Washington: World Bank.
- BBS (Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden). 2010. Aufgaben, Themen und Ziele 2010/2011. Berlin: BBS.
- BBS (Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden). 2011. Tagung des Rohstoffausschusses am 15. März 2011 in Sehnde (bei Hannover).
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2007. Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2010a. Rohstoffwirtschaftliche Bewertung der Länder Afrikas, Asiens, der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS) mit Georgien und Südamerikas im Hinblick auf die Bedeutung für Deutschland. Deutsche Rohstoffagentur. Hannover: BGR.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2010b. Seltene Erden. Commodity Top News Nr. 31. 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 2010. Rohstoffsituation Deutschland 2009. Hannover: BGR.

BGS (British Geological Survey). 2009. European Mineral Statistics 2004-2008. Keyworth, Nottingham: BGS.

Bird, W.H. 2010: Rare-earth elements: current state of affairs. 9. April. zuletzt eingesehen am: 12.4.2010, unter: <http://www.stockhouse.com/Community-News/2010/Apr/9/Rare-earth-elements--current-state-of-affairs>.

Blanchard, B.; Laurence, J. 2010. Chinese villagers attack government building. Reuters, 8. Februar, zuletzt eingesehen am: 19.2.2010, unter: <http://in.reuters.com/article/worldNews/idINIndia-45992720100208>.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung). 2010. Ideen. Innovation. Wachstum. Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Bonn: BMBF.

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.

BMW i (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie). 2010. Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin: BMW i.

BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung). 2010. Entwicklungsfaktor extraktive Rohstoffe. BMZ Spezial 166. Bonn: BMZ.

Bourzac, K. 2010. Can the U.S. Rare-Earth Industry Rebound? Technology Review. October 29 2010. Zuletzt eingesehen am 31.01.2011 unter <http://mobile.technologyreview.com/energy/26655/>.

Bradsher, K. 2009a. Backpedaling, China Eases Proposal to Ban Exports of Some Vital Minerals. The New York Times, Business / Global Business, 4. September, zuletzt eingesehen am: 18.2.2010, unter: http://www.nytimes.com/2009/09/04/business/global/04minerals.html?_r=1.

Bradsher, K. 2009b. Earth-Friendly Elements, Mined Destructively. The New York Times, Business / Global Business, 26. Dezember, zuletzt eingesehen am 23.2.2010, unter: http://www.nytimes.com/2009/12/26/business/global/26rare.html?_r=2.

Bradsher, K. 2010. In China, Gang-Run Illegal Rare Earth Mines Face a Crackdown. In: The New York Times. Zuletzt eingesehen am 31. Januar unter <http://www.nytimes.com/2010/12/30/business/global/30smuggle.html?pagewanted=all>.

Braeckman, C. 2008. Der Katanga-Boom. Kupfer und Cobalt locken Investoren in den Süden des Kongo. Zuletzt eingesehen im März 2009, unter <http://www.monde-diplomatique.de/pm/2008/07/11.mondeText.artikel,a0047.idx,12>.

Brill Olcott, M. 2010. Kazakhstan: Unfulfilled promise? Washington, D.C.: Carnegie Endowment for International Peace.

CBS/TNO. 2010. van der Berg, P; de Jong, W., Schreven, L. *Critical materials in the Dutch Economy*. Preliminary results. The Hague, Niederlande: Statistics Netherlands.

Claburn, T. 2010. The Rare Earth Element Crisis. InformationWeek, August 28, 2010. Zuletzt eingesehen am 31.01.2011 unter <http://www.informationweek.com/news/government/policy/showArticle.jhtml?articleID=227100706>.

Connor, M. 2010. Obama Highlights Anti-Corruption Measure for Mining and Energy, September 25 2010. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter <http://business-ethics.com/2010/09/25/4978-obama-highlights-anti-corruption-measure-on-mining-and-energy/>.

Cox, C. 2010. Rare Earths: Facing New Challenges in the New Decade. SME Annual Meeting 2010, Phoenix Arizona. zuletzt eingesehen am: 18.2.2010, unter: http://www.smenet.org/rareEarthsProject/SME_2010_Kingsnorth.pdf

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. Brüssel, Belgien: EC.

EC (European Commission). 2011. Tackling the Challenges on Commodity Marktes and on Raw Materials. Communication 02.02.2011. Brussels: EC. Zuletzt eingesehen am 02.02.2011 unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/communication_en.pdf.

Economy, E.C. 2007. The Great Leap Backward? *Foreign Affairs*, Vol. 86(5): 38-60, zuletzt eingesehen am: 19.2.2010, unter: <http://www.foreignaffairs.com/articles/62827/elizabeth-c-economy/the-great-leap-backward>.

Engineering & Mining Journal. 2010. Kazakhstan. Not just another 'Stan'. December 6 2010. Zuletzt eingesehen am 04.05.2011 unter <http://www.e-mj.com/index.php/features/796-kazakhstan-not-just-another-stan.html?showall=1>.

Environment and Security (ENVSEC). 2008. Transforming Risks into Cooperation. The case of the Eastern Caspian Region. UNEP, UNDP, UNECE, OSCE, REC, NATO. Zuletzt eingesehen am 07.02.2011 unter http://www.envsec.org/centasia/pub/caspian2eng_scr.pdf.

ENVSEC. 2009. Regional Work Programme 2009-12. Draft March 2009. Zuletzt eingesehen am 10.02.2011 unter www.envsec.org/docs/wp_envsec_central_asia_200912_15_june_2009.doc.

Erdmann, L. 2011. Entwicklung von Recyclingtechniken für Industriemetalle und strategische Rohstoffe. Kurzgutachten für den Rat für Nachhaltige Entwicklung.

Erdmann, L.; Graedel, T. 2011. The criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses. *Environmental Science and Technology*. [dx.doi.org/10.1021/es200563g](https://doi.org/10.1021/es200563g).

Feil, M. 2011. *Global Governance and Corporate Responsibility in Conflict Zones*. Basingstoke: Palgrave Macmillan. Im Erscheinen.

- FOEN (Swiss Federal Office for the Environment). 2007. Antimony in Switzerland. 24/07. Bern: FOEN.
- Gang, C. 2009. Politics of China's environmental protection: Problems and Progress. Hackensack, N.J.: World Scientific.
- Global Witness. 2004. Rush and Ruin. The Devastating Mineral Trade in Southern Katanga, DRC. Zuletzt eingesehen im April 2009, unter http://www.globalwitness.org/media_library_detail.php/125/en/rush_and_ruin.
- Global Witness. 2010. Kazakhstan, Kazakhmys PLC and the London Stock Exchange. Risky Business Report July 2010. <http://www.globalwitness.org/library/risky-business-kazakhstan-kazakhmys-plc-and-london-stock-exchange>.
- GOA (Government Accountability Office). 2010. Rare Earth Materials in the Defense Supply Chain. Briefing for Congressional Committees, zuletzt eingesehen am: 21.6.2010, unter: <http://www.gao.gov/new.items/d10617r.pdf>.
- H.C. Starck. 2011. H.C. Starck schließt Tantal-Liefervertrag mit der AMG Advanced Metallurgical Group. Pressemitteilung 08.04.2011.
- Harder, J. 2008. Feinvermahlung von Industriemineralien. AT Aufbereitungstechnik International 11/12/2008.
- HIK (Heidelberg Institut for International Conflict Research). 2010. Conflict Barometer 2010. Crises - Wars - Coups d'Etat. Negotiations - Mediations - Peace Settlements. 19th Annual Conflict Analysis. Zuletzt eingesehen am 07. Februar 2011 unter http://www.hiik.de/de/konfliktbarometer/pdf/ConflictBarometer_2010.pdf.
- Hilpert, H.G.; Kröger, A.E. 2011. Seltene Erden, die Vitamine der Industrie. In: Stormy-Annika Mildner (Hrsg.) 2011: Konfliktrisiko Rohstoffe? Herausforderungen und Chancen im Umgang mit kritischen Ressourcen. Berlin: SWP, 159-168.
- Hilsum, L. 2009a. Chinese pay toxic price for a green world. The Sunday Times, 6. Dezember, zuletzt eingesehen am: 23.2.2010, unter: <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article6946038.ece#comment-have-your-say>.
- Hilsum, L. 2009b. Are Rare Earth Minerals Too Costly for Environment? PBS NewsHour. PBS, 14 Dezember, zuletzt eingesehen am: 23.2.2010, unter: http://www.pbs.org/newshour/bb/asia/july-dec09/china_12-14.html?print.
- Holleman, A.F.; Wiberg, E. 1985. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 91-100 Auflage. Berlin, New York: de Gruyter.
- Holz, C.A. 2007. Have China Scholars All Been Bought? In: Far Eastern Economic Review. 170:3. Zuletzt eingesehen am 15.02.2011 unter <http://web.archive.org/web/20070408201147/http://www.feer.com/articles1/2007/0704/free/p036.html>.
- Hsu, J. 2010. U.S. Sitting on Mother Lode of Rare Tech-Crucial Minerals. TechNewsDaily. 8. März, <http://www.technewsdaily.com/us-sitting-on-mother-lode-of-rare-tech-crucial-minerals-0281/>.
- Hurst, C. 2010: China's Rare Earth Elements Industry: What can the West Learn? Journal of Energy Security, March 2010 Issue. <http://www.iags.org/rareearth0310hurst.pdf>.

IAGS (Institute for the Analysis of Global Security). 2010. Hurst, C. China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn? Zuletzt eingesehen am 15.02.2011 unter <http://fmso.leavenworth.army.mil/documents/rareearth.pdf>.

ICG. 2006. Katanga: The Congo's Forgotten Crisis. Africa Report, 103. Zuletzt eingesehen im März 2009, unter http://www.crisisgroup.org/library/documents/africa/central_africa/103_katanga_the_congos_forgotten_crisis.pdf.

IDA. 2010. Thomason, J.S.; Atwell, R.J.; Bajraktari, Y.; Bell, J.P. ; Barnett, D.S.; Karvonides, N.S.J.; Niles, M.F.; Schwartz, E.L. *From National Defense Stockpile (NDS) to Strategic Materials Security Programme (SMSP): Evidence and Analytic Support*. Volume I. Alexandria, VA: Institute for Defense Analysis.

Institute for Security Studies. 2008. Kodi, M. Corruption and Governance in the DRC. During the Transition Period (2003 - 2006). Pretoria: Institute for Security Studies.

International Crisis Group (ICG). 2010. Bericht vom 1. Juni 2010. Kazakhstan. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter <http://www.crisisgroup.org/en/publication-type/crisiswatch/crisiswatch-database.aspx?EndDate=99991231&StartDate=00010101&CountryIDs={E0CF6354-E556-4324-9C67-5E297B9B919A}>.

IPIS. 2008. Spittaels; Hilgert. Mapping Conflict Motives: Katanga. Update: December 2007-May 2008. Bericht von: IPIS, Fatal Transaction, niza in association with act!onaid. Zuletzt eingesehen im März 2009, unter <http://www.ipisresearch.be/natural-resources.php>.

ISI (Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung / IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung). 2009. Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwede, M. Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Karlsruhe, Deutschland: Fraunhofer IRB Verlag.

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)/ FVA. 2011. Marwede, M.; Clausen, M.; Handke, V. Kritische Rohstoffe der elektrischen Antriebstechnik. FVA-Heft Nr. 614.

IZT (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung)/ MaRes (Materialeffizienz und Ressourcenschonung). 2010. Behrendt, S.; Caporal, S.; Erdmann, L.; Marwede, M. Roadmap ressourceneffiziente Photovoltaik. 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.

Jiabao, L.; Jie, L. 2009. Rare earth industry adjusts to slow market. China Daily, 7. September, zuletzt eingesehen am: 23.2.2010, unter: http://www.chinadaily.com.cn/bw/2009-09/07/content_8660849.htm.

Jing, J. 2003. Environmental protest in China. Perry, Elizabeth and Mark Selden: Chinese society. London: Routledge, 204-222.

JOGMEC (Japan, Oil, Gas, and Metals National Corporation). 2010. JOGMEC stockpiling rare metals including cobalt, gallium. Reuters.

Johnson, D. 2008. Zwei Jahre danach. In: Eveleens, Ilona 2008: Aufschwung auf Kosten der Menschen. Die Tageszeitung, 30.07.2008. Zuletzt eingesehen im März 2009, unter <http://www.taz.de/1/archiv/print-archiv/printressorts/digi-artikel/?ressort=au&dig=2008%2F07%2F30%2Fa0079&cHash=2083a6016f>.

Jubak, J. 2009. A rare opportunity in mining stocks. MSN Money. 9. November, zuletzt eingesehen am: 18.2.2010, unter: <http://articles.moneycentral.msn.com/Investing/JubaksJournal/a-rare-opportunity-in-mining-stocks.aspx>.

Junker, B. 2011. Aktien des Seltene Erden-Produzenten Molycorp legen zweistellig zu. Wallstreet online, 04.01.2011. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter <http://www.wallstreet-online.de/nachricht/3078503-aktien-des-seltene-erden-produzenten-molycorp-legen-zweistellig-zu>.

Kapstein, E.; Converse, N. 2006. The Economics of Young Democracies: Policies and Performance. MPRA Paper No. 553. Zuletzt eingesehen am 03.02.2011 unter <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/553/>.

Kazakhmys. 2009. Extracting Value. Kazakhmys PLC Annual Report and Accounts 2009. Zuletzt eingesehen am 31.01.2011 unter <http://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDFArchive/kaz2009.pdf>.

Kazinst. 2008. Казахстанский институт стандартизации и сертификации. К О Н Ц Е П Ц И Я РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА В ЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН до 2015 года.

KfW Bankengruppe. 2007. Berke, C., Martin, N.; Pulkowski, J.; Vatsers, J.; Wagner, M.: Rohstoffe in der DR Kongo – Potenziale für die Entwicklung? Eine Kurzstudie über die DR Kongo von der KfW Entwicklungsbank und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Frankfurt am Main: KfW Bankengruppe.

Kingsnorth, D. 2008. Interview with Dudley Kingsnorth. 1. März, zuletzt eingesehen am: 18.2.2010, unter: <http://www.theanchorsite.com/2008/04/01/interview-with-dudley-kingsnorth-part-1/>.

KORES (Korea Resources Corporation). 2010. *Unlimited Earth. KORES Sustainability Value Report 2009*. Seoul, South Korea: KORES.

Kremser, K. 2010. Rohstoffverknappung – eine aktuelle Herausforderung für den Einkauf? voestalpine Rohstoffbeschaffungs GmbH. Wien: voestalpine.

Lillis, J. 2010. Citizens in Kazakhstan are High on Nazarbayev, Tepid on Democratization. Zuletzt eingesehen am 12.02.2011 unter <http://www.eurasianet.org/node/61158>.

Liu, J. 2007a. China's Environmental Crisis Catalyzes New Democracy Movement. China Watch World-watch Institute, 19. Juni, zuletzt eingesehen am: 19.2.2010, unter: <http://www.worldwatch.org/node/5149>.

Margonelli, L. 2009. Clean Energy's Dirty Little Secret. The Atlantic, May, zuletzt eingesehen am: 19.2.2010, unter: <http://www.theatlantic.com/doc/200905/hybrid-cars-minerals>.

- Mildner, S.; Perthes, V. 2010: Der Kampf um Rohstoffe. Handelsblatt vom 3.12.2010. Zuletzt eingesehen 03.02.2011 unter http://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/medienbeitraege/101203mdn_prt_rohstoff_handelsbl_ks.pdf.
- Molycorp Minerals LLC. 2010. Rare Earth Minerals and 21st Century Industry. Written Testimony by Mark A. Smith, Chief Executive Officer, March 16 2010. Zuletzt eingesehen am 06.04.2011 unter http://science.house.gov/sites/repUBLICANS.science.house.gov/files/documents/hearings/031610_Smith.pdf
- Naumov, A.V.; 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.
- NBER. 1995. Sachs, J.D.; Warner, A.M. 1995. Natural resource abundance and economic growth. NBER Working Paper 5398
- NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization). 2009. Shinko Research Co. Ltd. (Mitsubishi UFJ Research and Consulting). *Trend Report of Development in Materials for Substitution of Scarce Metals*. NEDO report no: 08007835-0 08007838-0. Tokyo: NEDO.
- Ngoie, G.T.; Omeje, K. 2008. Rentier Politics and Low Intensity Conflicts in the DRC: The Case of Kasai and Katanga Provinces. In: Omeje, Kenneth [Hrsg.]: *Extractive Economies and Conflicts in the Global South*. Aldershot: Ashgate, S. 137-150.
- NRC (National Research Council). 2008. *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oakedene Hollins. 2008. Morley, N. and Eatherley, D. 2008. Material Security. *Ensuring resource availability to the UK economy*. Chester, UK: C-Tech Innovation Ltd.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2005. Governance in China. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter http://www.oecd.org/document/32/0,2340,en_2649_33735_35340704_1_1_1_1,00.html#Synthesis.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2006. Uses and Abuses of Governance Indicators. Development Centre Studies. Zuletzt eingesehen am 20.12.2010 unter http://www.governance.unimaas.nl/training_activities/aaU/download/Papers/Usesofabusesofgovernanceindicators%5B1%5D.pdf.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2010. Korinek, J. and Kim, J.. *Export Restrictions on Strategic Raw Materials and Their Impact on Trade*. OECD Trade Policy Working Papers, No. 95. Paris, France: OECD.
- Öko-Institut. 2011. Schüler, D., Buchert, M., Liu, R.; Dittrich, S.; Merz, C. Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament, Darmstadt: Öko-Institut.
- Öko-Institut/UNEP (United Nations Environment Programme). 2009. Buchert, M.; Schüler, D.; Bleher, D. *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*. Nairobi: UNEP.
- Ökopol/UBA (Umweltbundesamt). 2010. Sander, K.; Schilling, S. Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten /Elektroschrott. UBA-Texte 11/2010. Hamburg: Ökopol.

Pole Institute. 2005. Johnson, D.; Tegera, A. Digging Deeper: How the DR Congo's Mining Policy is Failing the Country. Goma: Pole Institute.

RNE (Rat für Nachhaltige Entwicklung). 2011. Wie Deutschland zum Rohstoffland wird. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung. texte Nr. 39.

Rombach, G. 2006. Limits of Metal Recycling. In: Sustainable Metals Management - Securing Our Future - Steps Towards a Closed Loop Economy. Dordrecht (Niederlande): 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.

RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) / ISI (Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung) / BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). 2007. Frondel, M., Grösche, D.; Huchtemann, D.; Oberheitmann, A.; Petersand, J.; Angerer, G.; Sartorius, C.; Buchholz, P.; Röhling, S.; Wagner, M.. *Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen*. Berlin und Bonn, Deutschland: RWI, ISI und BGR.

Schlager, E. 2011. Opposition ohne Chance. Präsidentenwahl in Kasachstan. DRadio. Zuletzt eingesehen am 05.04.2011 unter <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/hintergrundpolitik/1426627/>.

SMI (Strategic Metal Investments Ltd.). 2010. China's growing role in the production & supply of minor metals. www.strategic-metal.com.

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).

Stewart, T.P. 2010. Testimony held at the hearing on "Rare Earth Minerals and 21st Century Industry". U.S. House of Representatives Committee on Science and Technology. Subcommittee on Investigation and Oversight, 16. März, Washington, D.C., zuletzt eingesehen am: 18.3.2010, unter: http://democrats.science.house.gov/Media/file/Commdocs/hearings/2010/Oversight/16mar/Stewart_Testimony.pdf.

Swisspeace. 2007. FAST Analytical Framework Kazakhstan. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter http://www.swisspeace.ch/typo3/fileadmin/user_upload/Media/Projects/FAST/Asia/Kazakhstan/Kazakhstan_AF_2007.pdf

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 2008. Second Environmental Performance Review of Kazakhstan. Zuletzt eingesehen am 31. Januar 2011 unter <http://www.unece.org/env/epr/meetings/RecommendationsKazakhstanExpertGroup.pdf>.

UNEP (United Nations Environmental Programme). 2010. Metal stocks in society. Lead Author: T.E. Graedel. Nairobi, Kenya: UNEP.

US DOD (US Department of Defense). 2009. *Reconfiguration of the National Defense Stockpile Report to Congress*. Washington, DC: Congress.

US DOE (Department of Energy). 2010. Critical Materials Strategy. Washington, DC: US DOE.

- US DOL (US Department of Labor). 2010. Summary of 2010 Fatal Accidents at Metal/Nonmetal Mines. Mine Safety and Health Administration. Zuletzt eingesehen am 15.02.2011 unter <http://www.msha.gov/fatals/summaries/022011MNMFatalityUpdate.pdf>.
- US Government, Office of the United States Trade Representative, 2009. Foreign Trade Barriers. Kazakhstan. Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter http://www.ustr.gov/sites/default/files/uploads/reports/2009/NTE/asset_upload_file574_15483.pdf.
- 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. 2010. 2008 Minerals Yearbook Germany [Advance Release]. Washington, DC: USGS.
- USGS (United States Geological Survey). 2008a. 2008 Minerals Yearbook Congo (Kinshasa). Zuletzt eingesehen am 02.03.2011 unter <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2008/myb3-2008-cg.pdf>.
- USGS (United States Geological Survey). 2008b. 2008 Minerals Yearbook United States. Statistical Summary. Zuletzt eingesehen am 05.04.2011 unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/statistical_summary/myb1-2008-stati.pdf.
- 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.
- VBW (Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft). 2009. Pfleger, P.; Lichtblau, K.; Bardt, H.; Reller, A. *Rohstoffsituation Bayern: Keine Zukunft ohne Rohstoffe. Strategien und Handlungsoptionen*. München, Deutschland.
- Verhoef, E.V.; Dijkema, G. 2004. Process Knowledge, System Dynamics, and Metal Ecology. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 8, Issue 1-2 23-43.
- Weltbank. 2008a. Kaufmann, D.; Kraay, A. 2008: Governance Indicators: Where Are We, Where Should We Be Going? Washington, D.C.: The World Bank.
- Weltbank. 2008b. Democratic Republic of Congo. Growth with Governance in the Mining Sector. Report No. 43402-ZR. Zuletzt eingesehen im März 2009, unter <http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/336099-1156955107170/drcgrowthgovernanceenglish.pdf>.
- Wild, F. 2008. Congo Copper-Mining Region May Lose 300,000 Jobs, Minister Says. <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601116&sid=aHRBlep3EEeo&refer=africa> (letzter Zugriff März 2009).
- Wuppertal Institut/UBA (Umweltbundesamt). 2011. Supersberger, N., Ritthoff, M.; Bleischwitz, R. Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Rohstoffe zwischen Angebot und Nachfrage. Dessau: UBA.
- Zakaria, F. 2009: The Post-American World. London: Penguin Books, Ltd.

ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie); Commerzbank. 2010. Zur Rohstoffsituation in der Elektronikindustrie.

http://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Wirtschaft_Recht/Konjunktur_Markt/ZVEI_Elektrohrstoffe_Mai2010.pdf.

9 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 Gießereiindustrie (BDG)	20.1.2011	Kritische Rohstoffe für die Gießereiindustrie
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

10 Abkürzungen und Glossar

Abkürzung	Volltext
Ag	Silber (chemisches Element)
Al	Aluminium (chemisches Element)
ATO	Antimontrioxid (chemische Verbindung)
Au	Gold (chemisches Element)
BBS	Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
Be	Beryllium (chemisches Element)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGS	British Geological Survey
Bi	Bismut (chemisches Element)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMWFJ	Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend in Österreich
BVKI	Bundesverband der Keramikindustrie
BVT	Beste verfügbare Techniken
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid/Disulfid (chemische Verbindung)
Co	Cobalt (chemisches Element)
Cr	Chrom (chemisches Element)
Cu	Kupfer (chemisches Element)
DR	Demokratische Republik
Dy	Dysprosium (chemisches Element)
EC	European Commission
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
Er	Erbium (chemisches Element)
Eu	Europium (chemisches Element)
FCPA	Foreign Corrupt Practices Act
FDI	Foreign Direct Investment (Auslandsdirektinvestitionen)
Fe	Eisen (chemisches Element)
FSM	Flammschutzmittel
Ga	Gallium (chemisches Element)
Gd	Gadolinium (chemisches Element)
Ge	Germanium (chemisches Element)
GTZ	Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit
Hf	Hafnium (chemisches Element)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
In	Indium (chemisches Element)

ISO 14000/1	Umweltmanagementnorm
ISO 9000	Qualitätsmanagementnorm
ITO	Indium-Zinnoxid (chemische Verbindung)
JOGMEC	Japan, Oil, Gas, and Metals National Corporation
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KORES	Korea Resources Corporation
La	Lanthan (chemisches Element)
LCA	Life Cycle Analysis (Umweltanalyse über den Lebenszyklus)
LCC	Life Cycle Costing (Kostenanalyse über den Lebenszyklus)
LED	Light Emitting Diode (Licht emittierende Diode)
Li	Lithium (chemisches Element)
LME	London Metal Exchange
Mg	Magnesium (chemisches Element)
MIT	Massachusetts Institute of Technology
Mn	Mangan (chemisches Element)
Mo	Molybdän (chemisches Element)
N4, N6	99,9999 % bzw. 99,999999 % (Maß für die Reinheit)
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
OHSAS 18001	Arbeitsschutzmanagementnorm
OLED	Organic Light Emitting Diode (organische Licht emittierende Diode)
OSZE	Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
Pb	Blei (chemisches Element)
Pd	Palladium (chemisches Element)
PGM	Platingruppenmetalle (Gruppe chemischer Elemente)
PET	Polyethylenterephthalat (chemische Verbindung)
Pr	Praseodym (chemisches Element)
Pt	Platin (chemisches Element)
PV	Photovoltaik
Rb	Rubidium (chemisches Element)
Re	Rhenium (chemisches Element)
Rh	Rhodium (chemisches Element)

Ru	Ruthenium (chemisches Element)
SA 8000	Standard für sozial verantwortliche Unternehmensführung
Sb	Antimon (chemisches Element)
Sc	Scandium (chemisches Element)
Se	Selen (chemisches Element)
SEE	Seltene Erden Elemente (Gruppe chemischer Elemente)
SEO	Seltene Erden Oxide (Oxide der SEE)
Si	Silicium (chemisches Element)
Sn	Zinn (chemisches Element)
Sr	Strontium (chemisches Element)
StaBuA	Statistisches Bundesamt
SX-EW	Solvent Extraction – Electro Winning (Lösemittelextraktion – elektrolytische Gewinnung)
Ta	Tantal (chemisches Element)
Tb	Terbium (chemisches Element)
Te	Tellur (chemisches Element)
Ti	Titan (chemisches Element)
TI	Transparency International
UFK	Ungebundene Finanzkredite
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environmental Programme
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
VKS	Verband der Kali- und Salzindustrie
VR	Volksrepublik
W	Wolfram (chemisches Element)
WGI	Worldwide Governance Indicator (Indikator für die Güte der Regierungsführung souveräner Länder)
WTO	World Trade Organisation
WVM	Wirtschaftsvereinigung Metalle
XtL	Kohle-/Gas-/Biomasse-Verflüssigung zu Kraftstoffen
Zn	Zink (chemisches Element)
Zr	Zirconium (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
