



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

Kurzfassung

Lorenz Erdmann

Siegfried Behrendt

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

Moira Feil

adelphi, Berlin

Berlin, den 30. September 2011

1 Die Kritikalität von Rohstoffen für Deutschland

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), Industriemineralien (z.B. Graphit) 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. 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). Insbesondere bei den Rohstoffen für Metalle und bei vielen Industriemineralien ist Deutschland stark von Importen abhängig.

Die Studie

Vor diesem Hintergrund hat die KfW Bankengruppe das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und adelphi beauftragt, aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsame mineralische Rohstoffe zu identifizieren, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte.

Im Anschluss an das Kritikalitäts-Screening werden für zehn besonders interessante Rohstoffe – darunter die allerkritischsten – Nachfrage und Verwendung, Angebot und Vorräte, Marktstruktur und -dynamik und Materialeffizienz (u.a. Substitution und Recycling) im Detail untersucht. Der Einfluss der Governance auf die Rohstoffversorgung, d.h. die Regelsetzung und Steuerung durch den Staat oder nichtstaatliche Akteure, wird exemplarisch für zwei Rohstoffe in je zwei Produktionsländer näher beleuchtet. Das Forschungsvorhaben schließt mit Empfehlungen für Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoffversorgung in Deutschland.

Die Methodik der Kritikalitätsanalyse

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 unterscheidet sich von anderen Kritikalitätsstudien durch ihren Fokus auf Deutschland, den Schwerpunkt auf Rohstoffen für Zukunftstechnologien und die Berück-

sichtigung auch nicht, oder nur schwer quantifizierbarer Faktoren. Die Rohstoffkritikalität wird aus Sicht des produzierenden Gewerbes in Deutschland (Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, verarbeitendes Gewerbe) untersucht.

Grundlage für die Auswahl von Rohstoffen für das Kritikalitäts-Screening sind Daten zum Import und Verbrauch von mineralischen Rohstoffen in Deutschland. Bezugszeitraum der verwendeten Daten in der Studie ist das Jahr 2008. Für 52 Rohstoffe wird mittels einer eigens entwickelten Methodik die Kritikalität der Versorgung der deutschen Wirtschaft bestimmt. Dabei wird die Kritikalität eines jeden Rohstoffes in einer Matrix mit den Achsen Vulnerabilität und Versorgungsrisiko verortet. Die Bestimmung der Vulnerabilität und des Versorgungsrisikos für jeden Rohstoff erfolgt mit Hilfe eines Indikatoren-Sets. Die Indikatoren bilden kurzfristig oder mittel- bis langfristig wirksame Dynamiken ab. Für die Berechnung der Vulnerabilität und des Versorgungsrisikos werden die Indikatoren unterschiedlich gewichtet. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über das verwendete Indikatoren-Set zur Klassifizierung der Kritikalität der Rohstoffe:

Tabelle 1: Indikatoren-Set für das Kritikalitäts-Screening

Vulnerabilität	Zeitliche Relevanz	Gewichtung	Versorgungsrisiko	Zeitliche Relevanz	Gewichtung
Mengenrelevanz			Länderrisiko		
Anteil Deutschlands am Weltverbrauch (2008)	kurzfristig	25 %	Länderrisiko für die Importe Deutschlands (2008)	kurzfristig	10 %
Änderung des Anteils Deutschlands am Weltverbrauch (2004-2008)	kurzfristig	10 %	Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	kurzfristig	10 %
Änderung der Importe Deutschlands (2004-2008)	kurzfristig	10 %	Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	mittel- bis langfristig	10 %
Strategische Relevanz			Marktrisiko		
Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland	mittel- bis langfristig	25 %	Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	kurzfristig	25 %
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	mittel- bis langfristig	20 %	Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	mittel- bis langfristig	25 %
Substituierbarkeit	mittel- bis langfristig	10 %	Strukturrisiko		
			Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	mittel- bis langfristig	10 %
			Recyclingfähigkeit	mittel- bis langfristig	10 %
Summe		100 %	Summe		100 %

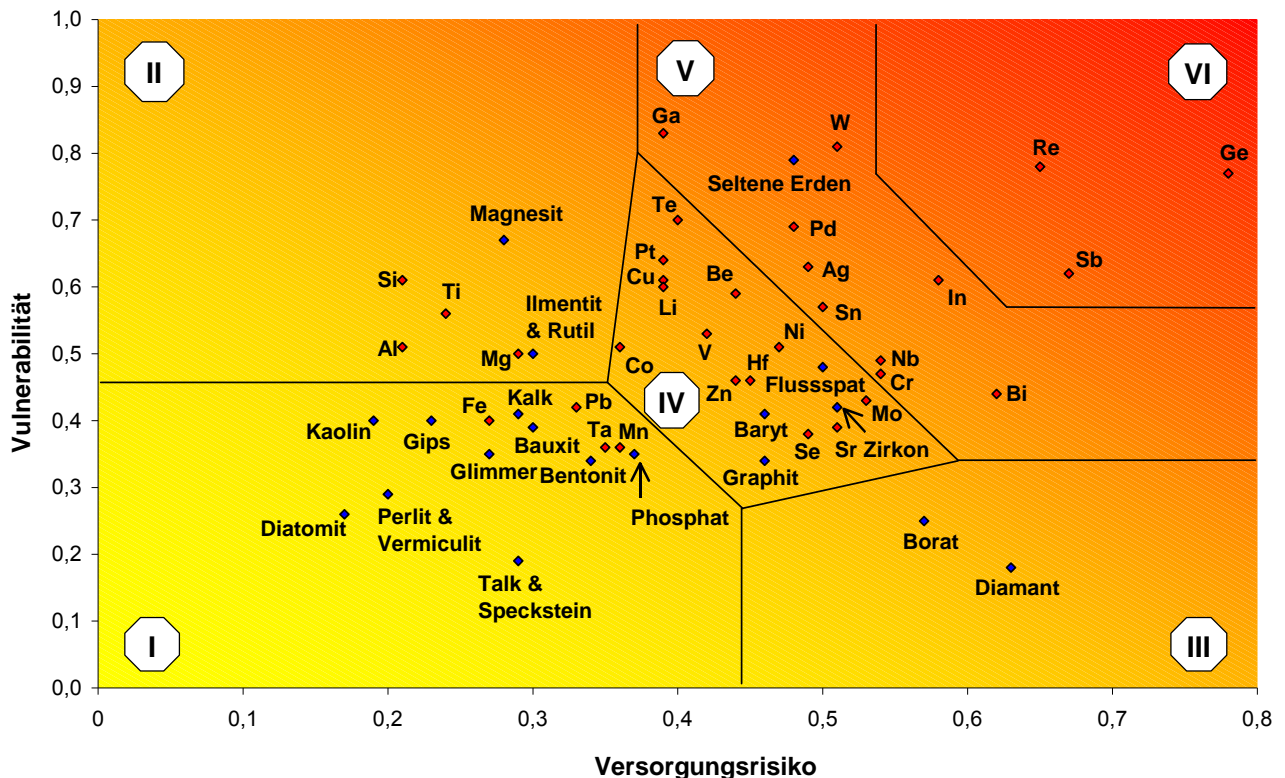
Quelle: Eigene Darstellung IZT/adelphi.

2 Ergebnisse des Kritikalitäts-Screenings

Kritische Rohstoffe für Deutschland

Die Kritikalitätsmatrix für Deutschland 2008 zeigt das Ergebnis des Kritikalitäts-Screenings. Die Matrix enthält Zonen unterschiedlicher Kritikalität:

Abbildung 1: Screening der Rohstoffkritikalität für Deutschland 2008



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

Idealtypisch lassen sich sechs Zonen der Kritikalität unterscheiden:

- I. Geringe Kritikalität (geringes Versorgungsrisiko, geringe Vulnerabilität): Diatomit, Perlit & Vermiculit, Talk & Speckstein, Kaolin, Gips, Glimmer, Eisen, Kalk, Bauxit, Blei, Bentonit, Tantal, Mangan, Phosphat
- II. Geringes Versorgungsrisiko, hohe Vulnerabilität: Aluminium, Silizium, 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, Kobalt, Beryllium, Lithium, Kupfer, Platin, Tellur
- V. Hohe Kritikalität (hohes Versorgungsrisiko, hohe Vulnerabilität): Wolfram, Seltene Erden, Gallium, Palladium, Silber, Indium, Zinn, Niob, Chrom, Bismut
- VI. Höchste Kritikalität (sehr hohes Versorgungsrisiko, sehr hohe Vulnerabilität): Germanium, Rhenium, Antimon

Die Kritikalität der Rohstoffversorgung für Deutschland 2008 ist für einige seltene Metalle besonders hoch, 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 zugrunde liegenden Indikatoren und ihrer Gewichtung gemäß Tabelle 1 sowie von idealtypischen Grenzziehungen in die sechs Zonen. 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 (z.B. stammen 66 % der deutschen Bauxitimporte aus Guinea). Das breite Indikatoren-Set filtert jedoch nur solche Rohstoffe als kritisch heraus, die bei mehreren Indikatoren schlecht abschneiden. Gleichzeitig müssen die Rohstoffe sowohl hohe Werte bei der Vulnerabilität als auch beim Versorgungsrisiko aufweisen, um als kritisch eingestuft zu werden.

Die Zonen höchster und hoher Kritikalität umfassen insgesamt 13 Rohstoffe. Für fünf dieser Rohstoffe sind nachstehend Hinweise zu den Ursachen ihrer Einstufung aufgeführt:

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.

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.

Indium (hohe Kritikalität)

Indium hat eine sehr hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien (u.a. 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.

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 (u.a. Elektromobilität, Windenergie, Katalysatoren, miniaturisierte Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)). Die Wertschöpfungsketten reagieren im Falle von 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.

Sensitivitätsanalyse und Einordnung der Ergebnisse

Eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf Datenunsicherheit und methodische Variationen zeigt, dass die Ergebnisse in der Extremzone höchster Kritikalität gut reproduzierbar sind. Germanium, Rhenium und – mit leichten Abstrichen – Antimon gehören durchgängig zu den kritischsten Rohstoffen. Einige Rohstoffe wie Tellur, Beryllium, Nickel, Flussspat und Molybdän sind nur knapp nicht der Gruppe hoher Kritikalität zugeordnet worden. Leichte Veränderungen der Datenlage oder der Methodik können hier zu etwas anders gelagerten Einstufungen führen.

Diese Studie stimmt in ihren Ergebnissen mit vergleichbaren Untersuchungen¹ hinsichtlich der Identifizierung von Germanium, Indium, Niob, Palladium, Seltenen Erden und Wolfram als kritische Rohstoffe überein – wenn auch anhand verschiedener Kriterien. Die Unterschiede der vorliegenden Studie gegenüber vorherigen Studien haben ihren Ursprung im sowohl sehr umfassenden als auch spezifisch auf deutsche Verhältnisse ausgerichteten Indikatoren-Set. Dadurch kommen einige Rohstoffe wie Bismut, Rhenium, Silber und Zinn neu auf die Agenda der Kritikalitätsdiskussion.

Zu den Besonderheiten der deutschen Wirtschaft gehört gegenwärtig ihr hoher Anteil am Weltverbrauch von Germanium, Wolfram, Gallium, Palladium, Silber, Zinn und Bismut. Von herausragender wirtschaftsstrategischer Bedeutung für Deutschland sind die Entwicklung und erfolgreiche Marktplazierung von Zukunftstechnologien. Dadurch werden sich zukünftig die Rohstoffbedarfe Deutschlands verändern. Die Sicherstellung der Rohstoffversorgung zum Beispiel für Elektromobilität (u.a. Cobalt, Kupfer, Lithium, Platin, Seltene Erden), für eingebettete Informations- und Kommunikationstechnik (u.a. Bismut, Gallium, Kupfer, Seltene Erden, Silber, Zinn) und für den Umbau der Energieversorgung (u.a. Gallium, Germanium, Indium, Rhenium, Seltene Erden) ist deshalb für die zukünftige Wertschöpfung in Deutschland essentiell.

Keiner der 13 Rohstoffe höchster oder hoher Kritikalität wird in Deutschland im Bergbau gewonnen. Deutschland ist dadurch den globalen Markt- und Länderrisiken stark ausgesetzt. Das Länderrisiko für die Primärrohstoffimporte Deutschlands ist vor allem für Germanium, aber auch für Antimon und Seltene Erden erhöht. Der Handlungsdruck zur Verbesserung der Versorgung ist für Rohstoffe mit geringem Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (u.a.

¹ vgl. insb. "Critical raw materials for the EU" herausgegeben von der Europäischen Kommission (2010) bzw. "Rohstoffsituation Bayern: Keine Zukunft ohne Rohstoffe. Strategien und Handlungsoptionen" herausgegeben von der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2009).

Antimon, Chrom, Germanium, Silber, Zinn) besonders hoch. Einige Primärrohstoffe mit voraussichtlich großer Nachfragesteigerung (u.a. Gallium, Germanium, Indium, Rhenium) werden nur als Nebenprodukte gewonnen – die Ausweitung ihres Angebots ist durch die Bindung an die Hauptprodukte mit voraussichtlich geringerer Nachfragesteigerung (u.a. Blei/Zink, Kupfer, Zinn) eingeschränkt. Das Recycling einiger kritischer Rohstoffe ist erschwert (u.a. Gallium, Seltene Erden), birgt für die deutsche Recyclingwirtschaft aber auch unerschlossene Potentiale.

3 Vertiefende Analysen

Rohstoffprofile

Für zehn ausgewählte Rohstoffe wird die Versorgungslage detailliert analysiert. Das Set umfasst vier Halbleiter (Gallium, Germanium, Indium, Antimon), vier Elemente für hochwertige Legierungen (Niob, Molybdän, Wolfram, Rhenium), das Elektro- und Elektronikmetall Kupfer und die Gruppe der Seltenen Erden.

Die Entwicklung von Angebot und Nachfrage bestimmt in einem hohen Maße den zukünftigen Rohstoffpreis. Für die zehn vertieften Rohstoffe sind aus heutiger Sicht kurz- und mittel-/langfristig voraussichtlich folgende Angebots- und Nachfragekonstellationen zu erwarten:

Tabelle 2: 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 von Kupfer (50/50)	↑	↑	↑	↑
Niob	überwiegend Hauptprodukt	↑	↑	↑	↑
Rhenium	Nebenprodukt von Molybdän	↑	↑	→	↑↑
Seltene Erden	überwiegend Hauptprodukt	↓ / →	↑	↑ / ↑↑	↑↑
Wolfram	überwiegend Hauptprodukt	↓ / →	↑	↑	↑

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

Für Antimon, Wolfram und Seltene Erden sinkt aufgrund von Minenkonsolidierungen und Exportrestriktionen kurzfristig das Angebot aus dem dominierenden chinesischen Bergbau. Mittel- bis langfristig dürfte sich das Angebot für Antimon stabilisieren und die Nachfrage aufgrund der intensiven Anstrengungen zur Substitution halogenhaltiger Flammenschutzmittel wahrscheinlich verringern. Sowohl die steigende Nachfrage nach Wolfram als auch die stark steigende Nachfrage nach Seltenen Erden dürften voraussichtlich mittel- und langfristig durch Angebotsausweitungen des Bergbaus 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 – Rhenium haben vermutlich sich ähnelnde zukünftige Angebots- und Nachfragemuster: Der kurzfristig steigenden Nachfrage könnte durch verstärkte Separierung und Aufbereitung der Rohstoffe begegnet werden. Mittel- bis langfristig stößt die exponentiell steigende Nachfrage aufgrund der Kuppelproduktion dieser Rohstoffe (Nebenprodukte) aber auf Grenzen der Angebotsausweitung. 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, 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 oligopolartige 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.

Governance-Profile

Governance-Faktoren beeinflussen einerseits die Rohstoffversorgung und andererseits die politisch-wirtschaftlichen Handlungsspielräume. 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.

- Der Zugang zu Rohstoffen hängt mit den allgemeinen Governance-Faktoren des Exportlandes und der Abbauregionen zusammen. Dazu gehören: Stabilität und Konfliktgeschichte, Rechtsstaatlichkeit und Korruption, Effektivität staatlicher Institutionen, Verteilung von Gewinnen und Verlusten sowie Umwelt- und Sozialgesetzgebung.
- Zu den ressourcenspezifischen Governance-Faktoren gehören die Gestaltung des Rohstoffsektors, die Handelspolitik in Bezug auf Rohstoffe und das Ressourcenmanagement.

Im Hinblick auf die genannten Faktoren können vier Ressourcen-Governance Typen an Produktionsländern abgeleitet werden: (1) kollabierender/fragiler Staat, (2) Transformationsland / junge Demokratie, (3) etablierte Demokratie und (4) autoritärer Staat.

Die Governance Profile für Seltene Erden am Beispiel der VR China (Typ 4) und den USA (Typ 3) weisen auf sehr unterschiedliche Governance-Dynamiken hin, u.a. was die Rechtsstaatlichkeit und Gestaltung des eigenen Rohstoffsektors betrifft. Während in der VR China der illegale Abbau und Handel von Seltenen Erden ein Problem darstellt, gibt es in den USA weitreichende Umweltauflagen zu beachten. Trotz der unterschiedlichen Governance-Typen zeigen die VR China und die USA aber beide eine deutliche politische Flankierung bzw.

Steuerung ihrer Seltenen Erden Politik. Zum Beispiel stellt die Frage nach der Einrichtung strategischer Reserven für beide ein potentiell neues Konfliktfeld mit Bestimmungen der World Trade Organisation dar.

Die Governance-Profile für Kupfer am Beispiel von Kasachstan (Typ 2) und der Demokratischen Republik (DR) Kongo (Typ 1) zeigen deutlichere Risiken auf Grund von politischer Fragilität bzw. unausgereiftem staatlichen Regierungshandeln. Während in Kasachstan staatseigene Unternehmen dominieren und der gesetzliche Rahmen Investitionsunsicherheit birgt, ist die DR Kongo von einem weit reichenden Staatsversagen geprägt. Kasachstan und die DR Kongo bemühen sich beide darum, Investitionssicherheit zu schaffen und Auslandsdirektinvestitionen ins Land zu locken. In beiden Fällen verfügt das Land über große Kupferreserven und enorme wirtschaftliche Potentiale, die neben logistischen Überlegungen vor allem durch die Governance-Rahmenbedingungen gebremst werden.

4 Handlungsoptionen

Kritische Rohstoffe als Schlüssel für bestehende und neue Leitmärkte

Verschiedene aktuelle Programme der Bundesregierung – u.a. Hightech-Strategie und Energiekonzept – werden mit ihrer Ausrichtung auf Schlüsseltechnologien spürbare Impulse auf die Rohstoffnachfrage in Deutschland auslösen. Die Bundesregierung strebt danach, für diese Schlüsseltechnologien durch eine Spitzenstellung bei Forschung, Entwicklung und Markteinführung nationale Leitmärkte mit hohem Wachstums- und Exportpotential zu fördern. Entwickeln sich die nationalen Leitmärkte für einzelne Schlüsseltechnologien (z.B. Elektromobilität, miniaturisierte Informations- und Kommunikationstechnik, Photovoltaik) zu weltweit massenhaft verbreiteten Lösungen, sind große bis sehr große globale Nachfrageimpulse insbesondere für einige Halbleiter, Leichtmetalle, Legierungselemente und Seltene Erden zu erwarten.

Nicht nur für die Umsetzung der High-Tech Strategie der Bundesregierung, sondern auch für die Entwicklung anderer Leitmärkte für Zukunftstechnologien ist daher eine frühzeitige und umfassende Berücksichtigung von Rohstoffaspekten notwendig. 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.

Von der operativen Rohstoffbeschaffung zur strategischen Rohstoffsicherung im Unternehmen

Die Unterstützung vor allem von kleinen und mittleren Unternehmen beim Aufbau eines strategischen Risikomanagements für potentiell kritische Rohstoffe und die Rolle von Verbänden dabei sind zu prüfen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sollte verstärkt Aufgaben des Preis-Monitorings wahrnehmen und Studien zur Versorgungslage mit kritischen Rohstoffen erstellen.

Rohstoffkritikalität aus der Wertschöpfungskettenperspektive

Eine Verarbeitung wichtiger Erze in Deutschland ist die Voraussetzung für die Separation und Aufbereitung vieler Nebenprodukte im Inland. Deshalb wird empfohlen, sowohl die Verarbeitung von Erzen in Deutschland als auch die Stärkung von Kompetenz in der Separierung und Aufbereitung der Nebenprodukte zu fördern (z.B. Import von Blei/Zink-Konzentraten mit Auskopplung von Germanium und Indium).

Werden die Hauptprodukte auf höherer Wertschöpfungsstufe importiert (z.B. als Raffinade), dann unterbleibt die gekoppelte Einfuhr der Nebenprodukte. Für Wertschöpfungsketten, bei denen die Prozesse auf niedriger Wertschöpfungsstufe nicht mehr in Deutschland selbst erfolgen (z.B. Verarbeitung von Zinn- und Nickelerzen), sind Unterstützungsmöglichkeiten der Versorgung auf höherer Wertschöpfungsstufe zu prüfen (d.h. nicht die Förderung des Imports von Erz, sondern z.B. Unterstützung des Bezugs von raffiniertem Metall oder von Werkstoffen).

Neubewertung der Potentiale des Inlandsbergbaus

Es wird eine umfassende Neubewertung der geologischen Vorkommen potentiell kritischer Rohstoffe in Deutschland empfohlen. Im Hinblick auf eine potentielle Ausweitung des Bergbaus müssen frühzeitig Dialoge über mögliche Nutzungskonflikte und die neue Stellung des Inlandsbergbaus geführt werden.

Ausweitung von Beteiligungen im Auslandsbergbau

Es wird empfohlen, eine stärkere Beteiligung deutscher Unternehmen zum Beispiel an aussichtsreichen Seltene-Erden-Projekten zu unterstützen und die Förderung solcher Auslandsbeteiligungen zu prüfen. Eine Ausrichtung dieser Aktivitäten am Prinzip der nachhaltigen Entwicklung und eine stärkere Nutzung der Vorfelderkundungsarbeiten durch die deutsche Industrie sind wünschenswert.

Ausbau und Intensivierung der sekundären Rohstoffversorgung

Der Fokus des bestehenden Abfallrechts in Deutschland auf die Massenwerkstoffe führt zu einer Dissipation der kleineren Stoffströme, deren Umweltwirkungen (ökologischer Rucksack) durchaus beträchtlich sein können (u.a. Seltene Erden, Silber, Platingruppenmetalle). Die Erfassung wichtiger Sekundärrohstoffe aus Haushalten könnte in Deutschland wirkungsvoll durch die Einführung der Wertstofftonne (u.a. für elektrische und elektronische Geräte, Metallschrott, Konsumgüter) unterstützt werden. Zugleich sollten globale Rücknahme- und Sammlungsstrukturen aufgebaut werden, die eine Rückführung der sekundären Rohstoffe nach Deutschland ermöglichen. Schlüsselement einer Intensivierung der Sekundärrohstoffwirtschaft ist auch das Zusammenspiel von demontagegerechter Konstruktion und Aufbereitungstechnik (Trennung und Aufschluss). Beispielsweise besteht bei Straßenfahrzeugen dringender Entwicklungsbedarf im Hinblick auf systemische Lösungen für demontagegerechte Konstruktion und Aufbereitungsverfahren für Altfahrzeuge mit dem Fokus auf die enthaltenen kritischen Rohstoffe.

Erhöhung der Materialeffizienz über den Lebensweg

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.

Verbesserung der Informationsbasis

In Deutschland sind insgesamt nur wenige Hersteller von kritischen Rohstoffen ansässig. 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. Einen großen Bedarf gibt es für ein hoch aufgelöstes Monitoring der globalen Schrotthandelswege. Während das Preisinformationssystem bei der Deutschen Rohstoffagentur im Aufbau ist, erfordert die Verbesserung der statistischen Basis tiefgreifende Maßnahmen. Hierfür sind das Brancheninteresse, das Kosten/Nutzen-Verhältnis und die Gestaltungsspielräume der Politik zu klären. Eine weitere Maßnahme wäre die Bündelung geologischer Daten mit politisch-sozialen Governance-Faktoren zur Erstellung eines umfassenden Risikoradars für bestimmte Rohstoffe.

Forschung und Entwicklung

Die Stärkung des Bergbaus im dicht besiedelten Europa, unter der Meeresoberfläche und in Grenzregionen menschlicher Erschließung (u.a. Arktis) 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 Seltene Erden problematisch (Lösemittel- und Säureemissionen, Energieverbrauch, geringe Ausbeute). Es besteht Forschungsbedarf für neue 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 demontagegerechtem Design und Aufbereitungstechnik von vorrangigem Forschungsinteresse. Für die Aufbereitungstechnik wichtiger Altprodukte (Trennung und Aufschluss) sollte ein Handbuch zu den Besten Verfügbaren Techniken erstellt werden.

Außen-, handels- und entwicklungspolitische Elemente der Ressourcengovernance

Im Rahmen der bilateralen Rohstoffpartnerschaften ist ein konkretes Engagement der deutschen Wirtschaft einzufordern. Sie soll konkrete Projekte zur Verbesserung der Versorgung mit kritischen Rohstoffen vorschlagen. Die Rohstoffpartnerschaften und insbesondere die flankierenden Governance-Ziele müssen länderspezifisch ausgestaltet sein und auch Aspekte der Krisenprävention und Konfliktsensibilität enthalten. Zudem bedarf es entsprechender Angebote

für Nachbarländer der Rohstoffpartner und anderer rohstoffproduzierender Entwicklungs- und Schwellenländer zur Unterstützung ihrer Ressourcengovernance.

Es wird empfohlen, Exportinitiativen für innovative Recyclingtechnik wie die Initiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ReTECH (Recycling und Effizienztechnik) im Hinblick auf kritische Rohstoffe zu überprüfen und gegebenenfalls neu zu justieren. Außenhandelsmaßnahmen können zur Erhöhung des Sekundärrohstoffaufkommens in Deutschland erheblich beitragen, beispielsweise durch Unterbindung des illegalen Exports und durch Unterstützung für den Verbleib bzw. Import von Altprodukten und Schrott. Angesichts der technologischen Exzellenz einiger deutscher Unternehmen beim Recycling könnte hier Neuland in der Versorgung mit kritischen Rohstoffen betreten werden.

Fortentwicklung der Programmatik

Die vorgeschlagenen Instrumente und Maßnahmen haben eine gewisse Latenz ihrer Wirkung. Zudem wirken sie im Systemverbund und tragen in unterschiedlichem Maße zur Verbesserung der Rohstoffversorgung Deutschlands bei. Die von der Bundesregierung und der EU bereits eingeleitete Programmatik zur Verbesserung der Rohstoffversorgung ist umfangreich, bedarf aber weiterer Analysen, Abstimmungen und Verfeinerungen im nationalen, europäischen und globalen Rahmen. Kernelement könnte eine Politikfolgeschätzung in Bezug auf Rohstoffbedarf und -versorgung sein.

Für die Erschließung von Materialeffizienzpotentialen in einzelnen Branchen haben sich Roadmaps als geeignet erwiesen. Das Roadmapping ermöglicht eine „Straßenkarte“, die viele Einzelthemen bündelt, Handlungsoptionen identifiziert und Prioritäten benennt. Auch zur konkreten Verringerung der Kritikalität in Branchen können Stakeholder-Roadmaps erheblich beitragen. Stakeholder-Roadmaps binden alle relevanten Akteure wie Bergbauunternehmen, Primär- und Sekundärhüttenbetriebe und Recycling-Unternehmen mit ein, aber auch Behörden, Finanzgewerbe und Nichtregierungsorganisationen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen bedürfen oft einer externen Unterstützung für strategische Fragestellungen, wobei z.B. die Industrie- und Handelskammern und die Branchenverbände zu beteiligen sind.

Eine Priorisierung der dargestellten Handlungsoptionen wurde im Rahmen der Studie nicht vorgenommen. Entsprechend der Zielsetzungen der jeweiligen Handlungsakteure dürfte sie unterschiedlich ausfallen.