

RohPolRess

Carsten Gandenberger, Fraunhofer ISI

**Explorative Analyse der Zielbeziehungen zwischen
Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit**

RohPolRess-Kurzanalyse Nr. 1

RohPolRess

RohPolRess – Entwicklung von Politikempfehlungen für die Weiterentwicklung und Ausgestaltung von strategischen Ansätzen einer nachhaltigen und effizienten Rohstoffgewinnung und -nutzung

Ein Projekt im Auftrag des Umweltbundesamtes , gefördert im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFOPLAN) 2013.

Laufzeit: September 2013 - Dezember 2016

FKZ: 3713 11 104

Projektteam

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Tel.: 0721 6809-0

Ansprechpartner: Dr. Carsten Gandenberger (Projektleitung)

Öko-Institut e.V.

Rheinstraße 95, 64295 Darmstadt

Tel.: 06151 8191-0

Ansprechpartner: Falk Schulze

adelphi

Caspar-Theyss-Straße 14a, 14193 Berlin

Tel.: 0 (30) 8900068-0

Ansprechpartner: Lukas Rüttinger



Die veröffentlichten Papiere sind Zwischen- bzw. Arbeitsergebnisse der Forschungsnehmer. Sie spiegeln nicht notwendig Positionen der Auftraggeber, der Ressorts der Bundesregierung oder des Projektbeirats wider. Sie stellen Beiträge zur Weiterentwicklung der Debatte dar.

Abstract

In der aktuellen rohstoffpolitischen Diskussion wird häufig darauf hingewiesen, dass eine Steigerung der Effizienz des Rohstoff- und Materialeinsatzes neben der Reduktion von Umweltbelastungen und Kosten auch einen Beitrag zur Sicherung der Rohstoffversorgung leisten kann. Um die Wirkungen der Ressourceneffizienz auf die Versorgungssicherheit systematisch zu betrachten, unterscheidet die Analyse zwischen verschiedenen Ressourceneffizienzstrategien und Versorgungsrisiken.

Basierend auf produktionstheoretischen Grundlagen und Annahmen in Bezug auf das Substitutionspotential des Rohstoffs werden zwei einfache Fallunterscheidungen getroffen, in deren Rahmen die unterschiedlichen Effekte dann analysiert werden.

Insgesamt ergibt sich hierbei in Bezug auf die Auswirkungen der verschiedenen Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz auf die Versorgungssicherheit ein differenziertes Bild, das durch positive und neutrale Zielbeziehungen gekennzeichnet ist. Abschließend wird auf wichtige Voraussetzungen eingegangen, die in Bezug auf die jeweiligen Ressourceneffizienzstrategien erfüllt sein, damit die angestrebten positiven Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit realisiert werden können.

RohPolRess

Abbildungen

Abbildung 1:	Länderkonzentration (HHI), gewichtetes Länderrisiko (GLR) und Anteil der drei größten Produzentenländer (DERA 2012).	4
Abbildung 2:	Kritikalitätsmatrix.....	5
Abbildung 3:	Historische Entwicklung des weltweiten Abbaus nicht-energetischer mineralischer Rohstoffe, basierend auf Daten von Krausmann et al. (2009).	11
Abbildung 4:	Bewertung der Substitutionspotentiale von 62 Metallen (Graedel et al. 2013).	16
Abbildung 5:	Limitationale und substitutionale Produktionsfunktion	17

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Konzeptionelle Grundlagen	2
2.1	Versorgungssicherheit	2
2.1.1	Problemhintergrund	2
2.1.2	Begriffsdefinition, Ansätze zur Messung	5
2.1.3	Konkretisierung.....	7
2.2	Ressourceneffizienz.....	10
2.2.1	Problemhintergrund	10
2.2.2	Begriffsdefinition, Ansätze zur Messung	11
2.2.3	Konkretisierung.....	13
3	Analyse der Zielbeziehungen	13
4	Schlussfolgerungen	20
5	Literatur	22

Explorative Analyse der Zielbeziehungen zwischen Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit

1 Einleitung

In der aktuellen rohstoffpolitischen Diskussion wird häufig darauf hingewiesen, dass eine Steigerung der Effizienz des Rohstoff- und Materialeinsatzes neben der Reduktion von Umweltbelastungen und Kosten auch einen Beitrag zur Sicherung der Rohstoffversorgung leisten kann. Die EU-Kommission stellt beispielsweise in ihrer Mitteilung zur Europäischen Rohstoffinitiative fest: "Resource efficiency, recycling, substitution and the increased use of renewable raw materials should be promoted in view of easing the critical dependence of the EU on primary raw materials, reduce import dependency, and improve the environmental balance, as well as meeting industrial needs for raw materials" (COM (2008)699, S. 10). Der Schnittmenge zwischen den Zielen Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit kommt in der aktuellen politischen Diskussion eine große Bedeutung zu, da auf dieser Grundlage eine Brücke zwischen den vorliegenden politischen Initiativen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz einerseits und der Versorgungssicherheit andererseits geschlagen werden kann. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die folgenden Ausführungen auf die nichtenergetisch genutzten, mineralischen Rohstoffe.

Ausgangspunkt der Kurzanalyse ist die Beobachtung, dass die beiden Ziele Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit sehr unterschiedliche rohstoffpolitische Herausforderungen aufgreifen und in zum Teil als gegensätzlich eingestuften rohstoffpolitischen Diskursen verankert sind (Jacob et al. 2013, S. 3). Während die Bestrebungen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit vor dem Hintergrund einer wachsenden globalen Konkurrenz um den Zugang zu Rohstoffen, steigenden Rohstoffpreisen, unzureichender Markttransparenz und einer hohen Angebotskonzentration zu sehen sind, zielt die Ressourceneffizienz angesichts des weltweit steigenden Rohstoffverbrauchs und der damit verbundenen ökologischen Belastungen auf eine Senkung des relativen und/oder absoluten Rohstoffverbrauchs und eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Rohstoffverbrauch ab. Mit Blick auf die Vielschichtigkeit dieser Herausforderungen und in Anbetracht der Unterschiede in der inhaltlichen Ausrichtung sowie in der Umsetzung beider Ziele erscheint eine systematische Betrachtung der Voraussetzungen für die Entstehung der oben erwähnten Schnittmenge notwendig.

2 Konzeptionelle Grundlagen

2.1 Versorgungssicherheit

2.1.1 Problemhintergrund

In Deutschland und anderen Industriestaaten kam es in den vergangenen Jahren zu intensiven Diskussion über die Sicherheit der Versorgung mit nichtenergetisch genutzten, mineralischen Rohstoffen. Um ein besseres Verständnis für die Entstehung der aktuellen Problemsituation und den möglichen Beitrag politischer Strategien und Instrumente zur Überwindung dieser Probleme zu entwickeln, soll zunächst kurz auf einige grundlegende Charakteristika der Rohstoffmärkte eingegangen werden.

Zum einen sind viele Rohstoffmärkte durch eine hohe Konzentration des Angebots auf wenige marktmächtige Unternehmen gekennzeichnet. Eine der Ursachen hierfür sind die hohen *Markteintrittsbarrieren* des Rohstoffsektors, die insbesondere auf den hohen Kapitalbedarf und die finanziellen Risiken zurückgehen, die mit der Finanzierung neuer Bergbauprojekte verbunden sind. Zum anderen sind die starken Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten eine Folge von *Anpassungsstörungen*, die daraus resultieren, dass eine von den Anbietern nicht antizipierte Veränderung der Nachfrage nicht durch eine kurzfristige Anpassung der Produktionskapazitäten aufgefangen werden kann. Da für die Inbetriebnahme einer neuen Mine Vorlaufzeiten von zehn bis 15 Jahren benötigt werden, kann sich das Rohstoffangebot nur sehr langsam an einen starken Nachfrageanstieg anpassen. Der Abbau und die Veredelung von Rohstoffen sind in der Regel mit *negativen externen Effekten* verbunden. Die Produktionskosten der Unternehmen sind aufgrund der teilweisen Externalisierung sozialer und ökologischer Folgekosten zu niedrig, woraus tendenziell eine zu hohe Nachfrage der Gesellschaft nach Rohstoffen bzw. rohstoffintensiven Produkten resultiert, die mangels entsprechender Preissignale nicht korrigiert wird. In welchem Ausmaß von der Rohstoffproduktion negative externe Effekte auf Mensch und Natur ausgehen, wird von der Höhe der im Abbauland geltenden Umwelt- und Sozialstandards beeinflusst. Aus diesen Gründen sind staatliche und nicht-staatliche Ansätze gefragt, die auf nationaler und transnationaler Ebene eine Internalisierung der externen Effekte und eine höhere Transparenz in Bezug auf die Einhaltung von Sozial- und Umweltstandards anstreben.

Vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Charakteristika der Rohstoffmärkte seien die wesentlichen Entwicklungen, die in den vergangenen Jahren dazu geführt haben, dass die

Versorgungssituation bei einigen Rohstoffen als kritisch angesehen wird, an dieser Stelle kurz genannt (Vgl. Gandenberger et al. 2012):

- Der Anstieg der globalen Nachfrage nach Rohstoffen hat seit dem Jahr 2004 zu starken Preissteigerungen auf den Rohstoffmärkten geführt. Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist das hohe und sehr rohstoffintensive Wirtschaftswachstum Chinas.
- Eine hohe Konzentration der Rohstoffförderung und -veredelung auf einzelne Länder (vgl. Abb. 3) oder Unternehmen.
- Steigenden Nutzeranforderungen können Produkte in der Regel nur durch einen speziellen Materialmix gerecht werden, weshalb der Verfügbarkeit von Rohstoffen eine entscheidende Rolle für die Entwicklung und Produktion von Zukunftstechnologien zukommt. Eine rasche und unerwartete Diffusion solcher Technologien kann zu einer starken Erhöhung der Rohstoffnachfrage führen, auf die das Rohstoffangebot aufgrund der weiter oben beschriebenen Anpassungsstörungen nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung reagieren kann. Preissteigerungen und Lieferengpässe bei Rohstoffen können die Folgen einer solchen Entwicklung sein.

RohPolRes

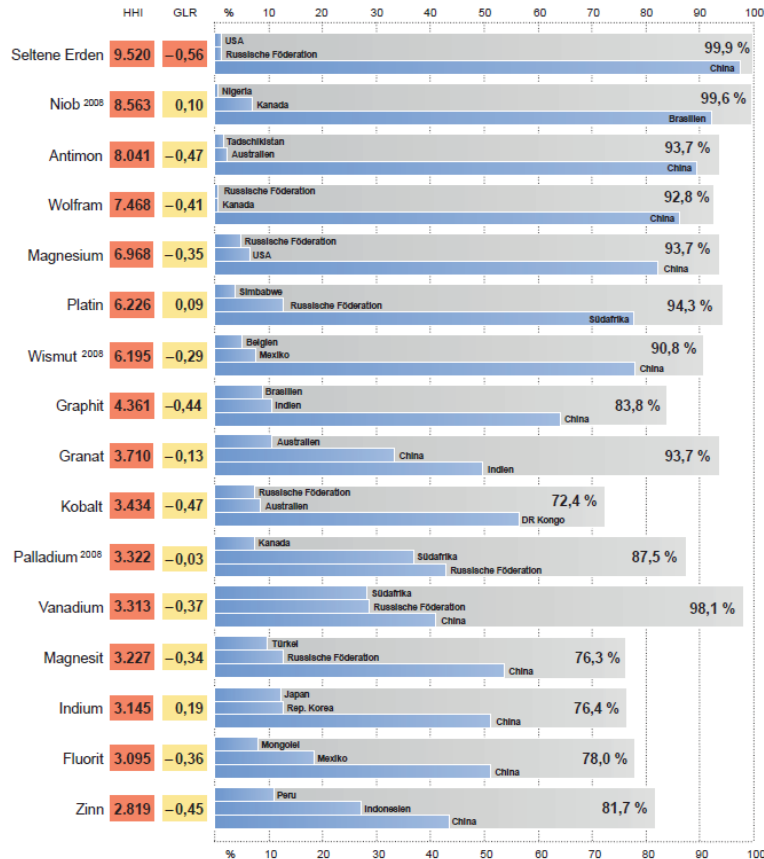


Abbildung 1: Länderkonzentration (HHI)¹, gewichtetes Länderrisiko (GLR)² und Anteil der drei größten Produzentenländer (DERA 2012).

Wenn Rohstoffknappheit, die Konzentration der Förderung und die ökonomische Bedeutung des Rohstoffs allesamt hoch ausgeprägt sind, kann dies zu konfliktgeladenen Beziehungen zwischen den Akteuren der Rohstoffmärkte führen, wie sie z. B. gegenwärtig zwischen der EU und China in Bezug auf den Zugang zu Seltenen Erden zu beobachten sind.

¹ Bei einem Wert von mehr als 2.500 Indexpunkten liegt eine hohe Marktkonzentration vor, eine moderate Marktkonzentration bei Werten zwischen 1.500 und 2.500, bei Werten kleiner 1500 kann der Markt als "nicht konzentriert" betrachtet werden (U.S. Department of Justice and Federal Trade Commission 2010).

² Zur Berechnung des gewichteten Länderrisikos (GLR) wird der HHI-Wert mit dem World Governance Index der Weltbank gewichtet. Vgl. hierzu das in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Vorgehen zur Berechnung des HHI_{WGI} .

2.1.2 Begriffsdefinition, Ansätze zur Messung

Der Begriff der Versorgungssicherheit wird im Rahmen der gegenwärtigen Diskussion überwiegend als Abwesenheit bzw. Vernachlässigbarkeit von Versorgungsrisiken interpretiert und in dieser Weise durch entsprechende Indikatoren operationalisiert. In der Regel wird das Versorgungsrisiko eines Rohstoffs nicht isoliert betrachtet, sondern im Zusammenspiel mit seiner ökonomischen Bedeutung. Ziel solcher Kritikalitätsbetrachtungen ist es, aus der Gesamtzahl der von einer Volkswirtschaft benötigten Rohstoffe solche zu identifizieren, deren Versorgungssituation als risikobehaftet angesehen wird und die gleichzeitig eine hohe ökonomische Bedeutung aufweisen. Hierauf aufbauend können dann zielgerichtete Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit dieser kritischen Rohstoffe ergriffen werden.

Wichtigstes Instrument zur Bewertung der Rohstoffkritikalität ist die in Abbildung 1 dargestellte zweidimensionale Kritikalitätsmatrix. Basierend auf der Bewertung des Versorgungsrisikos (vertikale Achse) und der Betroffenheit im Fall einer Versorgungsstörung (horizontale Achse) kann ein Rohstoff in dieser Matrix platziert werden, wobei die Kritikalität zunimmt, je weiter sich der Rohstoff in der oberen rechten Ecke der Matrix befindet.

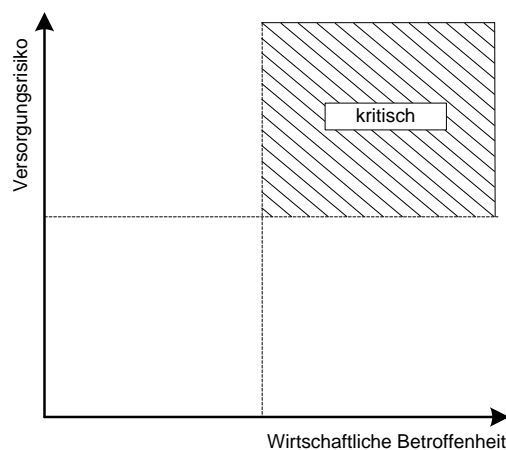


Abbildung 2: Kritikalitätsmatrix

Entsprechend der Zielsetzung der Kurzanalyse konzentrieren sich die weiteren Aussagen auf das Versorgungsrisiko (vertikale Achse).

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Studien veröffentlicht, die sich mit der Bewertung der Rohstoffkritikalität aus der Perspektive verschiedener Volkswirtschaften auseinandersetzen. Angesichts des begrenzten Umfangs der vorliegenden Kurzanalyse kann

RohPolRess

an dieser Stelle nicht näher auf die methodischen Unterschiede zwischen diesen Studien eingegangen werden.³ Stattdessen wird stellvertretend die Methode der von der EU-Kommission eingesetzten "Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials" erläutert, an der – neben Vertretern anderer Mitgliedsstaaten – auch Vertreter der Bundesregierung beteiligt waren.⁴ Als Begründung für diese Auswahl kann angeführt werden, dass die Arbeiten der Working Group ein fester Bestandteil der Europäischen Rohstoffinitiative sind und eine vergleichsweise hohe politische Bedeutung haben, da die Ergebnisse für zahlreiche rohstoffpolitische Initiativen auf nationaler und europäischer Ebene herangezogen werden.

Das Versorgungsrisiko wird von der Arbeitsgruppe auf drei unterschiedlichen Ebenen betrachtet. Es wurde zwischen geologischer, technischer und geopolitisch-wirtschaftlicher Verfügbarkeit unterschieden. Hierbei folgt die Arbeitsgruppe der Annahme, dass das Versorgungsrisiko im betrachteten Zeithorizont von 10-15 Jahren in erster Linie von der Konzentration der Produktion auf Länder mit Governancedefiziten beeinflusst wird. Des Weiteren war es der Arbeitsgruppe für die Einschätzung des Versorgungsrisikos wichtig, in welchem Umfang der Rohstoffbedarf durch Recycling gedeckt werden kann und ob für die wichtigsten Anwendungen des Rohstoffs Substitute zur Verfügung stehen, da diese Faktoren zu einer Senkung des Versorgungsrisikos beitragen. Dementsprechend wurde das Versorgungsrisiko anhand der folgenden Indikatoren eingeschätzt (EU 2010, EU 2014):

- Konzentration der Förderung auf Länderebene (Herfindahl-Hirschmann-Index)⁵;
- Qualität der Regierungsführung in den Förderländern (World Governance Index der Weltbank);
- Anteil des Rohstoffverbrauchs, der aktuell durch Sekundärrohstoffe gedeckt wird;
- Indikator für das Substitutionspotential in den wichtigsten Anwendungen des Rohstoffs.

³ Vgl. hierzu Achzet/Helbig (2013) und Gandenberger et al. (2012).

⁴ Auf der Grundlage dieser Methode hat die Arbeitsgruppe im Jahr 2010 ihren ersten Bericht vorgelegt, der im Jahr 2014 aktualisiert wurde.

⁵ Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) wird durch das Aufsummieren der quadrierten Anteile aller Förderländer an der weltweiten Jahresförderung des Rohstoffs berechnet.

Diese vier Elemente wurden zusammengeführt, um einen Index zu bilden, mit dessen Hilfe alle betrachteten Rohstoffe möglichst transparent hinsichtlich ihres Versorgungsrisikos verglichen werden können.

$$\text{Versorgungsrisiko von Rohstoff } i = (1 - \rho_i) \sigma_i HHI_{WGI} \quad (1)$$

Wobei gilt:

$$\sigma_i = \sum_s A_{is} \sigma_{is} \text{ und } HHI_{WGI} = \sum_c (S_{ic})^2 WGI_c$$

Mit:

- ρ_i Anteil am Rohstoffverbrauch, der durch Sekundärrohstoffe gedeckt wird (Recycling von Produktionsabfällen wird nicht berücksichtigt) – Werte von 0 bis 1
- A_{is} Anteil des Sektors s am Gesamtverbrauch von Rohstoff i – Werte von 0 bis 1
- σ_{is} Geschätzte Substituierbarkeit des Rohstoff i in Sektor s – Werte 0 bis 1; ein Wert von 0 signalisiert eine vollständige Substituierbarkeit ohne Kostenanstieg
- S_{ic} Anteil von Land c an der Weltproduktion von Rohstoff i – Werte von 0 bis 100
- WGI_c World Governance Index von Land c – Werte von 0 bis 10 (linear skaliert von den ursprünglichen Werten der Weltbank; von 0 bis 10 verschlechtert sich das Rating)

Hierbei ist zu beachten, dass die Formel für das Versorgungsrisiko nur den Aspekt der Angebotskonzentration und die damit verbundene Marktmacht sowie Governancedefizite der Förderländer als Risikofaktoren aufgreift. Diese Risiken können durch eine hohe Substituierbarkeit in den verschiedenen Anwendungen des Rohstoffs und/oder eine hohe Recyclingrate reduziert werden, wobei in Bezug auf die Versorgung mit Sekundärrohstoffen eine risikofreie Versorgung aus Europa unterstellt wird.

Im ersten Bericht der Arbeitsgruppe wurde zur Beurteilung des Versorgungsrisikos für jeden Rohstoff anhand der Environmental Performance Index auch das Umweltrisiko des Landes berücksichtigt, in dem der Rohstoff gefördert wird.

2.1.3 Konkretisierung

Der in Kapitel 2.1.2 beschriebene Ansatz zur Messung des Versorgungsrisikos verfolgt die Zielsetzung anhand von überwiegend quantitativen Indikatoren zu einer möglichst transparenten Bewertung des Versorgungsrisikos für eine Vielzahl von Rohstoffen zu gelangen.

RohPolRess

Die relativ ausführliche Darstellung der Methode in Kapitel 2.1.2 hat den Zweck, den Zusammenhang zwischen Versorgungsrisiko und Kritikalität deutlich zu machen sowie die von der Arbeitsgruppe betrachteten Einflussfaktoren auf das Versorgungsrisiko zu veranschaulichen.

Basierend auf einer Analyse der rohstoffpolitischen Debatte in der deutschen Politik, Wirtschaft und Gesellschaft lässt sich jedoch feststellen, dass unter dem (Ober-)Begriff des Versorgungsrisikos noch weitere Risiken diskutiert werden, die von der Methode der Arbeitsgruppe bisher nicht oder nur teilweise erfasst werden, wie z. B. Preisvolatilität, Markt-intransparenz, Diskriminierung des Zugangs zu Rohstoffen, etc. (Gandenberger et al. 2012). Um im weiteren Verlauf der Kurzanalyse die Auswirkungen der Ressourceneffizienz auf das Versorgungsrisiko umfassend diskutieren zu können, müssen diese Risiken nach Möglichkeit einbezogen werden. Daher wird im Folgenden eine einfache und für die weitere Analyse zielführende Typologie angestrebt, die ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Versorgungsrisiken abdeckt.

Neben den Risiken steigender und volatiler Rohstoffpreise zählt die DERA im Rückgriff auf Publikationen des BDI (2010), der Commerzbank (2011) und des DIHK (2012) folgende Risiken für den Import rohstoffintensiver bzw. -sensitiver Vorprodukte auf (DERA 2012, S. 8):

- „Hohe Weltrohstoffpreise setzen die Wettbewerbsfähigkeit deutscher, vor allem klein- und mittelständischer, Unternehmen der verarbeitenden Industrie unter Druck
- Internationale Konkurrenten haben gegebenenfalls einen Vorteil durch besseren Zugang zu Rohstoffquellen
- Auftretende Lieferengpässe bei einzelnen Rohstoffen und Spezialitäten bei hoher Importabhängigkeit mit Gefahr der Abwanderung von Unternehmen der verarbeitenden Industrie ins Ausland
- Pünktliche Rohstofflieferungen stehen in Frage
- Steigende Konkurrenz auf den internationalen Rohstoffmärkten, bei denen sich deutsche Unternehmen den globalen Entwicklungen ausgeliefert sehen
- Nutzung von Rohstoffreichtum in Ländern oder bei Firmen als machtpolitisches Instrument
- Wettbewerbsverzerrungen auf den internationalen Rohstoffmärkten wie Exportquoten und Ausfuhrzölle behindern den freien Handel
- Rohstoffmärkte sind komplex und schwer zu erfassen.“

Um die Bedeutung der verschiedenen Teilrisiken für die Privatwirtschaft vergleichend einschätzen zu können, kann auf eine Unternehmensbefragung des DIHK aus dem Jahr 2012 zurückgegriffen werden. Diese kommt zu dem Ergebnis, dass für 93 % der befragten Industrieunternehmen (ohne den Bausektor) die steigenden Rohstoffpreise ein Problem von zunehmender Relevanz darstellen. Von 78 % der Industrieunternehmen wird die Volatilität der Rohstoffpreise und von 68 % die Rohstoffverfügbarkeit als ein Problem mit wachsender Bedeutung betrachtet (DIHK 2012).

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion sollen die bisher genannten Risiken analytisch auf zwei grundlegenden Risikotypen zurückgeführt werden. Die Typenbildung orientiert sich an den potentiellen Auswirkungen der unterschiedlichen Versorgungsrisiken auf das rohstoffbeschaffende Unternehmen. Diese können sich zum einen in Rohstoffpreiserhöhungen niederschlagen, die die relative Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens gegenüber der Konkurrenz und/oder die Rentabilität des Unternehmens gefährden. Zum anderen müssen Risiken bezüglich der physischen Verfügbarkeit von Rohstoffen berücksichtigt werden. Zur Unterscheidung dieser beiden Risikotypen eignen sich die beiden Begriffe "relative" und "absolute" Knappheit, die aus der umweltökonomischen Theorie stammen (Faber et al. 1994).

Unter dem Risiko der "relativen" Knappheit werden verschiedene Risiken zusammengefasst, die sich in Form von starken Steigerungen der Rohstoffpreise niederschlagen, die wiederum die Wettbewerbsfähigkeit und/oder die Rentabilität des Unternehmens gefährden können. Die physische Verfügbarkeit des Rohstoffs wird durch diese Preisrisiken jedoch nicht beeinträchtigt. Unter dem Begriff der "absoluten" Knappheit werden Risiken zusammengefasst, die die physische Verfügbarkeit eines Rohstoffs beeinträchtigen können, wie z. B. Lieferstopps, -engpässe oder -verzögerungen. Derartige Risiken können z. B. aus einer hohen Konzentration der Rohstoffförderung auf Staaten mit Governance-Defiziten resultieren und z. B. durch politische Krisen, soziale Unruhen, Streiks, Unfälle oder den Ausfall wichtiger Infrastrukturen ausgelöst werden. Eine weitere denkbare Ursache für das Eintreten einer absoluten Knappheitssituation könnte die (industrie-)politisch motivierte Verknappung von Rohstoffexporten sein. Die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse für die Konzentration der Förderungen auf Länderebene und das gewichtete Länderrisiko verdeutlicht – ebenso wie die Umfrageergebnisse des DIHK – die Relevanz dieses Risikotyps z. B. für die Rohstoffe Seltene Erden, Niob, Antimon, Wolfram, Magnesium, Platin oder Wismut.

2.2 Ressourceneffizienz

2.2.1 Problemhintergrund

Der Verbrauch mineralischer Rohstoffe für nicht-energetische Zwecke ist mit Umweltbelastungen verbunden, die die Abbau-, die Weiterverarbeitungs-, die Nutzungs- und die Entsorgungsphase betreffen können. Selbst für ein und denselben Rohstoff können sich die Umweltbelastungen stark voneinander unterscheiden, je nachdem in welcher Region der Rohstoff abgebaut wurde, welche Technologien bei Abbau und Weiterverarbeitung eingesetzt wurden und für welche Anwendungen der Rohstoff genutzt wird. Daher sind auf dieser Betrachtungsebene nur generelle Hinweise auf die ökologische Problemsituation möglich, vor deren Hintergrund Ressourceneffizienz als Lösungsstrategie entstanden ist.

In der Abbauphase können Umweltbelastungen u. a. durch den Flächenverbrauch des Bergbaus, Eingriffe in den Wasserhaushalt, Emissionen in Boden, Wasser und Luft und einen Verlust von Biodiversität entstehen. Die Weiterverarbeitung von Erzen zu Metallen ist in der Regel ein sehr energieintensiver Prozess, der mit entsprechend hohen Emissionen an Treibhausgasen verbunden ist; Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 7 % des weltweiten Energieverbrauchs vom Metallsektor verursacht werden. Während der Nutzungsphase können Umweltbelastungen durch dissipative Emissionen von Metallen und deren Akkumulation in natürlichen Senken entstehen (UNEP 2010). Neben diesen auf lokaler, regionaler und globaler Ebene auftretenden Umweltbelastungen, die durch eine Reduktion des Rohstoffverbrauchs verringert werden können, soll der Verbrauch endlicher Primärrohstoffvorkommen auch vor dem Hintergrund des Ziels der inter- und intragenerativen Gerechtigkeit reduziert werden, um Menschen in Entwicklungsländer und kommenden Generationen die gleichen Nutzungschancen zu ermöglichen. Konsequenterweise ist ein effizienter Umgang mit Rohstoffen bzw. Ressourcen ein zentraler Bestandteil der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2012).

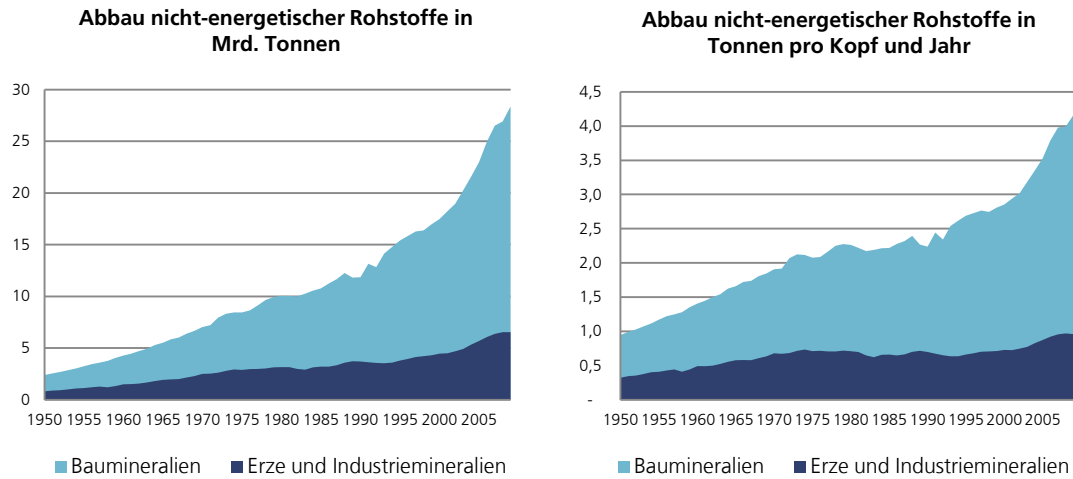


Abbildung 3: Historische Entwicklung des weltweiten Abbaus nicht-energetischer mineralischer Rohstoffe, basierend auf Daten von Krausmann et al. (2009).

Ausgelöst durch den anhaltenden Anstieg der Weltbevölkerung und den steigenden Lebensstandard der Bevölkerung in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern ist die globale Nachfrage nach Rohstoffen in den vergangenen Jahrzehnten stark gestiegen (vgl. Abbildung 3) und für viele Schwellenländer kann in den nächsten Jahren eine Annäherung an den hohen Rohstoffverbrauch der Industrieländer erwartet werden. Auf der Angebotsseite kam es in den vergangenen Jahren zu einer Verlagerung der Bergbauaktivitäten von den Industrieländern in Richtung Schwellen- und Entwicklungsländer, deren Umweltstandards häufig niedriger sind als die der Industrieländer (UNEP 2011). Des Weiteren haben der technologische Fortschritt, die Erschöpfung attraktiver Lagerstätten sowie die administrativen und finanziellen Hürden für die Inbetriebnahme neuer Minen dazu geführt, dass in zunehmendem Maße auch Vorkommen mit geringeren Erzgehalten abgebaut werden. Von beiden Entwicklungen, der Verlagerung des Bergbaus in Schwellen- und Entwicklungsländer und dem Abbau von Vorkommen mit geringeren Erzgehalten wird eine Zunahme der ökologischen Belastungen durch den Bergbau erwartet (UNEP 2011).

2.2.2 Begriffsdefinition, Ansätze zur Messung

Die Bundesregierung hat in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel formuliert, die Rohstoffproduktivität Deutschlands bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 1994 zu verdoppeln (Bundesregierung 2012). Die Rohstoffproduktivität beschreibt das Verhältnis von Brutto-

RohPolRess

wertschöpfung zu eingesetzter Tonne Primärmaterial. Dem Konzept des Domestic Material Input (DMI) folgend werden hierbei die im Inland entnommenen Rohstoffe und die Importe von Rohstoffen, Halb- und Fertigwaren mit ihrem Gewicht erfasst, um den Primärmaterialverbrauch zu ermitteln. Durch die Einbeziehung des Rohstoffverbrauchs, der für die Produktion der nach Deutschland importierten Halb- und Fertigwaren benötigt wurde (indirekte Rohstoffimporte), wurde der Indikator in den vergangenen Jahren weiterentwickelt. Die Rohstoffproduktivität ist der Kehrwert der Rohstoff- bzw. der Ressourceneffizienz, die an dieser Stelle im Vordergrund steht.

Die methodischen Grundlagen und Prinzipien zur Messung der Ressourceneffizienz werden durch die VDI Richtlinie 4800, Blatt 1 konkretisiert, die derzeit im Gründruck vorliegt. Laut VDI Richtlinie kann Ressourceneffizienz durch folgende Formel ausgedrückt werden, bei der es sich um eine Konkretisierung des ökonomischen Prinzips handelt:

$$\text{Ressourceneffizienz} = \frac{\text{Nutzen (Produkt, Funktion, funktionale Einheit)}}{\text{Aufwand (Einsatz von Naturressourcen)}} \quad (2)$$

Der Nutzen entsteht durch die Erfüllung einer Funktion (z. B. Beleuchtung eines Raumes), die physikalisch quantifiziert (z. B. Lichtstrom in Lumen pro Zeiteinheit) und in einen entsprechenden Referenzfluss übertragen werden kann (z. B. zur Erfüllung der Funktion werden x Gramm Energiesparlampe mit bestimmter Materialzusammensetzung und y kWh Strom aus einem bestimmten Produktionsmix benötigt). Grundsätzlich soll zur Bestimmung des Ressourceneinsatzes der gesamte Lebensweg des Produkts erfasst werden, d. h. von der Rohstoffgewinnung (inklusive der nicht verwerteten Entnahmen) über die Herstellungs- und Nutzungsphase bis zur Entsorgung. Als Ressourcen gelten nach dieser Konvention die erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärrohstoffe, Energieressourcen, Luft, Wasser, Fläche, Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen (VDI 4800).

Anhand der Formel wird deutlich, dass Ressourceneffizienz durch verschiedene Strategien und Maßnahmen umgesetzt werden kann. Diese können (a) auf eine Minimierung des Ressourceneinsatzes bei Konstanz des Nutzens, (b) auf eine Maximierung des Nutzens bei Konstanz des Ressourceneinsatzes oder (c) auf die Optimierung des Verhältnisses beider Größen abzielen. Eine absolute Verringerung des Rohstoffverbrauchs ist nur möglich, wenn die Reduktion des Rohstoffverbrauchs pro Nutzeneinheit nicht durch eine steigende Nachfrage kompensiert wird (Rebound-Effekt).

2.2.3 Konkretisierung

Ausgehend von Formel (2) können die verschiedenen Strategien zur Erhöhung der **Resourceneffizienz** danach unterschieden werden, ob sie darauf abzielen, den Nutzen eines Produkts oder einer Dienstleistung zu erhöhen (den Zähler zu vergrößern) oder den Ressourceneinsatz zu reduzieren (den Nenner zu verkleinern). Für die weitere Analyse wird folgende Systematik von Resourceneffizienzstrategien vorgeschlagen, um eine differenzierte Betrachtung der Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit zu ermöglichen.

1. Strategien zur Erhöhung des Nutzens

- i) Steigerung der Nutzungsintensität, z. B. durch Produkt-Dienstleistungs-Systeme
- ii) Verlängerung der Nutzungsdauer
 - (1) Verlängerung der technischen Produktlebensdauer, z. B. Beschichtungen, Reparaturfreundlichkeit
 - (2) Verlängerung der Produktnutzungsdauer, z. B. modularer Aufbau, zeitloses Design, Möglichkeit von Software-Updates
- iii) Wiederverwendung nach Ende der Nutzungsphase

2. Strategien zur Verringerung des Aufwands bzw. des (Primär-) Rohstoffeinsatzes

- iv) Recycling
- v) Rohstoff- bzw. Materialsubstitution (Verwendung von Rohstoffen bzw. Materialien, die bei einer Lebenswegbetrachtung zu geringeren Umweltbelastungen führen)
- vi) Rohstoff- bzw. Materialeinsparungen (Verringerung des Rohstoff- bzw. Materialeinsatzes ohne Substitution durch Veränderung des *Produkts*, z. B. Leichtbauweise, Miniaturisierung, oder des *Produktionsprozesses*, z. B. Minimierung des Bearbeitungsvolumens, Verminderung von geplantem Verlust und geplantem Ausschuss, Optimierung von Fertigungsprozessen und Lagerhaltung)

3 Analyse der Zielbeziehungen

Ausgehend von der in der öffentlichen Diskussion häufig vorgetragenen These, dass die Steigerung der Resourceneffizienz einen Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit leisten kann, konzentriert sich die Analyse der Zielbeziehungen auf diesen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Theoretisch denkbar sind hierbei positive, neutrale oder negative Zielbeziehungen. Da Unternehmen bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Resourceneffizienz eine zentrale Rolle spielen und da auch die Sicherung der

RohPolRess

Rohstoffversorgung zunächst im Aufgabenbereich von Unternehmen liegt, setzt die Analyse auf der Unternehmensebene an.

Die Kurzanalyse dient hierbei in erster Linie der Veranschaulichung der Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie der Klärung der Voraussetzungen für das Zustandekommen der angestrebten positiven Zielbeziehungen. Im Vordergrund steht der Beitrag zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge, nicht die abschließende Bewertung einzelner Strategien.

Um die Auswirkungen verschiedener Ressourceneffizienzstrategien auf die Versorgungssicherheit zu veranschaulichen, soll auf produktionstheoretische Grundlagen und hierbei insbesondere die Grundlagen der Produktionsfunktion zurückgegriffen werden. Eine Produktionsfunktion gibt den quantitativen Zusammenhang zwischen den zur Leistungserstellung einzusetzenden Produktionsfaktoren und dem Output der Produktion wieder. Unter der Prämisse, dass für die Produktion des Outputs nur die beiden Rohstoffe A und B als Produktionsfaktoren benötigt werden, sollen an dieser Stelle zur besseren Veranschaulichung zwei *idealtypische* Produktionsfunktionen (siehe Abb. 6) betrachtet werden (Vgl. z. B. Schierenbeck 1995):

- Die limitationale Produktionsfunktion unterstellt ein technisch bindendes Einsatzverhältnis der Rohstoffe untereinander.
- Die substitutionale Produktionsfunktion unterstellt, dass bei konstanter Ausbringungsmenge eine Verringerung der Einsatzmenge von Rohstoff A durch eine Erhöhung der Einsatzmenge von Rohstoff B ausgeglichen werden kann. Die Outputmenge kann durch die Erhöhung der Einsatzmenge eines Faktors und Konstanz des anderen Faktors gesteigert werden.

Von der Produktionstheorie wird die substitutionale Produktionsfunktion aufgrund der Prämisse der vollkommenen Substituierbarkeit als wenig geeignet angesehen, um die Realität im Unternehmen zu beschreiben (Schierenbeck 1995). Da der Substitution sowohl als Strategie zur Erhöhung der Ressourceneffizienz als auch als Strategie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit aber eine wichtige Rolle zukommt, soll die substitutionale Produktionsfunktion an dieser Stelle dennoch betrachtet werden.

Die Frage der Substituierbarkeit ist nicht nur konstitutiv für die Unterscheidung zwischen limitationaler und substitutionaler Produktionsfunktion, sondern spielt auch für die differenzierte Betrachtung der Risiken absoluter und relativer Knappheit eine wichtige Rolle. Daher ist es an dieser Stelle sinnvoll, der Analyse einige Anmerkungen zu den verschiede-

nen Ebenen der Substitution vorzuschicken und kurz auf die Ergebnisse von Studien zum Substitutionspotential von Rohstoffen einzugehen, die vor dem Hintergrund der Diskussion um die Kritikalität von Rohstoffen erstellt wurden.

Grundsätzlich kann Substitution auf der Ebene des *Rohstoffs* (Rohstoff A statt Rohstoff B in Anwendung x zur Erfüllung der Funktion z), der *Anwendung* (Erfüllung der Funktion z durch Anwendung y, die auf den Rohstoffen C und D basiert) oder der *Funktion* erfolgen, die diese Anwendung erfüllt (Substitution der Funktion w durch die nutzenäquivalente Funktion z). Zur Veranschaulichung ein Beispiel: Aus den Rohstoffen Neodym (30-33 Gew. %), Eisen (66-69 Gew. %) und Bor (ca. 1 Gew. %) werden leistungsstarke Nd-Fe-B Permanentmagnete (Anwendungsebene) hergestellt, um im eigenerregten Generator einer Windkraftanlage ein Magnetfeld zu erzeugen (Funktionsebene). Auf der Funktionsebene könnte der eigenerregte Generator durch einen fremderregten Generator substituiert werden. Falls die ursprüngliche Funktion beibehalten werden soll, könnte auf der Anwendungsebene anstatt des Nd-Fe-B-Magneten ein Samarium-Cobalt-Magnet genutzt werden. Substitution auf der rohstofflichen Ebene würde bedeuten, dass z. B. Neodym durch Praseodym ersetzt wird.

Die vorliegenden Studien zur Bewertung der Substitutionspotentiale von Rohstoffen (Graedel et al. 2013; Tercero et al. 2014) beschränken sich vorwiegend auf die Analyse und Bewertung der Substitutionspotentiale auf rohstofflicher Ebene. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass verallgemeinerbare Aussagen zu den Substitutionspotentialen auf der Anwendungs- oder Funktionsebene schwer möglich sind. Außerdem setzen diese zuweilen radikale Innovations sprünge voraus, die sich zum einen kaum prognostizieren lassen und die zum anderen vermutlich erst bei einem mittel- bis langfristigen Zeithorizont Einfluss auf das Versorgungsrisiko haben werden.

Graedel et al. (2013) kommen ausgehend von ihrer Analyse der Substitutionspotentiale von 62 Metallen zu dem Schluss, dass einige der Massenmetalle (z. B. Aluminium, Zink) in ihren wichtigsten Anwendungsfeldern ein relativ hohes Substitutionspotential aufweisen, jedoch sind die Substitutionspotentiale anderer Massenmetallen, wie z. B. bei Kupfer, Chrom oder Mangan, und bei zahlreichen der "kleineren" Rohstoffe begrenzt. Die zentrale Schlussfolgerung von Graedel et al. (2013, S. 4) lautet daher: "Therefore, one might say that facile substitution as a generic solution to supply risk fails in every case. There are considerable nuances and interpretations in our analysis, and one should be cautious of universal statements, but it seems very clear that substitution in the face of metal scarcity is not a general panacea."

RohPolRess

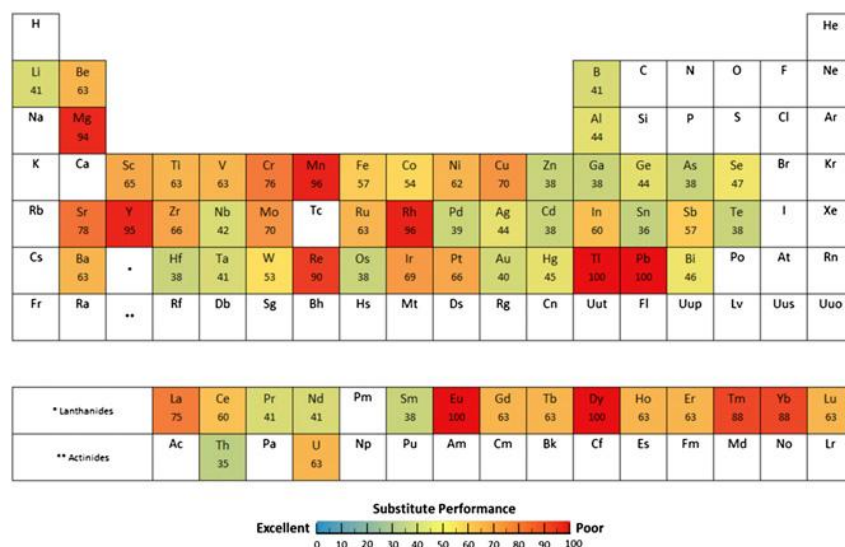


Abbildung 4: Bewertung der Substitutionspotentiale von 62 Metallen (Graedel et al. 2013).⁶

Die vorliegenden Erkenntnisse können vor dem Hintergrund unserer Analyse so interpretiert werden, dass aufgrund des begrenzten Substitutionspotentials bei zahlreichen Rohstoffen die limitationale Produktionsfunktion die Realität in vielen Unternehmen bei kurz- bis mittelfristiger Perspektive recht gut zu beschreiben scheint. Allerdings gibt es auch einige Rohstoffe mit hohem Substitutionspotential und es gibt im Unternehmen gegebenenfalls die Möglichkeit einer Substitution auf Ebene der Anwendung oder der Funktion, wenn entsprechende Investitionen getätigt werden.

Ausgehend von diesen Anmerkungen zur Substitution werden die Auswirkungen der weiter können die in Kapitel 2.2.3 genannten Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf die Versorgungssicherheit nun auf der Grundlage der folgenden Fallunterscheidungen diskutiert.

⁶ Die Ergebnisse sind auf seiner Skala von 0 bis 100 skaliert. Ein Wert von 0 bedeutet, dass für das Element in allen Anwendungen Substitute vorhanden sind. Ein Wert von 100 signalisiert, dass für keine Anwendung ein Substitut mit auch nur annähernd gleicher Leistung existiert.

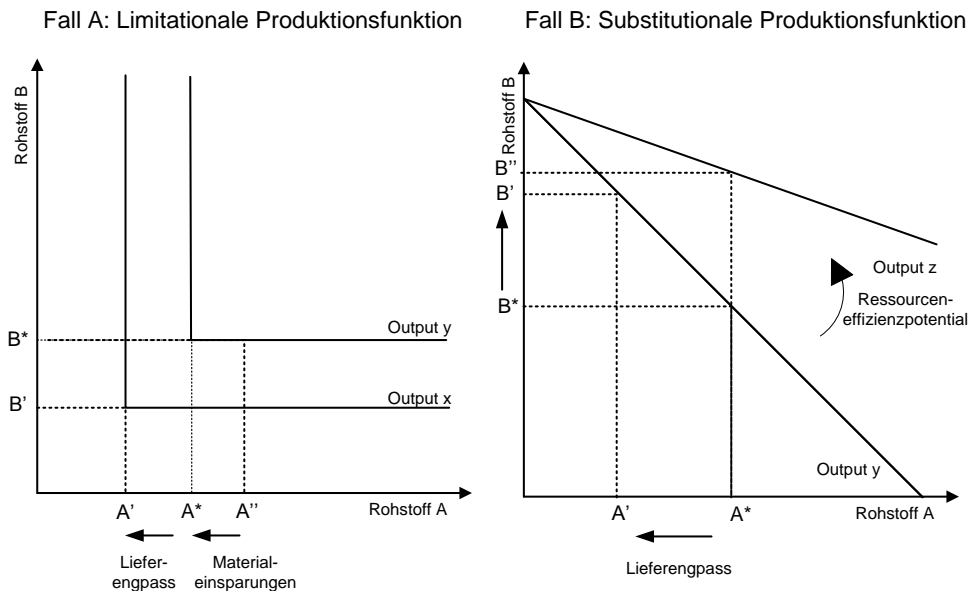


Abbildung 5: Limitationale und substitutionale Produktionsfunktion

Fall A: Limitationale Produktionsfunktion

Von den in Kapitel 2.2.3 genannten Ressourceneffizienzstrategien steht die Strategie der Rohstoffsubstitution (v) in diesem Fall zumindest bei einem kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont der Betrachtung nicht zur Verfügung. Daher werden im Folgenden nur die Auswirkungen der Materialeinsparung (vi), des Recyclings (iv) und der Strategien zur Erhöhung des Nutzen (i-iii) auf die Risiken absoluter und relativer Knappheit analysiert.

Wenn sich die Produktion bei A^*/B^* im betriebswirtschaftlich-technischen Optimum befindet, würde ein Lieferengpass bei Rohstoff A, d.h. A^* sinkt z. B. auf A' , dazu führen, dass der Output von Menge y auf Menge x fällt, da für die Produktion von y nicht genügen Rohstoffe zur Verfügung stehen. Gesetzt den Fall, dass sich die Produktion nicht im Optimum A^* befindet, sondern aufgrund vorhandener Ineffizienzen im Unternehmen die Menge A'' eingesetzt wird, kann der Rohstoffeinsatz durch Materialeinsparungen so lange reduziert werden bis A^* erreicht ist. Jedoch wird zur Aufrechterhaltung des Produktionsniveaus y zwingend A^* benötigt und wenn aufgrund von Lieferengpässen $A < A^*$, kann der Output y nicht mehr erzielt werden und fällt auf das Niveau x. Es wird deutlich, dass die Strategie der Materialeinsparung (vi) im Fall eines Lieferengpasses (Risiko "absoluter" Knappheit) dann einen Beitrag zur Aufrechterhaltung des Produktionsniveaus y leisten

RohPolRess

kann, wenn gilt $A'' > A^*$, d. h., wenn im Unternehmen Ineffizienzen vorliegen, *und* wenn $A \geq A^*$, d. h. wenn die physisch verfügbare Menge an Rohstoffen aufgrund von Lieferengpässen zwar leicht abnimmt (von A'' auf A^*), aber nicht die Menge A^* unterschreitet. Bei $A < A^*$ müsste der Output reduziert werden mit entsprechenden Konsequenzen für Umsatz und Ertrag des Unternehmens.

Unabhängig hiervon kann durch Ressourceneffizienz das Risiko von Preissteigerungen ("relative" Knappheit) gesenkt werden, wenn dem Effekt steigender Rohstoffpreise durch eine entsprechende Reduktion der benötigten Rohstoffmenge entgegengewirkt werden kann.

Durch Recycling (iv) kann die Versorgungssicherheit erhöht werden, wenn das Versorgungsrisiko des Sekundärrohstoffs kleiner ist als das des Primärrohstoffs. Analog kann die Ressourceneffizienz durch Recycling erhöht werden, wenn die durch die Produktion des Sekundärrohstoffs ausgelösten Umweltbelastungen kleiner sind als bei der Produktion des Primärrohstoffs.

Die in Kapitel 2.2.3 genannten Strategien zur Erhöhung des Nutzens der produzierten Güter (i-iii) können zu einer Erhöhung der monetären Bewertung des Outputs bei konstantem Rohstoffeinsatz führen. Hiervon bleibt das Risiko einer absoluten Knappheit auf Unternehmensebene unberührt, da sich die benötigte Menge an Rohstoffen und ihr Einsatzverhältnis nicht verändert. Die negativen Auswirkungen von Rohstoffpreissteigerungen können aber eventuell verringert werden, wenn durch die Erhöhung des Nutzens pro Outputeinheit höhere Umsätze und Gewinne erwirtschaftet werden.

Unabhängig hiervon besteht die Möglichkeit, durch Investitionen in neue Produktionstechnologien das technisch bedingte Verhältnis von Rohstoffeinsatz zu Output so zu verändern, dass z. B. im neuen Optimum die Kombination A'/B' ausreichen würde, um den Output y zu produzieren. Eine derartige Investition könnte für das Unternehmen angesichts veränderter Rahmenbedingungen auf den Rohstoffmärkten attraktiv werden und zu einer Steigerung von Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit beitragen.

Fall B: Substitutionale Produktionsfunktion

Ebenso wie bei der limitationalen Produktionsfunktion befindet sich in diesem Fall die Produktion bei A^*/B^* im betriebswirtschaftlich-technischem Optimum.

Wenn nun aufgrund eines Lieferengpasses (absolute Knappheit) die verfügbare Menge von Rohstoff A von A^* auf A' sinkt, kann dieser Effekt z. B. durch eine Erhöhung des Ein-

satzes von Rohstoff B von B^* auf B' kompensiert werden, ohne dass die Outputmenge y verringert werden muss. Allerdings können sich hierdurch negative Auswirkungen auf Umsatz und Ertrag ergeben, wenn Rohstoff B teurer ist als Rohstoff A oder wenn die Produktqualität durch den vermehrten Einsatz von Rohstoff B sinkt. Analog kann den Auswirkungen einer Preiserhöhung (relative Knappheit) bei Rohstoff A durch einen vermehrten Einsatz von Rohstoff B entgegengewirkt werden, solange dieser preiswerter ist.

Die Ressourceneffizienz lässt sich in diesem Fall auf verschiedenen Wegen steigern. Im einfachsten Fall, wenn z. B. die über den gesamten Lebensweg entstehenden Umweltbelastungen von Rohstoff A größer sind als die Umweltbelastung durch Rohstoff B, kann durch die Substitution von Rohstoff A durch Rohstoff B die Ressourceneffizienz gesteigert werden. Unter der Voraussetzung, dass dieser Effekt eintritt und gleichzeitig das Versorgungsrisiko von Rohstoff A größer ist als von Rohstoff B, trägt die Substitution von A durch B zur Erhöhung von Versorgungssicherheit und Ressourceneffizienz bei.

Die Ressourceneffizienz könnte auch durch die Investition in eine neue Produktionstechnologie realisiert werden, die beispielsweise den Output bei der Rohstoffkombination A^*/B'' auf das Niveau z steigert. Graphisch kann diese Option durch die in Abb. 6 dargestellte Drehung der Produktionsfunktion im Schnittpunkt mit der y -Achse entgegen dem Uhrzeigersinn veranschaulicht werden. In der Begrifflichkeit der in Kapitel 2.2.3 aufgeführten Ressourceneffizienzstrategien handelt es sich hierbei um eine Materialeinsparung, die als ressourceneffizient bezeichnet werden kann, wenn der durch die Steigerung des Outputs von y auf z erzielte Nutzengewinn größer ist als die zusätzlichen Umweltbelastungen, die durch den Anstieg von B^* auf B'' verursacht werden. Allerdings tritt in diesem Beispiel der Effekt ein, dass sich der Rohstoff B infolge der Veränderung der Produktionstechnologie bei einem Lieferengpass oder einer Preissteigerung wesentlich schwerer durch A substituieren lässt als vor der Veränderung der Produktionstechnologie. Positive Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit stellen sich im Gesamteffekt daher vermutlich nur dann ein, wenn das Versorgungsrisiko von B wesentlich kleiner ist als das von A.

In Bezug auf das Recycling gelten die in Fall A getroffenen Aussagen, dass durch Recycling (iv) die Versorgungssicherheit erhöht werden kann, wenn das Versorgungsrisiko des Sekundärrohstoffs kleiner ist als das des Primärrohstoffs. Analog kann die Ressourceneffizienz durch Recycling erhöht werden, wenn die durch die Produktion des Sekundärrohstoffs ausgelösten Umweltbelastungen kleiner sind als bei der Produktion des Primärrohstoffs.

Bezüglich der Strategien zur Erhöhung des Nutzens gelten ebenfalls die im Fall A getroffenen Aussagen.

4 Schlussfolgerungen

Insgesamt ergibt sich in Bezug auf die Analyse der Auswirkungen der verschiedenen Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz auf die Versorgungssicherheit auf der Unternehmensebene ein differenziertes Bild, das durch überwiegend positive und neutrale Zielbeziehungen gekennzeichnet ist.

Eine **Substitution** auf rohstofflicher Ebene lässt sich heute bei einigen Rohstoffen und ihren Anwendungen realisieren. Zudem ergeben sich Substitutionsmöglichkeiten auf der Anwendungs- und Funktionsebene. Allerdings muss bei der Suche nach Substitutionsmöglichkeiten auf den verschiedenen Ebenen den Anforderungen "Versorgungssicherheit" und "Ressourceneffizienz" gleichermaßen Rechnung getragen werden, wodurch die Komplexität z. B. im Bereich der Materialforschung deutlich steigt. Bei einem mittel- bis langfristigen Zeithorizont kann davon ausgegangen werden, dass durch Veränderungen der Produktionstechnologie sowie Fortschritt in den Bereichen Forschung und Entwicklung neue Substitutionsmöglichkeiten entstehen werden.

Für die Rohstoffe mit derzeit geringem Substitutionspotential stehen als kurz- bis mittelfristige umsetzbare Maßnahmen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Versorgungssicherheit die Strategien Materialeinsparungen, Recycling und Nutzensteigerung (i-iii) zur Verfügung.

Materialeinsparungen können die negativen Auswirkungen von Lieferengpässen nur dann verringern, wenn das Unternehmen bisher ineffizient mit seinen Rohstoffen umgegangen ist. Wenn die für eine effiziente Produktion erforderliche Rohstoffmenge aufgrund eines sich verschärfenden Engpasses oder eines Lieferstopps nicht mehr beschafft werden kann, muss der Output reduziert werden, was Einbußen bei Umsatz und Ertrag nach sich ziehen kann. Materialeinsparungen können dagegen eine effektive Strategie zur Senkung des Risikos von Preissteigerungen sein, wenn der Effekt steigende Rohstoffpreise durch eine entsprechende Reduktion der benötigten Rohstoffmenge kompensiert wird.

Die Strategie der Materialeinsparung leistet demnach einen positiven Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit, wenn man der Meinung ist, dass in den Unternehmen noch große, bislang ungenutzte Potentiale zur Erhöhung der Effizienz des Materialeinsatzes vorhanden sind. In diesem Fall könnten durch entsprechende Maßnahmen, wie z. B. dem Ausbau der staatlichen Förderprogramme zur betrieblichen Effizienzberatung, die negativen Auswirkungen steigender Rohstoffpreise und das Risiko leichter Lieferengpässe begrenzt werden. Zudem besteht auf Unternehmensebene die Möglichkeit, durch Investitio-

nen in neue Produktionstechnologien die Effizienz des Materialeinsatzes deutlich zu steigern und gleichzeitig das Versorgungsrisiko zu senken.

Recycling ist grundsätzlich eine geeignete Strategie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und zur Erhöhung der Ressourceneffizienz. In vielen Kritikalitätsstudien wird eine risikolose Versorgung mit Sekundärrohstoffen aus Deutschland oder Europa unterstellt. Angesichts offener Märkte und der globalen Konkurrenz um den Zugang zu Sekundärrohstoffen sowie der preislichen Kopplung von Primär- und Sekundärrohstoffmärkten sollte im Einzelfall genau geprüft werden, ob diese Voraussetzung tatsächlich erfüllt ist und durch welche politischen und unternehmerischen Initiativen gegebenenfalls bestehende Versorgungsrisiken reduziert werden können.

Die Auswirkungen der verschiedenen Strategien zur **Erhöhung des (Produkt-)Nutzens**, z. B. durch Verlängerung der Produktnutzungsdauer, auf die Versorgungssicherheit lassen sich an dieser Stelle nur schwer abschätzen, da keine generelle Aussage dazu gemacht werden können, wie hierdurch die Nachfrage nach Rohstoffen beeinflusst wird. Auf der Unternehmensebene könnte die Erhöhung des Produktnutzens dazu beitragen, den negativen Auswirkungen steigende Rohstoffpreise auf den Gewinn entgegenzuwirken, allerdings müsste die Nutzensteigerung von den Konsumenten durch eine höhere Zahlungsbereitschaft honoriert werden. Auf volkswirtschaftlicher Ebene könnte der Effekt eintreten, dass durch die Erhöhung des Nutzens pro Rohstoffeinheit auch der absolute Rohstoffverbrauch zurückgeht, wenn es nicht zu Rebound-Effekten kommt.

Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen dieser Kurzanalyse der Zusammenhang zwischen Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit lediglich explorativ und aus der Unternehmensperspektive betrachtet wurde. Es sind weitere Analysen notwendig, um die aufgezeigten Zusammenhänge zu erhärten und um den gesamtwirtschaftlichen Effekten stärker Rechnung zu tragen.

5 Literatur

Achzet, B.; Helbig, C. (2014): How to evaluate raw material supply risks – an overview, Resources Policy 38, 435-447.

BDI (Bundesverband der deutschen Industrie) (2010): Für eine strategische und ganzheitliche Rohstoffpolitik. BDI-Strategiepapier zur Rohstoffsicherheit. Berlin

Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie - Fortschrittsbericht 2012, Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Berlin

EU COM 699(2008): The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe, Brussels

Commerzbank (2011): Rohstoffe und Energie: Risiken umkämpfter Ressourcen – Unternehmerperspektiven. Frankfurt am Main

DERA (2012): DERA Rohstoffliste 2012. Angebotskonzentration bei Metallen und Industriemineralen - Potentielle Preis- und Lieferrisiken. Berlin

DIHK (Deutsche Industrie- und Handelskammer) (2012): Energie und Rohstoffe für morgen; Ergebnisse IHK-Unternehmensbarometer 2012. Deutscher Industrie- und Handelskammertag Berlin, Brüssel

Dorner, U. et al. (2014): Frühwarnindikatoren und Rohstoffrisikobewertung – Methodischer Überblick am Beispiel Antimon, Commodity TopNews, 43, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

EU (2014): Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. Brüssel.

EU (2010): Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. Brüssel

Faber, M.; Manstetten, R.; Müller, G. (1994): Interdisziplinäre Umweltforschung aus ökonomischer Sicht, in: Naturwissenschaften Nr. 81, S. 193-199.

Gandenberger, C. et al. (2012): Die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Roh- und Wertstoffen für Hochtechnologien - Präzisierung und Weiterentwicklung der deutschen Rohstoffstrategie, TAB-Arbeitsbericht Nr. 150, Berlin

Graedel, T. et al. (2013): On the materials basis of modern society, PNAS.

Jacob, K. et al. (2013): Schlüsselfragen der Ressourcenpolitik in der kommenden Legislaturperiode: Ein Zwischenruf aus der Wissenschaft. Policy Paper 3 im Projekt Ressourcenpolitik: Analyse der ressourcenpolitischen Debatte und Entwicklung von Politikoptionen (PolRess).

Krausmann et al. (2009): Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* 68(10), 2696-2705.

Schierenbeck, H. (1995): *Grundzüge der Betriebswirtschaft*, 12. überarbeitete Auflage, München.

Tercero Espinoza, Luis; Hummen, Torsten; Brunot, Aymeric; Hovestad, Arjan; Joce, Catherine; Peña Garay, Iratxe et al. (2013): *Critical Raw Materials Substitution Profiles*. Deliverable D3.3 of CRM_InnoNet (Critical Raw Materials Innovation Network). Project cofunded by the European Commission 7th RTD Programme.

UNEP (2011): *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel*.

UNEP (2010): *Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management*.

U.S. Department of Justice and the Federal Trade Commission (2010): *Horizontal Merger Guidelines*. URL: <http://www.justice.gov/atr/public/guidelines/hmg-2010.pdf> (Abruf v. 28.07.2014).

VDI 4800: *Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien*, Blatt 1, Entwurfsversion, Düsseldorf.