

Einzelanalyse der Kritikalität von Seltenerdmetallen und damit verbundenes Risiko für die europäische Industrie

Jaroni, M. S. (1); Friedrich, B. (2)

Rare earth elements (REEs) play a significant role in many future technologies, such as electromobility, wind power, or catalyzers. To date there are no technical and/or economically viable substitutes for many REEs and a number of their applications. The manufacturing industry, including production and reprocessing activities in Europe, depends highly on these valuable raw materials. However, in 2013 more than 90% of REEs were mined in China. The resulting dependency entails a risk to the economic welfare of both companies and some national economies is difficult to calculate. With analysis on criticality of raw materials (i.a. REE) this risk can be classified. Whereby criticality is defined dependent on supply risk and economic importance/vulnerability. In earlier studies on REE criticality, REE were typically classified as a group or in two subgroups (light and heavy). But conducting an assessment of new deposits requires a precise breakdown of the ores and differentiated tracking, and development of the individual REEs present. Recognizing these requirements, a proprietary methodology for assessing REE criticality on an individual basis was developed based on the methods used in current studies on criticality. Following an initial filtering of REEs based on economic significance, 10 REEs were analyzed in detail in terms of industrial importance and supply risk. This analysis involved looking at various criteria, such as their weighting in the European economy, substitutability, dependence on China, and recycling. Then, five REEs – dysprosium, neodymium, europium, terbium, and yttrium – were classified as critical metals. Dysprosium and neodymium are especially critical, as they are used primarily in the strongly growing area of magnet production and no potential substitutes are known at this time. Foreseeable demand outpaces the current foreseeable future supply of both metals. Europium, terbium, and yttrium are used for the most part in fluorescent lighting, a strongly developed market. Additionally, shortages and significant continuing dependency on China is evident for all three metals, which means that the supply risk through 2020 should be estimated as high.

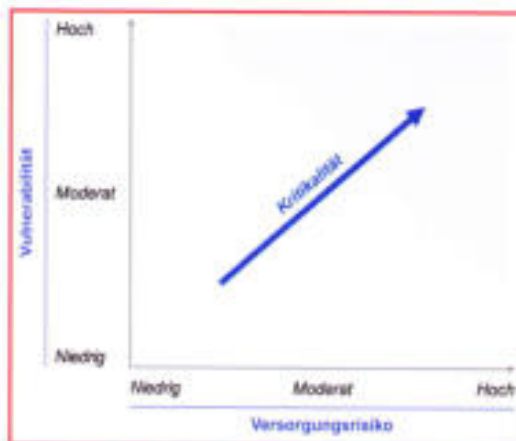


Bild 1: Allgemeine Darstellung der Kritikalität bei Rohstoffen nach [6]

Rohstoffkritikalität

Die Bedeutung von SEE ist für viele Zukunftstechnologien von hoher Bedeutung beispielsweise für die Elektromobilität, Windkraftanlagen oder auch Katalysatoren. Für viele SEE und viele ihrer Anwendungen gibt es bisher keine technisch und/oder wirtschaftlich nutzbaren Substitute. Die verarbeitende Industrie, die auch in Europa produziert und weiterverarbeitet, ist somit stark abhängig von den wertvollen Rohstoffen. Im Jahr 2013 wurden jedoch mehr als 90 % der Seltene Erdmetalle in China gefördert, was zu einer starken Abhängigkeit führt. Diese Abhängigkeit

bedeutet sowohl für Unternehmen, aber auch für einzelne Volkswirtschaften und ihre ökonomische Wohlfahrt ein schlecht kalkulierbares Risiko. [9]

Dieses Risiko wird methodisch durch die sogenannte Kritikalität der SEE bewertet. Ziel ist es, die kritischsten und damit wichtigsten SEE herauszufiltern und sodie Grundlage zu schaffen, die Preisentwicklung dieser besonders kritischen Metalle besser bewerten zu können. Die Kritikalität kann definiert werden als das Versorgungsrisiko in Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Bedeutung. Je höher das Versorgungsrisiko und je höher die wirtschaftliche Bedeutung desto höher wird die Kritikalität des Rohstoffs eingeordnet.

Die Idee der Kritikalität in Bezug auf Rohstoffe wurde bereits Mitte des 20. Jahrhunderts von der amerikanischen Regierung verwendet. Rohstoffe, die vor allem für Wehrtechnologie von Bedeutung waren, wurden eingelagert, somit konnte eine geopolitische Unabhängigkeit gewährleistet werden. Seit Ende des kalten Krieges wird die militärische Bedeutung der Bevorratung kritischer Metalle immer mehr von wirtschaftlichen, politischen oder technischen Gründen verdrängt. Auch die rein nationale Sicht auf die Kritikalität wird verdrängt von globaler und ganzheitlicher Betrachtung der Auswirkungen von Versorgungsengpässen. [1] [6]

Die generelle Beschreibung der Kritikalität ist in Bild 1 dargestellt, wobei die Kritikalität eines Metalls einerseits bei steigendem Versorgungsrisiko und andererseits mit steigendem Ausmaß an Auswirkungen eines Lieferausfalls oder auch Vulnerabilität steigt.

Das Versorgungsrisiko kann dabei durch verschiedene Faktoren steigen, hierbei sind technologische, geopolitische, wirtschaftliche aber auch Umwelt- und Sozial-Faktoren zu beachten. Auswirkungen eines Lieferausfalls werden durch Faktoren wie beispielsweise Substitute, Abhängigkeit der Supply Chain von pünktlicher Lieferung, etc. beeinflusst. Die objektive Darstellung des Versorgungsrisikos kann dabei gewährleistet werden und ist mit Zahlen und Fakten hinterlegt. Das Ausmaß der Auswirkungen eines Lieferausfalls (Vulnerabilität) kann jedoch stark von der Nutzergruppe des Metalls und dessen Lagerbeständen, der vorhandenen 'Second Sourcing Strategie' oder anderen individuellen Faktoren abhängen und somit deutlich unterschiedlich sein.

Autor	Titel der Studie	Jahr
1 European Kommission	Critical raw materials for the EU	2014
2 KfW Bank	Kritische Rohstoffe für Deutschland	2011
3 U.S. Department of Energy	Critical Materials Strategy	2011
4 Design in an Era of Constrained Resources	General Electric	2008
5 Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy	National Research Council	2008

Ausführlich untersucht und beschrieben

Tabelle 1: Allgemeine Darstellung der Kritikalität bei Rohstoffen nach [6]

Studien der letzten Jahre

In den letzten Jahren wurden Studien von unterschiedlichen Instituten zur Rohstoffkritikalität erstellt. Eine Übersicht über wichtige Studien ist in Tabelle 1 dargestellt. Die aktuellste Studie wurde 2014 von der europäischen Kommission veröffentlicht. Die NRC (National Research Council) Studie von 2008 lieferte die grundlegenden Ideen zur Kritikalitätsbewertung. Alle Studien analysieren weit mehr als nur SEE, meist werden neben Metallen, auch Industriemineralien, Erden und/oder Steine nach ihrer Kritikalität bewertet. SEE werden dabei meist als eine Gruppe 'Seltene-Erden' zusammengefasst oder in zwei Gruppen 'leichte SEE' und 'schwere SEE' eingeteilt, jedoch nicht auf Einzelbasis untersucht. Deshalb bieten diese Studien zwar gute Anhaltspunkte für die Methodik der Kritikalitätsbewertung, jedoch wird im Weiteren für eine differenzierte Betrachtung eine auf einzelne SEE zugeschnittene Methodik auf Grundlage der hier im Detail beschriebenen Studien entwickelt. Dazu werden die drei jüngsten Studien (Nr. 1-3 in Tabelle 1) zur Kritikalität von SEE detailliert betrachtet und analysiert.

Eine Studie zur Kritikalität von Rohstoffen in der EU wurde erstmal 2010 durchgeführt. Motivation dieser Studie und auch der darauffolgenden EU-initiierten Studien zur Kritikalität sind die wachsende Bedeutung von strategischen Rohstoffen, deren Versorgung nur über nicht EU-Staaten gewährleistet werden kann, von denen jedoch Unternehmen in der EU stark abhängig sind. Die aktuelle Studie der EU aus dem Jahr 2014 ('Critical raw materials for the EU') baut auf dieser erste Studie von 2010 auf. Dabei werden in der 2014er Studie über 45 nicht-Agrar und nicht-Energie Rohstoffe untersucht und auf ihre Kritikalität überprüft. Hierbei werden insgesamt 20 Rohstoffe als kritisch eingestuft, wobei

sowohl die leichten Seltenen Erden als auch die schweren Seltenen Erden, jeweils als Gruppe zusammengefasst, als für die EU kritische Metalle eingeschätzt werden. Scandium wird hierbei nicht den SEE zugeordnet, sondern als einzelnes Metall gesondert betrachtet; Scandium wird als nicht kritisch angesehen. Es wird separat betrachtet und anders bewertet als leichte und schwere SEE, da die Produktion (Lagerstätten) und auch die Anwendungen von Scandium nicht direkt verlinkt sind mit den anderen SEE. [5]

Wie in Bild 2 dargestellt wird methodisch grundsätzlich die Kritikalität durch die Dimensionen Versorgungsrisiko ('supply risk') und wirtschaftliche Bedeutung ('Economic importance') beschrieben.

Die wirtschaftliche Bedeutung wird in der vorliegenden EU-Studie gemessen, indem die Anwendungen jedes einzelne Metalls anteilig aufgeschlüsselt (z.B. Lanthan ca. 44 % Katalysatoren, 26 % in Batterien, 10 % in Metallurgie/Legierungen, 5 % in Glas-additive usw.) und dann in einem nächsten Schritt diese Anwendungsgruppen jeweils einem sogenannten Industrie-Megasektor (wie beispielsweise 'Electronics' oder 'Mechanical Equipment') zugeordnet werden. In einem dritten Schritt wird aus der Bedeutung der Industriesektoren, anhand des Anteils der Bruttowertschöpfung (GVA – gross value added) des Sektors, auf das europäische GDP und das zu erwartende Wachstum in diesen Megasektoren auf die Bedeutung des jeweiligen Metalls zurückgeschlossen. Als großer Vorteil dieser Methode zur Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung wird die Fokussierung auf den Einfluss der betrachteten Metalle auf die europäische Herstellungs-Industrie ('manufacturing economy'), und das unabhängig einer Bewertung von Preis sowie Marktgröße des jeweiligen Metalls, genannt.

Das Versorgungsrisiko wird zu einem großen Teil durch die Steuerung/Gover-

nance in den Versorgungsländern, also hier China, und die geographische Konzentration und damit Abhängigkeit von einzelnen Ländern bestimmt. Die Governance der Versorgungsländer und das damit verbundene Risiko wird mit Hilfe des 'World Governance Index' (WGI) in die Bewertung einbezogen, dabei werden Themen wie Korruption, Rechtsstaatlichkeit, politische Stabilität, etc. berücksichtigt. Als zusätzlicher Filter für das Versorgungsrisiko werden die Faktoren Substituierbarkeit und Recyclingrate der Metalle analysiert, wobei auf Expertenbefragungen und vorangegangene Studien zum Recycling zurückgegriffen wird. Dabei wirkt sich eine höhere Recyclingrate positiv (ohne weite Risiken anzunehmen) auf das Versorgungsrisiko aus. Jedem Metall wird eine End-of-Life Recyclingrate zugeordnet, wobei bei den SE-Metallen von einer momentanen Recyclingrate von weniger als 1 % ausgegangen wird. Chancen für eine mögliche Verbesserung der Recyclingrate werden am ehesten für Per-



Bild 2: EU Kommission - Methodik zur Einschätzung der Kritikalität der Rohstoffe nach [5]

manentmagneten, NiMH Batterien und Lichtanwendungen (Phosphors) genannt. Auch die Möglichkeit einer Substitution eines Metalls bei annähernd gleicher Performance und Kosten wirkt positiv auf das Versorgungsrisiko. Dazu wird jede Anwendung (z.B. FC-Katalysatoren), die SEE enthält, nach der Substituierbarkeit dieser Metalle bewertet. [5]

Eine Beschreibung der verschiedenen Bewertungskriterien für jedes einzelne SEE wurde in einem zusätzlichen 'Profil'-Dokument veröffentlicht. [4] Betrachtete Kriterien sind die geographische Angebotssituation, die wirtschaftliche Bedeutung, Ressourcen-Effizienz und Recycling sowie ein Ausblick zur Entwicklung des Angebots und der Nachfrage. Von den



Bild 3: Methodik der Kritikalitätsbewertung aus der Studie „Kritische Rohstoffe für Deutschland“ nach [3]

15 betrachteten SEE werden die Elemente Holmium, Thulium, Ytterbium und Lutetium als Gruppe zusammengefasst und ihnen wird keine weitere wirtschaftliche Bedeutung zugemessen. Aus wirtschaftlicher Sicht besonders bedeutend („strategic resource“) sind hingegen die Elemente Europium, auf Grund der unersetzlichen Verwendung in energieeffizienten Leuchtmitteln, und Dysprosium, als wichtiges Metall zur Herstellung von leistungsstarken Permanentmagneten für Direktantriebe (z.B. Windturbinen). Bei den leichten SEE Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym und Gadolinium wird ein Überangebot gegenüber der Nachfrage bis 2020 vorausgesetzt. Daraus kann zum einen geschlossen werden, dass das Versorgungsrisiko aus Sicht der möglichen geforderten Mengen gering ist, jedoch nur, wenn die möglichen Versorgerländer zuverlässige Partner/Lieferanten sind. Das Versorgungsrisiko kann also auch trotz vorhergesagtem Überangebot auf Grund der momentanen Abhängigkeit von China nicht vollständig mitglitiert werden. [4]

In der zweiten Studie „Kritische Rohstoffe für Deutschland“, die 2011 im Auftrag der KfW Bank erstellt wurde, wird ebenfalls das Versorgungsrisiko und die Vulnerabilität als Matrix aufgespannt und durch Analyse weiterer Unterkriterien eine Einschätzung der Kritikalität für verschiedene Rohstoffe gegeben (vgl. Bild 3). Dabei werden die SEE als Gruppe zusammengefasst. Die Vulnerabilität wird in die Mengenrelevanz und in strategische Relevanz eingeteilt. Die Mengenrelevanz wird durch drei Kurzrisikofaktoren gemessen, Deutschlands Anteil am Weltverbrauch (Bedeutung eines Rohstoffs für die verarbeitende Industrie in Deutschland), Änderung des Anteils am Weltverbrauch (Verbrauchstendenz) und die Entwicklung der Importe nach Deutschland. Bei der Strategischen Relevanz werden die heutige und zukünftige Wertschöpfung und die Substituierbarkeit der Rohstoffe betrachtet. Gemessen wird dies durch die drei Mittel- bis Langrisikofaktoren, Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland, globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien und Substituierbarkeit. Bei der Sensitivität der Wertschöpfungskette in Deutschland wird der Ansatz der EU-Studie über Megasektoren als nicht hinreichend bewertet und daher auf semantische Indikatoren, die eine potenzielle Breitenwirkung auf die deutsche Wirtschaft bei einer Rohstoffkrise bewerten, zurückgegriffen.

Das Versorgungsrisiko wird in die Unterkriterien Länder-, Markt- und Strukturrisiko eingeteilt. Beim Länderrisiko wird die Abhängigkeit von Ländern mit instabilen politischen oder wirtschaftlichen Systemen bewertet. Dabei werden die Länderrisiken in kurzfristige Risiken, wie Risiken in Hauptquellenländern für Importe nach Deutschland sowie Risiken für die globale Produktion, und mittel-/langfristige Risiken, wie die Konzentration in globalen Reserven, mit einbezogen. Im Marktrisiko gehen die Faktoren Unternehmenskonzentration (kurzfristig) und das Verhältnis von globalen Reserven zur globalen Produktion (mittel-/langfristig) ein. Mit dem Strukturrisiko werden die technischen Restriktionen der Rohstoffe bewertet; zum einen die Recyclingfähigkeit und des Weiteren die Gewinnung als Neben- bzw. Hauptprodukt. [3]

Bei der Untersuchung „Kritische Rohstoffe für Deutschland“ werden 52 untersuchte Rohstoffe, darunter neben Metallen auch einige Industriemineralien, Steine sowie Erden, in sechs Bereiche eingeteilt. Die SEE werden in die Kategorie V eingeordnet, die beschrieben wird mit „Hohe Kritikalität (hohes Versorgungsrisiko, hohe Vulnerabilität)“ [3]. Abgegrenzt wird dieser

Bereich zu Bereich IV als mittlere Kritikalität und Bereich VI als sehr hohe Kritikalität (Germanium, Rhenium und Antimon). Begründet wird die Einteilung durch den gestiegenen Verbrauch in Deutschland (2004-2008), die Bedeutung der SEE für Zukunftstechnologien, die hohe Sensibilität der Wertschöpfungskette sowie die Risiken durch die Abhängigkeit von China und von wenigen Unternehmen. [3]

In der Untersuchung des amerikanischen Energieministeriums (U.S. Department of Energy) aus dem Jahre 2011 wurden 16 strategisch wichtige Metalle („key materials“) darunter neun SEE nach ihrer Kritikalität untersucht. [8] Dazu wurde das Versorgungsrisiko gegenüber der Bedeutung dieser Metalle für Saubere-Energie-Technologien gestellt. Unter Saubere-Energie-Technologien werden fünf zukunftsweisende Technologien mit hoher Energieeffizienz oder zur Substitution von fossilen Energien verstanden. Neben der Bedeutung der analysierten Metalle in Technologien für erneuerbaren Energien aus Solarstrom, und dabei im speziellen die Nutzung der Metalle für Photovoltaik Dünnschichten, und Windenergie (Magneten in Windturbinen) wird des Weiteren die Bedeutung der untersuchten Metalle in Fahrzeugbatterien und – magneten, Fluid Cracking Catalysts (FCC) sowie in energieeffizienten Leuchtstoffen (z.B. LEDs) bewertet. Da es sich bei den genannten Technologien - Permanentmagneten, Batterien, Katalysatoren und Leuchtstoffe - um die Hauptanwendungsfelder der SEE handelt, kann die Gegenüberstellung des Versorgungsrisikos und der Bedeutung der SEE für diese Saubere-Energie-Technologien auch als allgemeine Annäherung zur Beschreibung der wirtschaftlichen Kritikalität, also des Versorgungsrisiko in Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Bedeutung des jeweiligen Metalls herangezogen werden. [7] [8]

Methodisch wird die Kritikalität nach den beiden Oberkategorien „Bedeutung für Saubere-Energie-Technologien“ und nach dem Versorgungsrisiko bewertet (vgl. Bild 4). Unter „Bedeutung für saubere Energien“ werden zwei Kriterien bewertet, zum einen die Nachfrage nach den Hauptanwendungen in sauberen Energien (Magnete, Batterien und Leuchtstoffe) und darüber hinaus eine mögliche Substitution der SEE. Die zweiten Oberkategorie „Versorgungsrisiko“ wird in fünf Unterkriterien eingeteilt. Das Wichtigste dabei ist die allgemeine Ver-

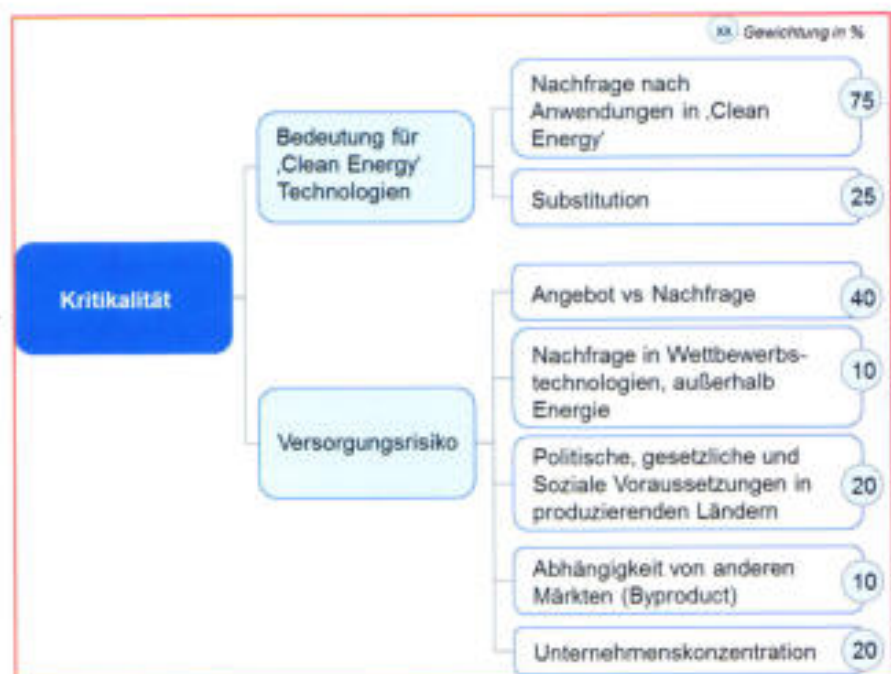


Bild 4: Methodik der Kritikalitätsuntersuchung des U.S. Department of Energy 2011 nach [8]

fugbarkeit des Elements und die Entwicklung der Verfügbarkeit, hierbei werden Faktoren wie neue Lagerstätten, globale Reserven und mögliches Recycling mit berücksichtigt. In der zweiten Kategorie wird die Nachfrage nach den SEE in Technologien, neben Energie, mit einbezogen. Des Weiteren wird auch die politische, gesetzliche und soziale Lage der produzierenden Länder, also bisher meist China, in die Untersuchung mit aufgenommen. Im vierten Kriterium wird die Abhängigkeit von anderen Märkten bewertet, beispielsweise von Anwendungen von anderen Wertmetallen im gleichen Erz, die einen Abbau so wirtschaftlich attraktiver machen. Im letzten Kriterium wird die Unternehmenskonzentration bei der Produktion von SEE bewertet. [8]

Demnach bewertet das amerikanische Energieministerium kurz- und mittelfristig fünf Seltene Erdelemente als Metalle mit hoher Kritikalität – Dysprosium, Europium, Neodym, Terbium und Yttrium. Die leichten SEE Cer, Lanthan, Praseodym und Samarium werden mit einem moderaten Versorgungsrisiko eingeordnet und mittelfristig auch nur geringe bis moderate wirtschaftliche Bedeutung in effizienten Energietechnologien zugemessen. Die SEE Scandium, Gadolinium, Erbium, Ytterbium, Holmium, Lutetium und Thulium werden aufgrund ihrer aus Sicht des amerikanischen Energieministeriums wirtschaftlich untergeordneten Rolle nicht betrachtet. [8]

Bei Betrachtung der detaillierten Analyse zu den fünf definierten kritischen SEE werden einige Gemeinsamkeiten deutlich. Gemeinsam ist die Bedeutung für Saubere-Energie-Technologie. Des Weiteren haben alle fünf kritischen SEE gemein, dass sie nicht oder nur sehr limitiert substituierbar sind und zudem die Nachfrage für die energieeffizienten Anwendungen dieser Metalle (hier im Besonderen Magnete und energieeffiziente Leuchtmittel) als steigend eingeschätzt wird. Die steigende Nachfrage kombiniert mit den nicht vorhandenen Substituten führt daher zu einer hohen Bedeutung bei den Sauberen-Energie-Technologien. Das hohe Versorgungsrisiko wird in der Studie durch die geringe Diversität der Produzenten – bisher mehr als 90 % in chinesischer Hand – und zudem durch die voraussichtlichen Schwierigkeiten für neue Minen, die in den nächsten Jahren mit der Produktion starten wollen, begründet. So werden politische, soziale und umwelttechnische Herausforderungen für neue Minen in den USA und Australien in der Analyse berücksichtigt. Zudem wird mit einbezogen, dass besonders die schweren SEE in den momentan am weitest fortgeschrittenen Minenprojekten nur in sehr geringen Mengen vorliegen und somit keine signifikanten zusätzlichen Mengen auf dem Markt zu erwarten sind. Des Weiteren wird die allgemein geringe Menge, besonders der Elemente Dysprosium, Europium und

Terbium, in den meist vorliegenden Erzen berücksichtigt.

Auswahl Fokusmetalle mit Hilfe Kritikalitätsmatrix

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den beschriebenen Studien zu einer vollständigen Übersicht über mögliche Risiken zusammengeführt. Zusätzlich werden aktuelle Entwicklungen der jeweiligen Metalle ergänzt, wodurch eine eigene Kritikalitätseinschätzung durchgeführt wird und somit eine eigene Kritikalitätsmatrix für SEE erstellt werden kann.

Grobanalyse aller SEE und Ausschluss durch Funnellogik

Zuerst werden mit Hilfe einer Funnellogik die SEE ausgeschlossen und damit nicht weiter untersucht, denen industriell keine weitere Bedeutung zukommt und eine solche auch nicht absehbar ist. Zudem werden diese identifizierten Metalle dann in einem zweiten Schritt noch einmal nach einem möglichen zukünftigen Defizit im Angebot überprüft, so dass keine SEE ausgeschlossen werden, die zwar nur in sehr geringen Mengen industriell genutzt werden, die jedoch möglicherweise trotzdem einem Unterangebot unterliegen könnten. In der Studie des amerikanischen Energieministeriums (im Folgenden als Studie 1 bezeichnet) werden nur neun SEE untersucht. Ohne weitere Begründung werden sieben SEE von der Studie ausgeschlossen und zwar Gadolinium, Erbium, Yttrium, Holmium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Im Vergleich dazu werden in der Studie der europäischen Kommission (im Folgenden als Studie 2 bezeichnet) alle SEE außer Promethium (Halbwertszeit von 17,7 Jahren) analysiert. Hierbei wird den Elementen Holmium, Thulium, Ytterbium, Lutetium sowie Samarium keine wirtschaftliche Bedeutung beigemessen, da die Elemente Holmium, Thulium, Ytterbium und Lutetium nur in sehr geringen Mengen (zusammen weniger als 75 Tonnen im Jahr) verwendet werden und zusätzlich ein deutliches Überangebot an diesen Rohstoffen herrscht, was sich bis 2020 noch weiter verstärken wird. Dadurch sind diese vier Elemente im ersten Schritt wirtschaftlich unbedeutend und auch im zweiten Schritt des Funnels durch ein deutliches Überangebot gekennzeichnet, somit werden diese von der weiteren Detailanalyse ausgeschlossen. Da diese SEE auch in der Studie

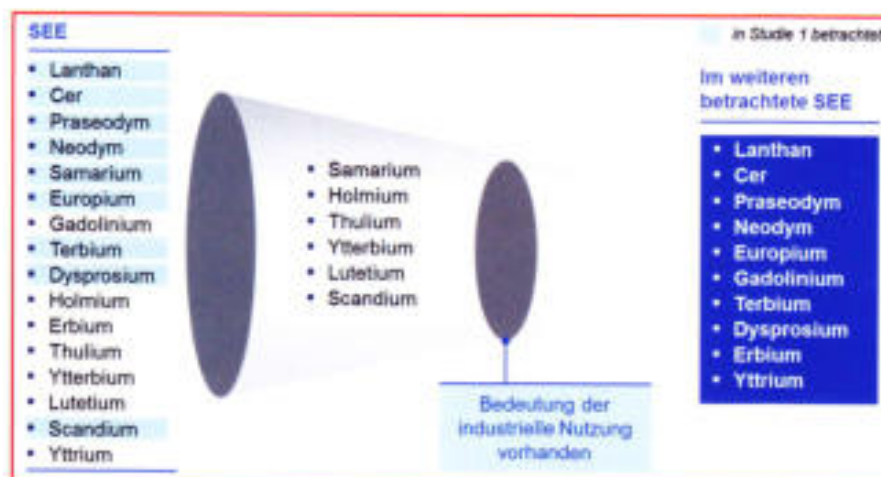


Bild 5: Identifizierung von SEE mit geringer wirtschaftlicher Bedeutung

1 nicht betrachtet wurden, wird auch da von einer geringen Bedeutung ausgegangen. Samarium hingegen wird in Studie 1 mit aufgenommen und wird deshalb detailliert untersucht. Samarium wird fast ausschließlich in der Magnetproduktion verwendet, wo es immer mehr von Neodym verdrängt wird und somit an Bedeutung verliert. Heute werden jährlich etwa 500 Tonnen Samarium verwendet. Zudem wird auch bei Samarium mit einem fast 5-fachen Überangebot in Bezug auf Nachfrage im Jahr 2020 ausgegangen, somit ist auch im zweiten Schritt des Funnels Samarium ausgeschlossen. Auch Studie 1 kommt zum Ergebnis das Samarium das von den untersuchten SEE am wenigsten kritischste Metall darstellt. Die industrielle Bedeutung wird als gering und auch das Versorgungsrisiko als gering bis moderat eingestuft, somit wird auch im Folgenden Samarium von detaillierter Betrachtung ausgeschlossen. Scandium wird in Studie 1 als unbedeutend eingestuft und in Studie 2 nicht weiter beachtet. Scandium wird nicht mit den anderen SEE abgebaut, sondern aus anderen Erzen (beispielsweise Uranerzen) gewonnen.

In Bild 5 ist das Ergebnis der Funnelloge zum Ausschluss der SEE mit geringer industrieller Bedeutung dargestellt. Es werden somit sechs SEE von weiteren Analysen ausgeschlossen und die übrigen zehn SEE im Folgenden detaillierter auf ihre Kritikalität untersucht.

Detaillierte Analyse zur Kritikalität

Die Einordnung der Kritikalität der zehn verbleibenden SEE wird entlang der zwei übergeordneten Dimensionen 'wirtschaftliche Bedeutung für Europa' und 'Versorgungsrisiko' und insgesamt sieben den

Dimensionen zugeordneten Kriterien innerhalb einer Matrix vorgenommen. Hierbei wird jedes SEE entlang der Kriterien bewertet und gewichtet, um so die kritischen SEE zu identifizieren.

Das entwickelte Prinzip der Kritikalitätsanalyse ist schematisch in Bild 6 dargestellt. Im Weiteren wird die genaue Bewertung der einzelnen Kriterien beschrieben. Zuerst wird eine Bewertungslogik eingeführt, wobei ein Score von '1' eine niedrige Kritikalität und eine Score von '3' eine hohe Kritikalität bedeutet.

Mit der ersten Dimension wird die wirtschaftliche Bedeutung für Europa der zehn zu untersuchenden SEE bewertet (Dimension Y in Bild 6), dazu werden vier Kriterien näher betrachtet.

Im ersten Kriterium werden die sieben Hauptanwendungsfelder der SEE nach ihrer Wichtigkeit für die europäische Industrie eingeteilt und die entsprechende SEE in diesen Hauptanwendungsfeldern gewichtet. Dies wird durch eine Analyse

des Anteils der jeweiligen Anwendungsindustrie am europäischen GDPs, ähnlich zum Konzept in der zuvor vorgestellten Studie der europäischen Kommission, bewertet. Die Magnetherstellung etwa wird dem übergeordneten Industriesektor 'Electric' zugeordnet, der Anwendungsbereich Katalysatoren wird beispielsweise anteilig dem Industriebereich 'Refining' (FCC) und 'Transport-Road' (Fahrzeugkatalysatoren) zugeordnet. Durch diese Zuordnung kann eine Gewichtung des jeweilig zugeordneten übergeordneten Industriesektors innerhalb der europäischen Industrie durchgeführt werden. Die Bewertung des Kriteriums 1 wird für jedes SEE jeweils durch folgende Formel ermittelt:

Gewichtung in europäischer Wirtschaft:

$$SY_{ik1} = \sum_s N_{is} \cdot \left[\left(\frac{BWS_s}{BWS_{maxs}} \right) \cdot 3 \right] \quad (1)$$

SY_{ik1} Score Dimension Y von Rohstoff i in Kriterium 1_{ik1}

N_{is} Anteil Nachfrage von Rohstoff i in Industriesektor s

BWS_s Bruttowertschöpfung in Industrie s (Referenzjahr 2010)

BWS_{maxs} Bruttowertschöpfung in Industriesektor mit höchster BWS in Referenzjahr 2010 mech. Equipment mit 182 Milliarden EUR

Des Weiteren wird im zweiten Kriterium die Entwicklung dieser Hauptanwendungsfelder für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung Europas bewertet. Dazu wird jedem Anwendungsfeld eine Score zugeordnet. Basierend wird die Bewertung



Bild 6: Aufbau der Kritikalitätsbewertung

auf der Entwicklung des Volumens von 2013 bis 2020 durchgeführt. Dabei wird ein durchschnittliches Wachstum von 7 % pro Jahr über alle Hauptanwendungsfelder für die Jahre 2013 bis 2020 angenommen. Anwendungsfelder mit mehr als 7 % Wachstum werden mit einem Score von „3“ bewertet. Beispielsweise wird die Entwicklung des Marktes für Magnete mit einem Wachstum von 12 % p.a. (2013-2020) als stark angesehen – Grund dafür sind die damit verbundenen Zukunftstechnologien wie Windkraft oder auch Hybridantriebe. Anwendungsfelder mit einem durchschnittlichen Wachstum (7 % p.a.) werden mit Score „2“ bewertet. Mit Score „1“ werden Anwendungen von SEE bewertet, die unterdurchschnittlich wachsen, wie beispielsweise Schleif- und Poliermittel. Hierbei wird ein Wachstum von lediglich 5 % angenommen, wobei eine immer höhere Substitution von Ceroxid angenommen wird. [6] [10]

Mit dem dritten Kriterium geht das absolut gehandelte Volumen in USD basierend auf dem Jahr 2013 in die Bewertung ein. Hiermit wird eine Gewichtung der möglichen zu erzielenden Umsätze dieser Metalle im Weltmarkt bewertet. Dazu wird bei einem Gesamtvolumen von 4,04 Mrd. USD pro Jahr und 12 SEE ein durchschnittliches Volumen pro SEE von 0,4 Mrd. USD pro Jahr ermittelt. Das Marktvolumen jedes SEE wird nun durch diesen Durchschnitt von 0,4 Mrd. USD p.a. geteilt. Alle SEE denen weniger als 80 % des Durchschnittsvolumens zugeordnet werden, werden mit Score „1“ bewertet. Alle SEE, die im Bereich 80 bis 120 % am durchschnittlichen Marktvolumen liegen, werden mit Score „2“ bewertet. Alle SEE, die mehr als 120 % des durchschnittlichen Marktvolumens im Jahr aufweisen, werden mit Score „3“ bewertet. [6] [10]

Als vierten Schritt zur Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung der SEE für Europa wird die Möglichkeit der Substitution durch andere Materialien und der Möglichkeit zu Minderung des Einsatzes der SEE in den jeweiligen Anwendungen bewertet. Die Bedeutung wird umso höher je größer die Abhängigkeit aufgrund fehlender Substitute ist. Kann ein SEE in mehr als 75 % der Anwendungen durch ein anderes Metall ersetzt werden oder kann eine starke Verminderung des Einsatzes des SEE, beispielsweise durch Konstruktion oder Spezifikationsänderung, erzielt werden, wird dieses mit Score „1“ bewertet. Können 25 bis 75 % des SEE substituiert

Kriterium	Gewichtung in europäischer Wirtschaft	Entwicklung der Hauptanwendungen	Absolutes Wertvolumen	Substituierbarkeit/Reduktion	Gesamtbewertung
Gewichtung	0,2	0,4	0,2	0,2	
Bewertung					
Lanthan	1,40	1,45	2	2	1,7
Cer	1,53	1,43	2	1	1,5
Praesodym	1,49	2,74	3	1	2,2
Neodym	1,47	2,83	3	3	2,6
Europium	1,50	2,92	3	3	2,7
Gadolinium	1,50	2,44	1	1	1,7
Terbium	1,48	2,90	2	3	2,5
Dysprosium	1,44	2,96	3	3	2,7
Erbium	1,58	2,22	1	1	1,6
Yttrium	1,56	2,58	2	2	2,1

☐ Leichte SEE
☐ Schwere SEE

Tabelle 2: Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung der SEE in der Dimension „industrielle Bedeutung für Europa“

bzw. vermindert werden, wird dies mit dem Score „2“ bewertet. Bei einer möglichen Substituierbarkeit von weniger als 25 % des verwendeten Rohstoffs wird der Score „3“ vergeben.

Aus den vier beschriebenen Kriterien wird mit Hilfe einer Gewichtung der einzelnen Kriterien eine Gesamtbewertung für die Dimension Y – „industrielle Bedeutung für Europa“ – ermittelt. In folgender Formel (2) ist die Bewertung der Dimension Y beschrieben:

Gewichtung in europäischer Wirtschaft:

$$Y_{\text{Gesamt}} = \sum_k G_k \cdot SY_{ik} \quad (2)$$

Y_{Gesamt} Gesamtbewertung Dimension Y – industrielle Bedeutung für Europa
 G_k Gewichtung von Kriterium k
 SY_{ik} Score von Kriterium k bei Rohstoff i

Gewichtung und Ergebnisse der Bewertung entlang der fünf Kriterien der Dimension „industrielle Bedeutung für Europa“ sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Aus Tabelle 2 ist zu erkennen, dass das erste Kriterium „Gewichtung in europäischer Wirtschaft“ keine große Differenzierung der einzelnen SEE zeigt. Die übergeordneten Industriesektoren sind dabei zum einen von ihrer Größe nicht sonderlich verschieden – von 63 Mrd. Euro bis zu 107 Mrd. Euro für den Metallsektor – und

zum anderen verteilen sich die meisten SEE über mehrere Sektoren, so dass dort eine weitere Annäherung stattfindet. Hingegen ist in der erwartenden Entwicklung (Kriterium 2) der einzelnen SEE sehr wohl eine Differenzierung zu erkennen. Hierbei ist im Besonderen die unterschiedliche Erwartung der Entwicklung der Hauptanwendungen verantwortlich. Beispielsweise wird die Entwicklung bei Windturbinen, E-Fahrzeuge, etc. und damit bei Magneten als deutlich steigend angenommen (2013-2020 -12 % CAGR); hingegen wird die Entwicklung bei Schleif- und Poliermitteln als moderat angesehen, da hier immer mehr Substitute in den Markt drängen. Die Entwicklung der Hauptanwendungen der einzelnen SEE wird als gewichtigstes Kriterium angenommen, da hiermit die zukünftige Nachfragesituation beschrieben wird und dadurch eine zukünftige Differenzierung der Bedeutung der einzelnen SEE dargestellt werden kann. Basis für die Entwicklung sind die heutige Bedeutung und das gehandelte Wertvolumen der einzelnen Metalle. Hierbei bestehen große Unterschiede zwischen den nachgefragten Volumen in Tonnen pro Jahr gegenüber dem tatsächlichen Marktwert der Metalle. Hervorzuheben sind die SEE Praseodym, Neodym, Europium und Dysprosium. Auf Grundlage einer Literaturanalyse wird die Substituierbarkeit bzw. eine mögliche Reduktion für alle SEE qualitativ bewertet ([5], [8], [2]). Hierbei sind besonders die für die Magnetherstellung wichtigen SEE Neodym, Dysprosium und Terbium heute

Kriterium	Verknappung vs Überangebot zukünftig	Abhängigkeit China	Recycling heute und Entwicklung	Gesamtbewertung
Gewichtung	0,65	0,25	0,1	
Bewertung				
Lanthan	1	1	2	1,1
Cer	1	1	3	1,2
Praesodym	1	1	2	1,1
Neodym	2	2	2	2,0
Europium	3	2	3	2,8
Gadolinium	1	2	3	1,5
Terbium	3	3	3	3,0
Dysprosium	2	3	3	2,4
Erbium	2	3	3	2,4
Yttrium	3	3	3	3,0

☐ Leichte SEE
☐ Schwere SEE

Tabelle 3: Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung der SEE in der Dimension ‚Versorgungsrisiko‘

kaum substituierbar. Aber auch Europium wird heute als nicht substituierbar eingestuft. Insgesamt werden die schweren SEE als kritischer für die Entwicklung der europäischen Wirtschaft gesehen als leichte SEE. Wobei die SEE Europium und vor allem Neodym als ebenfalls sehr kritisch für Europa angesehen werden, das liegt zum einen an der steigenden Entwicklung ihrer Hauptanwendungen (Magnete bei Neodym und Leuchtstoffe bei Europium) und zum anderen an momentan fehlenden Substituten für diese Elemente.

Die Zweite Dimension bildet die Basis, um das Versorgungsrisiko (also ein mögliches Risiko zur ungewollten Verknappung) zu beschreiben.

Dazu wird im ersten Kriterium die aktuelle Nachfrage vs. Angebotsituation und die voraussichtliche Änderung dieser Situation bis 2020 analysiert. Die Änderung der Nachfrage wird dabei anhand der voraussichtlichen Änderung der Nachfrage der Anwendungen, wie Permanentmagnete oder Hybridfahrzeuge, abgeleitet. Des Weiteren wird eine Einschätzung der Entwicklung des jeweiligen Rohstoffangebots erstellt. Aus diesen beiden Informationen wird eine grobe Einschätzung in die drei Score-Gruppen getätigt, wobei Score ‚1‘ bedeutet, dass das Angebot stärker wächst, als die Nachfrage (Überangebot), Score ‚2‘, dass das Angebot sich ähnlich verhält wie die Nachfrage und Score ‚3‘, dass das Angebot weniger

wächst als die Nachfrage, also ein Unterangebot entsteht.

Ein weiteres Kriterium zur Bewertung des Versorgungsrisikos ist die Abhängigkeit von China und der vermeintlichen Monopolstellung Chinas. Hierbei wird auch die Entwicklung des Angebots außerhalb Chinas und damit die Entwicklung der Abhängigkeit bewertet. Starke Abhängigkeit von China heute und zukünftig führt zu einem Score ‚3‘. Starke Abhängigkeit von China heute und moderate Abhängigkeit bis 2020 führt zu einem Score ‚2‘. Bis 2020 stark sinkende Abhängigkeit (mehr als 40 % Sourcing Optionen außerhalb Chinas) wird mit Score ‚1‘ bewertet.

Das dritte Kriterium zur Bewertung des Versorgungsrisikos ist das Recycling der SEE. Hierbei wird die Recyclingrate heute bewertet sowie eine mögliche Verbesserung dieser Rate in den nächsten Jahren bewertet. Bei der Einschätzung ‚kein Recycling heute und zukünftig‘ wird der Score ‚1‘ vergeben. ‚Kein Recycling heute‘, aber ernsthafte aktuelle Forschungsbemühungen für Recycling dieses SEEs führt zu einem Score ‚2‘. Bei absehbaren signifikanten Recyclingraten (> 5 %) bis 2020 wird der Score ‚3‘ vergeben.

Auch hier wird mit Hilfe einer Gewichtung der einzelnen Kriterien ein Gesamtbewertung für die Dimension X – ‚Versorgungsrisiko‘ – ermittelt (siehe Formel 3).

Versorgungsrisiko:

$$X_{\text{Gesamt}} = \sum_k G_k \cdot SX_{ik} \quad (3)$$

X_{Gesamt} Gesamtbewertung Dimension X – Versorgungsrisiko

G_k Gewichtung von Kriterium k

SX_{ik} Score von Kriterium k bei Rohstoff i

Gewichtung und Ergebnisse der Bewertung entlang der drei Kriterien der Dimension ‚Versorgungsrisiko‘ sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Beim ersten Kriterium, bei dem die Entwicklung des Gleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage bewertet wird, ist ein signifikanter Unterschied zwischen den leichten SEE, die eher als unkritisch bewertet werden und den schweren SEE zu erkennen. Neodym und Europium bilden dabei eine Ausnahme, da hier ebenfalls eine Verknappung (Europium) bzw. zumindest ein Gleichgewicht (Neodym) zwischen Angebot und Nachfrage vorausgesetzt wird. Die langfristige Abhängigkeit von China wird auf Grund der momentan neu entwickelten Projekte und damit neuen Lieferanten für leichte SEE als weniger kritisch gesehen. Da jedoch bei den momentan entwickelten Projekten kaum Lagerstätten mit signifikantem Anteil an schweren SEE zu finden sind, wird weiter eine starke Abhängigkeit von China und den damit verbundenen monopolistischen Möglichkeiten gesehen, was zu einer hohen Kritikalitätsbewertung in diesem Kriterium für die schweren SEE führt. Im letzten Kriterium – dem Recycling – sind fast alle SEE im sehr kritischen Bereich, da bisher nur wenig oder keine Initiativen von Unternehmen sowie der Wissenschaft zur Entwicklung von Recyclingverfahren angestoßen worden sind. Insgesamt wird das Versorgungsrisiko für alle schweren SEE als hoch angesehen. Zudem wird das Versorgungsrisiko für Europium als kritisch angesehen, dies liegt vor allem an der voraussichtlich höheren Nachfrage gegenüber dem zukünftigen Angebot für Europium. Die Nachfrage von Europium wird dabei vom steigenden Markt bei Leuchtstoffen, z.B. für die Nutzung in Bildschirmen mit LED-, oder Plasma- und LCD-Technologie, getrieben. In Bild 7 sind die Ergebnisse der beiden zuvor beschriebenen Dimensionen in einer Kritikalitätsmatrix dargestellt.

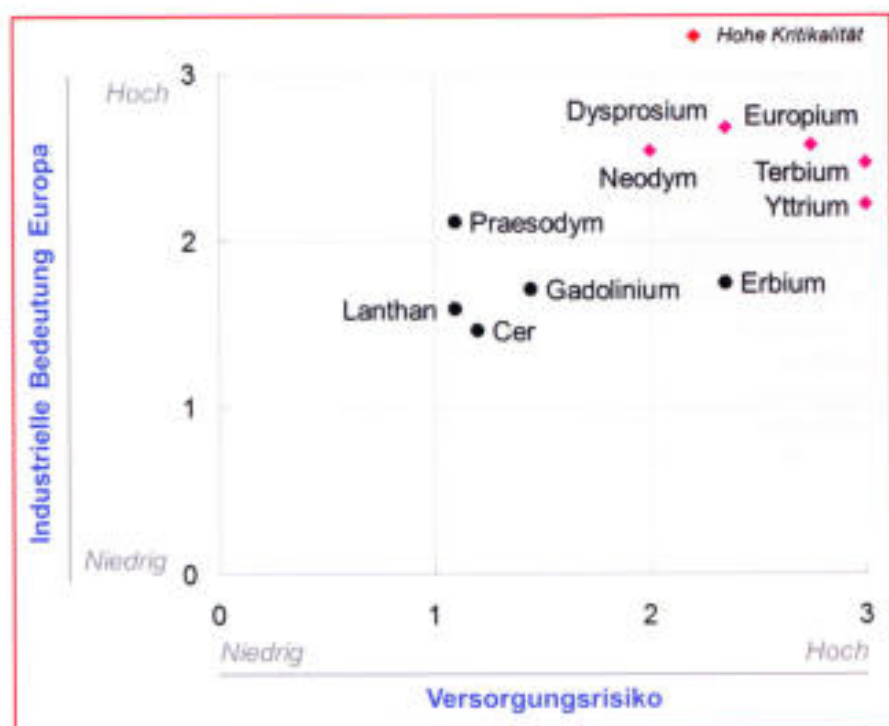


Bild 7: Kritikalitätsmatrix Basis Analyse

Es werden insgesamt fünf der zehn untersuchten SEE als kritische Metalle bewertet, Dysprosium, Neodym, Europium, Terbium und Yttrium. Dysprosium und Neodym sind besonders kritisch, da sie hauptsächlich für die stark wachsende Magnetproduktion eingesetzt werden und momentan keine möglichen Substitute bekannt sind. Die absehbare Nachfrage übersteigt dabei für beide Metalle das momentan absehbare zukünftige Angebot. Europium, Terbium und Yttrium werden zum Großteil für Leuchtstoffe eingesetzt und damit in einem ebenfalls stark entwickelten Markt. Zudem werden bei allen drei Metallen ein Unterangebot sowie eine weiterhin signifikante Abhängigkeit von China gesehen, wodurch das Versorgungsrisiko bis 2020 ebenfalls als hoch eingeschätzt werden muss.

Bei Erbium ist das Versorgungsrisiko hoch, da es voraussichtlich nicht zu einem erhöhten Angebot an schweren SEE durch neue Projekte kommen wird und somit weiterhin schwere SEE weiterhin stärker nachgefragt als angeboten werden. Jedoch wird die industrielle Bedeutung von Erbium, besonders auf Grund möglicher Substitute, als moderat angesehen. Die leichten SEE Gadolinium, Praseodym, Lanthan und Cer werden als moderat kritisch für die Dimension Versorgungsrisiko sowie bei der industriellen Bedeutung für Europa bewertet.

Sensitivitätsanalyse der Kritikalitätsbewertung

Durch die folgende Sensitivitätsanalyse wird überprüft, wie empfindlich die Gesamtbewertung der einzelnen Elemente von den Eingangsparametern abhängt. Hierzu werden vier Szenarien zur Überprüfung gewählt, wobei diese möglichst realistische zukünftige Fälle widerspiegeln.

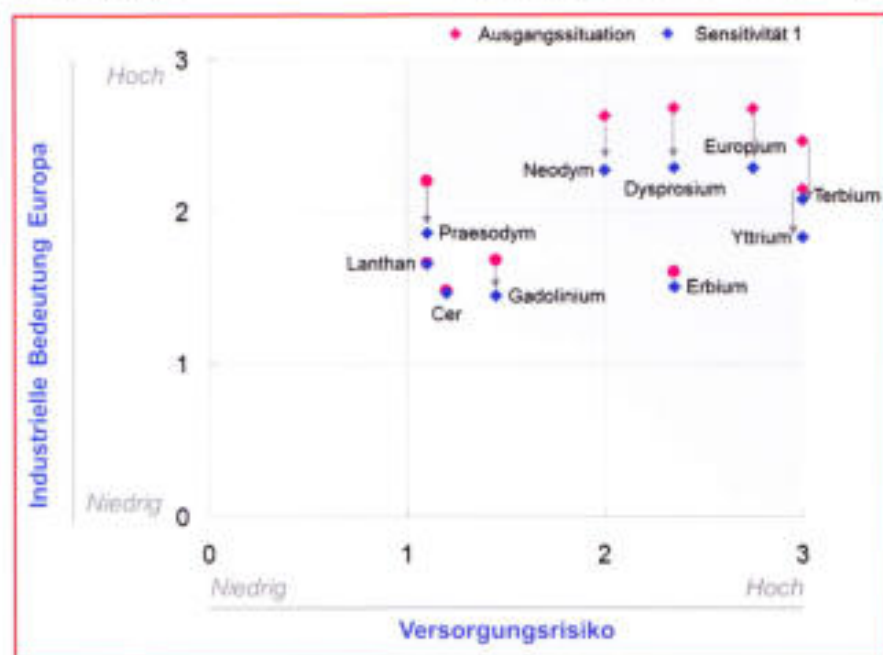


Bild 8: Ergebnisse Szenario 1 (Magnete und Leuchtstoffe weniger stark wachsend) der Sensitivitätsanalyse

Im ersten Szenario wird von einem weniger stark wachsenden Markt für Magnete und Leuchtstoffe ausgegangen. In der Dimension Vulnerabilität wird das Kriterium 'Entwicklung der Hauptanwendungen' somit für die SEE, die hauptsächlich in Magneten und Leuchtstoffen verwendet werden, niedriger ausfallen als in der Basisanalyse.

In Bild 8 ist zu erkennen, dass alle kritischen Metalle in der Dimension 'Industrielle Bedeutung Europa' durch die Sensitivitätsanalyse 1 weniger kritisch werden, jedoch alle, bis auf Yttrium weiter im sehr kritischen Bereich bleiben. Yttrium bleibt jedoch von der Versorgungssicherheit weiterhin als hochkritisch eingestuft, wodurch die Gesamtbewertung von Yttrium unverändert als sehr kritischem Metall bestehen bleibt. Die Sensitivitätsanalyse des Szenarios 1 führt bei der Gesamtbewertung der kritischsten Metalle zu keinem anderen Ergebnis als in der Basisanalyse.

Im zweiten Szenario wird zum einen von einem stärker wachsenden E-Fahrzeug Markt ausgegangen und des Weiteren von einem stärkeren Wachstum bei FCC-Katalysatoren als in der Basisanalyse. Dadurch wird in der Dimension Vulnerabilität das Kriterium 'Entwicklung in Hauptanwendungen' für die SEE, die in Batterien (Metallurgie) und in Katalysatoren verwendet werden, einen höheren Score erreichen. Dies zeigt kaum Auswirkungen auf die kritischen Metalle. Die Auswirkungen beschränken sich haupt-

sächlich auf die SEE Gadolinium, Cer und Lanthan. Wobei bei Gadolinium und Cer nur geringere Steigerung der industriellen Bedeutung erkennbar sind, hingegen wird die kritische Bedeutung von Lanthan hinsichtlich der Vulnerabilität deutlich von vorher Score 1,7 auf Score 2,2 erhöht.

Im dritten Szenario wird angenommen, dass das Recycling von Leuchtstoffen und Magneten erfolgreich und auf breiter Basis beispielsweise in Europa durchgeführt wird. Hierdurch wird in der Dimension ‚Versorgungssicherheit‘ das Kriterium ‚Recycling‘ für die SEE in Leuchtstoffen und Magneten als nicht kritisch eingestuft. Betroffene SEE sind Praseodym, Neodym, Dysprosium und Terbium für Magnete und zusätzlich Europium und Yttrium aus Leuchtstoffen. Durch das zusätzliche Recycling verringert sich im Ergebnis die Bewertung aller kritischen SEE etwas. Jedoch sind weiter vier der fünf kritischen Metalle in der sehr kritischen Zone der Matrix einzuordnen. Nur Neodym verändert sich geringfügig aus der kritischsten Zone heraus, bleibt aber in der Dimension ‚industrielle Bedeutung‘ weiterhin sehr kritisch.

Im vierten Szenario wird überprüft, inwieweit eine geringere Abhängigkeit von China auch für die schweren SEE zu einer Änderung der Kritikalität führt. Hierfür wird in der Dimension ‚Versorgungssicherheit‘ das Kriterium ‚Abhängigkeit von China‘ für alle schweren SEE auf moderat (Score 2) gesetzt, wodurch eine insgesamt höhere Versorgungssicherheit abgebildet wird. Aus dem vierten Szenario folgt, dass auch bei einer nur noch moderaten Abhängigkeit von China bei schweren SEE, die kritischen SEE weiterhin kritisch bleiben, auch wenn die Versorgungssicherheit etwas verbessert wird.

Zusammenfassung

In bisherigen Studien zur Kritikalität von SEE werden diese zumeist als Gruppe oder in zwei Untergruppen (leichte und schwere) eingeteilt. Um jedoch eine Bewertung von neuen Lagerstätten vornehmen zu können, ist die genaue Zusammensetzung der Erze und die differenzierte Betrachtung sowie Entwicklung der vorkommenden SEE auf Einzelbasis erforderlich. Aus diesem Erfordernis wurde auf Grundlage der Methodik der aktuellen Studien zur Kritikalität eine eigne Methodik zur Kritikalitätsbewertung für SEE auf Einzelbasis entwickelt. Nach einer ersten Filterung der SEE nach wirtschaftlicher Bedeutung wurden 10 SEE detailliert nach ihrer industriellen Bedeutung und ihrem Versorgungsrisiko analysiert. Dafür wurden u.a. Kriterien wie ‚Gewichtung in europäischer Wirtschaft‘, ‚Substituierbarkeit‘, ‚Abhängigkeit von China‘ sowie Recycling mit einbezogen. Danach wurden fünf SEE als kritische Metalle eingeteilt, Dysprosium, Neodym, Europium, Terbium und Yttrium. Dysprosium und Neodym sind besonders kritisch, da sie hauptsächlich für die stark wachsende Magnetproduktion eingesetzt werden und momentan keine möglichen Substitute bekannt sind. Die absehbare Nachfrage übersteigt dabei für beide Metalle das momentan absehbare zukünftige Angebot. Europium, Terbium und Yttrium werden zum Großteil für Leuchtstoffe eingesetzt und damit in einem ebenfalls stark entwickelten Markt. Zudem werden bei allen drei Metallen ein Unterangebot sowie eine weiterhin signifikante Abhängigkeit von China gesehen, wodurch das Versorgungsrisiko bis 2020 ebenfalls als hoch eingeschätzt werden muss.

Literatur

- [1] Achzet B., 2012, Empirische Analyse von preis- und verfügbarkeitsbeeinflussenden Indikatoren unter Berücksichtigung der Kritikalität von Rohstoffen, ISBN: 978- 3954250929
- [2] Columbia University, 2012, Politics and Economics of the Rare Earths Industry – Citigroup Global Commodities Research
- [3] Erdmann, Behrendt S., 2011, Kritische Rohstoffe für Deutschland, Auftrag der KfW Bankengruppe
- [4] European Commission, 2014, Report on Critical Raw Materials for the EU – Critical Raw Materials Profiles
- [5] European Commission, 2014, Report on Critical Raw Materials for the EU
- [6] Kausch, P., Bertau, M., Gutzmer, J., Matschulat, J. (Hrsg.), 2014, Strategische Rohstoffe – Risikoversorge, ISBN: 978-3-642-39704-2
- [7] U.S. Department of Energy, 2010, Critical Materials Strategy, Abgerufen am 03.02.2015, http://energy.gov/sites/prod/files/piprod/documents/cms_dec_17_full_web.pdf
- [8] U.S. Department of Energy, 2011, Critical Materials Strategy, Abgerufen am 03.02.2015, http://energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf
- [9] U.S. Geological Survey, 2014, Mineral Commodity Summaries rare earth in the United States: U.S. Geological Survey Data Series, Abgerufen am 1.1.2014, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2014-rare.pdf
- [10] U.S. Geological Survey, 2015, Mineral Commodity Summaries rare earth in the United States: U.S. Geological Survey Data Series, Abgerufen am 26.02.2014, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2015-rare.pdf

- (1) Dipl.-Ing. Marie Sophie Jaroni, *vormalig: IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, RWTH Aachen University, momentan: McKinsey & Company/ Düsseldorf*
- (2) Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. B. Friedrich, *IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, Institut und Lehrstuhl der RWTH Aachen University*

Fernstudium für Metallhändler: Neue Jahrgänge starten im Oktober 2016

Das Fernstudium „Betriebswirt/in Metallhandel (WGM)“ bietet der Wirtschaftsverband Großhandel Metallhalbzeug e.V. (WGM) seit 2013 an, der Verband Deutscher Metallhändler e. V. (VDM) in der Variante „Betriebswirt/in Metallhandel (VDM)“ seit 2015. Beide Verbände kooperieren dabei mit dem Bundesverband Deutscher Stahlhandel AG (BDS), der das auf den Stahlhandel zugeschnittene Studium bereits seit vie-

len Jahren erfolgreich in seinem Berufsbildungsprogramm führt. Während des Studiums werden die drei Fachbereiche Technik, Wirtschaft und Praxis-Methoden innerhalb von drei Jahren parallel zum Job absolviert. Zulassungsvoraussetzung ist eine Berufsausbildung und zwei Jahre Berufspraxis im Metallhandel. Der Abschluss orientiert sich an der Stufe 7 des Deutschen Qualifikationsrahmens, wo auch der „Master“ bzw. „Strategische

Professional“ angesiedelt ist. Die ersten Absolventen, zehn junge Metallhändler, dürfen seit dem 21. Juni 2016 den Titel „Betriebswirt/in Metallhandel (WGM)“ führen.

Der 4. WGM- und der 2. VDM-Jahrgang beginnen mit dem obligatorischen Einführungsseminar vom 15. – 20. Oktober 2016 in Soltau. Informationen und Anmeldeunterlagen unter: 030 – 259 3738-15 oder info@wgm-berlin