

vbw

Die bayerische Wirtschaft



Studie

Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft

Eine vbw Studie, erstellt von der IW Consult GmbH
Stand: Januar 2017
www.vbw-bayern.de

Vorwort

Sichere Rohstoffversorgung Basis einer erfolgreichen Wirtschaft

Für die Industrie ist eine sichere Rohstoffversorgung Kern ihrer Wettbewerbsfähigkeit. Die Verfügbarkeit von Rohstoffen in ausreichender Menge und zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten muss gesichert sein.

Die natürlichen Ressourcen sind begrenzt, gleichzeitig nimmt der Rohstoffbedarf weltweit zu. Viele Produkte des täglichen Bedarfs sowie der Informations- und Zukunftstechnologie enthalten zahlreiche, oft wenig bekannte Rohstoffe, wie zum Beispiel Seltene Erden. Ein Versorgungsengpass bei diesen Rohstoffen kann ganze Wertschöpfungsketten lahmlegen und damit enormen Schaden verursachen.

Die vorliegende Studie ist eine weitere Aktualisierung der Rohstoffstudie, die von der vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. im September 2009 erstmals vorgelegt wurde, um Politik und Unternehmen für diese zunehmende Herausforderung zu sensibilisieren.

Es ist eine vordringliche außenpolitische Aufgabe von EU, Bund und Ländern, die Rohstoffmärkte weiter zu erschließen und offen zu halten. Protektionistischen Tendenzen muss entgegengetreten werden. Zudem müssen die Grundlagenforschung zum effizienten Rohstoffeinsatz gefördert und in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zukunftsfeste Recyclingkonzepte entwickelt werden.

Unsere Broschüre analysiert die aktuelle Situation unter besonderer Berücksichtigung der Themen 3D-Druck sowie Elektromobilität und zeigt entscheidende Weichenstellungen für eine sichere Rohstoffversorgung auf.

Bertram Brossardt
26. Januar 2017

Inhalt

1	Wesentliche Ergebnisse.....	1
1.1	Kernergebnisse.....	1
1.2	Fallstudie 3D-Druck	1
1.3	Fallstudie Elektromobilität	1
2	Die Rohstoffbasis der deutschen Wirtschaft	3
3	Rohstoffe – Bedeutung und Risiken.....	7
3.1	Globales Wirtschaftswachstum erhöht Rohstoffnachfrage und -preise.....	8
3.2	Rohstoff- und Konjunkturzyklen führen zu Preisschwankungen	8
3.3	Die Rohstoffverfügbarkeit ist begrenzt	9
3.4	Steigende Grenzkosten des Rohstoffabbaus	9
3.5	Recycling als Antwort auf begrenzte Rohstoffvorkommen.....	10
3.6	Rohstoffvorkommen befinden sich häufig in Risikoländern	10
3.7	Rohstoffe sind Instrumente strategischer Industriepolitik.....	11
3.8	Preis- und Lieferkonditionen hängen von der Marktmacht einzelner Unternehmen ab	12
3.9	Große Bedeutung von Rohstoffen für Zukunftstechnologien	13
3.10	Substituierbarkeit von Rohstoffen nur begrenzt möglich.....	13
4	Politische Initiativen der Rohstoffpolitik.....	15
4.1	Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung.....	15
4.1.1	Deutsche Rohstoffagentur (DERA)	17
4.1.2	Rohstoffpartnerschaften.....	17
4.1.3	Netzwerk Rohstoffe.....	18
4.1.4	Interministerieller Ausschuss (IMA) Rohstoffe.....	18
4.1.5	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes)	18
4.2	Die Rohstoffstrategie der Europäischen Union.....	19
4.3	Die Rohstoffpolitik der US-Regierung.....	21

5	Rohstoff-Risiko-Index.....	23
5.1	Aufbau	23
5.2	Gewichtung.....	26
5.3	Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Indexes.....	27
6	Fallstudien.....	39
6.1	Fallstudie 1: 3D-Druck	39
6.1.1	Viele Fertigungsverfahren für die Additive Fertigung.....	39
6.1.2	Entwicklung des 3D-Drucks	43
6.1.3	Vielfältige Vorteile des 3D-Drucks.....	44
6.1.4	Verwendete Rohstoffe	46
6.1.5	Der 3D-Druck als Lösung für multiple Anwendungsbereiche.....	49
6.1.6	Ausblick: Die Grenzen der Möglichkeiten des 3D-Drucks sind noch offen... 51	
6.2	Fallstudie 2: Elektromobilität	55
6.2.1	Neuer Rohstoffbedarf durch den Einsatz von Elektromotoren	56
6.2.2	Neuer Rohstoffbedarf durch den zusätzlichen Einsatz von Batterien	60
6.2.3	Weiterer Rohstoffbedarf	62
6.2.4	Ausblick	63
7	Fazit und Handlungsempfehlungen.....	65
7.1	Unternehmensebene	65
7.2	Interaktive Ebene	66
7.3	Staatliche Ebene.....	67
	Anhang – Rohstoff-Steckbriefe	71
	Literaturverzeichnis.....	113
	Ansprechpartner / Impressum.....	115

1 Wesentliche Ergebnisse

Die Rohstoffversorgung der Wirtschaft ist eine mehrdimensionale Aufgabe.

1.1 Kernergebnisse

Die Rohstoffversorgung der deutschen und bayerischen Industrie ist trotz der moderaten Preisentwicklung nicht durchgängig gesichert. Seltene Erden und Spezialmetalle sind weiterhin vor allem wegen ihrer Bedeutung für wichtige Zukunftstechnologien sehr risikobehaftet. Gleichzeitig weisen diese Rohstoffe eine hohe Bedeutung für die bayerische Wirtschaft auf. Unkritisch ist derzeit dagegen vor allem die Versorgung mit Mineralien, die auch im Inland gefördert werden.

Die drastische Verteuerung wichtiger Industriemetalle hatte dazu beigetragen, öffentliche Aufmerksamkeit für die Rohstoffversorgung der bayerischen, deutschen und europäischen Wirtschaft zu erzeugen. Durch die moderate Preisentwicklung der letzten Jahre besteht die Gefahr, dass die Bedeutung der Aufgabe vernachlässigt wird.

Deutschland ist für die Versorgung mit fast allen wichtigen metallischen Primärrohstoffen auf das Ausland angewiesen. Neben Preisentwicklung und -volatilität sind daher die politische Situation in den Rohstoffförderländern und die Gefahr einer strategischen Rohstoffpolitik in diesen Ländern wichtige Risikofaktoren. Die Konzentration der Rohstoffförderung in den Händen weniger Unternehmen, die stoffliche Verfügbarkeit, die Substituierbarkeit durch andere Rohstoffe und die Bedeutung der Rohstoffe für Zukunftstechnologien sind weitere Determinanten des Versorgungsrisikos.

1.2 Fallstudie 3D-Druck

Der 3D-Druck bietet das Potenzial zur grundlegenden und nachhaltigen Veränderung von Produktionsprozessen und des damit einhergehenden Rohstoffbedarfs. Da die Technologie für industrielle Anwendungen noch in den Kinderschuhen steckt und nicht prognostizierbar ist, welche innovativen Verfahren sich konkret am Markt durchsetzen werden, besteht weiterhin Unsicherheit über die zukünftigen Konsequenzen für die Rohstoffnachfrage.

1.3 Fallstudie Elektromobilität

Die Projektionen zur Entwicklung der Elektromobilität weisen auf einen enormen Anstieg der Nachfrage nach den Seltenerdmetallen Neodym und Dysprosium sowie nach Lithium hin. Gerade aus der Unsicherheit, ob diese Nachfrage in Zukunft gedeckt werden kann und den daraus resultierenden Preisrisiken, entstehen Innovationsanreize zu Substitution oder anderen technologischen Lösungen. Konkrete Alternativen bestehen hier aber noch nicht.

2 Die Rohstoffbasis der deutschen Wirtschaft

Die Rohstoffversorgung bleibt risikobehaftet.

Seit rund einem Jahrzehnt wird verstärkt über die Sicherung der Rohstoffversorgung für die bayerische, deutsche und europäische Industrie nachgedacht. 2006 kam der Preisanstieg für die wichtigsten Industriemetalle zu einem ersten Halt. Die Plateaubildung beendete eine dramatische Verteuerung: Um über 100 Prozent waren die Preise für Metalle innerhalb von knapp anderthalb Jahren gestiegen (Abbildung 1). Kupfer- und Eisenerzpreise sind damals auf rund das dreifache Niveau gestiegen. Es war vor allem die Preisentwicklung, die für Aufmerksamkeit gesorgt und die Versorgung mit Rohstoffen auf die politische und unternehmerische Agenda gebracht hat.

In den Jahren zuvor hatte sich folgendes Bild festgesetzt: Mineralische Rohstoffe können sicher und günstig an den Weltmärkten eingekauft werden. Diskutiert wurden lediglich die mittel- und langfristigen Aussichten der Versorgung mit Rohöl. Hinter dem Begriff Peak-Oil stand die Vermutung, die Ölvorräte würden in absehbarer Zeit nicht mehr ausreichen, um die zunehmende Nachfrage zu bedienen. Mit einer drohenden Verknappung würden auch die Preise dramatisch steigen – mit all den damit verbundenen wirtschaftlichen Konsequenzen.

Seitdem hat sich vor allem auf den Märkten für Energierohstoffe einiges getan: Insbesondere die Einführung des Hydraulic Fracturing (Fracking) in den Vereinigten Staaten hat die Märkte durcheinander gebracht. Die neue Technologie ermöglicht es, ab einem ausreichenden Preisniveau, größere Mengen von unkonventionellem Öl und Gas zu fördern. Wird der Preis zu niedrig, können die Förderanlagen stillgelegt werden – um bei steigenden Preisen wieder in Betrieb zu gehen. Fracking begrenzt damit den Preisanstieg für Öl und Erdgas. Durch den Ersatz von Kohle durch Gas in der nordamerikanischen Stromversorgung sind auch die Kohlepreise gesunken. Die Diskussion um eine absehbare Knappheit der fossilen Energieressourcen ist entsprechend verebbt. Eher ist von einem langfristigen Rückgang der Nachfrage die Rede, wenn aus Gründen des Klimaschutzes der globale Verbrauch zurückgehen sollte. Versorgungsrisiken werden daher heute nur noch diskutiert, wenn beispielsweise traditionell hohe Importanteile aus einzelnen Ländern bestehen, die über bestehende, wenig flexible Infrastrukturen abgewickelt werden. So sollen Abhängigkeiten von russischen Gasimporten nach Europa durch flexiblere Einfuhrinfrastrukturen für Flüssiggas (LNG) und andere Maßnahmen beschränkt werden.¹

¹ Bardt/Neligan, 2015

Der Preisrückgang bei Erdöl ist in ähnlicher Form auch bei den wichtigsten Industriemetallen zu beobachten. Seit dem Höhepunkt der Metallpreise im Februar 2011 sind beispielsweise die Preise für Eisenerz und Nickel um zwei Drittel zurückgegangen. Der Kupferpreis hat sich halbiert. Aluminium ist um ein Drittel günstiger geworden, Blei um ein Viertel. Insgesamt ist das Preisniveau heute ähnlich hoch wie vor zehn Jahren. In der Bewertung der beobachteten Preise und der damit verbundenen Kosten gab es hingegen eine deutliche Verschiebung: Was damals als Ergebnis einer dramatischen Verteuerung wahrgenommen wurde, wird heute als entspannte und gut tragbare Situation bewertet.

Abbildung 1

Industriemetallpreis-Index (IMP)



Index: Januar 1999 = 100.

Quelle: IW Köln (2016)

Ebenso wie der Anstieg der Preise die Risiken der Rohstoffversorgung bewusst gemacht hat, haben sich die Preisrückgänge der letzten Zeit negativ auf die Aufmerksamkeit ausgewirkt. Rohstofffragen sind aus den Schlagzeilen verschwunden. Dabei hat sich materiell bei der Versorgung von mineralischen Rohstoffen und insbesondere von Metallen nichts Wesentliches geändert: Zwar sind die Kosten gefallen, die dahinter liegenden Versorgungsrisiken sind aber nach wie vor da.

Die mit dieser Importsituation verbundenen Versorgungsrisiken sind nicht verschwunden: Die hohe Konzentration auf teilweise wenige Unternehmen und weniger Produzentenländer besteht ebenso fort wie die mit diesen Ländern verbundenen Investitions-

risiken. Auch an dem Trend zum Protektionismus auf Rohstoffmärkten hat sich nichts geändert. Verbesserungen hinsichtlich der Substitutionsmöglichkeiten oder der Recyclingfähigkeit gibt es im Kleinen, dies löst aber keine generelle Trendwende aus. Insbesondere bei Hightech-Metallen wie den Seltenen Erden besteht weiterhin eine hohe einseitige Abhängigkeit.

Besonders problematisch sind hohe Rohstoffrisiken, wenn diese Metalle für zukünftig bedeutende Technologien benötigt werden. Ein Beispiel hierfür sind die Stoffe, die aufgrund der Energiewende zusätzliche Bedeutung haben. So ist für die breite Einführung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen eine leistungsfähige Speichertechnologie notwendig. Diese basiert heute und vermutlich in Zukunft im Wesentlichen auf Lithium, welches heute noch gut verfügbar ist, eine Vervielfachung der Nachfrage aufgrund einer hohen Dynamik der Elektromobilität würde jedoch zu neuen Versorgungsrisiken führen. Auch andere Materialien für vielversprechende Stromspeicher, wie Kobalt, Nickel und Mangan, sind mit überdurchschnittlichen Versorgungsrisiken behaftet.²

Politisch und unternehmerisch sind in der letzten Dekade große Anstrengungen zur Sicherung der Rohstoffversorgung für die Industrie unternommen worden. Diese Anstrengungen und die damit verbundenen Erfolge dürfen nicht dadurch gefährdet werden, dass die bestehenden Versorgungsrisiken aufgrund des derzeit gesunkenen Preisniveaus unterschätzt werden.

² Bardt, 2016

3 Rohstoffe – Bedeutung und Risiken

Rohstoffe haben eine strategische Bedeutung.

Rohstoffe sind Basis und Grundbaustein jeglicher Produktion. Betrachtet man den Produktionsprozess als Wertschöpfungskette, so stehen der Rohstoff und damit die Rohstoffversorgung am Anfang. Sie bildet die Basis jeglicher darauffolgender Produktion und Wertschöpfung. Dadurch ergibt sich ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen den Unternehmen, die Rohstoffe für ihre Produktion benötigen und den Unternehmen, die Rohstoffe abbauen. Gleichwohl gibt es in Zeiten der digitalen Wirtschaft und Dienstleistungen einen großen Sektor, der abseits der rohstoffbasierten Produktion liegt. Viele Dienstleistungen basieren dennoch auf physisch und real produzierten Gütern oder stellen eine Ergänzung zu diesen Gütern dar. Für die Industrie ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen in ausreichender Menge, Qualität und zu angemessenen Preisen die Voraussetzung, um zu produzieren, Wachstum zu generieren und Arbeitsplätze bereitzustellen. Unternehmen, deren Produktion auf Vorprodukten beruht, sind nur sekundär von kritischen Situationen auf den Rohstoffmärkten betroffen. Diese Bereiche der Industrie weisen in der Regel ein geringes Interesse an der Rohstoffsituation auf, da die Rohstoffe bereits in Zwischenprodukten umgesetzt sind.

Die strategische Bedeutung von Rohstoffen unterscheidet sich nicht nur zwischen Unternehmen in der Wertschöpfungskette, sondern auch zwischen Ländern. In der globalen Wirtschaft kommen die Prinzipien der internationalen Arbeitsteilung sowie der dadurch entstehenden Effizienzgewinne zum Tragen. Auf der einen Seite existieren Länder mit großen natürlichen Rohstoffreserven. Auf der anderen Seite stehen Volkswirtschaften, die sich auf deren Verarbeitung und die industrielle Produktion spezialisiert haben. Ohne internationale Arbeitsteilung würden alle Länder Rohstoffe abbauen und diese weiterverarbeiten. Gesamtwirtschaftliche Effizienzgewinne sind möglich, indem sich rohstoffreiche Länder auf eine kosteneffiziente Rohstoffgewinnung spezialisieren, während rohstoffarme Länder sich auf die Weiterverarbeitung der Rohstoffe konzentrieren. Dadurch kann jede Aufgabe effizienter und kostengünstiger erledigt werden als es möglich wäre, wenn beide Länder Technologien und Anwendungsfelder für den Abbau wie auch die Weiterverarbeitung entwickeln würden. Diese Effizienzgewinne können jedoch nur bei freiem und verlässlichem Handel zwischen diesen Ländern realisiert werden.

Für rohstoffverarbeitende Länder birgt die internationale Arbeitsteilung jedoch einige Risiken, da sie dem Rohstoffabbau nachgelagert und somit auf ihn angewiesen sind. Unternehmen kalkulieren ihre Produkte und Preise unter gewissen Annahmen. Eine dieser Annahmen sind die Kosten für den Rohstoffeinsatz. Die Preise der Rohstoffe können jedoch schwanken oder erhebliche Preissprünge aufweisen. Darüber hinaus obliegt es dem Abbauland, Handelsbeschränkungen, Handelsbestimmungen oder Abbauquoten zu erlassen. Dies kann zur Folge haben, dass der Rohstoff nicht nur teurer wird oder direkt im Abbauland weiterverarbeitet werden muss, sondern dass er unter

Umständen gar nicht mehr zur Verfügung steht. Diese Maßnahmen haben weitreichende Auswirkungen für die Industrien und Produktionsländer, die diese Rohstoffe einsetzen. Abbauländer können sich jedoch für solche Maßnahmen beispielsweise mit dem Ziel entscheiden, die Wertschöpfung im eigenen Land zu steigern oder durch zusätzliche Exportabgaben die staatlichen Einnahmen zu erhöhen. Für Rohstoffimporteure ist es daher essenziell, diese Risikofaktoren in die Rohstoffbezugsstrategien einzubeziehen und Strategien zur Vermeidung dieser Risiken zu entwickeln.

Für die deutsche und insbesondere die bayerische Industrie ist es wichtig, die folgenden möglichen Ursachen für Rohstoffkrisen in der Rohstoffstrategie zu berücksichtigen.

3.1 Globales Wirtschaftswachstum erhöht Rohstoffnachfrage und -preise

Angebot und Nachfrage regeln den Preis auf Märkten – so auch auf dem Rohstoffmarkt. Das starke Wirtschaftswachstum in Schwellenländern, allen voran Indien und China, treibt die Nachfrage nach Rohstoffen und damit deren Preise. In den vergangenen Jahren wurden die Auswirkungen des wirtschaftlichen Fortschritts in Indien und China und deren wachsender Bedeutung in der globalen Wirtschaft auch auf dem Rohstoffmarkt deutlich. In Entwicklungs- und Schwellenländern ist das Wirtschaftswachstum dabei äußerst rohstoffintensiv. Bis zu einem gewissen Wohlstandsniveau basiert das Wachstum einer Volkswirtschaft überdurchschnittlich stark auf Rohstoffen. Erst später etabliert sich der tertiäre Sektor sowie eine höhere Material- und Ressourceneffizienz. Prognosen zeigen, dass die Länder, die ein höheres Wirtschaftswachstum in den nächsten Jahren aufweisen, auch die Länder mit einem aktuell geringeren Wohlstandsniveau und damit einhergehend geringerer Ressourceneffizienz sind. Dies ist ein Indiz dafür, dass auch zukünftig mit einer hohen und steigenden Rohstoffnachfrage zu rechnen ist, was sich folglich in höheren Preisen und stärkerer Konkurrenz um Rohstofflieferungen auswirkt.

3.2 Rohstoff- und Konjunkturzyklen führen zu Preisschwankungen

Die Preisentwicklung von Rohstoffen ist durch kurz- und mittelfristige Trends geprägt. Kurzfristig reagieren Nachfrage und Preise auf die konjunkturelle Entwicklung bei nahezu konstanten Förderkapazitäten. Mittel- und langfristig entstehen Rohstoffzyklen, wenn Rohstoffanbieter mit verstärkten Investitionen in Exploration und Förderung auf eine erhöhte Nachfrage und ein hohes Preisniveau reagieren und neue Förderkapazitäten schaffen. Mittel- und langfristige Trends auf der Nachfrageseite bestehen im globalen Wirtschaftswachstum und den damit einhergehenden Investitionen. So erklären beispielsweise die nachlassenden Investitionen in den Städtebau in China teilweise die derzeit geringeren Kupferpreise.

Die nachfragenden Unternehmen müssen solche Schwankungen in ihre Planung einbeziehen. Steigende Preise haben kritische Konsequenzen, weil Unternehmen ihre Preiskalkulation anpassen müssen. Können Unternehmen die Preissteigerung aufgrund von vertraglichen oder wettbewerblichen Rahmenbedingungen nicht kurzfristig

an ihre Kunden weiterleiten, birgt dies die Gefahr eines kritischen Liquiditätsabflusses. Um diesen abzuwenden ist es wichtig, entsprechende Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

3.3 Die Rohstoffverfügbarkeit ist begrenzt

Ein großes Risikopotenzial für eine Rohstoffkrise geht von der begrenzten Verfügbarkeit aus. Viele Rohstoffe liegen in verschiedener Konzentration an verschiedenen Orten der Welt vor. Die Vorkommen sind endlich oder in vielen Fällen nicht in einer angemessenen Zeit nachwachsend oder erneuerbar. Ein limitierender Faktor bei nachwachsenden Rohstoffen ist die Anbaufläche. Häufig brauchen sie viel Platz für einen langen Zeitraum, der jedoch ebenfalls nur begrenzt zur Verfügung steht.

Bei nicht erneuerbaren Rohstoffen gibt die statische Reichweite Aufschluss über die Kritikalität. Die statische Reichweite drückt aus, wie viele Jahre ein Rohstoff bei aktueller Förderung, aktuellem Verbrauch und den weltweit bekannten und wirtschaftlich förderbaren Vorkommen noch verfügbar ist. Laut dieser Messgröße gelten einige Rohstoffe bereits als begrenzt und kritisch, während andere voraussichtlich noch für Jahrhunderte zur Verfügung stehen werden. Weil bei fast allen Rohstoffen genügend Erze in der Erdkruste vorhanden sind, drückt die statische Reichweite vor allem den Investitionsbedarf in Exploration und Abbau aus.

Die Berechnung der statischen Reichweite basiert auf aktuellen Fördertechnologien. Die Entwicklung neuer geologischer Erkenntnisse und Gewinnungsverfahren kann somit auch den Abbau heute nicht erschließbarer Rohstoffe oder Vorkommen möglich machen, wodurch Engpässe verhindert und die Verfügbarkeit verlängert werden können. Darüber hinaus können Preissteigerungen zu einer Regulierung der Nachfrage führen. Höhere Preise reduzieren die Nachfrage und somit den Rohstoffverbrauch, sodass dieser für einen längeren Zeitraum zur Verfügung steht. Droht jedoch die endgültige Erschöpfung eines Rohstoffs oder existiert dieser nur beschränkt oder ist nicht erneuerbar, können daraus erhebliche negative wirtschaftliche Folgen resultieren.

3.4 Steigende Grenzkosten des Rohstoffabbaus

Wird ein Rohstoff knapper, steigt sein Preis. Durch diese Preissteigerung wird auch die Förderung in schwer erschließbaren Regionen oder durch teurere Verfahren profitabel. Das Problem des Rohstoffabbaus ist, dass die meisten leicht zu erschließenden Rohstoffquellen bereits erschlossen sind. Um neue Vorräte und Rohstoffquellen zu erschließen, werden dann neue Technologien oder aufwendigere Verfahren benötigt. Das Problem der steigenden Grenzkosten verteuert Rohstoffe, die ohnehin schon knapp und schwer zu erschließen sind. Dies hat direkte Auswirkungen auf rohstoffverarbeitende Industrieunternehmen, die auf die Verarbeitung dieser Rohstoffe angewiesen sind. Beispielhaft sei hier auf den Abbau von Seltenen Erden hingewiesen. In Grönland existieren große Mengen noch unerschlossener Rohstoffquellen. Bisher ist der profitable Abbau dieser Rohstoffe jedoch aufgrund von hohen Umweltschutzauflagen und teurer Exportwege nicht möglich.

Des Weiteren beeinflusst sogenannter „Beifang“ den Rohstoffabbau. Rohstoffe liegen beim Abbau häufig in Vergesellschaftung mit anderen Rohstoffen vor. Als positiven Beifang bezeichnet man weitere Rohstoffe, die beim Abbau eines Stoffes gewonnen und ebenfalls verkauft werden können. Dies ist beispielsweise bei Platin der Fall, das als Nebenprodukt von Nickel auftritt. Analog existiert negativer Beifang, wie beispielsweise Cadmium und andere Schwermetalle beim Phosphatabbau. Diese Stoffe verteuern den Phosphatabbau, da sie angemessen entsorgt werden müssen, was zusätzliche Kosten verursacht.

3.5 Recycling als Antwort auf begrenzte Rohstoffvorkommen

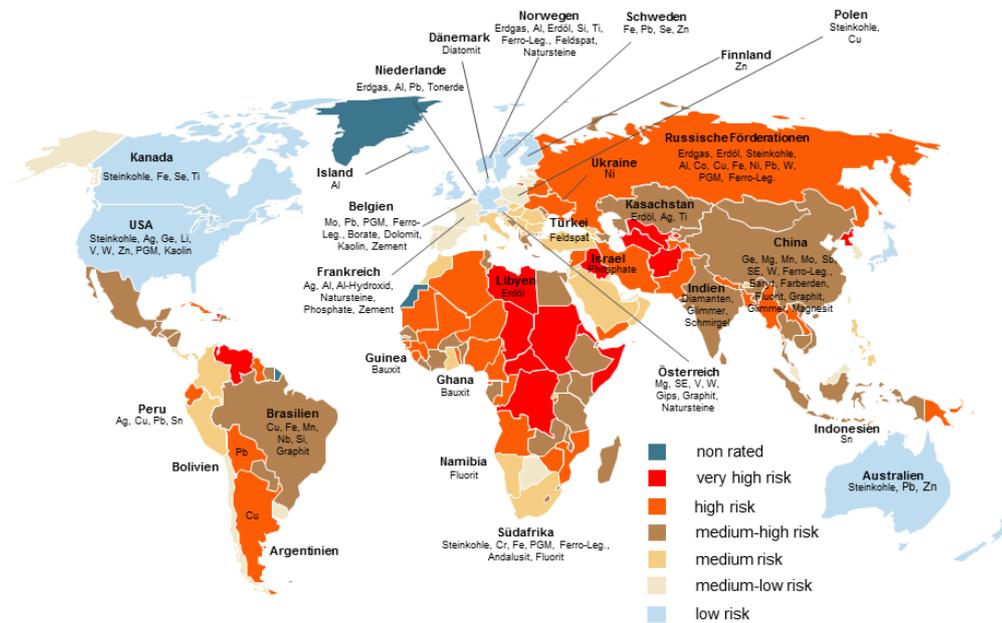
Rohstoffe liegen häufig in begrenzter Menge vor oder die Erschließung neuer Abbaugebiete birgt zusätzliche Kosten. Eine Möglichkeit, Rohstoffe einzusetzen, die nicht auf der Neugewinnung oder dem verstärkten Abbau beruhen, ist das effektive Recycling, auch als Urban Mining bezeichnet. Dahinter verbirgt sich die Idee, kostbare Rohstoffe aus Elektroschrott zu gewinnen und wiederzuverwenden. In modernen Recyclinganlagen können über 95 Prozent der in Elektroschrott enthaltenen Rohstoffe zurückgewonnen werden.³ Die Wiedergewinnung und -verwendung von Rohstoffen bietet einen vielversprechenden Weg der Rohstoffverknappung entgegenzuwirken.

3.6 Rohstoffvorkommen befinden sich häufig in Risikoländern

Spezifische Rohstoffe kommen häufig nur in bestimmten geologischen Strukturen und damit in wenigen Ländern vor. Sind die Vorkommen der Rohstoffe weltweit verbreitet, lohnt sich deren Abbau dennoch oftmals nur an wenigen Stellen. Daher werden viele Rohstoffe nur an solchen Stellen gefördert. Dies wiederum führt zu einer Konzentration auf wenige Lieferländer. Dadurch steigt das Risiko von Rohstoffengpässen, insbesondere, wenn es sich bei den Lieferanten um Risikoländer handelt. Ein Land wird als Risikoland bezeichnet, wenn die wirtschaftliche oder politische Situation instabil ist oder das Risiko von Unruhen oder Investitionsengpässen zu einer verminderten Förderung oder Lieferausfällen führen kann. Viele Rohstoffe befinden sich in afrikanischen Ländern, die aufgrund von mangelnder Rechtssicherheit, fehlender Infrastruktur und risikobehafteten Investitionen als Risikoländer bezeichnet werden. Dies führt zur Sorge, dass Steuern erhöht, bestehende Verträge nicht eingehalten und Investitionen nicht gesichert werden können. Daher stellen Rohstoffe aus Risikoländern eine besondere Gefahr für die Versorgungssicherheit dar (Abbildung 2).

³ bvse – Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, 2016

Abbildung 2
Länderrisiko und Rohstoffvorkommen 2015



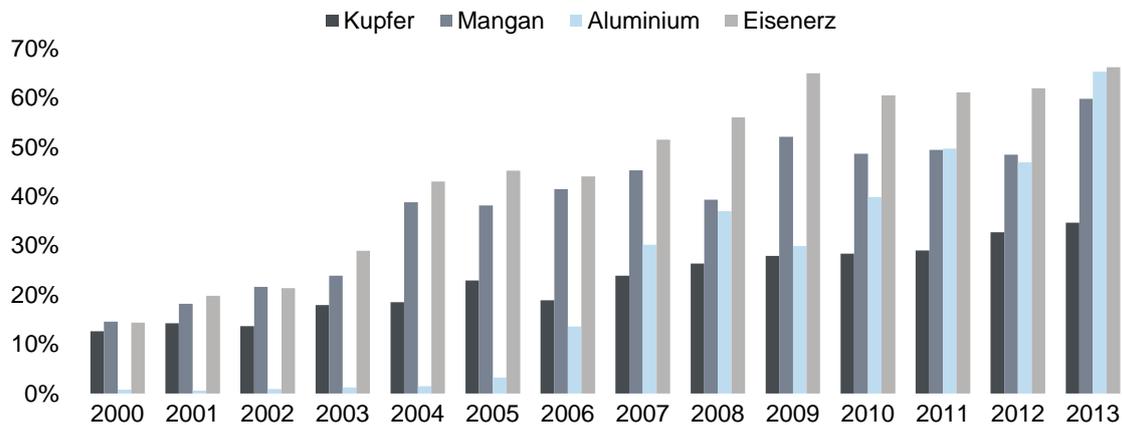
Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

3.7 Rohstoffe sind Instrumente strategischer Industriepolitik

Neben der Gefahr von Willkür und unvorhersehbaren Versorgungsänderungen bei Rohstoffen aus Risikoländern, werden Rohstoffe auch häufig bewusst von Staaten als Druckmittel eingesetzt, um länderspezifische Interessen durchzusetzen oder sind Teil einer eigenen strategischen Industriepolitik. Liegen Rohstoffe in hoher Konzentration in einem Land vor und ist dieser Rohstoff von großer wirtschaftlicher Bedeutung, besteht die Gefahr, dass dieses Land den Rohstoff strategisch für die Durchsetzung eigener Interessen einsetzt. Die möglichen Mittel reichen von Ausfuhrsteuern, Exportlizenzen und Exportverboten über eine Verweigerung der Mehrwertsteuererstattung beim Export und Exportmonopole bis hin zur gezielten Förderung der inländischen Weiterverarbeitung.

Abbildung 3

Chinas Hunger nach Rohstoffen wächst
Anteil Chinas an den weltweiten Metall-Importen, Angaben in Prozent



Quelle: OECD (2015), S.15

Gerade China hat in den vergangenen Jahren diese Strategie verfolgt. Die konkreten Mittel reichten von Exklusivverträgen für notwendige Rohstoffe bis zur Verwendung heimischer Vorkommen für die inländische Produktion. 2013 hat das Land laut Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) mehr als die Hälfte der weltweiten Mangan-, Aluminium- und Eisenerz-Importe verantwortet (Abbildung 3). Besonders bei Aluminium ist die Entwicklung beeindruckend: Bis 2002 lag der Anteil an den weltweiten Importen noch unter einem Prozent. 2013 waren es rund 65 Prozent der Importe. Rohstoffarme Industrieländer stehen somit vor der Gefahr, die benötigten Rohstoffe nicht in ausreichender Menge oder nur zu höheren Preisen beziehen zu können und schlimmstenfalls Lieferleerläufe überbrücken zu müssen.

3.8 Preis- und Lieferkonditionen hängen von der Marktmacht einzelner Unternehmen ab

Analog zu den Gefahren einer Konzentration der Rohstoffvorkommen auf wenige Länder bestehen Gefahren, wenn der Rohstoffabbau nur von wenigen Unternehmen durchgeführt wird. Durch die geringe Anzahl an Unternehmen besitzen diese eine hohe Marktmacht, die zu Wettbewerbsverzerrungen und ineffizienten Ergebnissen führt. Dies wirkt sich vor allem auf die Preise und die Lieferkonditionen aus, was die Rohstoffversorgung gefährdet.

In den vergangenen Jahren gab es eine Zunahme der Unternehmenskonzentration, die als Risikofaktor für rohstoffverarbeitende Unternehmen und rohstoffarme Industrieländer zu betrachten ist.

3.9 Große Bedeutung von Rohstoffen für Zukunftstechnologien

Von neuen Technologien und Produkten gehen viele Potenziale für die Zukunft aus. Sogenannte Zukunftstechnologien stärken die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Firmen sowie des Standorts Deutschland. Diese Zukunftstechnologien basieren jedoch auf einer Vielzahl von Rohstoffen. Nur wenn diese Rohstoffe in ausreichender Menge und zuverlässig zur Verfügung stehen, können diese Technologien entwickelt und eine Stütze der zukünftigen deutschen oder bayerischen Wirtschaft werden. Für die Herstellung von Brennstoffzellen bei elektrischen Antrieben im Fahrzeugbau wird beispielsweise Platin benötigt. Bei Fahrzeugen mit Hybridantrieb kommen Lithium und verschiedene Seltene Erden zum Einsatz. Diese Beispiele verdeutlichen, wie wichtig die Rohstoffversorgung nicht nur für die aktuelle Produktion, sondern auch für die zukünftige wirtschaftliche Stärke Deutschlands ist. Das Schadenspotenzial für die Entwicklung neuer Technologien durch Probleme bei der Rohstoffversorgung ist demnach besonders groß und gefährdet die zukünftige Wettbewerbsstärke Deutschlands und Bayerns.

Darüber hinaus führen technologische Entwicklungen zu vielseitigen Produktverbesserungen und Effizienzsteigerungen. Diese werden häufig durch einen verbesserten Materialeinsatz erreicht, der oftmals darauf basiert, verschiedene Materialien optimal zu kombinieren. Dieser verbesserte Materialeinsatz führte in der Vergangenheit zu einer steigenden Materialdiversität – dem Einsatz neuer und einer größeren Anzahl von Rohstoffen in einem Produkt.

3.10 Substituierbarkeit von Rohstoffen nur begrenzt möglich

Ein Aspekt der Materialdiversität ist die Möglichkeit, Rohstoffe durch andere zu substituieren und dadurch eine Produktverbesserung zu erzielen. Bei gefährdeten Rohstoffen wird häufig versucht, diese durch nicht gefährdete zu substituieren, um Rohstoffrisiken zu verringern. Häufig ist diese Substituierbarkeit jedoch nicht in adäquater Weise möglich, wodurch die Produktion dieser Güter durch Rohstoffrisiken gefährdet bleibt.

In anderen Fällen ist die Substitution von Rohstoffen zwar möglich, jedoch ist das Substitut ebenfalls ein gefährdeter Rohstoff, sodass sich das Produktionsrisiko nicht verringert. Diese sogenannte theoretische Substitution verdeutlicht die Herausforderungen, denen die rohstoffverarbeitende Industrie gegenübersteht.

4 Politische Initiativen der Rohstoffpolitik

Maßnahmen der Politik zur Rohstoffsicherung verfolgen verschiedene Ziele.

Als wichtige Industrienation zählt Deutschland zu den größten Rohstoffnachfragern der Welt. Während Massenrohstoffe wie Kies, Sand, Kalkstein, Ton und Salz in heimischen Lagerstätten gewonnen werden, müssen Metallrohstoffe, andere wichtige Industriemineralien, Seltene Erden und fossile Rohstoffe fast vollständig importiert werden.

Die Bundesregierung hat zu Recht erkannt, welche Bedeutung Rohstoffe für die deutsche Volkswirtschaft haben und wie wichtig diese als Basis für das wirtschaftliche Wachstum sind. Daher initiierte sie eine Reihe von Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung in Deutschland. Hierzu wurden verschiedene Institutionen und Initiativen ins Leben gerufen, die die Maßnahmen umsetzen, beratend begleiten oder mit entwicklungspolitischen Zielen verknüpfen. Die folgenden Unterkapitel geben einen Überblick über die wichtigsten deutschen, europäischen und amerikanischen Initiativen zur Rohstoffsicherung.

4.1 Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung

Die Bundesregierung hat ein vielfältiges Maßnahmenpaket auf den Weg gebracht, das wirtschaftlich attraktive und sichere Rahmenbedingungen für Rohstoffmärkte schaffen soll. Darüber hinaus zielt die Bundesregierung darauf ab, effiziente nationale und internationale Märkte zu etablieren und zugleich eine nachhaltige Nutzung voranzutreiben. Dennoch sieht die Bundesregierung ihre Aufgabe lediglich in der Gestaltung der Rahmenbedingungen und richtet ihre Strategie ergänzend zur eigenverantwortlichen Rohstoffsicherung der Unternehmen aus.

Essenzielle Punkte der Rohstoffstrategie der Bundesregierung sind die Diversifikation der Bezugsquellen und die Risikominimierung der Rohstoffversorgung. Dies soll auf zwei Wegen umgesetzt werden:

1. Auf nationaler Ebene soll die Sicherung der Rohstoffversorgung bei möglichen Konflikten in der Raumplanung auf Ebene der Länder und Kommunen angemessen berücksichtigt werden. Aktuell sind die Rahmenbedingungen hierfür nach Meinung der Bundesregierung ausreichend.
2. Auf internationaler Ebene möchte die Bundesregierung das Engagement deutscher Unternehmen am Bergbau fördern. Hierfür werden zum einen Instrumente der Außenwirtschaftspolitik und vermittelnde Expertise eingesetzt. Zum anderen wurden verschiedene Finanzinstrumente – wie Ungebundene Finanzkredite (UFK), eine Absicherung von Direktinvestitionen gegen politische Risiken sowie Exportkreditgarantien (Hermesdeckungen) – eingeführt.

Die nationale und internationale Strategie wird durch das Engagement in internationalen Organisationen ergänzt. Organisationen wie die WTO, die OECD, die G20 und G7 sowie die EU und ihre Handelspolitik bemühen sich um einen effizienten Handlungsrahmen, der Handelsbeschränkungen reduziert und eine gedeihliche Entwicklung des Handels fördert. Seit Februar 2016 ist Deutschland Mitglied der internationalen „Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft“ (Extractive Industries Transparency Initiative – EITI). Damit ist Deutschland nach Großbritannien das zweite EU-Land und das vierte OECD-Land (neben Norwegen, den USA und Großbritannien), das eine Steigerung der Transparenz in Rohstoffmärkten nicht nur fordert, sondern auch selbst proaktiv umsetzt. Bis August 2017 muss Deutschland den ersten EITI-Bericht veröffentlichen, der kontextbezogene Informationen über den deutschen Rohstoffsektor sowie eine Offenlegung der staatlichen Rohstofflöse und weiterer Zahlungen – wie beispielsweise Lizenzgebühren, Dividenden oder Steuern – von in Deutschland aktiven Öl-, Gas- und Bergbauunternehmen an die deutsche Regierung enthält. Die Bundesregierung sieht dies als Zeichen zur Stärkung der Entwicklungs- und Schwellenländer im gemeinsamen Kampf gegen Korruption. Weltweit sind 51 Länder sowie zahlreiche Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen an der Initiative beteiligt.

Auf der nationalen Ebene fördert die Bundesregierung die Verbesserung der Materialeffizienz inklusive des Recyclings und der Substitution von gefährdeten Rohstoffen. Diese Maßnahmen sind im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess bzw. ProgRess II) gebündelt. Eine weitere Maßnahme, die das Recycling maßgeblich forciert, ist das jüngste Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG vom 20.10.2015), das eine Reihe an Vorschriften zur Rücknahme und Entsorgung alter Elektrogeräte enthält.

Neben dem Recyceln ist die Förderung von Forschung und Entwicklung ein wichtiger Baustein, um Materialeffizienz und Substitutionsmöglichkeiten zu verbessern. Die Bundesregierung stärkt daher die staatliche Grundlagenforschung an Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie die Innovationsförderung in Unternehmen. Besonderen Wert legt sie auf die Ausbildung wissenschaftlicher Kapazitäten sowie auf ein breites Spektrum an einzelnen Initiativen und Instrumenten.

Weitere Bausteine der Rohstoffstrategie bilden verschiedene Plattformen für die Wissens- und Informationsdiffusion. Ziel ist es, wirtschaftlichen Akteuren wissenschaftliche Erkenntnisse über einen effizienten Rohstoffeinsatz aus der Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stellen und die praktische Umsetzung voranzutreiben. Hierfür wurden verschiedene Plattformen etabliert, wie beispielsweise das Netzwerk Ressourceneffizienz (NeRess) oder das VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Darüber hinaus werden Projekte mit Industrieverbänden und Unternehmen gefördert, die die allgemeine Wahrnehmung des Themas Ressourceneffizienz verbessern sollen. Zu diesen Projekten zählen beispielsweise die Innovationsgutscheine „go-Inno“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) für Materialeffizienzberatungen kleiner und mittelständischer Unternehmen oder die Deutsche Rohstoffagentur (DERA), die För-

derprogramme begleitet, internationale Rohstoffkooperationen eingeht, Rohstoffmärkte analysiert und mögliche neue Rohstoffpotenziale aufzeigt.

4.1.1 Deutsche Rohstoffagentur (DERA)

Am 4. Oktober 2010 hat das BMWi in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Deutsche Rohstoffagentur eingerichtet. Aufgabe der DERA ist die Beratung der deutschen Wirtschaft in Rohstofffragen. Dies beinhaltet die spezifische Beratung einzelner Unternehmen sowie die Einrichtung eines allgemeinen Rohstoffinformationssystems. Dafür sollen Rohstoffmärkte kontinuierlich analysiert, neue Rohstoffpotenziale und kritische Rohstoffe identifiziert sowie Versorgungsrisiken frühzeitig aufgedeckt werden. Hierfür baut die DERA aktuell ein webbasiertes Rohstoffinformationssystem auf, das zukünftig Unternehmen, politischen Entscheidungsträgern, Journalisten und der interessierten Öffentlichkeit für Rohstofffragen zur Verfügung steht. Darüber hinaus berät die DERA die Bundesregierung bei rohstoffwirtschaftlichen Themen – wie der Durchführung von Förderprogrammen – und unterstützt die Ministerien beim Aufbau rohstoffwirtschaftlicher Kooperationen mit anderen Staaten. Um die nötige Expertise zu gewährleisten, nutzt die DERA „die aktive Mitarbeit der BGR in nationalen und internationalen Netzwerken der Geologischen Dienste und die Kooperation mit Rohstoffverbänden und Forschungseinrichtungen sowie die Erfahrungen aus der 50jährigen internationalen Zusammenarbeit, insbesondere mit Entwicklungsländern“.⁴

4.1.2 Rohstoffpartnerschaften

Rohstoffpartnerschaften stellen eine weitere Maßnahme dar, die Rohstoffversorgung für Deutschland zu sichern und Versorgungsrisiken zu minimieren. Durch völkerrechtliche, bilaterale Rohstoffpartnerschaften mit Produzentenländern werden die wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen geschaffen, um Unternehmen bestmöglich in der Umsetzung ihrer Rohstoffstrategie zu unterstützen. Exklusiver Zugang zu Rohstoffen oder fest vereinbarte Liefermengen sind kein Teil dieser Abkommen, sodass sie nicht in Widerspruch zu bestehenden multilateralen Freihandelsabkommen stehen. Individuelle Verträge werden nach wie vor von den Unternehmen selbst abgeschlossen. Die Rohstoffpartnerschaften werden durch regelmäßige Sitzungen von bilateralen Regierungsarbeitsgruppen, Wirtschaftsausschüssen und Rohstoffforen ergänzt, die die Umsetzung begleiten. Bisher existieren solche Regierungsabkommen mit der Mongolei, Kasachstan und Peru. Daneben existieren weitere bilaterale Partnerschaften basierend auf gemeinsamen Erklärungen mit Australien, Chile und Kanada.

⁴ DERA, 2016a

4.1.3 Netzwerk Rohstoffe

Die Vereinbarungen der Rohstoffpartnerschaften und Maßnahmen der DERA werden durch das Netzwerk Rohstoffe erweitert. Die vom BMWi geförderten Auslandshandelskammern (AHK) initiierten in ausgewählten rohstoffreichen Ländern, gemeinsam mit der DERA und der Germany Trade and Invest (GTAI), ein Netzwerk Rohstoffe als Beratungs- und Unterstützungsinstrument für die deutsche Wirtschaft. Ziel des Netzwerks ist es, Chancen, Risiken, Potenziale und Hemmnisse, die die Rohstoffversorgung deutscher Unternehmen beeinflussen, frühzeitig zu erkennen, zu analysieren und zu kommunizieren. Darüber hinaus werden relevante Kontakte gepflegt und vermittelt. Hierzu wurden in den jeweiligen AHKs Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe eingerichtet. Diese Kompetenzzentren existieren in Australien, Brasilien, Chile, Kanada, Peru und Südafrika, mit Zuständigkeit für das südliche Afrika – speziell Südafrika, Sambia, Simbabwe und die Demokratische Republik Kongo.

4.1.4 Interministerieller Ausschuss (IMA) Rohstoffe

Da die Rohstoffversorgung essenzieller Grundstein der Produktion und Wirtschaft ist, kann die Rohstoffpolitik nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss stets eine Querschnittsaufgabe verschiedener Politikbereiche sein. Daher werden die Aktivitäten der Bundesregierung in der Rohstoffpolitik im interministeriellen Ausschuss (IMA) Rohstoffe koordiniert. Unter Leitung des BMWi sind hier diverse betroffene Ressorts sowie die DERA und die Wirtschaft aktiv, um den Austausch zwischen Politik und Wirtschaft zu fördern und Informationen an die betroffenen Unternehmen weiterzuleiten.

4.1.5 Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)

Im Februar 2012 hat die Bundesregierung als Teil ihrer übergeordneten Rohstoffstrategie das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm verabschiedet. Ressortübergreifend fasst das Programm sowohl bestehende als auch geplante Maßnahmen der Bundesregierung in den Bereichen Materialeffizienz und Recycling zusammen. Damit verfolgt die Bundesregierung das Ziel, den Verbrauch an nichtenergetischen Rohstoffen in Deutschland zu reduzieren. Als konkrete Vorgabe wird die Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 1994 genannt. Im März 2016 hat die Bundesregierung dieses Programm überarbeitet und seine Fortsetzung unter dem Titel „ProgRess II“ beschlossen. Das Ziel, die Gesamtrohstoffproduktivität Deutschlands bis 2030 im Vergleich zu 2010 um 30 Prozent zu steigern, bleibt bestehen.⁵

⁵ BMUB, 2016

Als zentraler Bestandteil des Programms werden Anreize für Unternehmen gesetzt, unter geringerem Ressourceneinsatz zu produzieren. Dies wird durch eine Vielzahl an Programmen verschiedener Ministerien vorangetrieben, deren Fokus auf der Förderung von Forschung und Entwicklung in den Bereichen Effizienz, Recycling und Substitution liegt. Hierzu zählen Initiativen, wie das Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZMI) des BMWi.

Darüber hinaus liegt ein weiterer Schwerpunkt im Bereich Information und Wissensverbreitung. Hierbei richten sich die Maßnahmen an zwei Empfängergruppen: Unternehmen und Konsumenten.

Für Unternehmen steht der Wissensaustausch im Bereich Forschung und Entwicklung sowie die konkrete Beratung einzelner Betriebe im Vordergrund. Auf Konsumentenseite soll das Bewusstsein für Ressourceneffizienz und Rohstoffrecycling gestärkt werden. Dafür wurden spezielle Schul- und Erwachsenenbildungsprogramme und Zertifizierungssysteme geschaffen. Insgesamt soll die Informationsbasis für Unternehmer und Verbraucher verbessert und die Ressourcentransparenz erhöht werden.

Das Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) widmet sich auch dem Schwerpunktthema Recycling. Durch strukturelle Maßnahmen soll eine bessere Sekundärrohstoffproduktion erreicht werden. Unternehmen kommt hierbei eine größere Verantwortung für die Abfallentsorgung zu, was Anreize zur Abfallvermeidung, zur Verlängerung der Produktlebenszeit und zu einem wiederverwertungsfreundlicheren Produktdesign schaffen soll.

Das Programm beinhaltet einige Einzelmaßnahmen, wie beispielsweise:

- die stärkere Berücksichtigung der Rohstoffeffizienz bei der Vergabe öffentlicher Aufträge.
- Subventionen, die Anreize zu erhöhtem Materialverbrauch geben, sollen entsprechend reduziert oder abgebaut werden.
- Ressourceneffizienzprogramme und Effizienzziele sollen auf internationaler Ebene vorangetrieben werden, zum Beispiel in der EU oder dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP).

4.2 Die Rohstoffstrategie der Europäischen Union

Die EU besitzt ebenfalls ein Programm zur Sicherung einer nachhaltigen und effizienten Rohstoffpolitik, wobei betont wird, dass die primäre Verantwortung für die Rohstoffwirtschaft den einzelnen Mitgliedstaaten obliegt. Diese Verantwortung beinhaltet einen ausreichenden rechtlichen Rahmen, nachvollziehbare und möglichst straffe Genehmigungsverfahren sowie eine ausreichende Berücksichtigung der Rohstoffgewinnung bei Zielkonflikten in der Raumplanung. Das EU-Programm „Raw Materials Initiative“ (RMI), teilt seine Arbeit in drei Säulen auf:

1. Sicherung des Zugangs zu den Weltmärkten für Rohstoffe.
2. Unterstützung der Förderung primärer Ressourcengewinnung innerhalb der EU.
3. Verbesserung von Ressourceneffizienz und Recycling.

Zentral für den Zugang zu Rohstoffen sind für die EU Handelsabkommen auf multilateraler und bilateraler Ebene. Ausfuhrbeschränkungen auf Rohstoffmärkten sollen in Handelsabkommen stärker berücksichtigt werden mit dem Ziel, Handelsbeschränkungen möglichst vollständig abzubauen – wie beispielsweise bei CETA. Dieses Abkommen zielt darauf ab, in Kooperation mit Kanada die Rohstoffmärkte offener, transparenter, diskriminierungsfreier, regelbasierter und wettbewerbsfreundlicher zu gestalten.

Die EU drängt auf transparentere Rohstoffmärkte und internationale Richtlinien zur Erfassung von Handels- und Finanzdaten, um die Einhaltung der getroffenen Vereinbarungen überprüfen zu können. Bei Verstößen gegen solche Vereinbarungen soll beim Scheitern eines Dialogs auch auf Streitbeilegungsverfahren zurückgegriffen werden.

Nach dem Vorbild des US-amerikanischen Dodd-Frank Act hat die EU-Kommission dazu das Country-by-Country-Reporting verabschiedet. Darin werden Unternehmen der mineralgewinnenden Industrie dazu verpflichtet, Daten über ihre Zahlungen an Regierungen auf Länder- oder Projektbasis zu melden, um Korruption einzudämmen, eine sachgerechte Besteuerung zu ermöglichen und für eine transparente Berichterstattung auch gegenüber den Bevölkerungen der rohstoffexportierenden Länder zu sorgen. Diese Daten unterstützen die EU-Mitgliedstaaten gleichermaßen bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen gegenüber der EITI (vgl. Kapitel 4.1)

Die EU versteht zudem ihre Rolle in der Aggregation von Informationen. Die von den Unternehmen und Mitgliedsländern übertragenen Daten über die Nachfrage nach Rohstoffen und geologischen Daten dienen der Erstellung einer harmonisierten, europäischen Datenbank, die effizientere Rohstoffstrategien für die EU und die Mitgliedstaaten ermöglicht.

Entwicklungshilfe für rohstoffreiche Entwicklungsländer soll zu einem sicheren Zugang zu Rohstoffen beitragen. Diese Länder sollen in ihren Vorhaben für gute Regierungsführung, den Kampf gegen Korruption und die Entwicklung nachhaltiger Wirtschaftsstrukturen unterstützt werden. Dadurch sollen die betroffenen Länder selbst dauerhaft vom Rohstoffreichtum profitieren und zugleich zu verlässlichen Lieferanten für die Industriestaaten der EU werden.

Der Schwerpunkt der Förderung von Ressourceneffizienz und Recycling der EU liegt auf der finanziellen Forschungsförderung. Seit 1984 existieren Forschungsrahmenprogramme der EU mit jeweils rund vierjähriger Laufzeit. 2013 lief das siebte EU-Forschungsrahmenprogramm aus. Das achte EU-Forschungsrahmenprogramm (Horizon 2020) hat eine Laufzeit von 2014 bis 2020 und ein Gesamtbudget von circa 70 Milliarden Euro.

Maßnahmen, um das Recycling auf europäischer Ebene voranzutreiben, bestehen vor allem darin, den legalen und illegalen Export von wiederverwertbaren Abfällen aus der EU zu reduzieren. Zudem sollen die Ursachen der extremen Unterschiede von Recyclingquoten in den Mitgliedstaaten untersucht und behoben sowie geltende Abfallvorschriften konsequenter angewendet und durchgesetzt werden.

Als Teil dieser Maßnahmen sind die von der Bundesregierung verabschiedeten Elektrogesetze ElektroG und ElektroG2 als deutsche Umsetzung der europäischen WEEE- und WEEE II-Richtlinie zu verstehen. Sie regeln das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten. Innerhalb der Bundesregierung ist das BMUB zuständig, während die Rechts- und Fachaufsicht sowie die Marktüberwachung dem Umweltbundesamt (UBA) unterliegen.

Nach diesen Richtlinien muss der Handel seit Juli 2016 alte Elektrogeräte zurücknehmen, um eine sachgerechte Entsorgung der Haushalts- und Hightech-Utensilien und die Verwertung von darin verwendeten Rohstoffen voranzutreiben. Große Händler ab einer Lager-/Laden- oder Verkaufsfläche von 400 Quadratmetern unterliegen seither einer Rücknahme- und Entsorgungspflicht und müssen kostenfrei elektrische und elektronische Altgeräte zurücknehmen. Ab 2016 gibt es zudem eine relative Sammelquote von Altgeräten. Der Wert beträgt zunächst 45 Prozent des Durchschnittsgewichts der in den drei Vorjahren in den Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte. Ab 2019 müssen 65 Prozent gesammelt werden. 2010 erreichte Deutschland bereits eine Sammelquote von gut 45 Prozent.

Die Rohstoffstrategien der EU und der Bundesregierung folgen einer nachvollziehbaren Arbeitsteilung. Unterschiede in der Strategie der EU und der Bundesregierung ergeben sich vor allem in der Zielgruppe. Während die EU sich auf die Beseitigung von Handelsbarrieren fokussiert, spezialisiert sich die Bundesregierung auf eine deutlich konkretere Unterstützung und Beratung der Unternehmen.

4.3 Die Rohstoffpolitik der US-Regierung

Die Rohstoffpolitik der US-Regierung und damit die strategische Bedeutung von Rohstoffen wurde historisch vor allem unter militärischen Gesichtspunkten betrachtet. Es wird regelmäßig geprüft, welche Rohstoffe nach einem militärischen Konfliktszenario benötigt würden, um die US-Armee binnen drei Jahren wieder aufzurüsten. Der Fokus liegt dabei auf der Lagerhaltung dieser strategischen Rohstoffe, welche vom Defense National Stockpile Center (DNSC) organisiert wird. Aus diesem Grund wird auch eher von strategischen als von kritischen Rohstoffen gesprochen.

Daneben verfolgt das Department of Energy eine eigene Rohstoffstrategie, die sich an einem technologiebezogenen Konzept kritischer Rohstoffe orientiert. Diese Critical Materials Strategy versucht, ähnlich wie die deutsche Strategie, Versorgungsrisiken zu reduzieren und Substitutionsmöglichkeiten durch Materialien oder Technologien zu entwickeln. Des Weiteren zielt die Strategie auf eine Schärfung des Bewusstseins der Bevölkerung sowie einen effizienten und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen ab.

Viele Zuständigkeiten der amerikanischen Rohstoffstrategie waren über verschiedene Ministerien verteilt, weshalb seit März 2010 eine ressortübergreifende Arbeitsgruppe besteht, die eine kohärente Strategie mit klarer Verantwortungsübernahme besitzt und durch das White House Office of Science and Technological Policy koordiniert wird.

Für eine erfolgreiche Rohstoffstrategie sind Kooperationen und ein koordiniertes Vorgehen wichtig. Dies haben sowohl die USA innerhalb ihrer Aktivitäten, als auch die EU innerhalb der eigenen Aktivitäten festgestellt. Darüber hinaus kooperieren die USA und die EU auch beim Thema Rohstoffsicherung. Durch die Kooperation werden Daten gesammelt, eine einheitliche Erfassung der Daten sichergestellt, bessere Möglichkeiten zur Erfassung des Stoffflusses im Lebenszyklus von Rohstoffen entwickelt und Methoden zum Schließen von Datenlücken sowie zur Ermittlung kritischer Rohstoffe beraten. Auf Basis dieser Daten wurde bei der OECD eine Datenbank (Inventory of Export Restrictions on Industrial Raw Materials) über Exportrestriktionen eingerichtet, in der Daten des Rohstoffsektors – insbesondere von Mineralien, Metallen und Holz – seit 2009 aufbereitet werden. 2015 wurde die Datenbank überarbeitet und enthält nun Informationen von 73 Exportländern und 64 Rohstoffen und ist damit die umfassendste Datenbank in diesem Bereich.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der US-Rohstoffpolitik besteht im Dodd-Frank Act, mit dem alle Unternehmen, deren Aktien an US-Börsen gehandelt werden, verpflichtet werden, Informationen über die Verwendung sogenannter Konfliktmineralien (wie zum Beispiel Coltan, Zinnerz, Gold, Wolframit) offenzulegen. Die Unternehmen müssen belegen, ob diese Mineralien aus der Demokratischen Republik Kongo oder deren Nachbarländern stammen und gegebenenfalls einen Bericht darüber vorlegen, dass sie angemessene Sorgfalt („Due Diligence“) hinsichtlich ihrer Beschaffungsquellen angewendet haben.

Der Dodd-Frank Act wirkt so als großes Hindernis für die Beschaffung von Rohstoffen aus dem Kongo und für Investitionen in den Rohstoffabbau im Kongo. Die Dokumentationspflichten sind einerseits umfangreich, andererseits bestehen Umgehungsmöglichkeiten – zum Beispiel durch Schmuggel. Die tatsächliche Herkunft von Mineralien kann nur schlecht nachgewiesen werden. Durch ihre Handelsverflechtungen mit US-amerikanischen Firmen sind auch europäische Unternehmen von dem Gesetz betroffen.

5 Rohstoff-Risiko-Index

Rohstoffrisiken können gemessen werden.

Der Rohstoff-Risiko-Index setzt sich aus acht Einzelindikatoren zusammen, die als wesentliche Risikofaktoren für die Rohstoffsituation in Industrieunternehmen definiert wurden. Insgesamt werden 45 Rohstoffe in den Index aufgenommen, die aus den „Rohstoffwirtschaftlichen Steckbriefen“ der BGR abgeleitet sind. In den Index werden auch die drei Seltenerdmetalle Scandium, Yttrium und Neodym sowie die ausgewählten Spezialmetalle Selen, Indium, Germanium und Gallium mit aufgenommen.

Die 45 Metalle und Minerale werden mithilfe des Indexes in drei verschiedene Gefahrenklassen eingeteilt. In der roten Gruppe (sehr risikobehaftet) befinden sich 17 Rohstoffe. In der orangefarbenen Gruppe (mittleres Risiko) sind 16 Rohstoffe aufgelistet. Die zwölf Rohstoffe in der grünen Gruppe sind bei der Frage des Versorgungsrisikos beziehungsweise der Gefährdung in der Zukunft von eher geringerer Bedeutung.

5.1 Aufbau

Im Vergleich zur fünften Auflage hat sich am Aufbau beziehungsweise der Erstellung des Rohstoff-Risiko-Indexes nichts geändert. Er besteht aus insgesamt acht Kriterien:

Quantitative Indikatoren

- Statische Reichweite
- Länderrisiko
- 3-Länder-Konzentration
- 3-Unternehmen-Konzentration
- Preisrisiko

Qualitative Indikatoren

- Bedeutung für Zukunftstechnologien
- Gefahr des strategischen Einsatzes
- Substituierbarkeit

Somit sind im Index sowohl harte Fakten in Form von Kennzahlen als auch nicht direkt messbare Einflüsse auf die Rohstoffversorgung mittels Experteneinschätzung abgebildet.

Jeder Indikator wird in eine vergleichbare Größenskalierung transformiert und mit einem individuellen Gewicht belegt. Der Index ist so konstruiert, dass einem Rohstoff bei maximaler Gefährdung 25 Punkte und bei minimaler Gefährdung null Punkte zugeordnet werden. Je mehr Punkte ein Rohstoff aufweist, desto gefährdeter ist er in der

Summe aller acht bewerteten Kriterien. Der Rohstoff-Risiko-Index spiegelt den verfügbaren Datenstand von Juni 2016 wider.

Im Einzelnen sind die Indikatoren wie folgt im Index aufgenommen worden.

– *Statische Reichweite*

Dieser quantitative Indikator gibt den theoretischen Zeitraum in Jahren an, für den noch ausreichende Vorkommen des jeweiligen Rohstoffs bekannt (und ökonomisch nutzbar beziehungsweise förderbar) sind, um die derzeitige Jahresproduktion aufrecht erhalten zu können. Beispielsweise wurden im Jahr 2015 etwa 18,7 Millionen Tonnen Kupfer produziert bei einem bekannten Vorkommen von weltweit über 700 Millionen Tonnen. Somit würde dieser Rohstoff rechnerisch noch knapp 40 Jahre auf aktuellem Niveau gefördert werden können.

Hierbei muss beachtet werden, dass dieser Wert nur unter Konstanz der Rohstoffvorkommen und der aktuellen Förderung gilt. Die statische Reichweite kann etwa durch technologischen Fortschritt, Substitution, verstärktes Recycling, die Entdeckung neuer Vorkommen oder auch Veränderungen auf der Nachfrageseite erheblich verlängert werden. Gerade der letzte Punkt impliziert umgekehrt natürlich auch eine mögliche Verkürzung der Reichweite. Richtig interpretiert, zeigt eine kurze statische Reichweite nicht ein Ende der Produktionsmöglichkeiten, sondern die Notwendigkeit von Investitionen in Exploration oder Bergbau an.

– *Länderrisiko*

Dieser Wert entspricht einer anteilsgewichteten „Schulnote“, die aussagt, wie hoch die politische Stabilität in den Ländern ist, in denen der jeweilige Rohstoff produziert wird. Liegt die Bewertung im Bereich eins oder zwei, bedeutet dies, dass dieser Rohstoff vorwiegend in Staaten hergestellt wird, in denen eher nicht mit einer politischen Instabilität zu rechnen ist – wie sie beispielsweise durch Umstürze, Revolutionen oder Ähnliches hervorgerufen werden könnte. Ist der Rohstoff mit fünf oder sechs „benotet“, ist das Risiko, dass die politischen Verhältnisse den Rohstoffzugang beziehungsweise die Rohstoffversorgung gefährden, als eher hoch einzustufen.

Um das Risiko in den einzelnen Ländern zu bestimmen, wird eine Kombination von vier Indizes zusammengestellt, aus der sich die Note für das jeweilige Land ergibt. Der Gesamtindex setzt sich aus dem Heritage Index, der AON Political Risk Map, dem Transparency International Index und dem Fraser Index zusammen, wobei aus Letzterem nur eine Untergruppe (Area 2) verwendet wird. Der Vorteil an dieser Vorgehensweise ist, dass jeder der einzelnen Indizes allein schon ein breites Spektrum an Faktoren erfasst. Durch die Berücksichtigung aller vier Indizes ist es möglich, ein unabhängiges und umfassendes Risikobild zu zeichnen. Während sich der Heritage Index zum Beispiel stärker auf die ökonomische Freiheit in einem Land konzentriert, erfasst die AON Political Risk Map vor allem das politische Risiko. Die zusammengefassten Bewertungen werden

den jeweiligen Ländern zugeordnet und mit dem Anteil an der Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs gewichtet.

– *3-Länder-Konzentration*

Die 3-Länder-Konzentration gibt den Anteil an der Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs wieder, den die drei größten Produzentenländer auf sich vereinen.

– *3-Unternehmen-Konzentration*

Die 3-Unternehmen-Konzentration gibt den Anteil an der Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs wieder, den die drei größten Unternehmen auf sich vereinen.

– *Preisrisiko*

Das Preisrisiko wird aus dem Preisanstieg des Zeitraums von Mitte 2013 bis Mitte 2016 und der in dem Zeitraum gemessenen Volatilität errechnet. Preisrückgänge gehen mit einem Wert von null ein. Aus diesen beiden Indikatoren wird ein Index gebildet, in den der Preisanstieg mit einem Gewicht von 25 Prozent und die Volatilität mit einem Gewicht von 75 Prozent eingehen. Bei einigen wenigen Rohstoffen müssen Experteneinschätzungen die konkreten Preisberechnungen ersetzen, da die Datenlage zu intransparent ist.

– *Bedeutung für Zukunftstechnologien*

Zukunftstechnologien sind ein wichtiger Treiber für die Nachfrage von Rohstoffen, allerdings ist eine Skalierung dieser qualitativen Größe nicht möglich. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurden im Rahmen des diesjährigen Gutachtens externe Experten zu ihrer Einschätzung der jeweiligen Bedeutung des Rohstoffs für Zukunftstechnologien befragt. Ihre Einschätzung gaben sie auf einer sechsstufigen Skala für jeden der 45 untersuchten Rohstoffe ab.

Zusätzlich werden die Gutachten des Fraunhofer-Instituts und der DERA für die Einordnung der einzelnen Rohstoffe verwendet.⁶ Darin werden zusammen 21 Rohstoffe im Hinblick auf ihre Bedeutung für Zukunftstechnologien und dem daraus abgeleiteten Bedarf im Jahr 2030 im Verhältnis zur Produktionsmenge des Jahres 2006 abgeschätzt. Im Ergebnis lässt sich eine hohe, mittlere oder geringe Rolle der Rohstoffe für Technologien wie Lasertechnik, Medizintechnik oder Photovoltaik ableiten.

⁶ Angerer et al., 2009; DERA, 2016b

– *Gefahr des strategischen Einsatzes*

Wie auch bezüglich der Bedeutung für Zukunftstechnologien wurden die Experten um eine Einordnung der einzelnen Rohstoffe nach der Gefahr ihrer Verwendung als politisches und strategisches Instrument gebeten.

Übersichten über bestehende Handels- und Wettbewerbsbeschränkungen auf Rohstoffmärkten sind dabei Orientierungshilfen für ausgewählte Metalle und Mineralien. Hier liegen für diejenigen Länder, die mittels Steuern, Ausfuhr- oder auch Veredelungsverboten den Wettbewerb behindern, detaillierte Informationen vor. Für den Rohstoff-Risiko-Index wird jeder einzelne Rohstoff auf einer sechsstufigen Skala eingeordnet.

– *Substituierbarkeit*

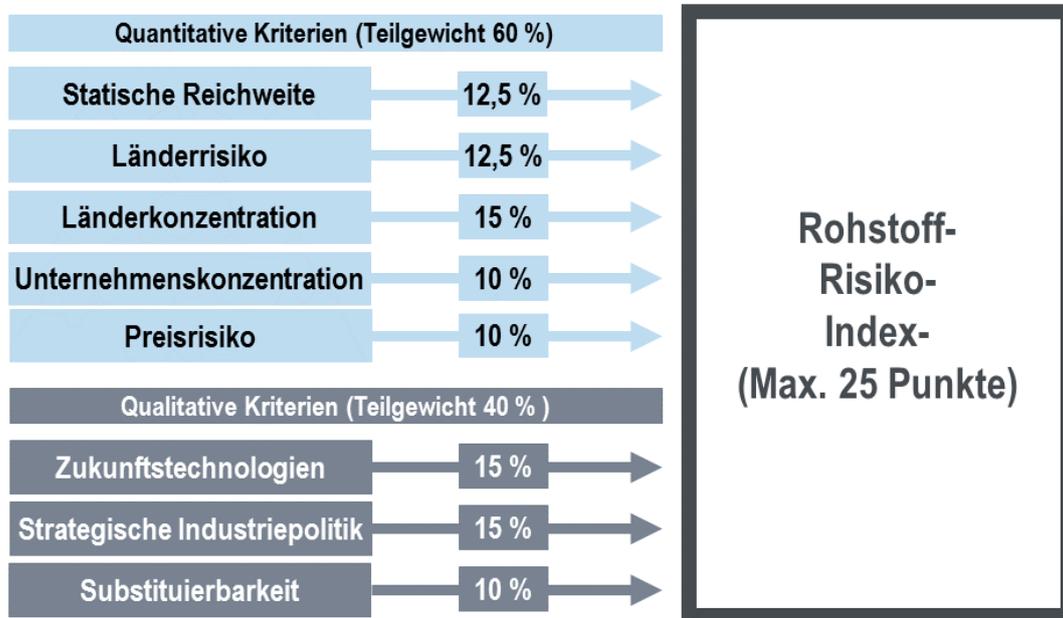
Einige Rohstoffe können in ihrer Funktion durch andere Rohstoffe ersetzt werden, bei anderen ist dies aufgrund ihrer Eigenschaften nur bedingt oder auch gar nicht möglich. Dieser wichtige Aspekt bei der Beurteilung von Rohstoffen lässt sich ebenfalls nicht quantifizieren und wurde daher ebenso von Rohstoffexperten auf der sechsstufigen Skala geschätzt.

5.2 Gewichtung

Die quantitativen Faktoren gehen mit einem Gewicht von 60 Prozent in den Rohstoff-Risiko-Index ein, die qualitativen Faktoren werden mit 40 Prozent gewichtet. Innerhalb der beiden Gruppen sind die Indikatoren anteilmäßig unterschiedlich vertreten. In Abbildung 4 ist der gesamte Aufbau des Rohstoff-Risiko-Indexes veranschaulicht.

Abbildung 4

Gewichtung Rohstoff-Risiko-Index



Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

5.3 Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Indexes

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Indexes müssen zwei Einschränkungen beachtet werden:

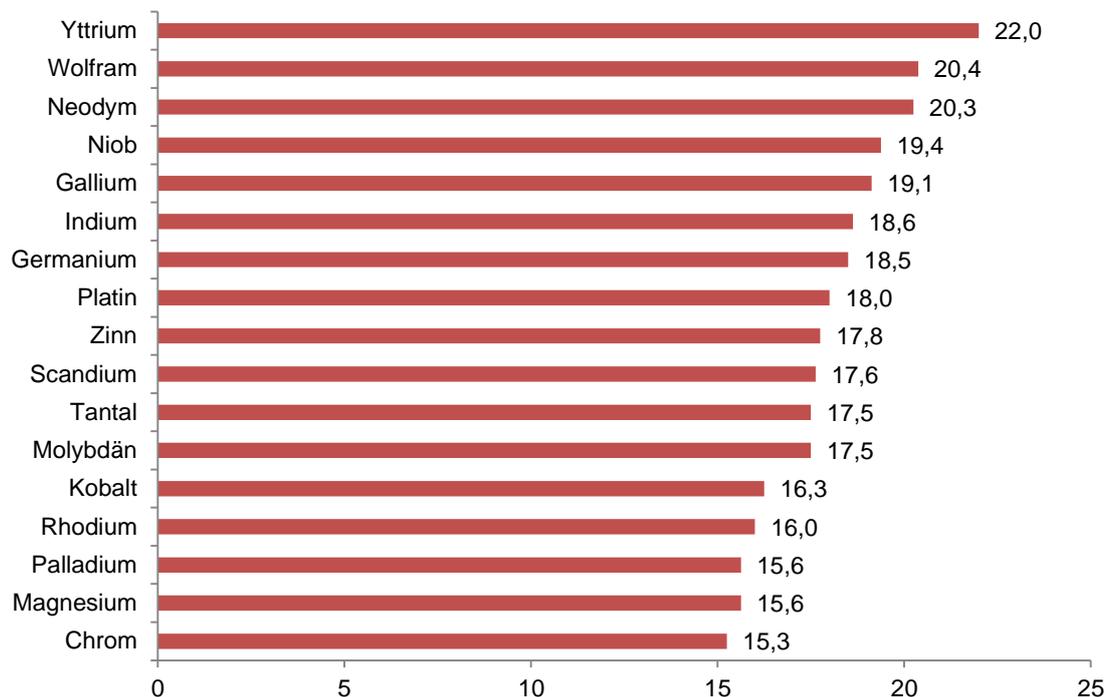
- Ein direkter Vergleich der Punktzahlen mit dem Vorgängergutachten ist nur bedingt aussagekräftig, da sich die Punktwerte auch in Relation zur Bewertung der anderen Rohstoffe ergeben. Eine Veränderung des Punktwerts eines Rohstoffs kann daher theoretisch auch nur durch Änderungen in den Bedingungen bei anderen Rohstoffen verursacht sein.
- Die Unterschiede in der Punktwertung und den Rängen zwischen einzelnen Rohstoffen sind häufig klein, sodass die konkreten Ränge der Kritikalität nicht immer als absolut trennscharf interpretiert werden sollten. Geringe Änderungen in der Bewertung der Versorgungsbedingungen können Rangänderungen auslösen.

Rote Gruppe

Wie im letzten Gutachten ist das Seltenerdmetall Yttrium der Rohstoff mit dem höchsten Versorgungsrisiko. In der aktuellen Analyse erhält es einen Risikowert von 22 bei 25 maximal möglichen Punkten (Abbildung 5). Es weist in fast allen Dimensionen des Rohstoff-Risiko-Indexes den Maximalwert auf. Lediglich die statische Reichweite ist nur

mit einem mittleren Risiko behaftet. Wie die meisten Seltenerdmetalle wird Yttrium hauptsächlich als Teil von Keramiken und Legierungen verwendet – zum Beispiel in Lambdasonden, Supraleitern oder Zündkerzen. In sehr geringen Mengen kann es zur Optimierung von Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren eingesetzt werden.

Abbildung 5

Gefahrenklasse I der Rohstoffe – rote Gruppe

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

Mit 20,4 Punkten und 20,3 Punkten liegen Wolfram und Neodym auf dem zweiten und dritten Rang des Rohstoff-Risiko-Indexes praktisch gleichauf. Bei beiden Rohstoffen führen insbesondere die hohe Länderkonzentration und das politische Risiko in den Förderländern zu dieser Einschätzung. Wolfram zeichnet sich vor allem durch seine mechanische Festigkeit und seine geringe thermische Ausdehnung aus. Es wird unter anderem in Bauteilen verwendet, die hohen Verschleißbelastungen ausgesetzt sind, wie Schneidwerkzeuge oder Laufschiene von Kettensägen.⁷ Neodym wird vor allem in

⁷ vgl. DERA, 2016b, S. 214

Permanentmagneten eingesetzt, die wiederum für Elektromotoren im Bereich der Elektromobilität sowie für Generatoren in Windkraftanlagen eine hohe Bedeutung haben.

Niob belegt mit 19,4 Punkten Rang vier des Rohstoff-Risiko-Indexes. Niob ist chemisch eng mit Tantal (17,5 Punkte, Rang elf) verwandt. Die Metalle kommen in der Natur häufig vergesellschaftet vor. Zur hohen Risikoeinschätzung tragen vor allem die Bedeutung für Zukunftstechnologien, die mangelnde Substituierbarkeit und die hohe Länderkonzentration der Rohstoffe bei. Eine wichtige Zukunftstechnologie sind mikroelektronische Kondensatoren.⁸

Auf den Rängen fünf und sieben stehen Gallium (19,1 Punkte) und Germanium (18,5 Punkte). Gallium und Germanium werden unter anderem in Hochleistungsmikrochips verwendet. Galliumarsenid werden vor allem im Hochfrequenzbereich bessere Eigenschaften zugeschrieben als Silizium. Einsatz finden Mikrochips auf Gallium- und Germaniumbasis beispielsweise in Mobiltelefonen, WLAN- und GPS-Anwendungen sowie in der Mikrowellenelektronik, beim Militär und in der Raumfahrt. Auch lichtemittierende Dioden (LEDs) und Laser-Dioden sowie Solarzellen und Fotodioden werden auf Basis von Galliumarsenid (GaAs) oder Galliumnitrid (GaN) hergestellt. Germanium Wafer werden zudem in Solarzellen benutzt. Wichtigste Risikofaktoren bei Gallium und Germanium sind die Bedeutung für Zukunftstechnologien und ihre geringe statische Reichweite.⁹

Indium (18,6 Punkte) liegt auf Rang sechs des Rohstoff-Risiko-Indexes, Zinn (17,8 Punkte) auf Rang neun. Indium und Zinn werden häufig in Dünnschichten von Indium-Zinn-Oxid (ITO) im Bereich der Optik angewendet. Die Verbindung von Indiumoxid und Zinnoxid ermöglicht eine metallähnliche Leitfähigkeit bei gleichzeitiger Transparenz des Materials. Dementsprechend werden die Materialien vorwiegend bei der Herstellung von LCDs und bei Flachbildschirmen eingesetzt. Neben diesem Einsatzgebiet hat Indium genau wie Germanium eine hohe Bedeutung für die Herstellung von Solarzellen. Zinn wird stofflich am häufigsten als Lötzinn in Weißblech und Chemikalien verwendet. Wichtige Zukunftstechnologien sind bleifreie Lote und Windkraftanlagen. Auch bei Zinn und Indium sind die statischen Reichweiten gering und die Bedeutung für Zukunftstechnologien hoch.¹⁰

Die drei Elemente der Platingruppe – Platin (18 Punkte), Rhodium (16 Punkte) und Palladium (15,6 Punkte) – finden sich auf den Rängen acht, 14 und 15 in der roten Gruppe. Hohe Länder- und Unternehmenskonzentrationen, ihre Bedeutung für Zukunftstechnologien sowie Schwierigkeiten bei der Substitution stehen hinter dieser Bewertung. Wichtige Anwendungsgebiete sind Kfz-Katalysatoren und Anwendungen in

⁸ vgl. DERA, 2016b, S. 96

⁹ vgl. DERA, 2016b, S. 103, S. 253

¹⁰ vgl. DERA, 2016b, S. 257, S. 286

der Elektroindustrie. Platin wird auch in Brennstoffzellen, Palladium zur Meerwasserentsalzung genutzt.

Scandium liegt mit 17,6 Punkten auf Rang zehn des Rohstoff-Risiko-Indexes. Es gehört wie Neodym und Yttrium zu der Gruppe der Seltenerdmetalle. Die Eigenschaften von Scandium ähneln denen von Aluminium. Es ist ähnlich leicht und bildet an der Luft eine schützende Oxidschicht. Geringfügige Zusätze von Scandium zu Aluminiumlegierungen wirken stabilisierend. Derzeit wird Scandium hauptsächlich in Aluminiumlegierungen (Luftfahrt), in Brennstoffzellen und für Beleuchtungen verwendet. Zukünftige Anwendungen sind vor allem in stationären Brennstoffzellen zu sehen.¹¹

Mit 17,5 Punkten erreicht Molybdän den zwölften Rang des Rohstoff-Risiko-Indexes. Statische Reichweite, Länderkonzentration, Bedeutung für Zukunftstechnologien und schwierige Substitution sind gleichermaßen entscheidend für die Einordnung. Wesentliches Einsatzgebiet von Molybdän sind derzeit Stahllegierungen. Dadurch können Festigkeit sowie Hitze- und Korrosionsbeständigkeit erhöht werden, was bei Extremwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie für den Werkzeugbau von Bedeutung ist. Molybdän wird auch als Katalysator zur Schwefelreduktion in der Erdölraffination eingesetzt. Im elektronischen Bereich findet Molybdän als Leiter in TFT-Bildschirmen oder in Quarzgläsern von Leuchtmitteln Verwendung.

Auf Rang 13 des Rohstoff-Risiko-Indexes liegt Kobalt (16,3 Punkte) – maßgeblich wegen des hohen Länderrisikos. Hoch einzustufen sind aber auch die Bedeutung für Zukunftstechnologien und das Risiko gegenüber einer strategischen Rohstoffpolitik. Schwierig ist auch die Substitution. Die Demokratische Republik Kongo zählt nach wie vor zu den wichtigsten Kobaltproduzenten. Kobalt wird zur Erzielung hoher Energiedichten unter anderem als Kathode in Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Die DERA identifiziert dies als wichtigste Zukunftstechnologie für Kobalt. Sogenannte Superlegierungen für hochgradig verschleißresistente Bauteile (zum Beispiel Schneidwerkzeuge, Rasierklingen, Bohrer) sind eine andere wichtige Anwendung.¹²

Auch Magnesium (Rang 16; 15,6 Punkte) und Chrom (Rang 17; 15,3 Punkte) zählen noch zur roten Gruppe der hochriskanten Rohstoffe. Die Gründe unterscheiden sich jedoch. Magnesium weist eine hohe Länderkonzentration, ein hohes politisches Risiko sowie Risiken aus der Bedeutung für Zukunftstechnologien und den Substitutionsmöglichkeiten auf. Bei Chrom ist neben der Länderkonzentration insbesondere die geringe statische Reichweite riskant. Magnesium Gussteile werden bei der Leichtbauweise im Fahrzeug- und Luftfahrzeugbau verwendet. Chrom wird in Zukunft in der Meerwasserentsalzung und bei Hochtemperatursupraleitern benötigt.

¹¹ vgl. DERA, 2016b, S. 271 f.

¹² vgl. DERA, 2016b, S. 213, S. 258 f.

Ein gemeinsames Merkmal der meisten als kritisch bewerteten Rohstoffe ist ihre Bedeutung für Zukunftstechnologien und die schlechten Substitutionsmöglichkeiten. Dies ist teilweise schon mit dem Konzept der Zukunftstechnologie selbst zu begründen. Neu entwickelte Technologien nutzen häufig Rohstoffe, die bislang selten genutzt wurden und denen daher auch eine geringe Beachtung beim Abbau geschenkt wurde. Wird der Technologie gleichzeitig ein hohes Wachstumspotenzial zugeschrieben, trifft ein dynamisch wachsender Rohstoffbedarf auf schlecht entwickelte Förderkapazitäten. Gerade bei Rohstoffen, die vergesellschaftet vorkommen (z. B. Seltene Erden) oder als Beifang von anderen Rohstoffen gefördert werden (z. B. Gallium, Germanium, Indium), müssen Technologien zur sortenreinen Förderung noch optimiert werden. Zur Einstufung als hochriskante Rohstoffe kommt häufig eine hohe Länderkonzentration der förderwürdigen Vorkommen hinzu; eine Gefahr, die durch politische Risiken in einzelnen Förderländern oft noch verstärkt wird.

Die Verwendungsarten der Rohstoffe der roten Gruppe und ihre Bedeutung für Bayern sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Bedeutung für Bayern wird dabei aus branchenstrukturellen Erwägungen abgeleitet. In der Branchenstruktur spiegelt sich die ausgeprägte Technologieorientierung der bayerischen Wirtschaft wider. Von den 17 Rohstoffen der besonders kritischen roten Gruppe weisen 13 eine hohe Bedeutung für Bayern auf. Eine zuverlässige und sichere Rohstoffversorgung ist daher für Bayern besonders wichtig.

Tabelle 1

Bedeutung der Rohstoffe Gefahrenklasse I für Bayern

Rohstoffe	Verwendung	Bedeutung für Bayern
Yttrium	Reaktortechnik, Magnete, Metallurgie, Röhrentechnik, Leuchtstoffe	hoch
Wolfram	Leuchtmittelindustrie, Metallurgie, Militär	hoch
Neodym	Magnete, Lasertechnik, Glas- und Porzellanfärbung	hoch
Niob	Stahlindustrie (Superlegierungen, Edelstahl), Elektronik, Turbinen	mittel
Gallium	Dünnschicht-Photovoltaik, Elektronik, WLED	hoch
Indium	Optik, Elektronik, Photovoltaik	hoch
Germanium	Glasfaser, Halbleiter, Infraroptik, Polymer-Katalysatoren	hoch
Platingruppe	Katalysatoren, Schmuckindustrie, Elektronik, Chemie, Dentaltechnik	hoch
Zinn	Elektronik, Weißblech, LCD, Chemie, Legierungen	hoch
Scandium	Flugzeugbau, Quecksilberdampflampen	mittel
Tantal	Medizintechnik	hoch
Molybdän	Edelstahl, Elektronik, Katalysatoren, Flugzeug- und Raketenbau	hoch
Kobalt	Batterien, Superlegierungen, Katalysatoren, Hartmetalle	hoch
Magnesium	Metallurgie, chemische Industrie, Flugzeug- und Fahrzeugbau	mittel
Chrom	Edelstahl, Feuerfestindustrie, Chemie, Farbe	mittel

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

Orangefarbene Gruppe

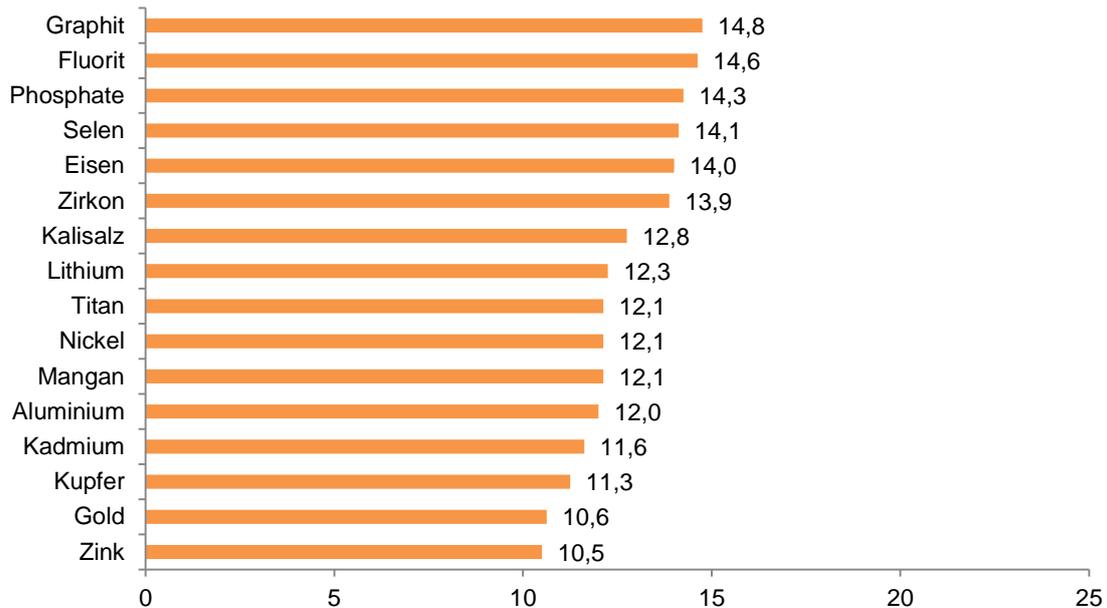
In der orangefarbenen Gruppe sind die Rohstoffe mit einem mittleren Versorgungsrisiko zusammengefasst (Abbildung 6). Während die rote Gruppe von Metallen dominiert wird, finden sich in der orangefarbenen Gruppe neben Metallen (zum Beispiel Eisen, Titan, Nickel) und dem Edelmetall Gold auch Industriemineralien wie Fluorit, Phosphat oder Kalisalz. Zwar ist das Rohstoffrisiko in dieser Gruppe geringer als in der roten Gruppe, die Bedeutung der Rohstoffe für die Industrie ist dennoch oft hoch. Versorgungsengpässe können daher ebenso gravierende ökonomische Auswirkungen haben.

Graphit ist mit 14,8 Punkten der Rohstoff mit dem höchsten Versorgungsrisiko in der orangefarbenen Gruppe. Ausschlaggebend für die relativ hohe Risikoeinstufung sind das hohe Länderrisiko und die hohe Länderkonzentration. Graphit wird derzeit überwiegend in China gefördert. Er hat auch eine hohe Relevanz für Zukunftstechnologien

und findet dort Anwendung bei Brennstoffzellen oder als Kathode in Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

Abbildung 6

Gefahrenklasse II der Rohstoffe – orangefarbene Gruppe



Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

Mit 14,6 Punkten an zweiter Stelle in der orangefarbenen Gruppe liegt Fluorit. Neben dem hohen Länderrisiko und der hohen Länderkonzentration ist die geringe statische Reichweite ein weiterer Risikofaktor bei diesem Mineral. Fluorit wird als Zusatz in der Eisenverhüttung, als Fluss- und Trübungsmittel in der Glasindustrie sowie zur Herstellung von Fluor und Fluorverbindungen in der Chemieindustrie verwendet.

An dritter Stelle in der orangefarbenen Gruppe finden sich Phosphate (14,3 Punkte). Als kritisch werden hier vor allem das Länderrisiko, die Bedeutung für Zukunftstechnologien und die relativ geringen Substitutionsmöglichkeiten eingeschätzt. China, Marokko und Russland zählen zu den wichtigsten Produzenten des aus Mineralien gewonnenen Rohstoffs. Das wichtigste Einsatzfeld von Phosphaten ist die Düngemittelproduktion. Aus dieser Anwendung resultieren auch die hohe Zukunftsbedeutung und die geringe Substituierbarkeit. Dieses Einsatzgebiet ist auch für Kalisalz (12,8 Punkte und Rang sieben in der orangefarbenen Gruppe) von großer Bedeutung.

Selen (14,1 Punkte), Eisen (14 Punkte) und Zirkon (13,9 Punkte) folgen mit geringen Unterschieden in der allgemeinen Risikobewertung auf den Rängen vier bis sechs in der orangefarbenen Gruppe. Selen hat eine hohe Zukunftsbedeutung in der Elektroin-

dustrie (zum Beispiel Belichtungstrommeln für Drucker und Kopierer, Halbleiter, Solarzellen), für Chemikalien und Pigmente sowie als Legierungszusatz. Ein wesentlicher Risikofaktor bei Eisen ist die hohe Länderkonzentration der Produktion auf China, Australien und Brasilien. Die Zukunftsbedeutung von Zirkon leitet sich aus dem Bedarf in Gießereien und in der Dentaltechnik ab.

Das bedeutendste Einsatzfeld von Lithium (12,3 Punkte, Rang acht in der orangefarbenen Gruppe) sind Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Diese werden derzeit vor allem im Informations- und Kommunikationstechnologie-Bereich (Laptop-PCs, Smartphones etc.) eingesetzt. Aus dem absehbaren Ausbau der Elektromobilität resultiert allerdings ein weiterer großer Bedarf für diesen Rohstoff (vgl. Fallstudie 2, Kapitel 6.2). Im Rohstoff-Risiko-Index spiegelt sich diese Einschätzung in hohen Risikowerten in den Bereichen Zukunftsbedeutung und Substituierbarkeit wider. Dazu kommt eine hohe Länderkonzentration der Produktion.

Nahezu identische allgemeine Risikobewertungen erhalten Titan, Nickel, Mangan (jeweils 12,1 Punkte) und Aluminium (zwölf Punkte). Mangan und Nickel weisen relativ geringe statische Reichweiten auf. Bei Titan und Aluminium als leichte metallische Werkstoffe ist vor allem die Bedeutung für Zukunftstechnologien in Risikofaktor. Die Verwendung für die Meerwasserentsalzung stellt das größte zusätzliche Verbrauchspotenzial bei Titan dar. Aluminium wird weiterhin als wichtiges Leichtbaumaterial unter anderem im Fahrzeugbau, der Luft- und Raumfahrt und in der Windkraftherzeugung benötigt.

Mit 11,6 Punkten liegt Kadmium auf Rang 13 in der orangefarbenen Gruppe. Es folgen Kupfer (11,3 Punkte), Gold (10,6 Punkte) und Zink (10,5 Punkte). Die geringe statische Reichweite ist der größte Risikofaktor bei diesen Rohstoffen. Kadmium, Kupfer und Gold sind wichtige Werkstoffe für die Elektroindustrie. Zink wird überwiegend als Zusatz zum Korrosionsschutz verwendet.

Die wesentlichen Verwendungen der Rohstoffe der orangefarbenen Gruppe und ihre Bedeutung für Bayern sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Sechs (Selen, Eisen, Titan, Aluminium, Kupfer, Zink) der 16 Rohstoffe werden aufgrund der bayerischen Branchenstruktur als wichtige Rohstoffe für Bayern eingestuft.

Tabelle 2

Bedeutung der Rohstoffe Gefahrenklasse II für Bayern

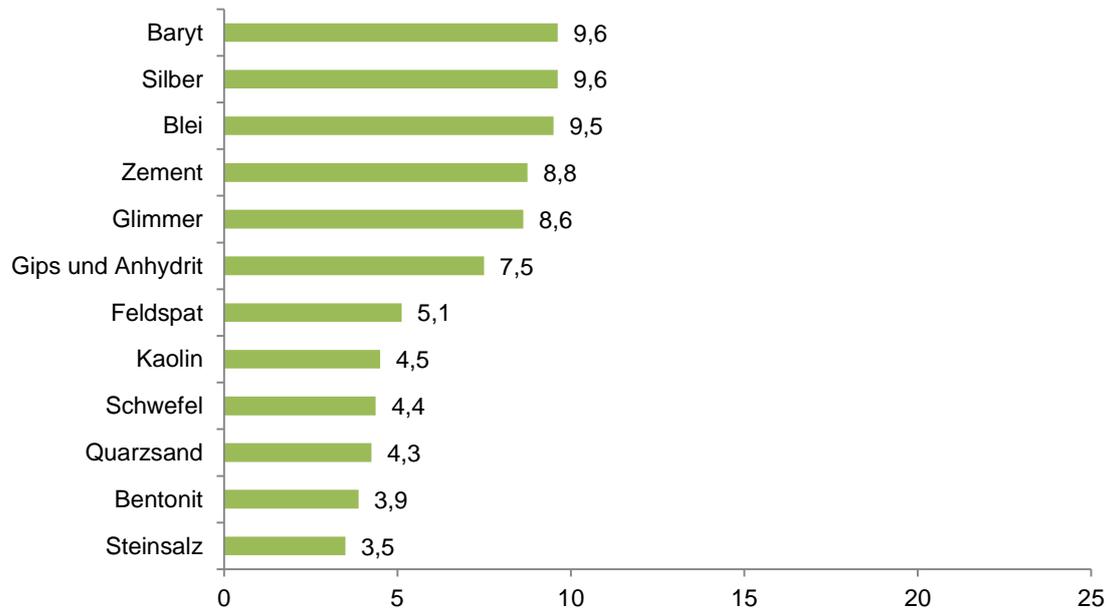
Rohstoffe	Verwendung	Bedeutung für Bayern
Graphit	Feuerfestindustrie, Brennstoffzellen, Kunststoffe, Bleistifte, Beläge	mittel
Fluorit	Stahlindustrie, Gießereien, Chemie	niedrig
Phosphate	Landwirtschaft	mittel
Selen	Chemikalien und Pigmente, Elektronik, Metallurgie	hoch
Eisen	Metall- und Elektroindustrie, Bauwirtschaft	hoch
Zirkon	Schmelzriegel, Dentaltechnik	mittel
Kalisalz	Düngemittel, Industriechemikalien	mittel
Lithium	Akkumulatoren und Batterien, Metallurgie, Reaktorsicherheit, Chemie	mittel
Titan	Pigmente, Legierungen, Flugzeugbau, Anlagenbau, Medizintechnik, Meerwasserentsalzung	hoch
Nickel	Legierungen, Gasturbinen, Katalysatoren, Batterien	mittel
Mangan	Eisen- und Stahlindustrie, Batterien	niedrig
Aluminium	Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Bau, Elektroindustrie, Windkraft	hoch
Kadmium	Solarzellen, Halbleiter	mittel
Kupfer	Elektroindustrie, RFID, Windkraft	hoch
Gold	Schmuck, Zahntechnik, Elektroindustrie	niedrig
Zink	Galvanik, NE-Legierungen, Pharmazie, Batterie, Pigmente	hoch

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

Grüne Gruppe

In die grüne Gruppe der Rohstoffe (Abbildung 7) mit relativ geringen Risiken fallen zwölf Rohstoffe, darunter überwiegend Industriemineralien wie beispielsweise Glimmer (8,6 Punkte), Feldspat (5,1 Punkte) oder Kaolin (4,5 Punkte). Insbesondere die statischen Reichweiten und die Preise sind bei den Industriemineralien unkritisch. Auch dadurch sind sie nur einem geringen Risiko strategischer Rohstoffpolitik unterworfen. Mit Silber (9,6 Punkte) und Blei (9,5 Punkte) finden sich in dieser Version des Rohstoff-Risiko-Indexes zwei Metalle in der grünen Gruppe, die zuvor als riskanter eingestuft wurden. Beide weisen zwar nur eine geringe statische Reichweite auf, gelten aber als relativ gut substituierbar und in den politischen Dimensionen wenig riskant.

Abbildung 7

Gefahrenklasse III der Rohstoffe – grüne Gruppe

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

Zwar werden die Rohstoffe der grünen Gruppe in nicht unbedeutendem Umfang in der Wirtschaft eingesetzt. Gerade im Vergleich zu den Rohstoffen in den anderen Gruppen sind sie aber als einzelne Rohstoffe von geringerer Bedeutung für die bayerische Industrie. Verwendung und Bedeutung sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3

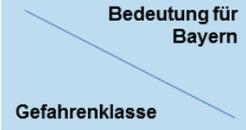
Bedeutung der Rohstoffe Gefahrenklasse III für Bayern

Rohstoffe	Verwendung	Bedeutung für Bayern
Baryt	Füllstoff, Schwerbetonzuschlag, Bohrspülung	niedrig
Silber	Schmuck, Legierungen, Elektronik	niedrig
Blei	Akkumulatoren, Legierungen, Elektrotechnik, Radiologie	mittel
Zement	Infrastruktur	mittel
Glimmer	Farbstoffe, Füllstoffe, Dämmung, Kosmetik, Keramik, Isolierung	mittel
Gips und Anhydrit	Baumaterial	mittel
Feldspat	Keramik- und Glasindustrie	niedrig
Kaolin	Beschichtung von Papier und Keramik	mittel
Schwefel	Chemische und pharmazeutische Industrie	mittel
Quarzsand	Glas- und Gießerei-Industrie	mittel
Bentonit	Gießerei, Eisenindustrie	niedrig
Steinsalz	Gewinnung von Chlor und Natrium	niedrig

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

In Abbildung 8 sind die Rohstoffe nach Gefahrenklasse und Bedeutung für Bayern synoptisch dargestellt. Es zeigt sich, dass Rohstoffe mit einer hohen ökonomischen Bedeutung in der Tendenz auch ein hohes Risiko aufweisen. Industrieunternehmen in Bayern gehören wegen ihrer Technologieorientierung häufig zu den weltweit treibenden Kräften im Einsatz und bei der Entwicklung von Zukunftstechnologien. Vor allem bei diesen Technologien ist der Einsatz seltener Rohstoffe wichtig. Gerade bei diesen Rohstoffen sind die förderwürdigen Vorkommen häufig auf wenige Länder konzentriert. Die Minimierung von Rohstoffrisiken ist in diesen Fällen für eine gesicherte Versorgung und damit für eine stabile wirtschaftliche Lage von besonderer Bedeutung.

Abbildung 8
Risiko-Bedeutungs-Matrix

	Hoch	Mittel	Niedrig
 Hoch	Yttrium, Wolfram, Platingruppe, Zinn, Indium, Germanium, Neodym, Molybdän, Gallium, Kobalt, Tantal	Scandium, Niob, Magnesium, Chrom	
 Mittel	Zink, Titan, Kupfer, Aluminium, Selen, Eisen	Graphit, Lithium, Phosphate, Nickel, Zirkon, Kadmium, Kalisalz	Gold, Fluorit, Mangan
 Niedrig		Zement, Glimmer, Schwefel, Blei, Gips und Anhydrit, Kaolin, Quarzsand	Baryt, Betonit, Feldspat, Steinsalz, Silber

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016)

6 Fallstudien

3D-Druck und Elektromobilität verändern den Rohstoffbedarf der Wirtschaft.

6.1 Fallstudie 1: 3D-Druck

Die Entwicklung des 3D-Drucks – auch Additives Fertigungsverfahren genannt – schreitet immer weiter voran. Gartner benannte den 3D-Druck als einen der Top-10-Technologietrends 2016 und prognostiziert ein jährliches Wachstum 3D-druckfähiger Materialien bis 2019 von 64 Prozent.¹³ Aufgrund des großen Potenzials erhält diese Technologie auch in der breiten Öffentlichkeit große Aufmerksamkeit.

In den vergangenen Jahren wuchs der 3D-Druck-Markt kontinuierlich. Allein 2015 verzeichnete der weltweite Markt Additiver Fertigungsverfahren und Dienstleistungen einen Anstieg um weitere 25,9 Prozent auf 5,2 Milliarden US-Dollar (2014: 35,2 Prozent, 2013: 33,4 Prozent, 2012: 32,7 Prozent). In den vergangenen 27 Jahren lag die jährliche Wachstumsrate bei durchschnittlich 26,2 Prozent. Dabei entfaltet sich das Wachstum am stärksten in zwei unterschiedlichen Bereichen: beim industriellen Metall-3D-Druck und bei Desktop-3D-Druckern.¹⁴ Aufgrund der großen Anwendungs- und Marktpotenziale der Additiven Fertigung als Zukunftstechnologie und den daraus resultierenden Folgen für die Rohstoffnachfrage, wird diese Technologie im Folgenden näher beleuchtet.

6.1.1 Viele Fertigungsverfahren für die Additive Fertigung

Additive Fertigung, auch 3D-Druck genannt, ist ein Produktionsverfahren, bei dem Materialien schichtweise hauchdünn aufgetragen werden. Die schichtweise Addierung der Materialschichten bildet das Endprodukt (vgl. Definition ISO/ASTM 52900). Additive Fertigungsverfahren werden seit über 50 Jahren erforscht. Das erste kommerzielle 3D-Druck-System gab es bereits Ende der 1980er Jahre. Dementsprechend gibt es eine Vielzahl an Materialien und Technologien, mittels welcher das Endprodukt gefertigt werden kann. Während allen Technologien ein 3D-Datenmodell zugrunde liegt und die Produktion durch die schichtweise Addition von Materialien geschieht, weisen die Technologien Unterschiede in der technischen Umsetzung auf. Vom ASTM International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies wurden 2012 verschiedene Additive Fertigungsverfahren genehmigt, die in sieben Kategorien unterteilt wurden. Manche dieser Verfahren sind prinzipiell ähnlich, unterscheiden sich aber durch einige

¹³ Gartner, 2015

¹⁴ Wohlers Associates, 2016

wenige (von Unternehmen teils patentierte) Abänderungen. Die sieben unterschiedlichen Verfahren sind:

1. Material Extrusion: Das Material wird durch eine Düse oder einen Zerstäuber punktwise aufgetragen.
2. Material Jetting: Das Material wird tröpfchenweise aufgetragen.
3. Binder Jetting: Zwischen zwei aufzutragenden Materialschichten wird ein Bindemittel als eine Art Kleber der beiden Materialschichten verwendet.
4. Sheet Lamination: Das Material, häufig Papier, wird schichtweise aufeinandergelegt und gebündelt.
5. VAT Photopolymerization: Ein flüssiges Photopolymer wird in einer Wanne schichtweise durch lichtaktivierte Polymerisation ausgehärtet.
6. Powder Bed Fusion: Thermische Energie (Wärme) wird verwendet, um Materialien in einem Pulverbett miteinander zu verschmelzen.
7. Directed Energy Deposition: Thermische Energie (Wärme) verschmilzt Materialien, während diese schichtweise aufeinander abgelagert werden.

In der öffentlichen Diskussion werden diese Verfahren häufig als 3D-Druck bezeichnet, obwohl im engeren Sinne ausschließlich das Binder-Jetting ein 3D-Druck-Verfahren ist. Der 3D-Druck ist im engeren Sinne eine Teilmenge der Additiven Fertigungsverfahren. Alle anderen oben vorgestellten Verfahren zählen zu den Additiven Fertigungsverfahren, sind aber genau genommen keine 3D-Druck-Verfahren. In Tabelle 4 sind die aufgeführten Technologien sowie ihre Kerneigenschaften übersichtlich dargestellt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Technologien, durch die die oben genannten Verfahren umgesetzt werden, vorgestellt. Dabei wurden die Technologien nach der Häufigkeit ausgewählt, mit der sie im diesjährigen Wohlers Report¹⁵, dem umfangreichsten Branchenreport Additiver Fertigungsverfahren, vorkamen:

1. Die am weitesten verbreiteten 3D-Druck-Technologien sind Lasertechnologien wie Stereolithographie (SLA), Selektives Lasersintering (SLS) oder Selektives Lasermelting (SLM) als Anwendungsformen der VAT Photopolymerisation oder Powder Bed Fusion. Hierbei wird das Rohmaterial (Kunststoffe wie Polyamid oder Metalle wie Stahl und Titan) als Pulver verarbeitet. Ein Laser verschmilzt oder sintert schichtweise punktgenau die Körnchen, welche mit einem Druckkopf nach jeder Schicht in die entsprechende Form verfestigt werden. SLS- und SLM-Drucke haben oft eine raue Oberfläche und sind geeignet für robuste, elastische oder filigrane Objekte.

Bei SLA wird das Werkstück aus Kunststoff oder Metall in einem Bad aus flüssigem Kunstharz produziert. Der Füllstand des Kunstharzes wird für jede weitere

¹⁵ Wohlers Associates, 2016

Schicht minimal erhöht, während das Werkstück unter UV-Licht punktuell ausgehärtet wird. Dabei entstehen im Unterschied zu SLS und SLM glatte Oberflächen.

Tabelle 4

Charakteristika kommerziell verfügbarer Verfahren für die Additive Fertigung

Verfahren	Fertigungsprinzip	Ausgangsmaterial	Aktivierungsenergie	Markt
VAT Photopolymerisation ¹	Lichthärten eines flüssigen Photopolymers	Kunststoff, Keramik (flüssig/pastös)	UV-Strahlung von Lasern oder Lampen	Prototyping
Powder Bed Fusion (BPF) ²	Selektives Verschmelzen in einem Pulverbett	Metall, Kunststoff, Keramik (Pulver)	Wärmestrahlung von Lasern und Strahlern	Prototyping, direktes Teil
Direct Energy Deposition (DED) ³	Gezieltes Verschweißen während des Auftrags	Metall (Pulver)	Wärmestrahlung von Lasern und Strahlern	Direktes Teil, Reparatur
Material Extrusion ⁴	Punktweises Auftragen des geschmolzenen Materials	Kunststoff (Stränge, Fäden)	Wärmeleitung im Düsen-/Druckkopf	Prototyping
Binder Jetting („3D-Drucken“)	Selektives Verkleben durch punktuellen Binderauftrag	Metall, Kunststoff, Keramik (Pulver)	Keine (flüssiges Bindemittel)	Prototyping, Gussform, direktes Teil
Material Jetting ⁵	Linienweises Auftragen geschmolzenen Materials	Kunststoff (Wachs, flüssig, breiförmig)	Wärmeleitung in Druckköpfen	Prototyping, Gussmodelle
Sheet Lamination ⁶	Ultraschallschweißen von Metallfolien/ Verkleben von Kunststoff/Papierfolien	Metall/Kunststoff, Papier (Folien)	Gezielte Strahlenquelle (Ultraschall/Wärmeleitung für Heißkleber)	Prototyping, direktes Teil

¹ Entspricht Stereolithographie (SL). Beim verwandten Digital Light Processing (DLP) für Kunststoffe ist der Laser durch eine UV-Lampe ersetzt.

² Umfasst Laser-Sintern (LS) inklusive Selektives Laser-Sintern (SLS) sowie Strahlschmelzen von Metall inklusive Laser Forming, Selective Laser Melting (SLM), Laser-Cusing, Electron Beam Melting (EBM), Direktes-Metall-Laser-Sintern (DMLS). Beim verwandten Masken-Sintern (MS) ist der Laser durch eine IR-Lampe ersetzt.

³ Entspricht Direct Metal Deposition (DMD).

⁴ Entspricht Fused Layer Modeling (FLM) beziehungsweise Fused Deposition Modeling (FDM).

⁵ Umfasst Multi-Jet Modeling (MJM) und Poly-Jet Modeling (PJM), bei dem ein UV-Strahler gleichzeitig das Material aushärtet.

⁶ Umfasst Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) sowie Layer Laminated Manufacturing (LLM) beziehungsweise Laminated Object Manufacturing (LOM).

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf DERA (2016b)

- Beim Elektronenstrahlschmelzen (Electron Beam Melting – EBM) wird, ähnlich wie beim SLS, das Pulver – in diesem Falle Metallpulver – schichtweise aufge-

tragen und von einem Elektronenstrahl gezielt aufgeschmolzen. EBM ist ein Verfahren des Powder Bed Fusions.

3. Das 3D-Tintenstrahl-Pulverdruck (Binder Jetting) ist ein Verfahren zum Drucken komplexer Teile aus industrietauglichen Materialien. Hierbei wird abwechselnd ein flüssiges Bindemittel auf eine Pulverschicht aufgetragen, um sich mit dem Material zu verbinden. Als Rohmaterial können verschiedene Materialien verwendet werden, wie beispielsweise Metallpulver, Sand oder Keramik, aber auch Lebensmittel oder temperaturempfindliche Stoffe wie Pharmazeutika. Einzige Bedingung ist, dass sie sich mit dem Binder verkleben lassen. Es ist auch möglich, innerhalb eines Werkstücks verschiedene Binder zu verwenden, um verschiedene mechanische Eigenschaften zu ermöglichen. Bei Sand ist keine Nachbearbeitung notwendig, bei Metallen muss jedoch nachträglich der Binder entfernt und das Werkstück gesintert werden, um eine ausreichende Festigkeit zu erzielen. Beim Binder Jetting ist während der Bearbeitung kein Stützmaterial notwendig und es ist deutlich schneller als andere 3D-Druck-Verfahren.
4. Das Fused Deposition Modeling (FDM), als Anwendungsform des Material Extrusion, kann ausschließlich bei Stoffen verwendet werden, die unter Hitze formbar sind. Dazu zählen beispielsweise thermoplastische Kunststoffe wie Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polylactide (auch Polymilchsäuren genannt – PLA), aber auch Modellierwachs und Schokolade. Das Rohmaterial wird durch eine Düse gepresst und als verflüssigter, dünner Faden, ähnlich einer Heißklebepistole, aufgetragen. Da der Plastikdraht bei Raumtemperatur nicht sofort erstarrt, muss das Objekt während der Produktion abgestützt werden. Einige Maschinen verwenden wasserlösliche Stützmaterialien, die am Ende in einem basischen Bad ausgewaschen werden können, andere Stützmaterialien müssen abgeknipst oder weggeschliffen werden. Der FDM-Druck ist vergleichsweise schnell und liefert belastbare Kunststoffteile. Die Oberfläche weist jedoch häufig ebenfalls eine sichtbare Riffelung auf.
5. Beim Poly-Jet Modeling (PJM) können Objekte aus verschiedenen Materialien in einem Fertigungsprozess produziert werden, wie beispielsweise die harte Schale einer Fernbedienung mit elastischen Tasten. Mehrere parallel angebrachte Düsen und Köpfe drucken tröpfchenweise das Material auf, welches anschließend sofort per UV-Licht gehärtet wird. Darüber hinaus ist es möglich, Kunststoffe mit beliebig wählbaren Eigenschaften zu mischen, sodass die Elastizität und Farbe flexibel variiert werden können. Dies ist insbesondere für Prototypen bei der Produktentwicklung hilfreich.
6. Beim 3D-Druck von Edelmetall wie Gold und Silber kommt manchmal ein indirektes Verfahren zum Einsatz: Die Gussform wird zunächst aus Modellierwachs in 3D gedruckt und dann konventionell im Wachsausschmelzverfahren abgossen.

Für metallische und mineralische Rohstoffe sind die ersten drei Methoden die am häufigsten angewandten. Mit voranschreitender Entwicklung der Technologien ändern sich jedoch auch die verwendeten Rohstoffe und Anwendungsfelder Additiver Fertigungsverfahren.

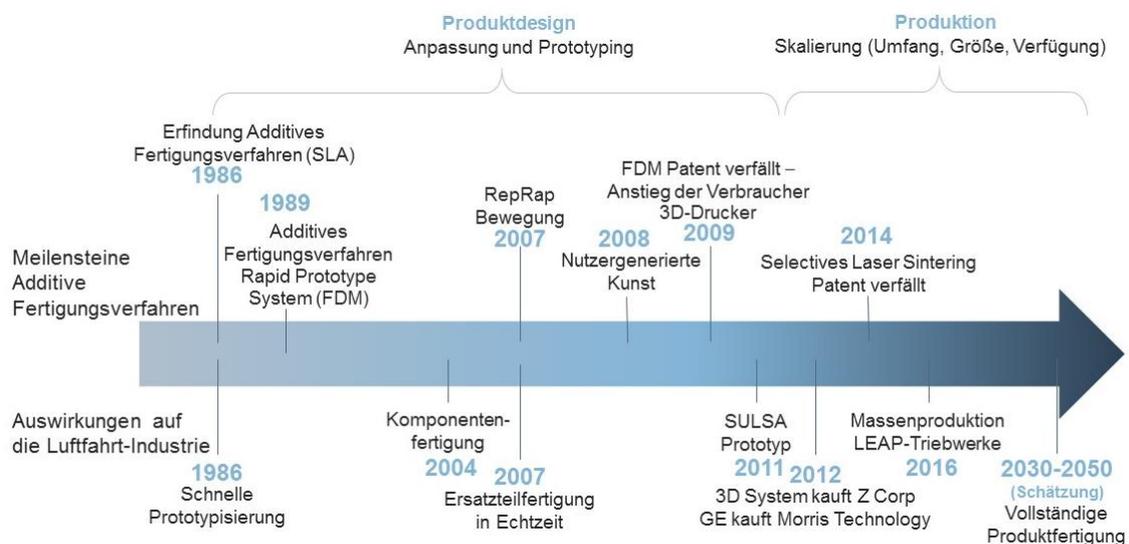
6.1.2 Entwicklung des 3D-Drucks

Die ersten Versuche, Objekte mittels Photopolymeren und Lasertechnologien herzustellen, gab es bereits in den 1960er Jahren. Im März 1986 wurde das erste Patent für Additive Fertigungsverfahren an Charles Hull verliehen, den Mitbegründer und technischen Leiter von 3D Systems. Dies ebnete den Weg für die erste kommerzielle Nutzung Additiver Fertigungsverfahren mittels SLA im Jahr 1987. Bis 2011 wurde die Additive Fertigung maßgeblich im Produktdesign zur Herstellung von Prototypen, dem Rapid Prototyping und der Konzeptmodellierung verwendet. Ein wichtiges Anwendungsfeld war die RepRap Bewegung (Replicating Rapid Prototyper), deren Ziel es war, sich selbst reparierende Maschinen herzustellen. Dabei besteht die Maschine – der 3D-Drucker – selbst aus demselben Kunststoff wie die Produkte, die sie fertigen kann. Abbildung 9 veranschaulicht im Zeitverlauf die Entwicklung und Verwendung der verschiedenen Technologien des 3D-Drucks.

Erst in der jüngsten Vergangenheit wandelte sich das Anwendungsfeld Additiver Fertigung hin zur Produktion für Kunden und von Endprodukten. Besonders seit die Patente für die FDM- und SLS-Verfahren abgelaufen sind, werden zunehmend 3D-Drucker entwickelt, die für Privatpersonen und Haushalte erschwinglich und nutzbar sind. Dadurch verbreiten sich Additive Fertigungsverfahren sowohl in der privaten Anwendung als auch in der Produktion.

Die simultane Integration von 3D-gedruckten Bauteilen und traditioneller Produktion in den Produktionsprozess erreichte in der Massenproduktion der LEAP-Triebwerke einen Meilenstein. Sie sind die ersten, die die Materialvorteile von traditionellen und additiv gefertigten Bauteilen optimiert einsetzen, um eine schnellere Produktion mit besseren Produkteigenschaften zu ermöglichen. Die eingesetzten Materialien vereinigen eine höhere Temperaturbeständigkeit mit einer erheblichen Gewichtsreduktion von zwei Dritteln gegenüber herkömmlichem Stahl. Diese und andere technologische Fortschritte ermöglichen effizientere Produkte (in diesem Fall 15 Prozent Kraftstoffeinsparung) mit fortgeschrittenen Eigenschaften, die der produzierenden Firma zu einem Wettbewerbsvorteil verhelfen.

Abbildung 9

Die Entwicklung des 3D-Drucks und die Auswirkungen auf die Luftfahrt-Industrie

FDM: Fused Deposition Modelling, Anwendungsform der Material Extrusion.

RepRap Bewegung: Steht für **Re**plicating **Ra**pid-Prototyper: einen 3D-Drucker, der alle Kunststoffteile seiner Bauteile auch selbst herstellen kann.

SULSA: Southampton University Laser Sintered Aircraft.

LEAP: Leading Edge Aviation Propulsion (englisch für „technologieführender Luftfahrtantrieb“). LEAP-Triebwerke sind die ersten Triebwerke, die additiv gefertigt werden und die gleiche Belastbarkeit bei leichtem Gewicht aufweisen.

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf Deloitte Services LP (2014)

6.1.3 Vielfältige Vorteile des 3D-Drucks

Der 3D-Druck hat viele Vorteile:

- **Keine Rüstkosten:** Durch die Produktion basierend auf digitalen CAD-Bauplänen für 3D-Drucker, fallen keine Rüstkosten für Werkzeuge und Maschinen oder Maschinenumstellungen an. Dadurch verringern sich die Fixkosten pro Stück und es ist möglich, Einzelanfertigungen und geringe Losgrößen wirtschaftlich zu produzieren. Die Additive Fertigung bietet eine ressourcen- und zeiteffiziente neue Möglichkeit der Produktion, die auch für das sogenannte Rapid Prototyping wichtig ist.
- **Kosteneffiziente Entwicklung durch Rapid Prototyping:** Beim Rapid Prototyping werden noch in der Planungs- und Entwicklungsphase ausgehend von CAD-Plänen Prototypen in Einzelfertigung erstellt, um frühzeitig Fehler und Schwächen des Produkts zu erkennen und zu beheben. Nach konventioneller Fertigung müssten diese Prototypen entweder teuer hergestellt werden oder sie verfügen nicht über die Funktionalitäten wie das Endprodukt und könnten somit nicht aus-

giebig getestet und evaluiert werden. Durch das Rapid Prototyping können große Kosten im Entwicklungsprozess gespart werden.

- Geringerer Materialverbrauch: Durch Additive Fertigungsverfahren ist es möglich, bereits während der Produktion den Materialverbrauch zu reduzieren, da das Produkt in seiner endgültigen Form produziert werden kann. Dies steht im Gegensatz zu traditionellen Produktionsweisen, die häufig das Produkt aus einem Materialblock durch Fräsen und Stanzen formen, was mit großem Materialausschuss verbunden ist. Durch die passgenaue Produktion wird dies reduziert, was die Kosten des Produktionsprozesses verringert. Zudem ist es möglich, komplexe Strukturen nachzubilden wie Waben oder Hohlräume, was mit konventionellen Produktionsverfahren ebenfalls nicht möglich ist. Diese Form des Leichtbaus spart zusätzlich Material und damit Kosten.
- Geringere Transportkosten und kürzere Lieferkette: Additive Fertigungsverfahren ermöglichen es, Produkte lokal selbst zu produzieren, da der 3D-Drucker diese vor Ort herstellen kann. Durch die Additive Fertigung ist es möglich, selbst komplizierte Strukturen oder Gebilde an einem Stück herzustellen, sodass für das Produkt nicht mehr verschiedene Komponenten von Zulieferern bezogen und in ein Produkt montiert werden müssen. Dadurch fallen Vor- und Endmontageaktivitäten weg. Dies reduziert nicht nur die Transportkosten, da weniger Zulieferteile extern bezogen werden, sondern verkürzt unter Umständen auch die gesamte Lieferkette und die Produktionszeiten.
- Geringere Reparaturkosten und längere Lebensdauer von Produkten: Auch die Lebensdauer eines Produkts kann durch den 3D-Druck verlängert werden. Häufig muss ein Bauteil oder Produkt vollständig oder zu großen Teilen ersetzt werden, wenn es defekt ist. Durch den 3D-Druck können auch spezifische Einzelteile vor Ort individuell nachgebaut und ersetzt werden. Dadurch kann die Lebenszeit von Produkten verlängert werden, selbst wenn die Einzelteile vom ursprünglichen Hersteller nicht mehr produziert werden. Zusätzlich werden die Lagerkosten für Ersatzteile reduziert, da diese zielgerichtet für den Gebrauch gedruckt werden können, ohne sie auf Vorrat lagern zu müssen. Dies ermöglicht Geschäftsmodell-erweiterungen durch höhere Service-Levels für Kunden sowie kürzere und kostengünstigere Ausfallzeiten von Produktionsmaschinen.
- Umsetzung bionischer Designs und komplexer Geometrien: Traditionellen Produktionsverfahren (z. B. Gussverfahren) sind natürliche Grenzen gesetzt. Komplexe Geometrien und Designs sind mit ihnen nicht herstellbar. Durch Additive Fertigungsverfahren können mehr Funktionalitäten oder ein effizienteres Design direkt in ein Produkt integriert werden, wodurch neue oder bessere Produkte möglich sind. Durch diesen Wegfall von Einzelkomponenten und somit eine geringere Anzahl an Zulieferern vereinfacht sich die Lieferkette, erlangt ein Unternehmen eine höhere Agilität und Flexibilität und kann vielseitigere Kundenwünsche umsetzen. Hierdurch entstehen neue Möglichkeiten für Produkte, Funktionsweisen und Designs.

Abbildung 10

Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Produktion

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf Deloitte Services LP (2014)

6.1.4 Verwendete Rohstoffe

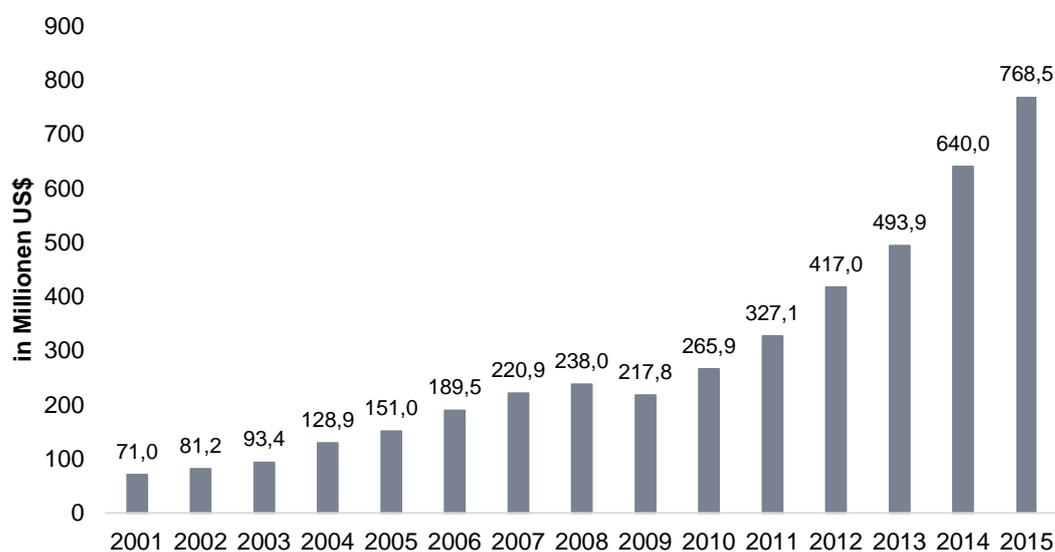
Im folgenden Abschnitt werden ausschließlich metallische und mineralische Stoffe untersucht, da diese Auswirkungen auf die hier betrachteten Rohstoffmärkte haben. Kunststoffe und organische Materialien wie Nylon, Polyactide (PLA) oder Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) werden trotz ihrer häufigen Verwendung beim FDM oder der Stereolithographie daher nur am Rande betrachtet.

2015 wurden weltweit 768,5 Millionen US-Dollar für Materialien im Rahmen der Additiven Fertigung ausgegeben. In diese Berechnung gingen Materialien für alle Additiven Fertigungsverfahren, inklusive industriell kommerziellen Systemen, Desktop-3D-Druckern sowie flüssige Polymere, Pulver, Granulat (Kugelsinter), Filamente, Sheet-Materialien und alle anderen Materialien ein. In den vergangenen 15 Jahren verzehnfachte sich damit die Marktgröße, wobei insbesondere in den vergangenen sechs Jahren die jährliche Wachstumsrate zwischen 20 und 30 Prozent lag (Abbildung 11).

Die Preise für 3D-Druck-Polymere sind üblicherweise um ein Vielfaches höher, als dieselben Materialien für die herkömmliche Herstellung. Die meisten thermoplastischen Stoffe und Photopolymere für die industrielle Additive Fertigung liegen zwischen 40 und 250 US-Dollar pro Kilogramm. Im Vergleich dazu liegen die Preise für thermoplastische Stoffe beim Spritzgießen zwischen ein und zwei US-Dollar pro Kilogramm. Dies verdeutlicht die großen Preisunterschiede der Fertigung, die aktuell noch zwischen den verschiedenen Technologien herrschen.

Abbildung 11

Rohstoffausgaben für die Additive Fertigung

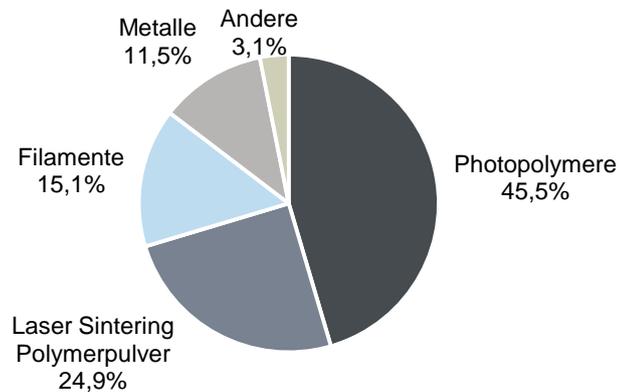


Quelle: Wohlers Associates (2016)

Der Anteil der Metalle an allen Rohstoffen für Additive Fertigungsverfahren lag 2013 bei sechs Prozent, 2015 lag er bei 11,5 Prozent (Abbildung 12). Dies liegt zum einen daran, dass die Technologien für metallischen 3D-Druck erst seit 2009 in größerem Maße für die Produktion zum Einsatz kommen und daher erst in jüngster Zeit ihr Nischendasein verlassen. Der Umsatz von Metallen für den 3D-Druck lag 2015 bei 88,1 Millionen US-Dollar und wuchs allein 2015 um 80,9 Prozent.¹⁶ Dies verdeutlicht die gegenwärtige enorme Dynamik im Markt. Die wachsende Nachfrage der Luft- und Raumfahrt- sowie Automobilindustrie und Fortschritte hybrider Metalle und Legierungen, werden die Nachfrage nach metallischen Rohstoffen im 3D-Druck zukünftig steigern.

¹⁶ Wohlers Associates, 2016

Abbildung 12

Rohstoffe für die Additive Fertigung

Andere: Material für Binder Jetting, Solidscape Machines und Sheet Lamination.

Quelle: Wohlers Associates (2016)

Im Folgenden werden verschiedene Metalle und ihre Eignung für den Einsatz beim 3D-Druck näher beleuchtet:

Aufgrund der Leichtigkeit und Vielseitigkeit wird Aluminium häufig für 3D-Drucke eingesetzt, jedoch seltener in reiner Form und häufiger in Form von verschiedenen Aluminiumlegierungen. Auch Eisen wird selten in reiner Form, sondern am häufigsten als Zusatzstoff für Polyactide (PLA) im 3D-Druck verwendet.

Einer der ebenfalls häufig verwendeten und vielseitigsten metallischen Rohstoffe ist Titan. Es kann als Puder im Binder Jetting, Sintering oder EBM verwendet werden. Häufige Anwendungsfelder sind die Automobilindustrie, die Werkzeugproduktion, die Medizin und Prothetik sowie die Luft- und Raumfahrt.

Rostfreier Stahl ist eine erschwingliche Alternative und kommt daher in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen zum Einsatz. Rostfreier Stahl ist besonders in Kombination mit Kobalt und Nickel widerstandsfähig und stabil, während er gleichzeitig elastische Eigenschaften hat.

Kobalt und Kobalt-Chrom-Legierungen haben eine hohe spezifische Festigkeit. Sie werden häufig für Turbinen, Zahnimplantate und andere orthopädische Implantate verwendet. Dies sind auch die Bereiche und Industrien, in denen der 3D-Druck gegenwärtig die höchsten Wachstumsraten verzeichnet und Potenziale hat.

Inconel ist eine Nickellegierung, die hauptsächlich aus Nickel und Chrom besteht und eine gute Widerstandsfähigkeit selbst bei hohen Temperaturen hat. Daher wird sie häufig in der Öl-, Chemie- und Raumfahrtindustrie eingesetzt.

Kupfer und Bronze werden am häufigsten in Wasserausschmelzverfahren verwendet und weniger in pulverbettbasierten 3D-Drucken. Diese Materialien sind weniger geeignet für die industrielle Anwendung, weshalb sie häufiger im Kunsthandwerk Einsatz finden. Viele pulverbettbasierte 3D-Drucke können auch Gold, Silber, Platin und andere Edelmetalle als Ausgangsstoffe verwenden. Bei diesen Stoffen bestehen jedoch große Herausforderungen, die ästhetischen Eigenschaften zu erhalten, weshalb sie meist nur für Schmuck, medizinische oder elektronische Anwendungen herangezogen werden.

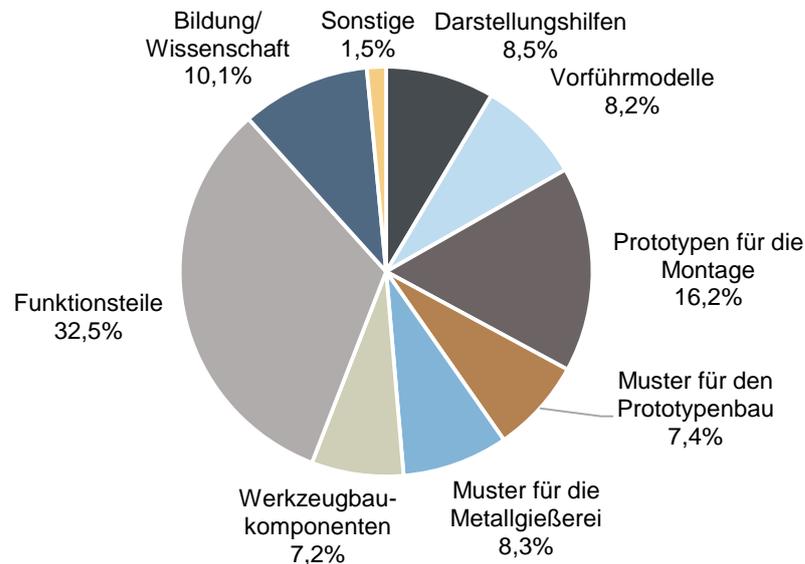
6.1.5 Der 3D-Druck als Lösung für multiple Anwendungsbereiche

Additive Fertigungsverfahren (Abbildung 13) kommen in vielen Bereichen zur Anwendung. Die häufigste Verwendung finden additiv hergestellte Funktionsteile (32,5 Prozent), gefolgt von Prototypen für die Montage (16,2 Prozent), der Wissenschaft (10,1 Prozent) und weiteren additiv hergestellten Vorführmodellen (8,2 Prozent) oder Mustern für die Metallgießerei (8,3 Prozent) und für den Prototypenbau (7,4 Prozent).

Der 3D-Druck wird zur Prototypenentwicklung vornehmlich in den Branchen Kunst und Design, Architektur, Modellbau, Maschinenbau, Automobilbau und Bauverfahren (Contour Crafting, einem computergestützten Bauverfahren) eingesetzt. Für die Serienfertigung wird der 3D-Druck bereits in der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Medizin- und Zahntechnik, der Verpackungsindustrie und dem Bio-Printing eingesetzt. Das Bio-Printing ist eine spezielle Form des 3D-Drucks, bei dem Gewebe aus zuvor gezüchteten einzelnen Zellen verwendet wird, um regelmäßige Strukturen zu erzeugen. Die Technik soll zukünftig in der Lage sein, ganze Organe oder synthetische Lebewesen herzustellen. Besonders in der Luft- und Raumfahrt und der Medizintechnik wuchs der Markt anspruchsvoller 3D-Druck-Systeme in den vergangenen Jahren stark.¹⁷

¹⁷ Wohlers Associates, 2016

Abbildung 13

Anwendungsbereiche Additiver Fertigungsverfahren

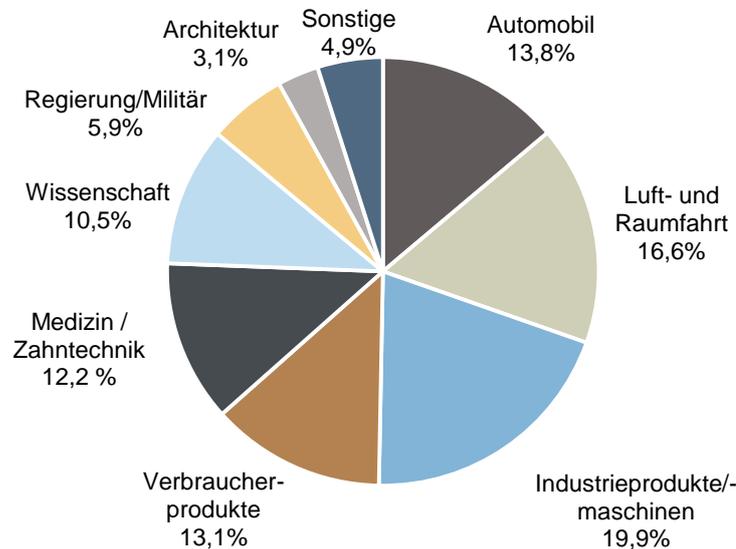
Quelle: Wohlers Associates (2016)

Nach Schätzungen beläuft sich der Umsatz der gesamten 3D-Druck-Branche 2016 auf 5,2 Milliarden US-Dollar. Zu den Umsätzen zählen sowohl alle 3D-Drucker, wie auch angelegte Dienstleistungen. Damit wuchs die Branche im vergangenen Jahr um weitere 25,9 Prozent. Anhand der Umsatzerlöse Additiver Fertigungssysteme lässt sich veranschaulichen, in welchen Branchen diese in großem Maße nachgefragt werden und zum Einsatz kommen. 2015 wurde nahezu jedes fünfte Additive Fertigungssystem im Bereich Industrieprodukte und -maschinen verwendet (Abbildung 14). Doch auch im Bereich der Luft- und Raumfahrt wie auch der Automobilindustrie kommen Additive Fertigungssysteme nahezu ähnlich stark zum Einsatz. 13,1 Prozent der 3D-Druck-Systeme werden bereits dazu verwendet, fertige Verbraucherprodukte herzustellen. Abbildung 14 verdeutlicht, wie vielseitig und unterschiedlich die Anwendung Additiver Fertigungsverfahren ist. Dies ist zugleich Ausdruck des großen Potenzials, da dadurch im großen Maße verschiedene Bereiche der Industrie, Forschung, Wertschöpfungs- und Lieferkette, Zuliefer- und Endprodukte verändert werden können.¹⁸

¹⁸ Wohlers Associates, 2016

Abbildung 14

Nachfrage nach Additiven Fertigungssystemen nach Branchen



Quelle: Wohlers Associates (2016)

6.1.6 Ausblick: Die Grenzen der Möglichkeiten des 3D-Drucks sind noch offen

Die Prognosen¹⁹ für die zukünftige Entwicklung des 3D-Drucks variieren von Jahr zu Jahr stark. Wohlers Associates korrigierten die eigene Schätzung von 2013 im Jahr 2014 aufgrund der positiven Entwicklungen binnen dieses einen Jahres enorm nach oben. Das volle Potenzial und die Auswirkungen dieser neuartigen Technologie können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht genau bewertet werden, da kontinuierlich neue Materialien, Technologien und Anwendungsfelder entdeckt werden.

Es dauerte rund 20 Jahre, bis der 3D-Druck 2007 erstmals eine Marktgröße von über eine Milliarde US-Dollar hatte. Binnen fünf weiterer Jahre verdoppelte sich der Markt auf zwei Milliarden US-Dollar. Darüber hinaus kamen in den Jahren 2014 und 2015 jeweils nochmals eine Milliarde US-Dollar hinzu, sodass der Markt nun eine Größe von 5,2 Milliarden US-Dollar hat. Expertenschätzungen deuten darauf hin, dass die Marktgröße sich in den kommenden fünf Jahren nochmals auf 26,5 Milliarden US-Dollar verfünffachen wird.

¹⁹ Vgl. Wohlers Associates, 2016

Die Weltwirtschaft umfasst derzeit rund 80 Billionen US-Dollar. Das produzierende Gewerbe erwirtschaftet davon rund 16 Prozent, also rund 12,8 Billionen US-Dollar. 2015 erwirtschaftete der 3D-Druck mit 5,2 Milliarden US-Dollar 0,041 Prozent des produzierenden Gewerbes. Langfristige Prognosen gehen von einem Marktpotenzial von fünf Prozent des produzierenden Gewerbes für die Additive Fertigung aus. Dies entspräche einer Marktgröße von 640 Milliarden US-Dollar. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg und die Prognose ist nicht auf einen klaren Zeithorizont festgelegt. Dennoch spiegelt sie das Potenzial und die Disruption wider, die von dieser neuen Technologie ausgehen kann.

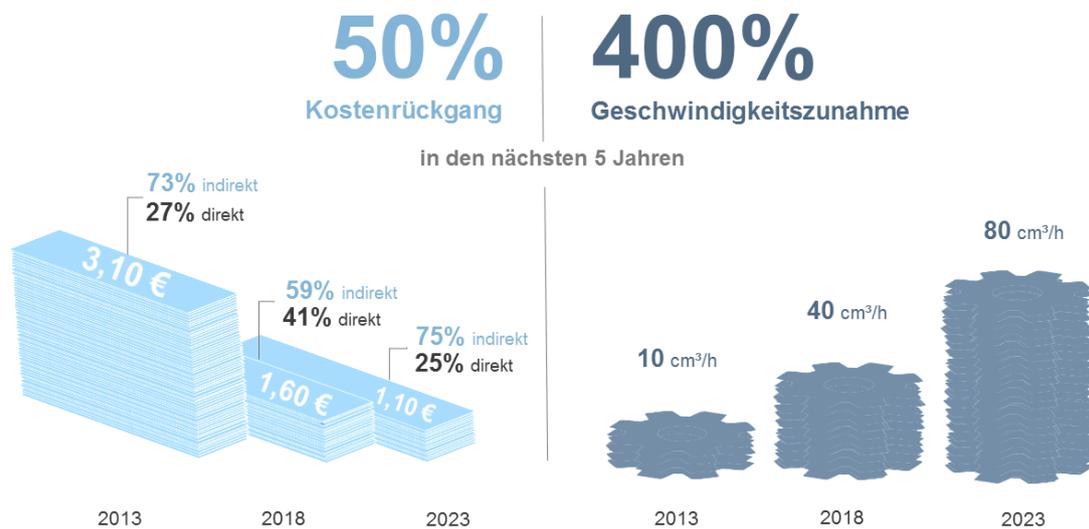
Neben dem Marktvolumen und seinem Wachstum gibt es vielfältige Prognosen über Kosten und Produktionszeit Additiver Fertigungsverfahren. Polymere, Metalle und Keramik gelten als dominierende Rohstoffe und die Stereolithographie, SLS, EBM und FDM als weiterhin führende Technologien. Siemens schätzt, dass Additive Fertigungsverfahren von 2014 bis 2019 um 50 Prozent günstiger und bis zu 400 Prozent schneller werden (Abbildung 15).²⁰

Dies verdeutlicht, dass die Potenziale des 3D-Drucks noch nicht ausgeschöpft, aber auch deren technologische Grenzen noch nicht absehbar sind. Der Markt verspricht in den kommenden Jahren technologische Neuerungen und Fortschritte, die die Entwicklung schwer prognostizierbar machen. Dadurch können auch die Auswirkungen des Fortschritts der 3D-Druck-Technologie auf die Rohstoffnachfrage zum aktuellen Zeitpunkt nicht quantifiziert werden.

²⁰ Siemens, 2014

Abbildung 15

Prognose der Produktionszeit und Kosten Additiver Fertigungsverfahren



Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf Siemens (2014)

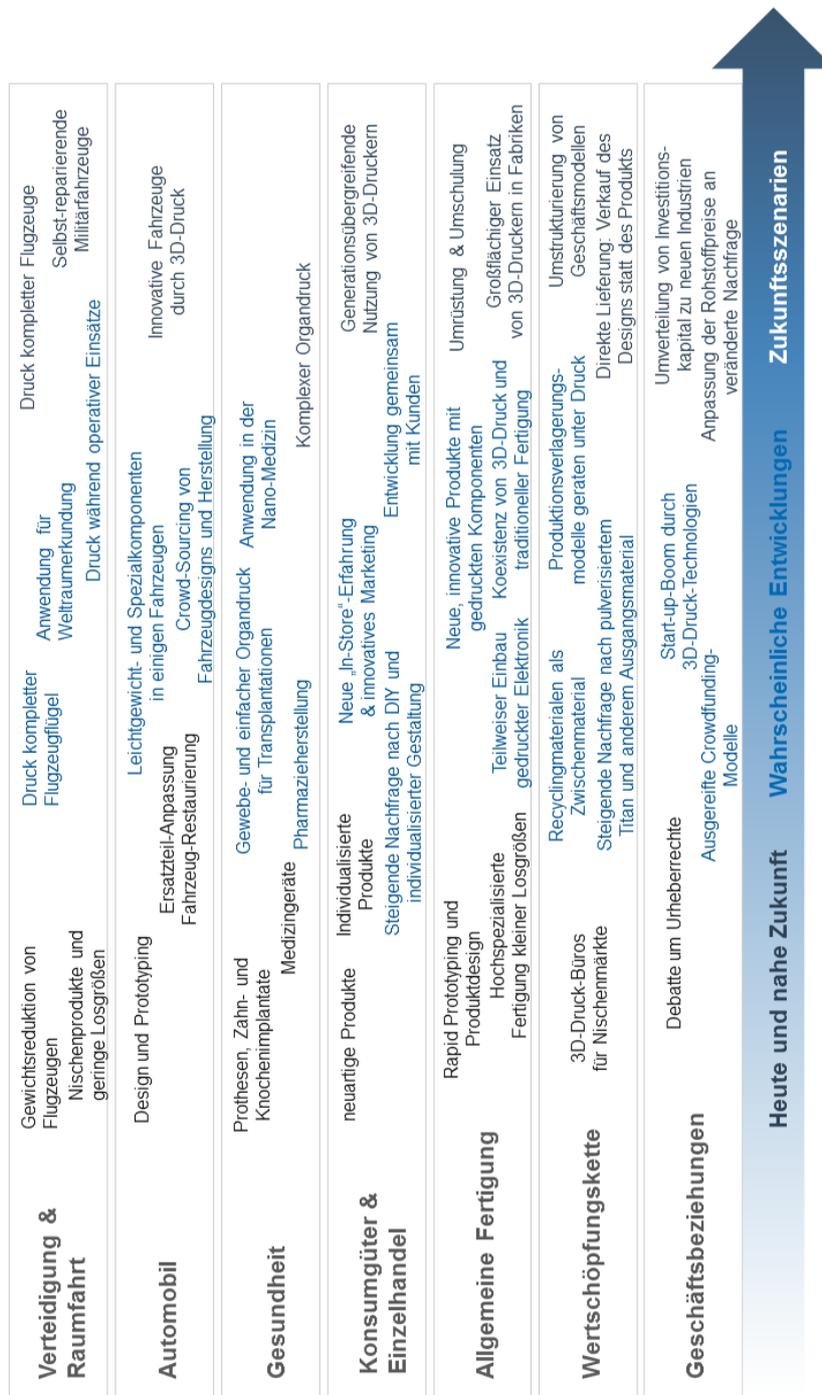
In Abbildung 16 sind auf Basis der Arbeiten der Computer Science Corporation²¹ aktuelle und zukünftig mögliche Anwendungsfelder und Szenarien für Additive Fertigungsverfahren veranschaulicht. Die Entwicklungen sind nach sieben Bereichen strukturiert, auf die der 3D-Druck Auswirkungen hat. Die Szenarien werden darüber hinaus nach Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts und Stand der aktuellen Forschung in zeitnahe, wahrscheinliche und zukünftige Szenarien unterteilt. Die Möglichkeiten und Potenziale, die der Technologie zugeschrieben werden, sind jedoch nahezu unbegrenzt. Im Bereich „Allgemeine Fertigung“ sind beispielsweise das Rapid Prototyping, das Produktdesign und die Produktion kleiner Losgrößen technologische Entwicklungen, die teilweise und mit einigen Einschränkungen bei Zeit und Kosten bereits heute angewendet werden.

Auch im Bereich Gesundheit kommen heute erste Prothesen, Zahn- und Knochenimplantate zum Einsatz. Allerdings ist deren Einsatz noch mit hohen Kosten verbunden. In Zukunft sind ein verstärkter Einsatz und eine damit einhergehende Kostendegression zu erwarten. Gleichzeitig wird auch die Forschung an Implantaten und an Geweben weiterentwickelt. Experten gehen davon aus, dass in Zukunft der Druck ganzer Organe möglich sein wird.

²¹ CSC, 2012

Abbildung 16

Zukunftsszenarien der Anwendung Additiver Fertigungsverfahren



Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf CSC (2012)

Mit der Herstellung individualisierter Produkte sind nicht nur große Fortschritte in der Medizintechnik, sondern auch im Einzelhandel möglich. Individualisierte Güter ermöglichen eine vollkommen veränderte Nutzererfahrung, bei der sie in die Entwicklung und das Design der Produkte integriert werden. Dieser Trend wird in Form von Crowd-Sourcing, also der interaktiven Beteiligung eines externen Netzwerks von Nutzern, ebenfalls für die Automobilindustrie beim Fahrzeugdesign prognostiziert.

Im Bereich der Verteidigung und Luftfahrt sind weitere Fortschritte zur Gewichtsreduktion von Flugzeugen möglich. Durch die Massenproduktion von LEAP-Triebwerken unter Einsatz von additiv gefertigten Bauteilen wurden bereits große Fortschritte durch Gewichtsreduktionen bei höherer Hitzebeständigkeit der Materialien erzielt. Die Technologie für sich selbst reparierende Militärfahrzeuge und additiv gefertigte Flugzeuge ist als Konsequenz kontinuierlicher Forschung ein mögliches Szenario. Geschäftsbeziehungen werden durch Veränderungen der Finanzierungs- und Investitionsbedingungen betroffen sein. Die Anpassung der Rohstoffpreise an eine veränderte Nachfrage durch den 3D-Druck zählt zu den Zukunftsszenarien.

Aufgrund der Unsicherheit, welche der vielen aus heutiger Sicht möglichen Veränderungen und Weiterentwicklungen sich am Markt durchsetzen werden, sind die Auswirkungen auf Rohstoffpreise und die Rohstoffnachfrage nicht klar quantifizierbar. Die disruptive Natur der Entwicklung ist jedoch offensichtlich.

6.2 Fallstudie 2: Elektromobilität

Von einer Zunahme der Elektromobilität werden zwei positive Effekte erwartet. Einerseits soll sich die Nachfrage und Abhängigkeit vom Rohstoff Öl verringern. Andererseits geht die Nutzung von Elektrofahrzeugen mit einer Verringerung der Treibhausgasemissionen einher, vor allem wenn man alle Produktionsschritte der Treibstoffherzeugung und des Fahrzeugbaus mit in die Berechnungen einbezieht und die Stromerzeugung für den Antrieb nicht mit fossilen Brennstoffen erfolgt. Zudem sollen auf lokaler Ebene Entlastungen beim Schadstoffausstoß und der Lärmbelastung erreicht werden. Eine Verringerung des gesamten Materialverbrauchs durch den Wechsel zur Elektromobilität ist allerdings nicht zu erwarten.²²

Der Ausbau der Elektromobilität ist Teil der Klimastrategie der deutschen Bundesregierung. Im Rahmen der Energiewende wurde das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2020 bundesweit eine Million Elektrofahrzeuge zugelassen sein sollen. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, hat die Bundesregierung in diesem Jahr gemeinsam mit der Automobilindustrie eine Kaufprämie für Elektroautos ausgelobt. Auch in anderen Län-

²² DERA, 2016b, S. 35; DLR/WI, 2014, S. 29

dern werden zunehmend Kaufanreize für Elektrofahrzeuge geschaffen – sei es durch Steuernachlässe, Subventionen oder regulatorische Besserstellung im Verkehr.

Unabhängig von der Erreichung des Eine-Million-Elektrofahrzeuge-Ziels im Jahr 2020 oder anderen politischen Debatten in Deutschland, ist davon auszugehen, dass die Elektromobilität zu späteren Zeitpunkten einen wesentlichen Teil des motorisierten Individualverkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs abdecken wird. Aus dieser Entwicklung heraus verändert sich die aus der Mobilitätsnachfrage abgeleitete Rohstoffnachfrage.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor werden in reinen Elektrofahrzeugen als zusätzliche Komponenten vor allem ein Elektromotor, eine Batterie und die zugehörige Leistungselektronik benötigt. Dagegen entfallen Teile wie der Verbrennungsmotor und der Kraftstofftank. Fahrzeuge mit hybrider Antriebstechnik benötigen dagegen beide Systeme, eventuell jeweils in geringerer Größe und Leistungsfähigkeit.

Die neuen Teile in Elektrofahrzeugen verändern auch den Rohstoffbedarf in der Produktion der Fahrzeuge. Hinsichtlich potenziell kritischer Rohstoffe sind hier vor allem Neodym und Dysprosium für den Elektromotor sowie Lithium, Graphit und Kobalt für die Batterie zu nennen. Rohstoffe, die für die Leistungselektronik benötigt werden (vor allem Silber, Gold, Gallium, Indium, Germanium und Tantal), sind entweder nicht kritisch, werden nur in geringen Mengen benötigt oder sind leicht zu substituieren.

Andere Rohstoffe wie Platin und Palladium, die in Katalysatoren und Brennstoffzellen eingesetzt werden, werden durch eine stärkere Nutzung von Elektrofahrzeugen weniger nachgefragt werden.

6.2.1 Neuer Rohstoffbedarf durch den Einsatz von Elektromotoren

6.2.1.1 Motortechnik

Im Bereich der Elektromotoren lassen sich verschiedene Konstruktionsprinzipien unterscheiden. Für die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität sind auf absehbare Zeit vor allem Drehstrommotoren relevant, die wiederum in Synchron- und Asynchronmotoren sowie Reluktanzmotoren unterschieden werden.

Synchron- und Asynchronmotoren arbeiten mit einem festen und einem beweglichen Teil (Stator und Rotor). Im Stator wird ein rotierendes Magnetfeld erzeugt. Im Rotor besteht ebenfalls ein Magnetfeld. Die Lorentzkraft überträgt die Rotation des Magnetfelds im Stator auf den Rotor. Bei Synchronmotoren bewegt sich der Rotor synchron zum rotierenden Magnetfeld im Rotor, bei Asynchronmotoren bewegt sich der Rotor langsamer. Das Magnetfeld des Rotors beim Synchronmotor kann entweder durch einen Permanentmagneten oder durch elektrische Induktion erzeugt werden. Reluktanzmotoren nutzen dagegen den magnetischen Widerstand und werden mit einem magnetischen Rotor ausgestattet.

Die verschiedenen Motorvarianten sind für den Einsatz in Elektrofahrzeugen unterschiedlich geeignet.²³

- Synchronmotoren mit Permanentmagneten weisen die höchste Leistungsdichte auf, sind wartungsarm und sehr effizient. Ein Nachteil sind relativ hohe Kosten für die in der Regel eingesetzten Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete, in denen die Seltenerdmetalle Neodym und Dysprosium eingesetzt werden.
- Elektrisch induzierte Synchronmotoren sind kostengünstiger, weisen aber einen geringeren Wirkungsgrad im Vergleich zu permanenterregten Synchronmotoren auf. Sie sind bei gleicher Leistung größer und schwerer.
- Asynchronmotoren sind ebenfalls relativ kostengünstig sowie wartungsarm, effizient und technologisch ausgereift. Sie sind aber im Vergleich zu anderen Motortypen bei gleicher Leistung relativ groß und schwer.
- Reluktanzmotoren sind zwar kostengünstig, wartungsarm und effizient, weisen aber eine geringere Energiedichte auf als permanenterregte Synchronmotoren. Der Hauptnachteil der Reluktanzmotoren besteht in ihrer relativ hohen Lautstärke.

Von technischer Seite überwiegen die Vorteile der Synchronmotoren mit Permanentmagneten. Die hohe Energiedichte ermöglicht es, geringe Motorgewichte zu realisieren. Die geringere zu beschleunigende Masse verringert den Energieverbrauch des Elektrofahrzeugs insgesamt. Permanenterregte Synchronmotoren kommen daher bislang bei Elektrofahrzeugen überwiegend zum Einsatz.

6.2.1.2 Rohstoffbedarf an Kupfer

Ein Nachteil der permanenterregten Synchronmotoren ist der Rohstoffbedarf. Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor steigt bei allen elektrisch betriebenen Fahrzeugen der Bedarf an Kupfer für Spulen, mit denen das Magnetfeld am Stator erzeugt wird. Nach Einschätzung der DERA wird dies aber zu keiner außergewöhnlichen Erhöhung des Kupferbedarfs führen.

6.2.1.3 Rohstoffbedarf an Neodym und Dysprosium

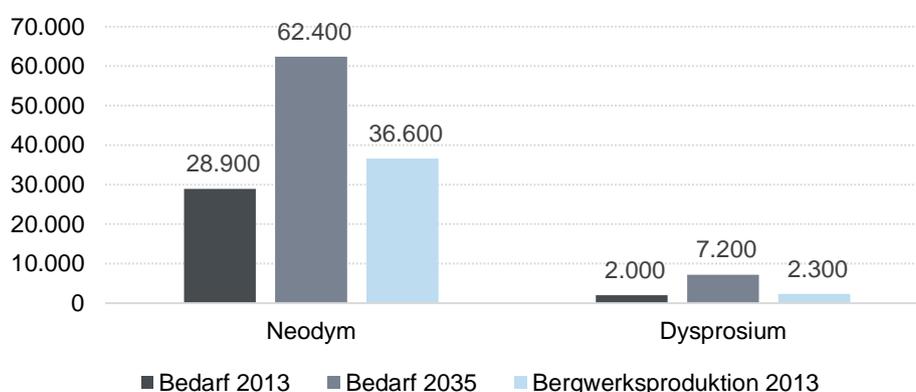
Neodym und Dysprosium werden in Permanentmagneten für Elektromotoren und Generatoren eingesetzt. Der zukünftige Bedarf an Neodym und Dysprosium resultiert so-

²³ vgl. DERA, 2016b, S. 36 f.

mit unter anderem aus dem Anstieg der Verkaufszahlen von E-Pkw, dem Anteil der verschiedenen Motortechnologien und dem Anteil an Dysprosium in den Neodym-Eisen-Bor-Magneten. Permanentmagnete können durch Hitze ihre Magnetisierung dauerhaft verlieren. Ein Teil des Neodyms für Motoren in Elektrofahrzeugen wird daher durch Dysprosium ersetzt, um eine höhere Temperaturbeständigkeit der magnetischen Eigenschaften zu gewährleisten. Neodym und Dysprosium ersetzen sich dabei gegenseitig.²⁴

Abbildung 17

Steigender Rohstoffbedarf für Permanentmagnete*
Bedarf und Bergwerksproduktion: ausgewählte Seltenerdmetalle 2013
Bedarfsprognose für 2035, Angaben in Tonnen



* Bedarf für die Produktion von Permanentmagneten für Windkraftanlagen, Traktionsmotoren für E-PKW und E-Bikes sowie andere Anwendungen.

Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf DERA (2016b)

Die Nachfrage nach Seltenerdmetallen für Motoren im Zusammenhang mit der Elektromobilität steht in Konkurrenz zu anderen Anwendungen von Elektromotoren, Magneten oder Generatoren. Beispiele sind Windkraftanlagen, medizintechnische Anwendungen (Magnet-Resonanz-Tomographie – MRT), Audio und IT oder Elektromotoren in Industrie und Haushaltsgeräten. Für die Elektromobilität sei noch auf die Anwendung in elektrisch betriebenen Zweirädern verwiesen, die insbesondere in Schwellenländern eine zunehmende Dynamik entfaltet.

In vielen dieser Anwendungen sind die spezifischen Qualitätseigenschaften der Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete aber weniger wichtig als im Bereich der Elektromobilität (zum Beispiel bei MRT-Geräten) oder sie weisen eine nachlassende Dynamik auf (zum Beispiel HDD-Festplatten oder CD- und DVD-Laufwerke im IT-Bereich).

²⁴ vgl. DLR/WI, 2014, S. 334 f., S. 353

Wichtige Zukunftstechnologien, von denen eine als kritisch einzuschätzende Nachfrage nach Seltenerdmetallen ausgehen wird, sind daher – neben Elektro-Pkw und Windkraftanlagen – zweirädrige Elektrofahrzeuge.

Neodym und Dysprosium werden von der DERA als kritische Rohstoffe angesehen.²⁵ Die zusätzliche Neodymnachfrage wird bis zum Jahr 2035 vor allem durch Elektro-Pkw und in geringerem Maße von Windkraftanlagen getrieben. Der Bedarf durch elektrische Zweiräder ist vor allem wegen der relativ geringen Motorgrößen beschränkt. Die Nachfrage nach Dysprosium speist sich sogar überwiegend aus dem Bedarf durch Elektro-Pkw. Dies erklärt sich vor allem aus den relativ niedrigen Betriebstemperaturen der Elektromotoren für Zweiräder und für Generatoren. Niedrigere Maximalbetriebstemperaturen verringern den notwendigen Zusatz von Dysprosium.

Nach der Studie von DLR/WI gilt Neodym als unkritischer Rohstoff. Diese Einschätzung beruht einerseits auf dem relativ zur geologischen Verfügbarkeit geringen Bedarf, andererseits darauf, dass der Elektromobilität keine großen Nutzungsrivalitäten aus anderen Technologien gegenüberstehen. Dagegen wird die Verfügbarkeit von Dysprosium als kritisch angesehen. Die Deckung des Bedarfs ist nicht gesichert, vor allem weil die globalen Reserven von Dysprosium nur einen Bruchteil der Reserven von Neodym ausmachen. Eine deutlich höhere Marktdurchdringung mit Asynchronmotoren würde den Dysprosiumbedarf bis zum Jahr 2050 zwar deutlich senken. Die Nachfrage bliebe aber nach Einschätzung von DLR/WI dennoch im kritischen Bereich.²⁶

Insgesamt sind nach unserer Auffassung sowohl Neodym als auch Dysprosium als kritische Rohstoffe einzuschätzen. Denn es besteht eine hohe Länderkonzentration der förderwürdigen Vorkommen mit der damit einhergehenden Gefahr von Lieferbeschränkungen.

6.2.1.4 Recycling im Bereich Elektromotoren kurzfristig keine Alternative

Das Recycling der Seltenerdmetalle aus den Magneten der Elektromotoren gestaltet sich noch schwierig. Eine direkte Weiterverwendung der Magnete ist wegen unterschiedlicher Geometrien, Legierungen und der technischen Weiterentwicklung von Magneten und Motoren kaum möglich. Die Seltenerdmetalle Neodym und Dysprosium gehen sehr stabile Verbindungen mit zahlreichen weiteren Elementen ein. Bei sortenreiner Trennung der Magnete könnten die Seltenen Erden so zwar als Oxide zurückgewonnen werden, die Reduktion zu Metallen ist aber technisch in Deutschland noch nicht möglich.

²⁵ DERA, 2016b, S.41 f., S. 230

²⁶ vgl. DLR/WI, 2014, S. 334, S. 353 f.

Eine getrennte Sammlung von Neodym-Eisen-Bor-Magneten erfolgt in Deutschland derzeit noch nicht. Produktionsabfälle werden nach China zum dortigen Recycling versandt. Die DERA erwartet, dass bis zum Jahr 2035 ein wirtschaftliches Recycling der Neodym-Eisen-Bor-Magnete aus Elektrofahrzeugen möglich ist. Notwendig ist dafür einerseits der Aufbau einer Sammelinfrastruktur und andererseits die Entwicklung und Anwendung des technischen Know-hows.

Kurzfristig stellt Recycling in Deutschland keine Alternative zur Rohstoffversorgung dar. Einerseits ist das Aufkommen von Sekundärmaterial noch zu gering, andererseits bestehen verfahrenstechnische Probleme bei hochwertigem Recycling von Seltenerdmetall-Permanentmagneten.²⁷

6.2.2 Neuer Rohstoffbedarf durch den zusätzlichen Einsatz von Batterien

Für die Versorgung der Elektrofahrzeuge mit Antriebsenergie stellen derzeit und in absehbarer Zukunft Batterien auf Lithium-Ionen-Basis die wichtigste Quelle dar. Deren Nutzung für die Elektromobilität steht dabei in Konkurrenz zur Verwendung von Lithium-Ionen-Batterien für andere Anwendungen, vor allem im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (Laptop-PCs, Tablet-Computer, Smartphones). In Zukunft wird sich aber aus der Nachfrage im Bereich der Elektromobilität der wesentlich größere Bedarf an Stromspeichern entwickeln.

Wegen seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften ist Lithium das für Batterien am besten geeignete Material. Daneben werden für die Konstruktion von Lithium-Ionen-Batterien noch weitere Rohstoffe benötigt. Innerhalb einer Lithium-Ionen-Zelle wandern Lithium-Ionen von einer positiven Elektrode (Kathode) zu einer negativen Elektrode (Anode). Als Material für die Anode wird in der Regel Graphit genutzt. Für die Kathode werden Kobalt-, Mangan- oder Phosphatsysteme genutzt. Kobaltsysteme weisen dabei die höchste Energiedichte auf.²⁸ Für die Beurteilung der Rohstoffversorgung sind daher neben Lithium auch Graphit und Kobalt von Belang.

Nach Einschätzung der DERA wird der Lithiumbedarf für die Elektromobilität zwischen dem Jahr 2013 und dem Jahr 2035 beinahe um den Faktor 200 steigen – von rund 600 Tonnen (2013) auf 110.000 Tonnen (2035). DLR/WI gehen von einer kumulierten weltweiten Lithiumnachfrage von 1,04 Millionen Tonnen – 4,13 Millionen Tonnen bis zum Jahr 2050 aus. Die Deckung des Bedarfs aus heute bekannten Reserven erscheint demnach möglich, aber nicht gesichert. Die Erschließung neuer, heute noch nicht wirtschaftlich förderbarer Ressourcen erscheint aber prinzipiell geeignet, den zu-

²⁷ vgl. DERA, 2016b, S. 41 f.; DLR/WI, 2014, S. 337

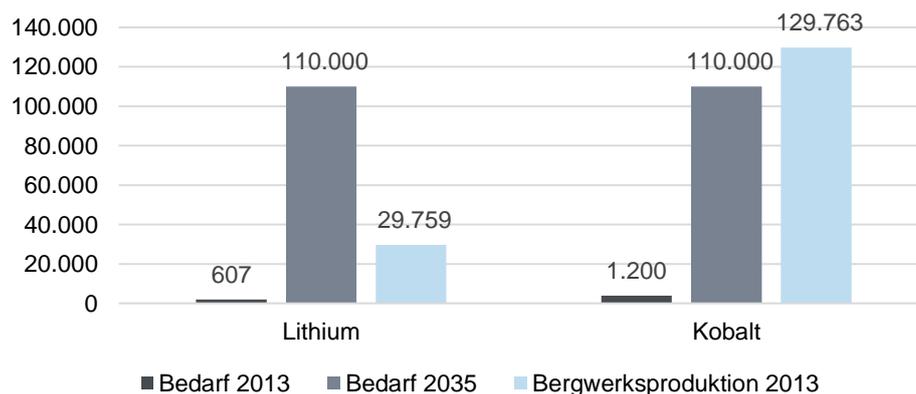
²⁸ vgl. DERA, 2016b, S. 143 f.; DLR/WI, 2014, S. 353

sätzlichen Bedarf zu decken. Eine weitere Erhöhung der Lithiumpreise kann diesen Prozess beschleunigen.²⁹

Auch von der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) wird die Versorgung mit Lithium als kritisch angesehen. Naturgraphit und Kobalt werden aber als noch kritischere Rohstoffe eingeschätzt. Dies entspricht auch der Einstufung im Rohstoff-Risiko-Index (vgl. Kapitel 5.3). Die DERA sieht in der Verwendung für Stromspeicher die wichtigste Zukunftstechnologie für Kobalt und prognostiziert einen Anstieg der Kobaltnachfrage für diesen Zweck von rund 1.200 Tonnen (2013) auf 110.000 Tonnen (2035): Ein Anstieg von fünf auf 94 Prozent der Bergwerksförderung des Jahres 2013. Für die Graphitnachfrage lassen sich ähnliche Zuwächse erwarten (Abbildung 18).³⁰

Abbildung 18

**Steigender Rohstoffbedarf für Lithium-Ionen-Batterien
Bedarf und Bergwerksproduktion: Lithium und Kobalt 2013
Bedarfsprognose für 2035, Angaben in Tonnen**



Quelle: Eigene Darstellung IW Consult (2016) basierend auf DERA (2016b)

Dämpfende Effekte auf die Rohstoffnachfrage lassen sich aus zwei Perspektiven ableiten. Einerseits bestehen noch technische Potenziale bei der Optimierung des Lithiumbedarfs für Lithium-Ionen-Batterien durch die Erhöhung der Kapazität und die Annäherung an die theoretischen Grenzen der Batterieleistung. Andererseits kann die Etablierung von Recyclingsystemen für Lithium-Ionen-Batterien das Angebot an Sekundärmaterial erhöhen. Zwar erreicht die Nachfrage nach Lithium für den Bestandsaufbau der Batterietechnik für die Elektromobilität eine kritische Größe. Langfris-

²⁹ vgl. DERA, 2016b, S. 264; DLR/WI, 2014, S. 338 f

³⁰ DERA, 2016b, S. 259

tig kann das Recycling aber zu einer deutlichen Verringerung des Bedarfs an primär gewonnenem Lithium beitragen.³¹

Bislang war die Wirtschaftlichkeit des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien zur Wiederverwendung von Lithium allerdings noch nicht gegeben. Die Lithiumkosten pro produzierter Batterie betragen im Jahr 2014 weniger als drei Prozent der gesamten Produktionskosten. Das Recycling von Batterien erfolgte daher wegen anderer teurerer Rohstoffe wie Nickel und Kobalt. Mit Blick auf die Etablierung einer eigenen Zellfertigung für Lithium-Ionen-Batterien in Deutschland – diese findet derzeit nicht statt – empfiehlt die NPE ein dauerhaftes Monitoring der Lieferbeziehungen für Lithium, Kobalt und Naturgraphit.³²

6.2.3 Weiterer Rohstoffbedarf

Auch für die Leistungselektronik und andere elektronische Bauteile in Elektrofahrzeugen werden Rohstoffe wie Silber, Gold, Gallium, Indium, Germanium und Tantal benötigt. Der zusätzliche Rohstoffeinsatz durch die Elektromobilität ist aber jeweils gering. Auch bei potenziell kritischen Stoffen wie Germanium und Tantal ist die zusätzliche Nachfrage durch die Elektromobilität als unkritisch einzuschätzen, nicht zuletzt, weil die Substitution durch unkritische Alternativen möglich erscheint.³³ Die Bauteile sind nicht nur für die Elektromobilität relevant, sondern werden in vielen anderen Bereichen verwendet. Optimierungsstrategien sollten daher allgemein in der Elektronik angesiedelt sein. Dabei sollten einerseits der Einsatz der Stoffe insgesamt reduziert, andererseits das Recycling verbessert werden.

Silber und Gold kommen bei Elektrofahrzeugen in der Elektronik zum Einsatz. Schätzungen von DLR/WI gehen davon aus, dass die Gesamtnachfrage nach Silber und Gold bis 2050 bezogen auf die heutigen Reserven zwar eine kritische Größe erreichen. Bei Silber rechnen die Autoren der Studie aber damit, dass vor allem die Erschließung zusätzlicher Lagerstätten und die gute Substituierbarkeit das Risiko auf längere Sicht begrenzen. Bei Gold sprechen die gute Substituierbarkeit und ein gut ausgebautes Recyclingsystem gegen ein größeres zukünftiges aus der Elektromobilität resultierendes Versorgungsrisiko.³⁴

Indium und Gallium werden in Halbleitern eingesetzt und kommen bei der Elektromobilität vor allem in der Fahrzeugelektronik vor. Beide Rohstoffe werden derzeit nur als Nebenprodukte gewonnen. Die aus der Elektromobilität resultierende zusätzliche Nachfrage nach Indium und Gallium ist gering und erscheint insgesamt unkritisch.

³¹ vgl. DLR/WI, 2014, S. 353

³² Waste Management World, 2014; NPE, 2016, S. 30 ff.

³³ vgl. DLR/WI, 2014, S. 353

³⁴ vgl. DLR/WI, 2014, S. 344 ff.

Germanium wird als Spurenelement aus Mineralien und Kohlen gewonnen und ebenfalls in der Fahrzeugelektronik verwendet. Auch bei diesem Rohstoff ist die zusätzlich aus der Elektromobilität entstehende Nachfrage unkritisch. Tantal findet hauptsächlich in Kondensatoren Verwendung. Die aus den Szenarien abgeleitete Nachfrage erreicht global gesehen eine kritische Größe. Die mit Tantal hergestellten Elektronikkomponenten lassen sich aber technisch durch andere Kondensatoren ersetzen.³⁵

Der Ausbau der Elektromobilität kann bei anderen Rohstoffen auch zur Entlastung der Nachfrage und zur Verringerung der Kritikalität der Versorgung führen. So werden zum Beispiel Platin und Palladium in den Abgassystemen von Verbrennungsmotoren oder in Brennstoffzellen eingesetzt. Ein verstärkter Ausbau der Elektromobilität senkt tendenziell die Nachfrage nach diesen Rohstoffen und verringert so Nachfrage und Kritikalität.³⁶

6.2.4 Ausblick

Von einem Ausbau der Elektromobilität in Deutschland und weltweit ist eine nennenswerte Veränderung der Rohstoffnachfrage zu erwarten. Die Produktion von Elektromotoren und Batterien und der damit einhergehende Rohstoffbedarf sind die wichtigsten Ursachen. Die Seltenerdmetalle Neodym, Dysprosium, Praseodym und Terbium – für die Elektromotoren –, die Metalle Kobalt und Lithium sowie das Mineral Graphit – für die Batterien – sind dabei die wichtigsten Rohstoffe. Die Versorgungslage ist langfristig als kritisch einzuschätzen. Der Rohstoffbedarf für die Leistungselektronik ist im Vergleich dazu klein und unkritisch.

³⁵ vgl. DLR/WI, 2014, S. 349 ff.

³⁶ vgl. DLR/WI, 2014, S. 348

7 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Sicherung der Rohstoffversorgung benötigt die Zusammenarbeit aller Akteure.

Die Risiken für eine sichere und preiswerte Versorgung der deutschen und bayerischen Industrie mit Rohstoffen werden von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren bestimmt. Je nach Rohstoff ergibt sich das spezifische Rohstoffrisiko aus einer eigenen Kombination von Ursachen. Vor dem Hintergrund tendenziell fallender Preise für die meisten metallischen Rohstoffe in den letzten Jahren geht in dieser Dimension ein Risiko vor allem von unvorhergesehenen Preisschwankungen aus. Eine allgemeine Erhöhung der geopolitischen Risiken kann die Unsicherheit hier verstärken.

Andere Ursachen von Rohstoffrisiken entstehen aus der Frage einer gesicherten Versorgung und Verfügbarkeit dieser Rohstoffe. Eine hohe Konzentration der förderwürdigen Vorkommen in wenigen Ländern kann in Kombination mit politischer Unsicherheit in diesen Ländern zu Problemen führen. Dies kann verschärft werden, wenn die Förderländer den Zugang zu diesen Rohstoffen bewusst einschränken. Ein zunehmender Rohstoffbedarf und steigende Förderkosten können die Verfügbarkeit einerseits in stofflicher Perspektive einschränken, andererseits erhöhen sie das Potenzial für politische Risiken.

Aus marktwirtschaftlicher Perspektive sind die Sicherstellung der Versorgung und die Beschaffung der Rohstoffe für die Produktion Aufgaben der betroffenen Unternehmen. Wenn politische Erwägungen in den Förderländern zu einer Verknappung der Rohstoffe führen, müssen aber Staat und Politik die Unternehmen in der internationalen politischen Arena bei der Verfolgung ihrer Interessen unterstützen. Die Verflechtung der Wertschöpfungsketten und die arbeitsteilige Organisation der Industrie machen dies zu einer gesamtwirtschaftlichen Aufgabe. Denn von einer Verknappung der verfügbaren Rohstoffe sind nicht nur jene Unternehmen betroffen, die selbst Rohstoffe beziehen und importieren. Auf nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette sind auch viele Unternehmen betroffen, die – nun in Produkten inkorporierte – Rohstoffe indirekt nachfragen. Die Ansatzpunkte für Strategien zur Sicherung der Rohstoffversorgung lassen sich daher auf drei Ebenen unterscheiden: die Unternehmensebene, die Interaktion zwischen Unternehmen und Staat sowie die staatliche Ebene.

7.1 Unternehmensebene

Jedes einzelne Unternehmen sieht sich der Aufgabe gegenüber, die eigene Rohstoffversorgung zu gewährleisten. Eine Systematisierung potenzieller Probleme hilft bei der Zuordnung von Maßnahmen (Tabelle 5). Die eigene Rohstoffabhängigkeit vom Ausland durch vertikale Integration und eigenen Bergbau zu bekämpfen, steht als Maßnahme sicherlich nur wenigen großen Unternehmen als Option offen.

Für die anderen Unternehmen ist es wichtig, Unsicherheiten über die eigene Rohstoffversorgung mittels einer kontinuierlichen Analyse und Beobachtung der eigenen Rohstoffsituation zu beseitigen. Dabei sollte die Aufmerksamkeit gezielt auf die zwei Dimensionen des Rohstoffbezugs gelegt werden: die direkte eigene Nachfrage nach Rohstoffen und die indirekte Nachfrage nach Rohstoffen über die Wertschöpfungskette. Für die meisten Unternehmen ist die zweite Dimension wesentlich bedeutender.

Die Abhängigkeit von Primärrohstoffen kann verringert werden, indem die Verwendung von Primärrohstoffen in der Produktentwicklung explizit berücksichtigt wird. Materialeffizienz und Substitution kritischer Rohstoffe sind in der Produktentwicklung und im Produktionsprozess weitere wichtige Aspekte. Die Nutzung von Recycling in der Beschaffung und in der eigenen Produktion unterstützt dieses Ziel ebenso.

Preisrisiken können durch Finanzinstrumente wie Optionen oder Futures abgesichert oder durch langfristige Lieferverträge begrenzt werden. Die Diversifikation von Lieferanten und die Vorratshaltung können das Risiko vermindern, sich dem Preisdruck eines einzelnen Handelspartners zu stark auszusetzen. Beide Maßnahmen eignen sich auch dazu, stoffliche Versorgungsrisiken zu reduzieren.

7.2 Interaktive Ebene

Auf der interaktiven Ebene ist die Zusammenarbeit von Unternehmen, zwischen ihnen und Forschungseinrichtungen sowie zwischen Unternehmen und staatlichen Institutionen angesiedelt. Solche Kooperationen sind dann angezeigt, wenn die Aufgaben für ein einzelnes Unternehmen zu groß oder zu komplex werden. Die Einbeziehung staatlicher Stellen ist unter anderem dann nützlich, wenn regulatorische Fragen zu klären sind oder der Zugang zu staatlichen Stellen anderer Jurisdiktionen erforderlich ist.

Zur Reduzierung der Unsicherheit über die eigene Rohstoffversorgung ist die Zusammenarbeit in der Analyse der Rohstoffsituation entlang der Wertschöpfungskette zentral. Gemeinsam kann die Identifikation von Rohstoffrisiken für das Endprodukt und deren Verringerung auf die Bündelung der über die Unternehmen verteilten Informationen aufbauen. Gemeinsame Lagerhaltung und die Nachfragebündelung in Einkaufsgemeinschaften erleichtern zudem die Absicherung gegenüber Preisrisiken und stofflichen Lieferengpässen.

Die Abhängigkeit von Primärrohstoffen kann durch die Verbesserung der Rohstoffeffizienz und durch die Substitution von Rohstoffen vermindert werden. Die Kooperation von Unternehmen mit Forschungseinrichtungen oder gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen von Unternehmen bündeln Kompetenzen und Kräfte. Der Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis ermöglicht eine schnellere Transformation von Erkenntnissen der Grundlagenforschung in anwendungsrelevantes Wissen.

Zur Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und staatlichen Akteuren gehören die Aktivitäten im Rahmen des Netzwerks Rohstoffe, in dem die AHK gemeinsam mit der DERA und der GTAI ein Beratungs- und Unterstützungsinstrument für die deutsche

Wirtschaft aufgebaut haben. Informationsbeschaffung und -analyse, Kontaktpflege und die Einrichtung von Kompetenzzentren in wichtigen Rohstoffförderländern helfen, die Unsicherheit über die Rohstoffversorgung zu bekämpfen und negative Effekte aus der Rohstoffabhängigkeit vom Ausland zu lindern.

Mit der Fortsetzung des Ressourceneffizienzprogramms (ProgRes II) erhält die Bundesregierung ein wichtiges Instrument aufrecht, um in Zusammenarbeit mit den Unternehmen die Themen Recycling und Materialeffizienz weiter zu bearbeiten. Damit wird das Problem der Versorgung mit Primärrohstoffen adressiert. In diesem Rahmen sind auch die technologische Unterstützung, die Forschungsförderung und die Förderung der Kooperation zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten auf Bundesebene verortet.

7.3 Staatliche Ebene

Auf staatlicher Ebene finden sich jene Aktivitäten, die internationale Zusammenarbeit zwischen Staaten betreffen oder zu den allgemeinen Staatsaufgaben gehören. Zu Letzteren zählt insbesondere die Finanzierung der Grundlagenforschung, wenn damit positive externe Effekte verbunden sind. Diese sind vor allem bei in Deutschland als kritisch eingestuft Rohstoffen zu erwarten. Ein Teil dieser Grundlagenforschung besteht auch in der Ausbildung von Wissenschaftlern.

Die Verringerung allgemeiner Informationsdefizite kann ebenfalls zu den allgemeinen Staatsaufgaben gezählt werden. Mit der DERA hat die Bundesrepublik eine Institution zur Analyse der Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft. Zu ihren Aufgaben zählen Information und Beratung von Unternehmen, politischen Entscheidungsträgern und der interessierten Öffentlichkeit zu Rohstofffragen. Die Beteiligung der DERA in internationalen Netzwerken von Rohstoffverbänden und Forschungseinrichtungen stellt einen Zweig der internationalen Aktivitäten der Bundesrepublik zur Sicherung der Rohstoffversorgung dar.

Bei der internationalen Zusammenarbeit auf staatlicher Ebene besteht eine in den europäischen Institutionen angelegte Arbeitsteilung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der EU. Auf dem Gebiet der Handelspolitik ist die EU federführend.

Zentraler Bestandteil der Außenhandelsstrategie ist das Eintreten für offene Weltmärkte. Neben der Erweiterung des Netzes von multi- und bilateralen Handelsabkommen (zum Beispiel CETA) geht die EU gemeinsam mit internationalen Partnern wie den USA oder Mexiko in verschiedenen internationalen Gremien, wie zum Beispiel der WTO, direkt gegen handelsbeschränkende Einzelmaßnahmen von rohstoffproduzierenden Ländern vor. Der Einsatz strategischer Marktmacht soll so begrenzt werden.

Die Sicherung grundsätzlich guter Beziehungen zu den rohstoffproduzierenden Ländern ist eine gemeinsame Aufgabe der europäischen Politik und der Bundespolitik. Gerade die wichtigen Rohstoffförderländer sind oft durch mangelnde politische Stabili-

tät, Krisen und Korruption geprägt. Diese Situation stellt ein Risiko für die Rohstoffversorgung in Deutschland und Bayern dar.

Der Aufbau guter Regierungsstrukturen ist daher ein Ansatz zur Verringerung der Versorgungsrisiken. Technologische, politische und rechtliche Unterstützung bei der Rohstoffeffizienz, bei der Umsetzung internationaler Minen- und Bergbaustandards sowie bei Umwelt- und Sozialnormen verknüpft diesen Ansatz mit entwicklungspolitischen Zielsetzungen. Instrumente sind beispielsweise die Rohstoffpartnerschaften Deutschlands mit der Mongolei, Kasachstan und Peru. Auch die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft (EITI) ist hier ein Beitrag.

Die stoffliche Versorgungssicherheit kann staatlicherseits durch eine Reihe verschiedener Maßnahmen verbessert werden. Die Verbesserung der Investitionssicherheit für Unternehmen spielt dabei die wichtigste Rolle. Im Ausland sind die Rohstoffpartnerschaften und Handelsverträge geeignete Instrumente. Im Inland steht die Sicherheit gegebener Förderrechte im Zentrum der Aufmerksamkeit.

Tabelle 5

Maßnahmen zur Rohstoffsicherung

Adressiertes Problem	Ziel der Maßnahme	Maßnahmen auf der Ebene von		
		Unternehmen	Unternehmensverbund	Staat/EU
Rohstoffabhängigkeit vom Ausland	Zugang zu in- und ausländischem Bergbau	<ul style="list-style-type: none"> - Vertikale Integration 	<ul style="list-style-type: none"> - Exploration und Projektentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionssicherheit - Partnerschaften - Exploration - Förderung der inländischen Primärrohstoffgewinnung
Unsicherheit und ineffizientes Marktverhalten	Transparente Preisbildung, Kritikalitätslisten	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse der eigenen Rohstoffsituation 	<ul style="list-style-type: none"> - Netzwerkbildung 	<ul style="list-style-type: none"> - Schaffung von Informationsangeboten
Abhängigkeit von Primärrohstoffen	Geringere Abhängigkeit von Primärrohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> - Produktentwicklung - Materialeffizienz - Recycling - Substitution 	<ul style="list-style-type: none"> - Verbundforschung 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbildung - Grundlagenforschung
Preisvolatilität	Absicherung gegen Preisschwankungen	<ul style="list-style-type: none"> - Hedging - Langfristige Lieferverträge - Diversifikation von Lieferanten - Vorratshaltung 	<ul style="list-style-type: none"> - Nachfragebündelung - Gemeinsame Lagerhaltung 	
Versorgungsausfall	Absicherung gegen Versorgungsschwankungen	<ul style="list-style-type: none"> - Diversifikation von Lieferanten - Vorratshaltung 	<ul style="list-style-type: none"> - Gemeinsame Lagerhaltung 	
Strategischer Einsatz von Marktmacht	Freier Wettbewerb auf Rohstoffmärkten	<ul style="list-style-type: none"> - Klage gegen Missbrauch von Marktmacht 	<ul style="list-style-type: none"> - Klage gegen Missbrauch von Marktmacht 	<ul style="list-style-type: none"> - Handelspolitik, u. a.: multilaterale und bilaterale Freihandelsverträge, WTO-Verfahren
Krisen, Korruption, fehlende Stabilität in Rohstoffländern	Politische und wirtschaftliche Stabilisierung der Rohstoffländer	<ul style="list-style-type: none"> - Technologietransfer 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologietransfer 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterstützung für Rohstoffländer, u. a.: Partnerschaften, Good Governance, Entwicklungshilfe

Quelle: Bardt et al. (2013)

Anhang – Rohstoff-Steckbriefe

Die Rohstoff-Steckbriefe berücksichtigen den verfügbaren Datenstand von Juni 2016.

Metalle

Aluminium
Blei
Chrom
Eisen
Kadmium
Kobalt
Kupfer
Lithium
Magnesium
Mangan
Molybdän
Nickel
Niob
Tantal
Titan
Wolfram
Zink
Zinn
Zirkon

Edelmetalle

Gold
Palladium
Platin
Rhodium
Silber

Industriemineralien

Baryt
Bentonit
Feldspat
Fluorit
Gips und Anhydrit
Glimmer
Graphit
Kalisalz
Kaolin
Phosphate
Quarzsand
Schwefel
Steinsalz
Zement

Seltene Erden

Scandium
Yttrium
Neodym

Spezialmetalle

Indium
Germanium
Gallium
Selen

Aluminium

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau, Bauindustrie, Elektroindustrie, Verpackungen, Lebensmittelindustrie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	2015 wurden 274 Millionen Tonnen des Aluminiumerzes Bauxit gewonnen. Das Metall Aluminium kann bei einer Bauxitreserve von etwa 28 Milliarden Tonnen noch über 100 Jahre produziert werden.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Etwa 95 Prozent des Bauxitabbaus wurden im Jahr 2015 von zehn Ländern geleistet. In fünf Ländern wurden insgesamt fast 80 Prozent des Bauxits gewonnen: Australien (29 Prozent), China (22 Prozent), Brasilien (13 Prozent), Malaysia (acht Prozent) und Indien (sieben Prozent). Der Weltmarktanteil der Top-10-Unternehmen liegt bei über 70 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Im Vergleich zum Rohstoffmarkt insgesamt ist der Preis für Aluminium seit drei Jahren fast konstant. Eine Tonne dieses Metalls kostete im Juni 2016 rund 1.600 US-Dollar. Mitte 2013 waren es etwa 1.800 US-Dollar. Ein Rückgang von zwölf Prozent.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Aluminium kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Kupfer, Magnesium, Titan, Verbundwerkstoffe, Glas, Papier und Stahl ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Mittelhoch wegen der hohen Bedeutung im Bereich klassischer Industrieprodukte; weniger relevant als Rohstoff für Zukunftstechnologien.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Für niedriges Risiko spricht, dass der Rohstoff in westlichen Ländern (zum Beispiel Australien) vorhanden ist; riskant ist, dass China bedeutende Lagerstätten hat und diese strategisch nutzen könnte.
Bedeutung für Bayern	Hoch – insbesondere wegen der Bedeutung für die Metall- und Elektroindustrie.

Blei

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Hauptsächliche Verwendung liegt in der Produktion von Akkumulatoren oder Legierungen, in der Elektrotechnik und der Radiologie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Weltweit wurden 2015 etwa 4,7 Millionen Tonnen des Metalls Blei produziert. Es sind Lagerstätten mit noch fast 90 Millionen Tonnen bekannt, sodass die Vorräte bei der derzeitigen Produktion noch etwa 20 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu über 90 Prozent auf zehn Länder. Über 80 Prozent verteilen sich auf fünf Länder: China (49 Prozent), Australien (13 Prozent), USA (acht Prozent), Peru (sechs Prozent) und Mexiko (fünf Prozent). Demgegenüber wird von den Top-10-Unternehmen lediglich etwa ein Viertel der Weltproduktion geleistet.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Der Preis für Blei schwankt seit drei Jahren in einem Korridor zwischen 1.600 und 2.200 US-Dollar je Tonne. Im Juni 2016 lag der Preis mit 1.700 US-Dollar eher am unteren Rand dieser Spanne.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Blei kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Plastik, Aluminium, Eisen oder Zinn ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Keine hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien; Blei wird – auch aufgrund seiner Toxizität – immer stärker durch andere Rohstoffe ersetzt.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Hier droht kaum Gefahr; lediglich China könnte seine hohe Bedeutung als Lagerstätte industriepolitisch nutzen.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Chrom

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Verwendung bei der Produktion von Edelstählen, in der Feuerfestindustrie, der chemischen Industrie und der Farbindustrie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	2015 wurden weltweit 27 Millionen Tonnen Chrom produziert. Sicher und wahrscheinlich sind noch Vorräte von etwa 480 Millionen Tonnen. Bei dem derzeitigen Produktionsniveau würden diese keine 20 Jahre mehr ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion von Chrom konzentrierte sich 2015 zu über 90 Prozent auf vier Länder: Südafrika (56 Prozent), Kasachstan (14 Prozent), Türkei (13 Prozent) und Indien (13 Prozent). Die Unternehmenskonzentration ist dagegen geringer: Die fünf größten Unternehmen nehmen etwa 40 Prozent und die zehn größten etwa 50 Prozent des Weltmarktes ein.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Ähnlich wie bei Aluminium ist der Preis für Chrom in den letzten drei Jahren eher moderat zurückgegangen. Etwa 7.800 US-Dollar je Tonne kostete dieses Metall im Juni 2016. Im selben Monat des Jahres 2013 waren es mit rund 8.800 US-Dollar 13 Prozent mehr. Der höchste Preis in diesem Zeitraum lag im September 2014 bei fast 9.500 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Chrom kann nicht durch andere Stoffe substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Wichtig für einige Zukunftstechnologien (Meerwasserentsalzung, korrosionsfreier Stahl z. B. für marine Techniken).
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Leicht erhöhte Gefahr aufgrund der Relevanz des Rohstoffs.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Eisen

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Verwendung vorwiegend im Fahrzeugbau, der Bauindustrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	2015 wurden weltweit 3,3 Milliarden Tonnen Eisenerz gefördert. Bei heutigem Produktionsniveau würden die bekannten Vorräte an Eisenerz noch beinahe 60 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion von Eisenerz (2015) konzentrierte sich zu 85 Prozent auf fünf Länder. Diese sind China (42 Prozent), Australien (25 Prozent), Brasilien (13 Prozent), Indien (vier Prozent) und Russland (drei Prozent). Die Konzentration der Unternehmen liegt etwas niedriger. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von über 50 Prozent auf sich.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Der Preis für eine Tonne Feinerz lag im Juni 2016 bei rund 50 US-Dollar. Das entspricht weniger als der Hälfte des Preises drei Jahre zuvor (115 US-Dollar). Der Preis für Eisen ist damit deutlich stärker gefallen als die Preise am Rohstoffmarkt insgesamt. Auch die Schwankungsbreite war überdurchschnittlich groß.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Aluminium, Plastik und Verbundwerkstoffe.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Eher geringe Bedeutung für Zukunftstechnologien; die Bedeutung wird aber durch das Wirtschaftswachstum bestimmt.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Förderländer insgesamt mit durchschnittlichem Risiko; aber bedeutende Reserven in China, Russland und der Ukraine (Länder mit Handels- und Wettbewerbsbeschränkungen).
Bedeutung für Bayern	Hoch – aufgrund der Bedeutung für die metallverarbeitende Industrie.

Kadmium

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Kadmium wird beispielsweise in der Produktion von Lampen, Solarzellen und Halbleitern eingesetzt. Wegen der hohen Toxizität von Kadmium und seinen Verbindungen ist deren Bedeutung allerdings abnehmend.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Kadmium wird fast ausschließlich als Nebenprodukt bei der Zinkverhüttung, in kleinem Umfang auch bei der Blei- und Kupferverhüttung gewonnen. Als gediegenes Metall kommt Kadmium nur äußerst selten vor. 2015 wurden fast 25.000 Tonnen produziert, etwa 500.000 Tonnen Reserven liegen vor. Die statische Reichweite ist also mit etwa 20 Jahren relativ gering.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	90 Prozent der weltweiten Förderung ist in zehn Ländern konzentriert, über 70 Prozent in lediglich fünf Ländern. Dazu gehören China (33 Prozent), Südkorea (18 Prozent), Japan (acht Prozent), Kanada (sechs Prozent) und Mexiko (sechs Prozent). Die Unternehmenskonzentration ist eher gering.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	Innerhalb von etwas mehr als zwei Jahren hat sich der Kilopreis für dieses Schwermetall mehr als halbiert (Juni 2013: 2,23 US-Dollar; September 2015: 0,78 US-Dollar). Danach setzte eine Erholung ein, sodass sich der Preis Mitte 2016 wieder bei rund 1,60 US-Dollar befand.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Kadmium kann substituiert werden durch Lithium, Nickel, Zink und Aluminium.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Zwar wird Kadmium auch für bestimmte Zukunftsprodukte verwendet, nimmt aber in der Verwendung aufgrund seiner Toxizität ab.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Die Länderkonzentration ist zwar eher hoch und wird von politisch eher instabilen Ländern dominiert. Trotzdem ist bei diesem Rohstoff nicht von einem verstärkten Einsatz als politisches Druckmittel auszugehen.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Kobalt

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Kobalt wird hauptsächlich zur Herstellung von Hochtemperaturlegierungen, Hartmetallen, Dauermagnetwerkstoffen, Katalysatoren, Farben, Batterien und in der Radiologie verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	Die weltweite Kobaltproduktion belief sich 2015 auf 124.000 Tonnen Metallinhalt, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 7,1 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch fast 60 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion konzentriert sich zu 86 Prozent auf zehn Länder und zu 71 Prozent auf fünf Länder, wobei allein die Demokratische Republik Kongo einen Anteil von mehr als 50 Prozent hat. Weitere bedeutende Länder sind China (sechs Prozent), Kanada (fünf Prozent), Russland (fünf Prozent) und Sambia (vier Prozent). Die Konzentration der Unternehmen liegt hingegen deutlich niedriger. Zehn Unternehmen vereinen etwa die Hälfte des Weltmarktes.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Von Juni 2013 bis Oktober 2015 bewegte sich der Preis für eine Tonne Kobalt zwischen 28.000 und 33.000 US-Dollar je Tonne. In den folgenden acht Monaten bis Juni 2016 lag der Preis deutlich unter dieser Spanne bei etwa 24.000 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Kobalt kann ohne deutliche Leistungseinbuße derzeit nicht substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Der Bedarf an Lithium-Ionen-Akkumulatoren (in Form von Lithium-Cobalt-Oxid) und die Verwendung für Superlegierungen machen Kobalt in der Zukunft sehr bedeutend.
Politische Risiken Risikoklasse: hoch	Der Kongo hat einen Anteil an der Weltproduktion von fast zwei Dritteln und verfügt mit Abstand über die größten Reserven. Das Land ist politisch instabil.
Bedeutung für Bayern	Hoch

Kupfer

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Kupfer kommt hauptsächlich in der Elektroindustrie, der Bauindustrie, im Maschinenbau und im Münzwesen zum Einsatz.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Produktion für Kupfer belief sich 2015 auf 18,7 Millionen Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf über 720 Millionen Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte damit noch fast 40 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	79 Prozent der Produktion im Jahr 2015 wurden von zehn Ländern geleistet, 60 Prozent von fünf Ländern: Chile (31 Prozent), China (neun Prozent), Peru (neun Prozent), USA (sieben Prozent) und Demokratische Republik Kongo (fünf Prozent). Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von rund 50 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen auf über 35 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Kupfer hat sich in den letzten drei Jahren ähnlich entwickelt wie die Preise am Gesamtmarkt für Rohstoffe. Von Juni 2013 (7.000 US-Dollar) bis Juni 2016 (4.600 US-Dollar) sank er um ein Drittel. Der größte Teil des Rückgangs fiel dabei auf das letzte Jahr dieses Zeitraums.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Kupfer kann nur in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Titan, Stahl, Glasfaser oder Plastik ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien wie Windkraft oder Elektromobilität.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Kupfer könnte aufgrund seiner Bedeutung für Zukunftstechnologien für strategische Industriepolitik genutzt werden. Aktuell ist das Risiko dafür aber eher als gering zu bewerten.
Bedeutung für Bayern	Hoch

Lithium

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Lithium wird hauptsächlich als Flussmittel in Aluminium-Hütten und zur Herstellung von Keramik, Glaswaren, Akkumulatoren und Batterien benötigt. Er ist ein wichtiger Rohstoff in der Reaktorindustrie, der Medizin sowie der organischen Chemie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Lithiumproduktion belief sich 2015 auf 32.500 Tonnen, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte mindestens 14 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch über 400 Jahre reichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion von Lithium ist regional stark konzentriert. Allein Chile (41 Prozent) und Australien (36 Prozent) vereinen zusammen fast 80 Prozent auf sich. Die restlichen Anteile liegen fast vollständig bei Argentinien (zwölf Prozent) und China (sieben Prozent). Die Konzentration der Unternehmen liegt ähnlich hoch. Die fünf größten Unternehmen teilen sich rund 80 Prozent der weltweiten Produktion.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Der Preis für Lithiumoxid liegt seit einigen Jahren konstant bei 217,50 US-Dollar pro Tonne. Der Preis für Lithiumkarbonat ist ebenfalls recht stabil. Eine Tonne dieser Lithiumverbindung kostete im Juni 2016 rund 7.000 US-Dollar, genauso wie drei Jahre zuvor. Der tiefste Preis in diesem Zeitraum lag bei etwa 6.200 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	In einigen Verwendungen kann Lithium durch Kalzium, Magnesium, Quecksilber oder Zink ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Im Bereich der alternativen Mobilitätsformen (Elektro/Hybrid) derzeit nicht zu ersetzen.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Die bedeutendsten zukünftig relevanten Vorkommen von Lithium(-sole) liegen in Bolivien, weshalb – aufgrund der sozialistischen Regierung – mit Zugangerschwernissen zu rechnen ist.
Bedeutung für Bayern	Mittel – da unter anderem Batterien beziehungsweise Akkus mit Lithium derzeit die höchste Energiedichte aufweisen.

Magnesium

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Magnesium dient zur Herstellung von Legierungen und als Reduktionsmittel in der Metallurgie und wird vorwiegend in der chemischen Industrie sowie im Flugzeug- und Fahrzeugbau eingesetzt.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Weltweit wurden 2015 über 910.000 Tonnen Magnesium produziert, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte von Magnesit 2,4 Milliarden Tonnen betragen. Bei gleichbleibendem Produktionsniveau sind die Vorkommen damit mehr als ausreichend. Zudem wird Magnesium nicht nur aus Erzen, sondern auch aus Meerwasser gewonnen, womit der Vorrat letztlich als nahezu unbegrenzt angenommen werden kann.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2015) von Magnesium war stark konzentriert. Fünf Länder vereinten einen Weltmarktanteil von fast 90 Prozent. China allein produzierte 70 Prozent des Metalls. Weitere bedeutende Produktionsländer sind die Türkei (zehn Prozent), Russland (fünf Prozent), Österreich (drei Prozent) und die Slowakei (zwei Prozent). Die Konzentration der Unternehmen wird etwas niedriger eingeschätzt.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Etwa 2.800 US-Dollar kostete eine Tonne Magnesium im Juni 2013. Drei Jahre später waren es nur noch 2.000 US-Dollar. Ein Rückgang von fast 30 Prozent, der zudem sehr kontinuierlich verlief.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Magnesium kann in einigen Verwendungen durch Aluminium, Kalziumkarbid oder Zink ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Wichtiger Werkstoff in der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie sowie Reduktionsmittel zur Gewinnung von Metallen.
Politische Risiken Risikoklasse: hoch	Produktion ist derzeit zu über 70 Prozent in China konzentriert, das bei vielen Rohstoffen mit Handels- und Wettbewerbsbeschränkungen agiert, dafür sind die Vorräte aber fast unbegrenzt.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Mangan

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Mangan wird vorwiegend zur Herstellung von Batterien sowie in der Eisen- und Stahlindustrie eingesetzt.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Manganproduktion belief sich 2015 auf 18 Millionen Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf über 620 Millionen Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch fast 35 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Zwei Drittel der Produktion (2015) konzentrierten sich auf drei Länder, etwa 80 Prozent auf fünf Länder: Südafrika (34 Prozent), China (17 Prozent), Australien (16 Prozent), Gabun (zehn Prozent) und Brasilien (sechs Prozent). Niedriger ist hingegen die Konzentration der Unternehmen. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von über 40 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen auf etwa 30 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Der Preis für Ferromangan hat in den letzten drei Jahren eine leicht fallende Tendenz. Etwa zwölf Prozent betrug dabei der Rückgang – im Vergleich zu den meisten anderen Rohstoffen also eher moderat. Im Juni 2016 waren etwa 675 Dollar für eine Tonne zu bezahlen.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Mangan kann bislang nicht durch andere Stoffe substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Keine bedeutenden Zukunftstechnologien.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Die Abbauländer lassen keine besonderen Risiken erwarten.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Molybdän

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Molybdän wird vorwiegend im Flugzeug- und Raketenbau sowie in der Elektrotechnik eingesetzt und dient zur Herstellung von Edelstählen, Schmierstoffen, Farben und Katalysatoren.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Produktion von Molybdän belief sich 2015 auf über 270.000 Tonnen Metallinhalt, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 11 Millionen Tonnen betragen. Die Vorräte würden bei heutigem Produktionsniveau damit noch rund 40 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2015) von Molybdän konzentrierte sich zu fast 90 Prozent auf nur fünf Länder: China (38 Prozent), USA (21 Prozent), Chile (18 Prozent), Peru (sieben Prozent) und Mexiko (fünf Prozent). Die Konzentration der Unternehmen liegt etwas niedriger. Die zehn größten Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von knapp 60 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen auf etwa 45 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	Der Preis für eine Tonne Ferromolybdän ist in den letzten drei Jahren sehr volatil gewesen. Im Juni 2013 lag er bei etwa 22.000 US-Dollar, ein Jahr später bei 32.000 US-Dollar, um dann bis Ende 2015 auf knapp über 10.000 US-Dollar zu fallen. Im Juni 2016 kostete eine Tonne schon wieder fast 18.000 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Molybdän ist in bestimmten Eigenschaften nicht substituierbar.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Wichtiger Bestandteil von Stahl in der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie (hart und hitzebeständig).
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	China ist bedeutender Produzent mit Handels- und Wettbewerbsbeschränkungen; andere Förderländer sind eher unkritisch.
Bedeutung für Bayern	Hoch

Nickel

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Nickel wird vorwiegend zur Herstellung von korrosionsbeständigem Stahl, anderen Legierungen, Gasturbinen, Metallüberzügen, Münzen, Katalysatoren und Batterien verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Nickelproduktion belief sich 2015 auf über 2,5 Millionen Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf 79 Millionen Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch rund 30 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Etwa drei Viertel der Nickelproduktion (2015) verteilten sich auf zehn Länder. Die fünf bedeutendsten Länder teilten sich über 50 Prozent des Weltmarktes: Philippinen (21 Prozent), Kanada (zehn Prozent), Russland (zehn Prozent), Australien (neun Prozent), Neukaledonien (Frankreich, acht Prozent). Die zehn größten Unternehmen kommen auf einen Weltmarktanteil von knapp 65 Prozent, die fünf größten Unternehmen auf etwa 50 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	Der Nickelpreis lag im Juni 2016 unter 9.000 US-Dollar pro Tonne. Das sind fast 40 Prozent weniger als im Juni 2013 (circa 14.000 US-Dollar). Noch im Sommer 2014 stand der Preis für dieses Schwermetall sogar bei fast 20.000 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	In der EU-15 liegt die Recyclingrate von Nickel bei mehr als 50 Prozent. Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Aluminium, beschichtete Stähle, Plastik und Titanlegierungen.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Vorwiegende Funktion als Legierungsmetall.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Die politischen Risiken sind als eher niedrig einzuschätzen.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Niob

Risikoklasse
3er-Skala



hoch

Einsatzfelder

Niob wird hauptsächlich zur Herstellung von Edelstählen und Superlegierungen beispielsweise für Flugzeugturbinen verwendet.

Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse:
mittel

Die weltweite Produktion von Niob lag 2015 bei etwa 56.000 Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf mehr als 4,3 Millionen Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch mindestens 75 Jahre ausreichen.

Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse:
hoch

Die Produktion (2015) verteilte sich praktisch auf nur zwei Länder: Brasilien (89 Prozent) und Kanada (neun Prozent). Die Unternehmenskonzentration ist ebenfalls extrem hoch. Lediglich drei Unternehmen vereinen nahezu die komplette Weltproduktion auf sich.

Preisentwicklung

Risikoklasse:
mittel

Der Preis für Niob ist in den letzten drei Jahren überdurchschnittlich stark zurückgegangen. Das gilt sowohl für Niob in Form von Pentoxid als auch für das Konzentrat. Für ein Kilo dieses seltenen Schwermetalls waren im Juni 2013 etwa 26 US-Dollar (Pentoxid) beziehungsweise etwa 21 US-Dollar (Konzentrat) zu zahlen.

Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse:
hoch

Die Recyclingrate von Niob beträgt in Deutschland mehr als 50 Prozent. Es kann nicht ohne erhebliche Leistungseinbußen und Kostensteigerungen substituiert werden.

Zukunftsrelevanz

Risikoklasse:
hoch

Als Legierungszuschlag zum Beispiel für den Bau von Gasturbinen nahezu unersetzlich (Superlegierungen).

Politische Risiken

Risikoklasse:
mittel

Zwar ist von Brasilien nicht unbedingt ein strategischer Einsatz von Niob zu erwarten, aber die starke Konzentration auf ein Schwellenland birgt Gefahren.

Bedeutung für Bayern

Mittel

Tantal

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Tantal kommt vorwiegend in der Medizintechnik zur Herstellung von Instrumenten und Implantaten sowie beim chemischen Apparatebau zum Einsatz. Weiterhin wird es bei der Produktion von Kondensatoren, Karbiden und Superlegierungen benötigt.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	Die weltweite Tantalproduktion belief sich 2015 auf 1.200 Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf mehr als 100.000 Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch über 80 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu 90 Prozent auf folgende fünf Länder: Ruanda (50 Prozent), Demokratische Republik Kongo (17 Prozent), Brasilien (13 Prozent), China (fünf Prozent) und Australien (vier Prozent). Daten zur Unternehmenskonzentration liegen in ausreichend valider Form nicht vor.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Die Preisinformationen für Tantal sind eher dürftig, werden aber so eingeschätzt, dass dieser Rohstoff ein mittleres Preisrisiko aufweist.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Niob, Aluminium, Keramik, Platin, Titan oder Zirkonium.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Vor allem bei mikroelektronischen Kondensatoren derzeit noch nicht ersetzbar.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Eher kein Einsatz strategischer Industriepolitik zu erwarten, aber hohe Konzentration birgt Gefahren.
Bedeutung für Bayern	Hoch – bedeutender Rohstoff für die Elektroindustrie (Kondensatoren) und die Medizintechnik.

Titan

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Mit Titan werden Edelstähle, Superlegierungen und Titanmetall hergestellt. In dieser Form kommt es im Flugzeugbau, in der Weltraumfahrt, im Schiffs- und Bootsbau, in der Reaktortechnik, im Anlagenbau und in der Medizintechnik zum Einsatz. Als Pigment wird Titan zur Herstellung von Farben, Papier und Plastik verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	2015 wurden weltweit 5,6 Tonnen Titan produziert, die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte (Ilmenite und Rutile) betragen 1,5 Milliarden Tonnen. Bei heutigem Produktionsniveau reichen die Vorräte somit noch über 250 Jahre aus.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die zehn bedeutendsten Länder produzieren rund 85 Prozent des weltweit geförderten Titans. 55 Prozent konzentrieren sich auf fünf Länder: China (16 Prozent), Australien (13 Prozent), Vietnam (zehn Prozent), Südafrika (neun Prozent) und Mosambik (acht Prozent). Die fünf größten Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von rund 60 Prozent auf sich.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Titan (in Form von Ferrotitan) ist von Juni 2013 bis Juni 2016 deutlich gesunken. Nach über 6.000 US-Dollar je Tonne zu Beginn des betrachteten Zeitraums, waren es am Ende nur noch etwa 3.700 US-Dollar. Ein Rückgang von fast 40 Prozent, davon der größte Teil innerhalb der letzten zwölf Monate.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Die Recyclingrate des Titanmetalls liegt bei 50 Prozent. Als Pigment bestehen Substitutionsmöglichkeiten durch Kalziumkarbonat, Kaolin oder Talk.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften als Legierungszusatz (leicht aber fest) wird es vor allem in der Luft- und Raumfahrttechnik verwendet. Zudem wird es auch in der Meerwasserentsalzung eingesetzt.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Eher kein Einsatz strategischer Industriepolitik zu erwarten, aber hohe Konzentration birgt Gefahren.
Bedeutung für Bayern	Hoch – wichtiger Zusatz im Maschinen- und Anlagenbau.

Wolfram

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Wolfram wird vorwiegend zur Herstellung von Edelstählen, Karbiden und Leuchtmitteln verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Produktion von Wolfram belief sich 2015 auf rund 87.000 Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf 3,3 Millionen Tonnen belaufen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch fast 40 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Wolframproduktion (2015) konzentrierte sich zu über 90 Prozent auf fünf Länder: China (82 Prozent), Vietnam (sechs Prozent), Russland (drei Prozent), Kanada (zwei Prozent), Bolivien (ein Prozent). Angaben zur Unternehmenskonzentration sind kaum vorhanden. Im Hauptabbauland China sind jedoch viele Unternehmen an der Produktion beteiligt.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	Eine Tonne Ferrowolfram kostete im Juni 2016 etwa 25.000 US-Dollar. Das waren über 45 Prozent weniger als drei Jahre zuvor (48.000 US-Dollar). Der Preis sank in diesem Zeitraum sehr gleichmäßig.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Die Recyclingrate von Wolfram liegt bei 20 bis 25 Prozent. In bestimmten Verwendungen kann es durch keramisch-metallische Verbundwerkstoffe ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Essenziell für die Leuchtmittelindustrie und als Legierungszusatz für härteste Stähle.
Politische Risiken Risikoklasse: hoch	China besitzt die weltweit größten Reserven und ist derzeit auch Hauptproduzent von Wolfram. Wolframexporte sind mit einem Exportverbot belegt.
Bedeutung für Bayern	Hoch

Zink

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Die hauptsächliche Verwendung von Zink liegt bei der Galvanik im Fahrzeugbau und in der Bauindustrie sowie in der Herstellung von NE-Legierungen, pharmazeutischen Präparaten, Trockenbatterien und Pigmenten.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die weltweite Zinkproduktion belief sich 2015 auf 13,4 Millionen Tonnen Metallinhalt, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 200 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch knapp 15 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu über 85 Prozent auf zehn Länder, fünf Länder kamen gemeinsam auf einen Anteil von über 70 Prozent: China (37 Prozent), Australien (zwölf Prozent), Peru (zehn Prozent), Indien und die USA (jeweils sechs Prozent). Die Konzentration der Unternehmen ist niedriger. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von 40 Prozent auf sich, die fünf größten kommen auf 30 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Zink ist einer der wenigen Rohstoffe, dessen Preis von Juni 2013 (circa 1.850 US-Dollar je Tonne) bis Juni 2016 (über 2.000 US-Dollar) gestiegen ist. Ende 2015 lag der Preis vorübergehend bei nur etwa 1.500 US-Dollar je Tonne.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Zink hat in Deutschland eine Recyclingrate von über 50 Prozent und kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Plastik, Stahl oder Magnesium ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Wird nur in wenigen Zukunftstechnologien verwendet.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	China ist wichtigster Lieferant, weitere Reserven sind aber breit gestreut.
Bedeutung für Bayern	Hoch – Verwendung in den Bereichen Galvanik, NE-Legierungen, Pharmazie, Batterie und Pigmente.

Zinn

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Zinn wird hauptsächlich zur Herstellung von Elektronik (LCD-Displays), Weißblechen, Loten, Legierungen, Chemikalien und Pigmenten verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Weltweit wurden 2015 etwa 300.000 Tonnen Zinn produziert. Bekannt sind Lagerstätten mit 4,8 Millionen Tonnen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher nur knapp über 15 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu fast 90 Prozent auf zehn und zu über 75 Prozent auf fünf Länder: China (34 Prozent), Indonesien (17 Prozent), Myanmar (zehn Prozent), Peru (acht Prozent), Bolivien (sieben Prozent). Niedriger ist hingegen die Konzentration der Unternehmen. Sieben Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von etwa 50 Prozent auf sich.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Zinn ist in den letzten drei Jahren unterdurchschnittlich stark gesunken. Etwas über 20.000 US-Dollar kostete eine Tonne im Juni 2013. Im Juni 2016 waren es rund 15 Prozent weniger (circa 17.000 US-Dollar).
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Zinn hat in Deutschland inzwischen eine Recyclingrate von mehr als 50 Prozent. Es kann aber nur in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Glas, Plastik, Epoxidharze und Alu- beziehungsweise Kupferlegierungen ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Bedeutend für Zukunftstechnologien, zum Beispiel für das Löten (vor allem bei Platinen) zunehmend wichtiger, da kein Blei mehr in elektronischen Bauteilen verwendet werden darf.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	China ist wichtigster Lieferant.
Bedeutung für Bayern	Hoch – wichtig für Elektroindustrie und die Chemiebranche.

Zirkon

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Aufgrund des sehr hohen Schmelzpunktes wird Zirkon zur Herstellung von Schmelzriegeln und abrasionsfesten Werkstoffen wie Zahnbrücken verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	2015 wurden weltweit über 1,4 Millionen Tonnen Zirkon produziert. Bei einem Vorrat von etwa 78 Millionen Tonnen beträgt die statische Reichweite über 55 Jahre.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die fünf bedeutendsten Produktionsländer vereinen fast 85 Prozent der Weltproduktion auf sich: Australien (36 Prozent), Südafrika (27 Prozent), China (zehn Prozent), Indonesien (acht Prozent), USA (vier Prozent). Die fünf bedeutendsten Unternehmen kommen auf einen Weltmarktanteil von über 60 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Zirkon hat sich in der letzten Zeit ähnlich wie die Preise am gesamten Rohstoffmarkt entwickelt. Eine Tonne kostete im Juni 2016 (975 US-Dollar) circa ein Drittel weniger als noch im Juni 2013 (1.400 US-Dollar). Die Preisentwicklung vollzieht sich eher gemächlich.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Eine Substitution erscheint aufgrund der großen Vorräte in mittelfristiger Zukunft nicht notwendig. Generell sind die Substitutionsmöglichkeiten aber stark eingeschränkt.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Zirkon kann aufgrund des hohen Schmelzpunktes für Zukunftstechnologien eine Rolle spielen.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Aufgrund der reichen Vorkommen sind kaum politische Risiken erkennbar.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Gold

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Gold wird vorwiegend zur Herstellung von Schmuckwaren, als Zahlungsmittel sowie in der Zahntechnik und der Elektroindustrie verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	2015 wurden etwa 3.000 Tonnen Gold gefördert. Die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte betragen 56.000 Tonnen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch weniger als 20 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die Produktion (2015) konzentrierte sich etwa zu zwei Dritteln auf zehn Länder und zu knapp 46 Prozent auf fünf Länder: China (16 Prozent), Australien (zehn Prozent), Russland (acht Prozent), USA (sieben Prozent) und Kanada (fünf Prozent). Die Konzentration der Unternehmen ist ebenfalls eher niedriger.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Über den Zeitraum der letzten drei Jahre ist der Goldpreis nur leicht rückläufig gewesen. Mit etwa 1.250 US-Dollar je Feinunze lag der Preis nur fünf Prozent unter dem Niveau von Juni 2013. Zum Ende des Jahres 2015 waren es kurzfristig weniger als 1.050 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Gold ist vollständig wiederverwertbar und kann in bestimmten Verwendungen durch Palladium, Platin oder Silber substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Für Zukunftstechnologien nicht von hoher Bedeutung, aber als Spekulationsobjekt und Instrument gegen Inflation.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	China und Russland gehören zu den größten Goldproduzenten. Beide Länder warten derzeit mit (Handels-)Beschränkungen bei Edelmetallen auf.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Palladium

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Palladium findet hauptsächlich in der Autoindustrie, der chemischen Industrie, der Schmuckindustrie, der Luftfahrt, der Medizintechnik, der Dentalindustrie sowie bei der Herstellung von Brennstoffzellen Verwendung.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Produktion von Palladium belief sich 2015 auf 208 Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf rund 66.000 Tonnen belaufen (Platingruppenmetalle insgesamt). Bei heutigem Produktionsniveau sollten die Vorräte noch deutlich über 200 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu 85 Prozent auf nur drei Länder: Russland (39 Prozent), Südafrika (35 Prozent) und Kanada (zwölf Prozent). Ebenfalls hoch ist die Konzentration der Unternehmen. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von 95 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen allein fast schon auf 80 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Palladium ist in den letzten drei Jahren nach einem kurzen steilen Anstieg von 700 US-Dollar auf fast 900 US-Dollar je Feinunze deutlich im Preis gefallen. Zu Anfang des Jahres 2016 waren es weniger als 500 US-Dollar. Im Juni dieses Jahres lag der Preis mit 550 US-Dollar immer noch deutlich unter dem vom Juni 2013.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Palladium kann teilweise durch Platin ersetzt werden, das jedoch auch selten und vor allem teuer ist. Das große Problem ist, dass die Platingruppenmetalle nur untereinander austauschbar sind.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Palladium ersetzt beispielsweise zunehmend das teurere Platin bei den Abgaskatalysatoren.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Russland arbeitet als wichtigster Produzent mit Exportbeschränkungen und Ausfuhrsteuer.
Bedeutung für Bayern	Hoch – Automobilindustrie, chemische Industrie und Medizintechnik

Platin

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Die Hauptverwendung für Platin liegt in der Autoindustrie zur Herstellung von Katalysatoren sowie in der chemischen Industrie, der Schmuckindustrie, der Elektrotechnik und der Dentalindustrie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	Die Produktion von Platin belief sich 2015 weltweit auf 178 Tonnen Metallinhalt, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf 66.000 Tonnen belaufen (Platingruppenmetalle insgesamt). Bei heutigem Produktionsniveau sollten die Vorräte daher noch deutlich über 100 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2015) war regional stark konzentriert und zwar zu über 90 Prozent auf nur drei Länder. Allein Südafrika stellt etwa 70 Prozent der gesamten Produktion. Russland (13 Prozent) und Simbabwe (sieben Prozent) haben ebenfalls hohe Anteile. Auch die Konzentration der Unternehmen ist sehr hoch. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von 95 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen auf über 80 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Platin ist derzeit relativ günstig. Im Juni 2016 kostete eine Feinunze dieses Edelmetalls weniger als 1.000 US-Dollar. Drei Jahre zuvor waren es noch über 1.400 US-Dollar. In der Zeit vor 2013 nochmals deutlich mehr.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Platin ist vollständig wiederverwertbar und kann teilweise durch Palladium ersetzt werden. Das große Problem ist, dass die Platingruppenmetalle nur untereinander austauschbar sind.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Hauptverwendung von Platin ist zwar der Einsatz als Katalysator, aber der Bedarf vor allem in der Brennstoffzellentechnik wird zunehmen. Hier wird aufgrund des hohen Preises von Platin verstärkt nach Substituten geforscht.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Südafrika ist mit weitem Abstand der größte Produzent von Platin. Von diesem Land ist der Einsatz von Rohstoffen als politisches Instrument nicht bekannt und derzeit auch nicht zu erwarten.
Bedeutung für Bayern	Hoch – Automobilindustrie, chemische und elektronische Industrie

Rhodium

Risikoklasse



hoch

3er-Skala

Einsatzfelder

Die Hauptverwendung für Rhodium liegt in der Autoindustrie zur Herstellung von Katalysatoren sowie in der chemischen Industrie, der Schmuckindustrie, der Elektrotechnik und der Dentalindustrie.

Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse:
niedrig

Die Produktion von Rhodium belief sich 2015 auf etwa 22 Tonnen Metallinhalt weltweit, während sich die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte auf 66.000 Tonnen belaufen (Platingruppenmetalle insgesamt). Bei heutigem Produktionsniveau sollten die Vorräte daher noch weit mehr als 200 Jahre auseichen.

Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse:
hoch

Die Produktion (2015) war regional sehr stark konzentriert und zwar nahezu ausschließlich auf nur fünf Länder. Neben Russland, Simbabwe, Kanada und den USA, die zusammen etwa 20 Prozent der weltweiten Produktion stellen, ist Südafrika mit rund 80 Prozent hierbei das Schwergewicht. Ebenfalls hoch ist die Konzentration der Unternehmen. Fünf Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von über 80 Prozent auf sich.

Preisentwicklung

Risikoklasse:
mittel

Der Preis für Rhodium ist von allen hier betrachteten Platinmetallen am stärksten zurückgegangen. Von Juni 2013 bis Juni 2016 um etwa 35 Prozent. 650 US-Dollar je Feinunze waren im Juni 2016 zu bezahlen; drei Jahre zuvor noch über 1.000 US-Dollar.

Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse:
hoch

Rhodium kann teilweise durch Palladium ersetzt werden. Das große Problem ist, dass die Platingruppenmetalle nur untereinander austauschbar sind. Die globalen Recyclingraten von Rhodium liegen zwischen 50 und 60 Prozent.

Zukunftsrelevanz

Risikoklasse:
hoch

Rhodium ist für Fahrzeugkatalysatoren nahezu unersetzlich.

Politische Risiken

Risikoklasse:
mittel

Südafrika ist mit weitem Abstand der größte Produzent von Rhodium.

Bedeutung für Bayern

Hoch – über 80 Prozent der Weltproduktion wird für Kfz-Abgaskatalysatoren verwendet.

Silber

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Silber wird zur Herstellung von Schmuck- und Tafelwaren, Münzen und Legierungen verwendet. Weitere Hauptverwendungen finden sich in der Film- und Fotoindustrie sowie der Elektronikindustrie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Die Produktion von Silber belief sich 2015 auf 27.300 Tonnen Metallinhalt weltweit, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 570.000 Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch etwa 20 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu über 80 Prozent auf zehn Länder, zu über 60 Prozent auf fünf Länder: Mexiko (20 Prozent), China (15 Prozent), Peru (14 Prozent) sowie Chile und Australien (jeweils sechs Prozent). Die Konzentration der Unternehmen liegt hingegen niedriger. Zehn Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von fast 40 Prozent auf sich, die fünf größten Unternehmen kommen auf über 20 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Silber ist im Langfristvergleich derzeit sehr günstig. Im Juni 2016 kostete eine Feinunze nur 17 US-Dollar. Drei Jahre zuvor waren es noch über 21 US-Dollar. Im Jahr 2011 teilweise über 40 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Silber kann vollständig wieder verwendet, aber nur in bestimmten Verwendungen durch Aluminium, Rhodium, Tantal oder Edelstahl ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Kein anderer Rohstoff leitet Strom so gut wie Silber und daher ist mit einer hohen Nachfrage nach diesem Material in der RFID- und allgemein in der Informations- und Kommunikationstechnologie zu rechnen. Die Mengen sind aber überschaubar.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Silber wird überwiegend in südamerikanischen Ländern abgebaut, in denen nicht mit einer Instrumentalisierung zu rechnen ist. Aber auch China fördert verstärkt.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Baryt

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Baryt wird hauptsächlich als Bohrspülung und Füllstoff (unter anderem in Papier und Farbe) verwendet und außerdem zur Herstellung von BA-Chemikalien, Schwerbetonzuschlag oder Röntgenkontrastmitteln.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	2015 wurden weltweit etwa 7,5 Millionen Tonnen Baryt produziert. Die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte enthalten noch 380 Millionen Tonnen. Damit steht bei heutigem Produktionsniveau für die nächsten 50 Jahre noch ausreichend Baryt zur Verfügung.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu 90 Prozent auf zehn und zu drei Vierteln auf fünf Länder: China (40 Prozent), Indien (zwölf Prozent), Marokko (zwölf Prozent), USA (neun Prozent) und Iran (vier Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Um rund ein Drittel ist der Preis für eine Tonne Baryt in den letzten Jahren gesunken. Im Juni 2016 lag dieser bei knapp unter 100 US-Dollar (Juni 2013: circa 140 US-Dollar).
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: niedrig	In der Herstellung von BA-Chemikalien kann es durch Witherit ersetzt werden. In seiner Funktion als Bohrspülung sind Hämatit, Pyrit, Siderit, Witherit, Coelestin oder Eisenoxidschlacke aus Pyritröstung geeignete Ersatzstoffe. In Farben kann es durch Kalkstein, Kaolin oder Titandioxid und als Füllstoff durch Kalkstein oder Dolomitstein substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Für Zukunftstechnologien spielt Baryt voraussichtlich keine große Rolle.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Auch die Gefahr, dass Baryt strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Bentonit

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Bentonit findet in vielen Bereichen Verwendung. Hauptsächlich jedoch in der Gießerei-Industrie (33 Prozent), bei der Pelletisierung von Eisenerzen (21 Prozent), zur Herstellung von Katzenstreu (19 Prozent), als Dichtungsmittel in der Bauindustrie (acht Prozent), als Spülmittelzusatz in der Bohrindustrie (sechs Prozent) und in der Papierherstellung (zwei Prozent). Weitere Verwendung (elf Prozent) findet Bentonit beispielsweise in der Herstellung von Margarine, Speiseöl, Kosmetika, Salben oder als Katalysator und Füllstoff in der chemischen Industrie.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Bentonitproduktion belief sich 2015 auf knapp 16 Millionen Tonnen, während die Vorräte als sehr groß angenommen werden. Auch in fernerer Zukunft sind daher keine Vorratsengpässe zu erwarten.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die Produktion (2013) konzentrierte sich zu rund 80 Prozent auf zehn Länder, die größten fünf Produzenten (zusammen unter 70 Prozent): USA (27 Prozent), China (22 Prozent), Griechenland (acht Prozent), Indien (sieben Prozent), Türkei (vier Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Preisinformationen für Bentonit sind eher dürftig, werden aber so eingeschätzt, dass dieser Rohstoff ein eher geringes Preisrisiko aufweist.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: niedrig	Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Palygorskit, Sepiolith, Halloysit, Kaolinit oder synthetische Chemikalien.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Für Zukunftstechnologien spielt Bentonit voraussichtlich keine große Rolle.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Auch die Gefahr, dass Bentonit strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Feldspat

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Feldspat wird vorwiegend bei der Herstellung von Keramik (55 Prozent) und Glas (35 Prozent) sowie untergeordnet in Glasuren, als Füllstoff, in Seifen und Scheuermitteln verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Produktion von Feldspat belief sich 2015 auf rund 21 Millionen Tonnen Metallinhalt, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte als praktisch unbegrenzt angenommen werden können.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu über 70 Prozent auf fünf Länder: Türkei (24 Prozent), Italien (22 Prozent), China (zwölf Prozent), Indien (sieben Prozent), Thailand (sieben Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Der Preis für Feldspat liegt relativ konstant bei etwa 75 US-Dollar pro Tonne.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: niedrig	Feldspat kann in einigen Verwendungen durch Soda, Baryt oder feldspatreiche Gesteine ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Für Zukunftstechnologien spielt Feldspat voraussichtlich keine große Rolle.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Auch die Gefahr, dass Feldspat strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering beziehungsweise kaum möglich, da weltweit große Vorkommen vorhanden sind.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Fluorit

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Hauptverwendung findet Fluorit als Flussmittel bei der Stahl- und Gusseisenerzeugung, bei der Herstellung von Schweißelektroden, in der chemischen Industrie (Fluorkohlenwasserstoff), bei der Herstellung von Fritten, Emailen, Glasuren und für optische Anwendungen (Gläser für Linsen und Prismen, Spektroskopie).
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	2015 wurden weltweit 6,25 Millionen Tonnen Fluorit produziert, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte etwa 250 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch etwa 40 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion konzentriert sich zu knapp 90 Prozent auf fünf Länder: China (61 Prozent), Mexiko (18 Prozent), Mongolei (sechs Prozent), Südafrika (drei Prozent) und Kasachstan (zwei Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Rund 500 US-Dollar waren Mitte 2013 noch für eine Tonne Fluorit zu zahlen. Drei Jahre später beträgt der Preis, der kontinuierlich zurückging, für dieses Mineral nur noch 285 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	Fluorit kann in seiner Verwendung als Hüttenspat bedingt durch Borate, Kalk- und Dolomitstein, Bauxit, Olivin, Serpentin, Mangan-Erze, Eisen/Mangan-Erze, Titanerze oder Soda ersetzt werden. Als Keramikspat teilweise durch synthetisches Kryolith.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Breiter Einsatz, selten kritisch für Hochtechnologien.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Über die Hälfte der Weltproduktion kommt aus China.
Bedeutung für Bayern	Niedrig

Gips und Anhydrit

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Die Verwendungsmöglichkeiten für Gips und Anhydrit sind vielseitig. Sie dienen unter anderem der Herstellung von Bauelementen, als Bindemittel für Innenausbau und Tiefbau, als Abbindeverzögerer für Zement, als verfahrenstechnische Hilfsmittel, als Entsorgungshilfsstoffe, zur Herstellung von Spezialgipsen, Füll- und Trägerstoffen sowie als Düngemittel und Schmierrohstoff.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Produktion belief sich 2015 auf 258 Millionen Tonnen, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte nahezu unbegrenzt sind.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu über 80 Prozent auf zehn Länder, zu fast drei Vierteln sogar auf nur fünf Länder: China (51 Prozent), Iran (neun Prozent), Thailand (fünf Prozent), USA (fünf Prozent), Türkei (vier Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Gips und Anhydrit aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: mittel	In einigen Verwendungen kann alternativ synthetischer Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips) eingesetzt werden. Bei der Herstellung chemischer Produkte bestehen Substitutionsmöglichkeiten durch Schwefel, in der Glasindustrie durch Natriumsulfat. Kalk oder Zement können als Basis für alternative Putze und Bindemittel genutzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Für Zukunftstechnologien spielen Gips und Anhydrit voraussichtlich keine große Rolle.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Gips und Anhydrit weisen ein breites Vorkommen auf und zählen zu den größten Sekundärrohstoffen. Daher ist von der politischen Seite keine Gefahr zu erwarten.
Bedeutung für Bayern	Mittel – viel verwendete Baustoffe.

Glimmer

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Glimmer wird als Farb- und Putzzusatz, als Füllstoff (Papier, Kunststoff, Gummi, Spachtelmasse), zur Herstellung von Schalldämmstoffen, Kosmetikartikeln, Keramik, Isoliermaterial in der Elektronik, Feuerlöschpulver, Korrosionsschutzgrundierungen und Bohrspülungen verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Produktion belief sich 2015 auf etwa 1,1 Millionen Tonnen. Die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte sind nahezu unbegrenzt.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion konzentriert sich zu rund 90 Prozent auf fünf und zu 83 Prozent auf drei Länder: China (70 Prozent), Russland (neun Prozent) und Finnland (fünf Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Glimmer aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: niedrig	Abhängig vom Einsatzgebiet bestehen vielseitige Substitutionsmöglichkeiten. Für elektronische Anwendungen beispielsweise kann er durch synthetischen Glimmer, als Füllstoff durch Aluminiumtrihydrat (ATH), Baryt, Calciumcarbonat, Diatomit, Feldspat, Kaolin, Nephelinsyenit, Perlit, Talk, Quarz-/ Cristobalitmehle, Wollastonit und als Schmierstoff unter anderem durch Graphit und Lithiumfette ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Für Zukunftstechnologien spielt Glimmer voraussichtlich keine große Rolle.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Die Gefahr, dass Glimmer strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering beziehungsweise kaum möglich, da weltweit große Vorkommen vorhanden sind.
Bedeutung für Bayern	Mittel – als Baustoff und in der Keramikfertigung.

Graphit

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Graphit wird vorwiegend zur Herstellung von Schmelzriegeln und Feuerfestprodukten (45 Prozent), Reibbelägen und Kohlebürsten, Batterien und Brennstoffzellen, Kunststoffen, Bleistiften, für Graphitdispersionen und in der Pulvermetallurgie verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Weltweit wurden 2015 knapp 1,2 Millionen Tonnen Graphit produziert, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 230 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte damit noch fast 200 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion (2012) konzentrierte sich zu über 90 Prozent auf nur fünf Länder: China (66 Prozent), Indien (14 Prozent), Brasilien (sieben Prozent), Türkei (drei Prozent), Kanada (drei Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Graphit ist von Juni 2013 bis August 2015 recht stabil gewesen. Eine Tonne dieses Minerals kostete in dieser Zeit zwischen 1.250 und 1.450 US-Dollar. Seit einem Jahr ist der Preis deutlich rückläufig und lag im Juni 2016 bei knapp unter 800 US-Dollar.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	In den meisten Verwendungen ist Graphit schwer zu ersetzen. Bedingte Substitutionsmöglichkeiten liegen in der Verwendung von synthetischem Graphit, Molybdändisulfid, Talk oder Lithium (bei Batterien).
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Graphit ist sehr vielfältig einsetzbar und daher ein Grundstoff vieler Zukunftstechnologien.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	China und Indien stellen über 80 Prozent der Weltproduktion her. Beide Länder setzen Rohstoffe bereits strategisch ein; es gibt jedoch auch in anderen Teilen der Welt ausreichend Graphit.
Bedeutung für Bayern	Mittel – Graphit wird unter anderem auch für Brennstoffzellen und Batterien benötigt (als Elektrode).

Kalisalz

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Kalisalz wird hauptsächlich als Düngemittel, Industriechemikalie und zur Herstellung von Kalium und seinen Verbindungen verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: mittel	Die weltweite Produktion von Kalisalz belief sich 2013 auf etwa 30 Millionen Tonnen Kaliumoxid (K ₂ O), während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte etwa 3,5 Milliarden Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte damit noch knapp 120 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion konzentriert sich zu über 90 Prozent auf nur fünf Länder: Kanada (33 Prozent), Russland (21 Prozent), China (15 Prozent), Weißrussland (14 Prozent) und Deutschland (zehn Prozent). Zudem haben die bedeutendsten fünf Unternehmen gemeinsam einen Anteil von über 70 Prozent an der Weltproduktion.
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Kalisalz fiel in den letzten drei Jahren (Juni 2013 bis Juni 2016) um etwa 35 Prozent von 465 US-Dollar auf knapp über 300 US-Dollar je Tonne. Die Preisanpassungen erfolgen eher langsam.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Kalisalz kann nicht durch andere Stoffe ersetzt werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Kalisalz wird vorwiegend als Düngemittel eingesetzt. Für Zukunftstechnologien wird der Rohstoff daher keine wichtige Rolle spielen, gleichwohl aber bei einer zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Aufgrund der reichhaltigen Vorkommen sind hier keine Komplikationen zu erwarten. Kalisalz ist einer der wenigen Rohstoffe, die in Deutschland in großen Mengen abgebaut werden können.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Kaolin

Risikoklasse



niedrig

3er-Skala

Einsatzfelder

Hauptverwendungen für Kaolin liegen in der Beschichtung von Papier (45 Prozent) sowie in der Nutzung als Keramikrohstoff, Füllstoff, Extender, Adsorptionsmittel, zur Synthese von Aluminium und in der Herstellung von Spezialzementen.

Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse:
niedrig

Die weltweite Rohkaolinproduktion belief sich 2015 auf 34 Millionen Tonnen. Der Vorrat an abbaubarem Kaolin kann als nahezu unbeschränkt angesehen werden.

Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse:
niedrig

Die Produktion konzentriert sich zu fast 85 Prozent auf zehn Länder und zu über 60 Prozent auf fünf Länder: USA (18 Prozent), Indien (13 Prozent), Deutschland (13 Prozent), Tschechien und China (jeweils zehn Prozent).

Preisentwicklung

Risikoklasse:
niedrig

Die Preislage für Kaolin ist eher intransparent, wird aber als unproblematisch eingeschätzt.

Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse:
mittel

In einigen Verwendungen kann Kaolin unter anderem durch Talk, Baryt, Kalkstein, Diatomit, Glimmer, Zeolithe oder Pyrophyllit ersetzt werden.

Zukunftsrelevanz

Risikoklasse:
niedrig

Für Zukunftstechnologien spielt Kaolin voraussichtlich keine große Rolle.

Politische Risiken

Risikoklasse:
niedrig

Aufgrund der weltweiten Vorkommen kann Kaolin kaum als politisches Instrument eingesetzt werden.

Bedeutung für Bayern

Mittel

Phosphate

Risikoklasse 3er-Skala	 mittel
Einsatzfelder	Phosphate werden hauptsächlich zur Herstellung von Düngemitteln und Phosphorsäure verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Phosphatproduktion belief sich 2015 auf 223 Millionen Tonnen, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 69 Milliarden Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte damit noch über 300 Jahre ausreichen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	Die Produktion (2015) konzentrierte sich zu 90 Prozent auf zehn Länder und zu fast 80 Prozent auf fünf Länder: China (45 Prozent), Marokko (14 Prozent), USA (zwölf Prozent), Russland (sechs Prozent) und Jordanien (drei Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: mittel	Der Preis für Phosphate fiel von über 160 US-Dollar je Tonne Mitte 2013 auf rund 100 US-Dollar bis Ende 2013. Im Laufe des Jahres 2014 stieg er leicht auf etwa 115 US-Dollar, wo er im Juni 2016 immer noch lag.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Phosphate können nicht durch andere Stoffe substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Eher hoch, da der Rohstoff essenziell für die Nahrungsmittelproduktion (bei einer wachsenden Weltbevölkerung) und nicht substituierbar ist.
Politische Risiken Risikoklasse: mittel	Wesentliche Reserven liegen in Nordafrika und China.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Quarzsand

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Quarzsande werden als Formmedium in der Glas- und der Gießerei-Industrie verwendet. Darüber hinaus werden Quarzsande beispielsweise bei der Herstellung von Keramik und Glasfasern benötigt.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweiten Vorräte von Quarzsand werden als praktisch unbegrenzt angegeben. Daten zu Produktion und Reserven sind nicht vorhanden.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die bedeutendsten Länder in der Förderung von Quarzsand sind vermutlich die USA, Slowenien, Österreich und Deutschland. Die Konzentration ist aufgrund der großen Vorkommen unkritisch.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Quarzsand aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Eine Substitution ist nicht möglich.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Die Zukunftsrelevanz von Quarzsanden wird als eher unterdurchschnittlich bewertet. Zukunftsrelevant sind Glasfasern und möglicherweise generell spezifische Glasformen für die Photovoltaik.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Aufgrund der fast ubiquitären Verfügbarkeit sind keine politischen Risiken erkennbar.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Schwefel

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Schwefel wird in der chemischen und der pharmazeutischen Industrie genutzt. Schwefelsäure, Farbstoffe, Insektizide und Kunstdünger brauchen das Mineral als Grundstoff.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Schwefel kommt sehr häufig vor. Bei einer Jahresproduktion von etwa 70 Millionen Tonnen im Jahr 2015 ist die Reichweite dieses Nichtmetalls als unproblematisch einzustufen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: niedrig	Die zehn bedeutendsten Produktionsländer vereinen über 70 Prozent der Weltproduktion auf sich, die größten fünf über 50 Prozent: China (16 Prozent), USA (13 Prozent), Russland (zehn Prozent), Kanada (neun Prozent) und Deutschland (fünf Prozent).
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Schwefel aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Eine Substitution ist nicht möglich.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: mittel	Schwefel kann als Legierungselement für Stahl genutzt werden. Insgesamt ist die zukünftige Bedeutung aber eher durchschnittlich einzustufen.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Politische Risiken sind nicht erkennbar.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Steinsalz

Risikoklasse



niedrig

3er-Skala

Einsatzfelder

Steinsalz macht rund 70 Prozent der gesamten Weltsalzproduktion aus. Steinsalz wird insbesondere in der Industrie verarbeitet, um Chlor oder Natrium zu gewinnen. Der Rest wird zu Speisesalz verarbeitet.

Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse:
niedrig

Die weltweiten Vorräte von Steinsalz sind als nahezu unbegrenzt einzustufen. Die Weltproduktion (Salz) betrug 2015 etwa 273 Millionen Tonnen.

Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse:
mittel

Etwa drei Viertel des weltweiten Steinsalzes wird in zehn Ländern gefördert, die fünf bedeutendsten kommen auf fast 60 Prozent. Dies sind: China (26 Prozent), USA (18 Prozent), Indien (sechs Prozent), Deutschland (fünf Prozent) und Kanada (fünf Prozent).

Preisentwicklung

Risikoklasse:
niedrig

Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Steinsalz in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.

Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse:
hoch

Eine Substitution ist nicht möglich.

Zukunftsrelevanz

Risikoklasse:
niedrig

Steinsalz wird für Zukunftstechnologien eine untergeordnete Rolle spielen.

Politische Risiken

Risikoklasse:
niedrig

Aufgrund der reichen Vorkommen sind keine politischen Risiken erkennbar.

Bedeutung für Bayern

Niedrig

Zement

Risikoklasse 3er-Skala	 niedrig
Einsatzfelder	Zement wird für Infrastrukturprojekte benötigt. Der Jahresverbrauch an Zement zeigt somit vor allem die Intensität der Bautätigkeit in einer Region.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die Rohstoffe für Zement sind in der Regel Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz, die mit Gips und Anhydrit zu Zement vermahlen werden. Den größten Bedarf an Zement hat derzeit China, dort wird mehr als die Hälfte der Weltproduktion von etwa 4,1 Milliarden Tonnen verbaut. Die statische Reichweite der benötigten Rohstoffe ist sehr hoch.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: mittel	China ist mit 57 Prozent das größte Produktionsland. Es folgt Indien mit etwa sieben Prozent. Die weiteren Länder stellen jeweils zwei Prozent oder weniger der Weltproduktion her.
Preisentwicklung Risikoklasse: niedrig	Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Zement aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Eine Substitution ist nicht möglich.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: niedrig	Zement wird für Zukunftstechnologien eine untergeordnete Rolle spielen.
Politische Risiken Risikoklasse: niedrig	Aufgrund der reichen Vorkommen sind keine politischen Risiken erkennbar.
Bedeutung für Bayern	Mittel

Seltenerdmetalle (Scandium, Yttrium, Neodym)

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Seltenerdmetalle, oft auch verkürzt Seltene Erden genannt, werden insbesondere in Katalysatoren, Leuchtstoffen, Lasertechnik, Smartphones, MP3-Spielern, Windkraftturbinen oder Festplatten verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: niedrig	Die weltweite Produktion von Seltenerdmetallen belief sich 2015 auf rund 125.000 Tonnen, während die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte 130 Millionen Tonnen betragen. Bei heutigem Produktionsniveau würden die Vorräte daher noch mehrere 100 Jahre ausreichen. Problematisch bleiben die geringe Konzentration der Metalle und damit der entsprechend hohe Aufwand für die Gewinnung der Rohstoffe. Aufgrund der hohen Bedeutung für Zukunftstechnologien sind die zukünftigen Verbräuche zudem sehr schwer einzuschätzen.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: hoch	Die Produktion konzentriert sich zu fast 85 Prozent auf China. Das entspricht über 100.000 Tonnen. Auch die Vorkommen liegen zu einem großen Teil in China sowie Russland und Kasachstan.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	Die Preise von Seltenerdmetallen haben sich in den letzten drei Jahren sehr unterschiedlich entwickelt. Die Schwankungen waren dabei teilweise gravierend. Das Preisrisiko bei diesen Rohstoffen ist daher weiterhin als sehr hoch einzustufen.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution von Seltenerdmetallen derzeit für viele Anwendungen nicht absehbar.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: hoch	Seltenerdmetalle werden für moderne und effiziente Leuchtmittel, für neue Antriebskonzepte (Hybridfahrzeuge) und verschiedene elektronische Anwendungen benötigt.
Politische Risiken Risikoklasse: hoch	Die hohe Konzentration in China stellt ein hohes Risiko strategischer Handelspolitik dar. Hier bestehen nach wie vor erhebliche Beschränkungen.
Bedeutung für Bayern	Aufgrund der hohen Bedeutung für die Hightech-Branchen, die in Bayern tätig sind, ist die Bedeutung für Bayern als sehr hoch einzuschätzen.

Spezialmetalle (Indium, Germanium, Gallium, Selen*)

Risikoklasse 3er-Skala	 hoch
Einsatzfelder	Spezialmetalle werden in notwendigen Kleinstmengen etwa für die Herstellung von Leuchtdioden, Solarzellen oder Halbleitern verwendet.
Vorräte und Verbrauch Risikoklasse: hoch	Spezialmetalle werden fast ausschließlich als Nebenprodukte bei der Produktion von Zink, Blei, Kupfer oder Aluminium gewonnen. Die statische Reichweite der Metalle variiert sehr stark, sodass genauere Angaben für diese Rohstoffe kaum möglich sind. Meistens sind sie jedoch eher selten oder in sehr kleinen Mengen konzentriert.
Abbauländer und Konzentration Risikoklasse: sehr hoch	Die Produktion konzentriert sich zu einem großen Teil auf China, bei Indium beispielsweise zu 50 Prozent, bei Germanium zu fast 75 Prozent.
Preisentwicklung Risikoklasse: hoch	In den letzten drei Jahren fielen die Preise vieler Spezialmetalle deutlich. Bei einer Trendumkehr auf den Rohstoffmärkten muss hier allerdings auch wieder mit überproportional steigenden Preisen gerechnet werden.
Substitutionsmöglichkeiten Risikoklasse: hoch	Spezialmetalle können nach heutigem Kenntnisstand aufgrund ihrer meist sehr spezifischen Verwendung zum Großteil nicht substituiert werden.
Zukunftsrelevanz Risikoklasse: sehr hoch	Spezialmetalle werden für moderne und effiziente Leuchtmittel, für Solarzellen und in der Computer- und Elektrotechnik (Halbleiter) verwendet.
Politische Risiken Risikoklasse: sehr hoch	Die hohe Konzentration in China stellt ein hohes Risiko strategischer Handelspolitik dar. Hier bestehen bisher schon erhebliche Beschränkungen.
Bedeutung für Bayern	Aufgrund der hohen Bedeutung für die Hightech-Branchen, die in Bayern tätig sind, ist die Bedeutung für Bayern als sehr hoch einzuschätzen.

* Selen gehört wegen seiner Materialeigenschaften und Verwendung zur Gruppe der Spezialmetalle. Aufgrund eines geringeren Länderrisikos wird ihm abweichend von den anderen Metallen der Gruppe ein mittleres Risiko (orangefarbene Gruppe) zugeordnet.

Literaturverzeichnis

- Angerer, G. / Marscheider-Weidemann, F. / Lüllmann, A. et al. (2009)** Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Bardt, Hubertus (2016)** Raw Materials in the Field of Electrochemical Energy Storage – A Risk Analysis; in: Leisegang, Tilmann (ed.), Electrochemical Storage Materials: Supply, Processing, Recycling and Modeling. Proceedings of the 2nd International Freiberg Conference on Electrochemical Storage Materials, AIP Conference Proceedings, Vol. 1765, Melville, p. 020002-1–020002-8
- Bardt, Hubertus / Kempermann, Hanno / Lichtblau, Karl (2013)** Deutsche Unternehmen im Wettbewerb um Rohstoffe, IW-Analysen, Nr. 93, Köln
- Bardt, Hubertus / Neligan, Adriana (2015)** Versorgungssicherheit mit Energierohstoffen, VGB PowerTech, in: International Journal of Electricity and Heat Generation, Nr. 11/2015, S. 25–29
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016)** Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, März 2016, Berlin
- bvse – Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (2016)** Verwertung: Schadstoffe entsorgen – Rohstoffe sichern, <http://www.bvse.de/fachbereiche-schrott-e-schrott-kfz/elektronik-e-schrott/verwertung-schadstoffe-entsorgen-rohstoffe-sichern.html> [05.12.2016]
- CSC – Computer Sciences Corporation (2012)** 3D Printing and the Future of Manufacturing, Leading Edge Forum Technology Program, Falls Church
- Deloitte Services LP (2014)** 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth, New York.
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur (2016a)** Über uns. http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/UeberUns/ueber-uns_node.html [11.10.2016]
- DERA – Deutsche Rohstoffagentur (2016b)** Marscheider-Weidemann, F. et al. (2016). Rohstoffe für Zukunftstechnologien, DERA Rohstoffinformationen 28, Berlin
- DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / WI – Wuppertal-Institut (2014)** Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROMbegleitung). Abschlussbericht im Rahmen der Förderung des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Stuttgart, Wuppertal, Berlin
- Erdmann, Lorenz / Behrendt, Siegfried / Feil, Moira (2011)** Kritische Rohstoffe für Deutschland. Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

- Gartner (2015)** Top 10 Strategic Technology Trends 2016: At a Glance, Stanford
- German Mining Network (2016)** International Mining Newsletter, <http://archive.benchmarkemail.com/Canadian-German-Chamber-of-Commerce/newsletter/International-Mining-Newsletter-Ausgabe-2---2016> [13.10.2016]
- IW Köln (2016)** Industriemetallpreis-Index, <http://www.iwkoeln.de/presse/gastbeitraege/beitrag/hubertus-bardt-in-der-boersen-zeitung-metallpreisindex-testet-abwaertskorridor-314640?highlight=metallpreisindex> [15.11.2016]
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2016)** Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2015)** OECD Economic Surveys, China. March 2015, Overview. <http://www.oecd.org/eco/surveys/China-2015-overview.pdf>
- Siemens (2014)** 3D Printing: Facts & Forecasts. <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/Additive-manufacturing-facts-and-forecasts.html> [13.10.2016]
- Waste Management World (2014)** The Lithium battery recycling challenge, <http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-12/issue-4/features/the-lithium-battery-recycling-challenge.html> [08.01.2015]
- Wohlers Associates (2013)** Wohlers Report 2013: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, Fort Collins
- Wohlers Associates (2016)** Wohlers Report 2016: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, Fort Collins

Ansprechpartner

Dr. Peter Pflieger

Abteilung Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-253

Telefax 089-551 78-249

peter.pflieger@vbw-bayern.de

Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich sowohl auf die weibliche als auch auf die männliche Form. Zur besseren Lesbarkeit wurde meist auf die zusätzliche Bezeichnung in weiblicher Form verzichtet.

Zitate aus dieser Publikation sind unter Angabe der Quelle zulässig.

Herausgeber:

vbw

Vereinigung der Bayerischen
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5
80333 München

www.vbw-bayern.de

Weiterer Beteiligter:

IW Consult GmbH
Dr. Karl Lichtblau
Dr. Roman Bertenrath
Cornelius Bähr
Katharina Schmitt
Christian Buchweitz

Telefon 0221-49 81 758
E-Mail info@iwconsult.de

IW Köln e. V.
Dr. Hubertus Bardt
Dr. Thilo Schaefer

Telefon 0221-49 81 750
E-Mail presse@iwkoeln.de