

Rohstoffe und Ressourcen

# Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft

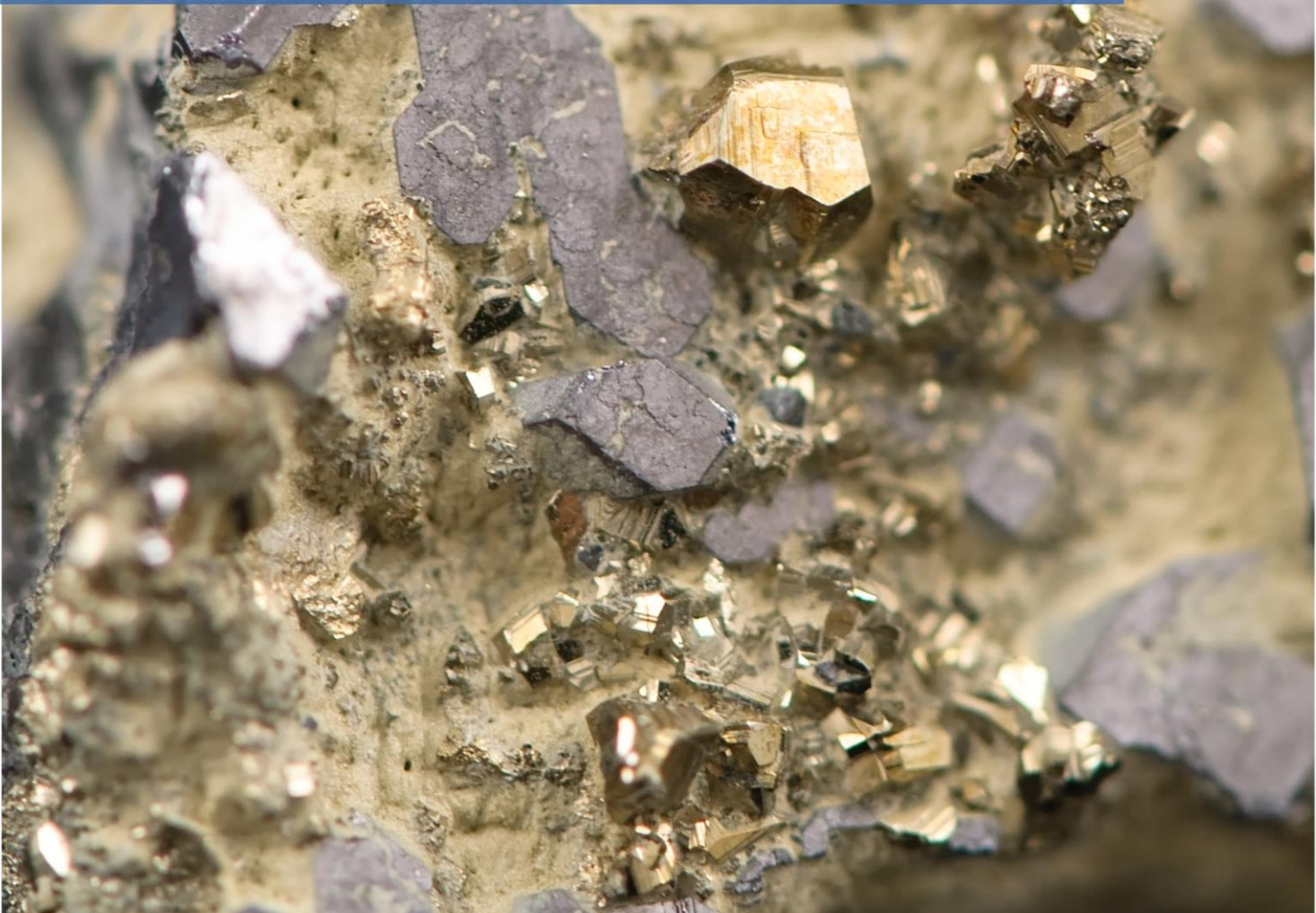
Studie

Stand: Dezember 2021

Eine vbw Studie, erstellt von IW Consult GmbH

Die bayerische Wirtschaft

**vbw**



#### Hinweis

Dieses Werk darf nur von den Mitgliedern der vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. zum internen Gebrauch sowie zur Unterstützung der jeweiligen Verbandsmitglieder im entsprechend geschlossenen Kreis unter Angabe der Quelle vervielfältigt, verbreitet und zugänglich gemacht werden. Eine darüber hinausgehende Nutzung – insbesondere die Weitergabe an Nichtmitglieder oder das Einstellen im öffentlichen Bereich der Homepage – stellt einen Verstoß gegen urheberrechtliche Vorschriften dar.

## Vorwort

### Sichere Rohstoffversorgung ist Basis einer erfolgreichen Wirtschaft

Für die bayerische Industrie ist die zuverlässige Versorgung mit Rohstoffen eine wichtige Grundlage 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 Erzeugnisse der Industrieunternehmen in Bayern enthalten Rohstoffe, die nur in wenigen Regionen der Welt vorkommen. Sie werden insbesondere bei Zukunftstechnologien, beispielsweise für Energiespeicher oder in der Informationstechnologie eingesetzt. Ein Versorgungsengpass bei diesen Rohstoffen kann ganze Wertschöpfungsketten lahmlegen und damit enormen Schaden verursachen.

Die vorliegende aktualisierte Version unserer Studie analysiert den Status quo. Sie illustriert an den Fallbeispielen Elektromobilität und Wasserstoff, welche Verschiebungen sich im Zuge des technologischen Wandels ergeben können und nennt entscheidende Weichenstellungen für eine sichere Rohstoffversorgung.

Die Sicherung der Versorgung mit Rohstoffen ist zunächst einmal Aufgabe jedes einzelnen Unternehmens. Mit langfristigen Lieferverträgen, diversifizierten Bezugswegen und einer laufenden Erforschung und Entwicklung von Substitutions- und Recyclingstrategien kommen sie ihr zwar nach, stoßen jedoch häufig an ihre Grenzen.

Wichtigste Aufgaben der Europäischen Union sowie nationaler politischer Institutionen sind daher das Offenhalten der Rohstoffmärkte sowie die Pflege guter Beziehungen zu rohstoffreichen Ländern. Zusätzlich ist ein Abbau von Handelshemmnissen erforderlich und protektionistischen Tendenzen muss entgegengetreten werden. Die Grundlagenforschung zum effizienten Rohstoffeinsatz und zu Substitutionsmöglichkeiten müssen gefördert und in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zukunfts feste Recyclingkonzepte entwickelt werden. Nur so kann die bayerische Wirtschaft langfristig und zuverlässig mit Rohstoffen versorgt werden.

Bertram Brossardt  
15. Dezember 2021



# Inhalt

|       |                                                                                          |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Wesentliche Ergebnisse                                                                   | 3  |
| 2     | Die Rohstoffsituation der deutschen Wirtschaft in der Diskussion                         | 5  |
| 3     | Rohstoffe – Bedeutung und Risiken                                                        | 7  |
| 3.1   | Globales Wirtschaftswachstum erhöht Rohstoffnachfrage und -preise                        | 8  |
| 3.2   | Konjunktur- und Rohstoffzyklen führen zu Preisschwankungen                               | 9  |
| 3.3   | Die Rohstoffverfügbarkeit ist begrenzt                                                   | 10 |
| 3.4   | Steigende Grenzkosten des Rohstoffabbaus                                                 | 10 |
| 3.5   | Recycling als Antwort auf begrenzte Rohstoffvorkommen                                    | 11 |
| 3.6   | Rohstoffvorkommen befinden sich häufig in Risikoländern                                  | 12 |
| 3.7   | Rohstoffe sind Instrumente strategischer Industriepolitik                                | 14 |
| 3.8   | Preis- und Lieferkonditionen hängen von der Marktmacht einzelner Unternehmen ab          | 14 |
| 3.9   | Große Bedeutung der Rohstoffe für Zukunftstechnologien                                   | 15 |
| 3.10  | Substituierbarkeit von Rohstoffen nur begrenzt möglich                                   | 15 |
| 4     | Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Index                                                     | 17 |
| 4.1   | Rote Gruppe                                                                              | 18 |
| 4.2   | Orangefarbene Gruppe                                                                     | 23 |
| 4.3   | Grüne Gruppe                                                                             | 26 |
| 5     | Fallstudien                                                                              | 29 |
| 5.1   | Elektromobilität                                                                         | 29 |
| 5.1.1 | Elektromobilität: Push durch „Fit-for-55“                                                | 29 |
| 5.1.2 | Batterietechnik, Batterieproduktion und Rohstoffe                                        | 31 |
| 5.1.3 | Szenarien zum Rohstoffbedarf, Bewertung der Rohstoffsituation und Handlungsmöglichkeiten | 35 |
| 5.2   | Wasserstoff                                                                              | 45 |
| 5.2.1 | Wasserstoff als Plattform-Rohstoff                                                       | 45 |

|          |                                                                                    |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.2    | Elektrolyse als Schlüsselprozess: Überblick und Ausbauprognosen                    | 49        |
| 5.2.3    | Kritische Rohstoffe: Bedarfsabschätzung und Möglichkeiten zur Versorgungssicherung | 52        |
| <b>6</b> | <b>Deutsche und europäische Rohstoffpolitik</b>                                    | <b>57</b> |
| 6.1      | Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung                                          | 57        |
| 6.1.1    | Rohstoffquellen                                                                    | 58        |
| 6.1.2    | Rohstoff- und Ressourceneffizienz                                                  | 60        |
| 6.1.3    | Nachhaltigkeit und Transparenz im Rohstoffbereich                                  | 61        |
| 6.1.4    | Internationale Zusammenarbeit                                                      | 63        |
| 6.2      | Die Rohstoffstrategie der Europäischen Union                                       | 63        |
| <b>7</b> | <b>Fazit und Handlungsempfehlungen</b>                                             | <b>65</b> |
| 7.1      | Unternehmensebene                                                                  | 66        |
| 7.2      | Interaktive Ebene                                                                  | 67        |
| 7.3      | Staatliche Ebene                                                                   | 68        |
|          | Literaturverzeichnis                                                               | 71        |
|          | Abbildungsverzeichnis                                                              | 76        |
|          | Tabellenverzeichnis                                                                | 77        |
|          | Anhang – Aufbau des Rohstoff-Risiko-Index                                          | 79        |
|          | Anhang – Rohstoffsteckbriefe                                                       | 83        |
|          | Ansprechpartner / Impressum                                                        | 125       |

# 1 Wesentliche Ergebnisse

Die Rohstoffversorgung ist vielfältigen Risiken ausgesetzt. Neue Technologien verändern die Rohstoffnachfrage.

Eine gesicherte Rohstoffversorgung ist die Grundlage der industriellen Produktion und der damit verbundenen Wertschöpfung und Beschäftigung. Auch das Angebot von Dienstleistungen setzt in der Regel eine Infrastruktur voraus, die ohne Rohstoffeinsatz nicht denkbar ist.

## Risiken der Rohstoffversorgung in vielen Dimensionen

Die Corona-Krise führte zu deutlichen Verwerfungen an den internationalen Rohstoffmärkten. Langfristig bestimmen allerdings weitere Determinanten die Risiken der Rohstoffversorgung. So sind die förderwürdigen Vorkommen wichtiger Rohstoffe häufig auf wenige Länder konzentriert und werden von wenigen Unternehmen abgebaut. Viele der Rohstoffländer sind politisch und wirtschaftlich instabil oder neigen zur strategischen Instrumentalisierung der Rohstoffe. Die träge Reaktion des Rohstoffangebots auf Veränderungen der Rohstoffnachfrage führt zu Konjunktur- und Rohstoffzyklen. Die wachsende Weltbevölkerung und das Wirtschaftswachstum in den Schwellenländern treiben weiterhin die Rohstoffnachfrage. Einige Rohstoffe haben eine besondere Bedeutung für Zukunftstechnologien oder lassen sich kaum durch andere Rohstoffe ersetzen. All diese Faktoren tragen zu Preisrisiken bei.

Deutschland und Europa sind in hohem Maße auf Importe von Primärrohstoffen angewiesen. Die Diversifikation der Rohstoffquellen, eine ressourcenschonenden Produktgestaltung, die immer stärkere Nutzung von Sekundärrohstoffen und – wo möglich – die Entwicklung eines heimischen Rohstoffangebots sind Maßnahmen, diese Abhängigkeit und die daraus entstehenden Risiken zu vermindern.

## Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Index

Im Rohstoff-Risiko-Index werden 45 metallische und mineralische Rohstoffe im Hinblick auf die verschiedenen Dimensionen des Versorgungsrisikos bewertet. 22 der 45 Rohstoffe werden als besonders riskant eingestuft. Politische Risiken fallen in diesem Jahr deutlicher aus als im Vorjahr. Die Konjunkturschwankungen der letzten drei Jahre führten zudem bei Metallen wie Eisen und Kupfer zu einem deutlichen Anstieg der Preisrisiken.

Als besonders kritisch werden weiterhin jene Rohstoffe eingestuft, ohne die weitere Fortschritte bei aktuell relevanten wirtschaftlichen Trends wie der Elektromobilität oder der Dekarbonisierung der Wirtschaft nicht denkbar sind. Der Einsatz dieser Rohstoffe wie Kobalt, Lithium, Graphit oder die Platingruppenmetalle wird in den Fallstudien genauer thematisiert. Daneben werden die Seltenen Erden als essenzielle Bestandteile von Magneten in Elektromotoren und Generatoren oder Tantal und Niob als Elemente in der Mikroelektronik als kritische Rohstoffe eingestuft.

## Ergebnisse der Fallstudien Elektromobilität und Wasserstoff

Durch zusätzliche politische Bemühungen im Klimaschutz ist mit einer beschleunigten Marktdurchdringung von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen zu rechnen. Die Fallstudie Elektromobilität zeigt, dass diese Entwicklung die Nachfrage nach Batterierohstoffen wie Kobalt, Lithium oder Graphit intensiviert.

Es zeichnet sich ab, dass auch in Deutschland in Zukunft in erheblichem Umfang Batteriezellen gefertigt werden. Die entsprechende Rohstoffnachfrage wird daher direkt vor Ort entstehen. Für deren Deckung lassen sich vier Maßnahmenstränge identifizieren:

- die Reduzierung des Rohstoffbedarfs durch die Weiterentwicklung in der Batterietechnik,
- die Nutzung von Recycling und der resultierenden Sekundärrohstoffe,
- die klassischen politischen Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung sowie
- die Entwicklung inländischer Rohstoffquellen.

Die Maßnahmen sollten schon parallel zum Aufbau der Batteriezellfertigung in Deutschland vorangetrieben werden.

Auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaft wird grüner Wasserstoff als Plattform-Rohstoff in verschiedenen Verwendungen benötigt. Er ermöglicht beispielsweise klimaneutrale Produktionsprozesse in der Stahl- und Chemieindustrie und dient als Ausgangsstoff für Chemieprodukte oder synthetische Kraftstoffe. Unabhängig davon, wo weltweit grüner Wasserstoff produziert werden wird, steigen die notwendigen Elektrolysekapazitäten deutlich an.

Daraus leitet sich ein hoher zusätzlicher Rohstoffbedarf für die Produktion der Elektrolyseure ab, der insbesondere bei Rohstoffen wie Iridium, Platin und Nickel zu neuen Knappheiten führen kann. Dieser Rohstoffbedarf wird an den Produktionsorten für die Elektrolyseure entstehen, die auch in Deutschland und Bayern angesiedelt werden sollen. Auch hier gilt es, den Rohstoffbedarf durch technologischen Fortschritt und intelligentes Produktdesign zu verringern. Die Erschließung von Sekundärrohstoffen sollte ebenfalls schon in der Produktentwicklung mitgedacht werden.



## 2 Die Rohstoffsituation der deutschen Wirtschaft in der Diskussion

### Die Rohstoffmärkte nach zwei Corona-Jahren.

Die Jahre 2020 und 2021 waren für die deutsche Konjunktur wie für die Weltwirtschaft eine Achterbahnfahrt. Der konjunkturelle Einbruch glich auf Quartalsebene den Erfahrungen aus der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009. Beleuchtet man hingegen die einzelnen Monate, wird deutlich, dass der Einbruch tiefer und schneller war als zuvor. Dazu gehörte auch der faktische Produktionsstillstand in der Automobilindustrie. Umgekehrt war aber auch der anschließende Aufschwung zunächst schneller als erwartet. Nach wenigen Quartalen wurde wieder ein Produktionsniveau von rund 95 Prozent des Vorkrisenniveaus gemessen. Auch der Welthandel kam schnell wieder auf sein Ausgangsniveau zurück. Während es in der Finanzkrise 20 Monate gedauert hat, bis das alte Niveau erreicht wurde, war dies in der Corona-Krise nur ein halbes Jahr. Und auch danach wuchs der Handel schneller als im historischen Vergleich.

Die rasanten Sturzfahrten und Aufschwünge der Corona-Achterbahn haben sich auf den Rohstoffmärkten niedergeschlagen – und damit die wirtschaftliche Erholung indirekt erschwert. Sowohl Preise als auch Mengen waren von der Krise tangiert. Zunächst einmal ist bis auf einen leichten Rückgang von gut sechs Prozent das Niveau der Industriepreise (gemessen am Industriemetall-Preisindex IMP; Abbildung 1) während der wirtschaftlichen Corona-Krise nicht gefallen. Zum Vergleich: Nach der Lehmann-Pleite fiel der Index innerhalb von drei Monaten um 40 Prozent und erreichte erst ein Jahr später seinen Ausgangswert.

Da die Weltwirtschaft schnell wieder Schwung aufnahm und insbesondere die chinesische Ökonomie zulegte, entwickelte sich auch die Rohstoffnachfrage dynamischer als angenommen. Gleichzeitig verblieben angebotsseitige Restriktionen, beispielsweise in Form verringerter Minenproduktion oder von Transportverzögerungen. Unter dem Strich stand ein Plus von 40 Prozent seit dem Ausbruch der Corona-Krise vor anderthalb Jahren (Abbildung 1). Wie instabil die Erwartungen und die damit verbundenen Preise aber sind, zeigt sich bei Eisenerz. Nachdem Eisenerz im Vorjahresvergleich um rund 90 Prozent angestiegen ist, ging es im August 2021 um 24 Prozent zurück. Hintergrund ist eine verringerte Stahlproduktion in China, die mit eingetrübten Wachstumsaussichten für die kommenden Monate erklärt wird. Bei anderen Rohstoffen wie Magnesium führten Aussichten auf eine deutliche Angebotsverknappung zu einer rasanten Beschleunigung des Preisanstiegs.

Neben den Preisschwankungen kam es zu Lieferengpässen bei vielen Rohstoffen und Vorprodukten. Die wichtigsten Kostentreiber sind kurz- und mittelfristig Rohstoffe, Vorleistungen und Energie (Bardt et al., 2021). In den Lieferketten spielten Nachholeffekte der Corona-Krise eine wichtige Rolle. Stausituationen durch die schnelle Nachbestellung nach dem Einbruch, als ein sofortiges Wiederauffahren der globalen Vorketten an Grenzen

stießen, werden erst langsam aufgelöst. Zusätzliche Behinderungen – wie durch die Sperrung des Suez-Kanals oder die Schließung eines Terminals im zweitgrößten Hafen Chinas, Ningbo, nach einem Corona-Fall – erschweren die Rückkehr zur Normalität und bedrohen die Lieferketten. Länger wird es dauern, bis die Halbleiter-Produktion an die zusätzliche Nachfrage angepasst ist, die zu der aktuellen Chip-Krise geführt hat, unter der insbesondere die Automobilindustrie leidet.

Die Turbulenzen der letzten Monate drohen die längerfristigen Strukturveränderungen in den Hintergrund treten zu lassen. Dabei wird insbesondere die Dekarbonisierung zu erheblich veränderten Rohstoffbedarfen führen (Demary et al., 2021). Dies betrifft Batterierohstoffe ebenso wie Wasserstoff. Auch Kupfer wird wegen der zunehmenden Bedeutung von Strom als Energieträger noch stärker nachgefragt werden. Die Digitalisierung wird die Bedeutung von Halbleitern weiter steigern. Spezialrohstoffe wie Seltene Erden werden eine weiter steigende Bedeutung erfahren. Damit werden die strukturellen Vorleistungs- und Rohstoffrisiken stärker in den Blick zu nehmen sein. Dies gilt insbesondere für Rohstoffe, bei denen eine europäische Förderung in den notwendigen Mengen und zu akzeptablen Kosten nicht in Frage kommt. Das Management von Rohstoffrisiken wird ein wichtiger Baustein für den zukünftigen Wohlstand sein.

Abbildung 1

## Industriemetallpreis-Index



Quelle: IW Köln, vgl. zur Methodik: Bardt, 2011

### 3 Rohstoffe – Bedeutung und Risiken

Die Rohstoffnachfrage wird von verschiedenen Faktoren bestimmt.

Rohstoffe bilden die Basis jeglicher Warenproduktion. Als Ausgangspunkt der Produktion wandern sie in verschiedenen Schritten entlang der Wertschöpfungskette über die Zwischenprodukte in die Endprodukte. So sind auch Hersteller von Endprodukten, die nie direkt mit Rohstoffen in Berührung kommen, indirekt von einer sicheren Rohstoffversorgung abhängig. Dies gilt unabhängig davon, wo die Rohstoffe abgebaut oder zuerst verarbeitet werden. Auch Dienstleistungen benötigen Rohstoffe, wenn sie als produktbegleitende Dienstleistungen erbracht werden oder Infrastruktur in Anspruch nehmen.

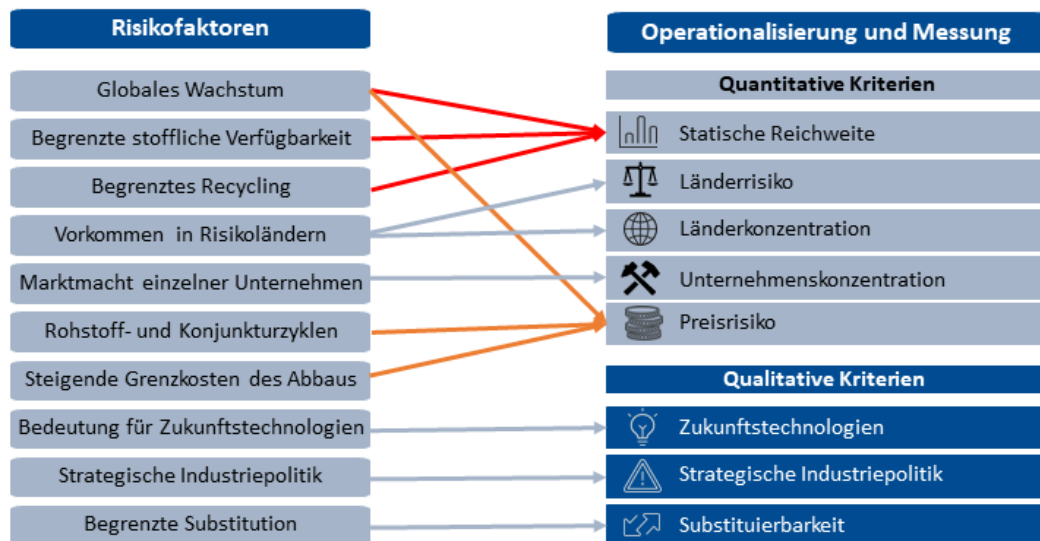
Die industrielle Fertigung sowie deren direkte und indirekte Beiträge zu Wertschöpfung und Beschäftigung bilden auch weiterhin das Fundament des gesellschaftlichen Wohlstands in Deutschland. Ein Merkmal industrieller Wertschöpfung ist die Arbeitsteilung und Spezialisierung, die nach ökonomischer Logik Effizienz- und Wohlfahrtsgewinne ermöglicht. Die Förderung der Rohstoffe, deren Aufbereitung sowie die Verarbeitung zu Zwischen- und Endprodukten erfolgen in vielen verschiedenen, miteinander vernetzten Unternehmen. Für die internationale Organisation von Wertschöpfungsketten ist daher ein freier Handel eine wichtige Voraussetzung. Zunehmende Sorgfaltspflichten von Unternehmen erfordern darüber hinaus einen gesicherten Informationsfluss über die Produktionsbedingungen entlang der Wertschöpfungskette.

Im Hinblick auf die Versorgung mit Rohstoffen besteht eine Reihe unterschiedlicher Risiken, die verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette zugeordnet werden können. In Abbildung 2 ist eine Übersicht der verschiedenen Risikofaktoren und deren Operationalisierung im Rohstoff-Risiko-Index dargestellt. Die unterschiedlichen Dimensionen des Versorgungsrisikos mit Rohstoffen werden im Folgenden kurz erläutert.

Im Rohstoff-Risiko-Index werden die Risikofaktoren mit geeigneten Messkonzepten operationalisiert. Es erfolgt eine Aggregation und Gewichtung der einzelnen Determinanten für Rohstoffangebot und -nachfrage. Die Details sind im Anhang ausführlich dargestellt. Für jeden Rohstoff ergibt sich ein eigener Risikomix.

Abbildung 2

## Risikofaktoren bei Rohstoffen



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

### 3.1 Globales Wirtschaftswachstum erhöht Rohstoffnachfrage und -preise

Die Corona-Pandemie verursachte im vergangenen Jahr einen globalen Rückgang der wirtschaftlichen Aktivität. Mittel- bis langfristig wird sich der Trend des globalen Wirtschaftswachstums dennoch fortsetzen. Der langfristige Trend wird weiterhin vor allem von wachsendem Wohlstand und steigenden Bevölkerungszahlen in den Schwellenländern getrieben. Wirtschaftspolitische Unsicherheiten etwa durch neuen Protektionismus oder politische Konflikte begleiten die Entwicklung, ohne sie grundsätzlich einzuschränken.

In entwickelten Volkswirtschaften ist eine allmähliche Entkopplung des Ressourcen- und Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum zu beobachten. In den weniger entwickelten Schwellenländern geht mit steigendem Wohlstand momentan noch immer eine zunehmende persönliche Güterausstattung einher. Zudem wird der Ausbau der Infrastruktur für Gebäude, Verkehr, Wasser und Energie sowie Kommunikation vorangetrieben. Der wachsende Konsum je Einwohner geht mit höherem Ressourceneinsatz einher. Gips und Zement werden für die Verkehrsinfrastruktur und neue Gebäude benötigt, Stahl und Kupfer für den Ausbau der Verkehrs- und Energieinfrastruktur. Die Kommunikationsinfrastruktur beruht auf der Verwendung von Kupfer, Edelmetallen und Seltenen Erden.

Die zunehmende Verwendung technologisch anspruchsvoller Güter (z. B. IKT-Infrastruktur, 5G, Elektromobilität, Elektrolyse) verursacht eine immer stärker differenzierte Rohstoffnachfrage. Gerade bei spezifischen, bislang nur in kleinen Mengen nachgefragten Rohstoffen führt diese Entwicklung zu einem starken Anstieg der Nachfrage.

Nicht nur die Produktion von Gütern, sondern auch das Angebot moderner Dienstleistungen verursacht eine Zunahme der Rohstoffnachfrage. Die Digitalisierung als Voraussetzung dieser Dienstleistungen setzt materielle Investitionen in Rechenzentren, Kommunikationsinfrastruktur und Endgeräte beim Verbraucher voraus, die wiederum die Nachfrage nach Rohstoffen erhöhen.

Die steigende Rohstoffnachfrage führt zu steigenden Rohstoffpreisen, wenn die Entwicklung des Rohstoffangebots der Nachfrageentwicklung nicht standhält. Die Erweiterung des Rohstoffangebots ist kostspielig. Das Angebot an Primärrohstoffen wächst nur bei Investitionen in die Förderung. Zusätzliche Sekundärrohstoffe können nur über zusätzliche Anstrengungen bei Sammlung und Recycling verfügbar gemacht werden.

### 3.2 Konjunktur- und Rohstoffzyklen führen zu Preisschwankungen

Größere Preisschwankungen sind neben Preissteigerungen das zweite Element des Preisrisikos der Rohstoffversorgung. Bei Rohstoffen kann die Preisvolatilität vor allem wegen der hohen Kapitalintensität der Produktion größer ausfallen als bei anderen Gütern. Sie führt systematisch zu einer langsameren Anpassung der Produktion an die Nachfrage. Mineralische und metallische Rohstoffe sind zwar nicht verderblich. Bei schwacher Nachfrage können hohe Lagerkosten kurzfristige Preissenkungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht aber günstiger machen als eine Anpassung der Produktionsmenge. Bei hoher Nachfrage ist die Ausweitung der Produktion zeitaufwendig und lohnt nur, wenn langfristig höhere Preise zu erwarten sind. Es werden zwei Mechanismen unterschieden, die zu einer erhöhten Preisvolatilität führen:

- Konjunkturzyklen beeinflussen die Rohstoffpreise, weil sich die konjunkturellen Schwankungen der Rohstoffnachfrage in der Regel schneller entwickeln als das relativ träge Rohstoffangebot reagiert. Daher steigen die Rohstoffpreise, wenn die Rohstoffnachfrage schneller steigt als eine Angebotsausweitung durch neue Investitionen in die Rohstoffförderung möglich ist. Umgekehrt sinken Rohstoffpreise, wenn die Nachfrage sinkt, aber das Angebot nicht ebenso stark zurückgeht.
- Rohstoffzyklen entstehen, wenn beispielsweise durch neue technologische Entwicklungen und Produktinnovationen die Nachfrage nach spezifischen Rohstoffen sprunghaft ansteigt. Der schnelle Nachfrageanstieg kann nicht adäquat durch eine Produktionssteigerung ausgeglichen werden. Die Rohstoffpreise steigen spürbar an. Dies macht die Exploration und Erschließung neuer Förderstätten rentabel. Weil diese Anpassung der Förderung aber eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, gleichen sich Angebot und Nachfrage erst mittelfristig mit dem Effekt sinkender Rohstoffpreise wieder aus.

Auf der Nachfrageseite wird die Preisvolatilität zum Problem, wenn die Unternehmen sich nicht schnell genug an die steigenden Preise anpassen können. Dies ist dann der Fall, wenn der Preisanstieg in der Kalkulation nicht hinreichend erfasst ist und eine kurzfristige Überwälzung der höheren Beschaffungspreise auf die Kunden nicht gelingt.

Im Rohstoff-Risiko-Index werden die Preisschwankungen mittels der Preisvolatilität der einzelnen Rohstoffe berücksichtigt.

### 3.3 Die Rohstoffverfügbarkeit ist begrenzt

Rohstoffvorkommen lassen sich in erneuerbare und erschöpfbare Ressourcen unterscheiden. Bei erneuerbaren Ressourcen, wie Nahrungsmitteln oder Energiepflanzen, ist die Verfügbarkeit durch deren Reproduktionsrate begrenzt, die zum Beispiel durch die Ackerfläche und den Einsatz von Wasser und Düngemitteln beeinflusst wird.

Metallische und mineralische Rohstoffe zählen so wie fossile Energieträger zu den erschöpfbaren Ressourcen. Ihre stoffliche Verfügbarkeit auf der Erde ist prinzipiell endlich. Bei fast allen Rohstoffen sind aber die in der Erdkruste vorhandenen Mengen so groß, dass die physische Verfügbarkeit keine relevante Begrenzung darstellt. Fraglich sind hingegen die technologischen und ökonomischen Möglichkeiten der Erschließung und Förderung.

Häufig ist nicht die reine Menge, sondern die Konzentration der Rohstoffe in den Förderstätten das entscheidende Kriterium. Die sogenannten Seltenen Erden kommen beispielsweise insgesamt in großen Mengen vor. Ihre Konzentration ist aber an den meisten Stellen so gering, dass ihre Förderung zu schwierig und zu teuer ist und dadurch nur wenige Lagerstätten eine ökonomische Gewinnung erlauben.

Die sogenannte statische Reichweite ist daher aus ökonomischer Sicht das geeignete Maß für die Rohstoffverfügbarkeit. Darin werden die technisch und ökonomisch förderwürdigen Reserven eines Rohstoffs in Beziehung zur jährlichen Förderung dieses Rohstoffs gesetzt. Die statische Reichweite wird in Jahren angegeben und zeigt – richtig interpretiert – weniger die stoffliche Verfügbarkeit eines Rohstoffs als den zukünftigen Investitionsbedarf in die Exploration neuer Rohstoffvorkommen an.

Die statische Reichweite wird also von Preissignalen, Verhaltensänderungen und technologischen Entwicklungen beeinflusst. Steigende Preise können zunehmende Investitionen in Exploration und Förderung auslösen und wirken als Bremse für die Nachfrage. Der technologische Fortschritt in der Fördertechnik senkt die Kosten des Rohstoffabbaus und kann helfen, neue Vorkommen zu erschließen. Die Ausweitung des Recyclings von Rohstoffen erhöht das (Sekundär-)Rohstoffangebot und senkt die Nachfrage nach Bergbauprodukten. Die endgültige Erschöpfung eines nicht erneuerbaren Rohstoffs hätte dagegen erhebliche negative wirtschaftliche Folgen.

### 3.4 Steigende Grenzkosten des Rohstoffabbaus

Rohstoffpreise entwickeln sich in Abhängigkeit der Gewinnungskosten. Der Rohstoffabbau ist einem Trend zu steigenden Grenzkosten unterworfen. In der Regel werden einfach und kostengünstig abzubauende Rohstoffvorkommen zuerst erschlossen und abgebaut. Folgende Projekte müssen dann auf jeweils weniger gut zugängliche Reserven zurückgreifen.

Die Gewinnungskosten steigen, wenn Rohstoffe tiefer unter der Erdoberfläche lagern, wenn sie unter See abgebaut werden oder wenn die Konzentration des gewünschten Rohstoffs in der Lagerstätte geringer ist. Der technologische Fortschritt bei Förder- und Gewinnungstechnik bremst dagegen die Kostenentwicklung.

Nach dem Abbau selbst spielen die Aufbereitung und Trennung der Rohstoffe eine wesentliche Rolle für die Gewinnungskosten. Metallische und mineralische Rohstoffe kommen in den Lagerstätten selten in Reinform vor. Die Konzentration der Erze in den Vorkommen unterscheidet sich stark. Neben dem tauben Gestein oder Scheidewerk kommen in den Abbaumengen häufig auch andere Erze, Mineralien oder Metalle als Kuppelprodukte vor. Handelt es sich um Rohstoffe, deren sortenreine Abtrennung mit einem zusätzlichen Ertrag verbunden ist, bezeichnet man dies als positiven Beifang. Ein Beispiel ist Platin, das auch als Nebenprodukt von Nickel gewonnen wird. Ist die Abtrennung notwendig und überwiegend mit Kosten verbunden – etwa wegen der Entsorgung umweltschädlicher oder radioaktiver Elemente – wird von negativem Beifang gesprochen. So müssen im Phosphatabbau häufig Kadmium und andere Schwermetalle entfernt werden. Beides beeinflusst entsprechend die Grenzkosten der Rohstoffgewinnung positiv oder negativ.

Einige Rohstoffe kommen immer nur gemeinsam mit anderen Rohstoffen vor. Man spricht hier von Vergesellschaftung der Rohstoffe. So kommt z. B. Kobalt gemeinsam mit Nickel und Kupfer vor. Ist die Konzentration eines vergesellschafteten Rohstoffs klein, entsteht bei diesem eine geringe Preiselastizität die zu erheblichen Preisspitzen an den Rohstoffmärkten führen kann. Erst bei sehr großen Preisanstiegen lohnt es sich, die Förderung auszuweiten.

Steigende Grenzkosten der Rohstoffgewinnung, negativer Beifang und eine geringe Preiselastizität bei seltenen Rohstoffen sorgen für steigende Rohstoffpreise. Die Gewinnung von Rohstoffen als positiver Beifang und der technologische Fortschritt in der Förder- und Gewinnungstechnik wirken in die andere Richtung.

### 3.5 Recycling als Antwort auf begrenzte Rohstoffvorkommen

Neben der Gewinnung von sogenannten Primärrohstoffen aus natürlichen Rohstoffvorkommen eröffnet das Recycling von Rohstoffen ein zusätzliches Angebot an sogenannten Sekundärrohstoffen. Deren Nutzung vermindert die Nachfrage nach Bergbauprodukten. Der Umfang, in dem Sekundärrohstoffe zur Verfügung stehen, hängt von der Möglichkeit ab, Abfälle zu sammeln und die Rohstoffe sortenrein daraus wiederzugewinnen.

Bei einigen Rohstoffen, wie zum Beispiel bei Aluminium oder bei dem in Stahl enthaltenen Eisen gelingt es in Deutschland heute schon, einen substanziellen Anteil der Rohstoffnachfrage über den Einsatz von Sekundärrohstoffen aus recycelten Abfällen zu decken. Bei anderen Rohstoffen sind die Recyclingquoten deutlich geringer. So werden Seltene Erden insgesamt zu weniger als 10 Prozent und Metalle wie Tantal oder Niob praktisch gar nicht recycelt.



Ein Trend zu einem zunehmenden Recycling wird durch verschiedene Motive gestützt:

- Aus rohstoffpolitischer Sicht verringert das Recycling in rohstoffarmen Industrieländern die Abhängigkeit von Importen von Primärrohstoffen aus dem Ausland. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen als „heimischer“ Rohstoffquelle reduziert die Anfälligkeit gegenüber einer strategischen Rohstoffpolitik der rohstoffreichen Länder.
- Ein zunehmendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung zielt auf die Verringerung von Abfallmengen und Eingriffen in die Natur durch den Bergbau. Die Gewinnung von Rohstoffen aus recycelten Altgeräten der Privatverbraucher wird auch als „Urban Mining“ bezeichnet.
- Recyclingprozesse sind für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe von eigenem Interesse, wenn durch den Einsatz von Recycling-Material zusätzlich zur Substitution von Primärrohstoffen auch die Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Produktionsprozess gesenkt werden können. Der Einsatz von Scherben in der Glasproduktion ist hier ein Beispiel. Die Nachfrage nach Produkten mit kleinem ökologischem Fußabdruck in nachgelagerten Industriezweigen unterstützt inzwischen entsprechende Bemühungen in den Grundstoffindustrien.
- Der technologische Fortschritt in der Recyclingwirtschaft verbessert die Möglichkeiten, Rohstoffe aus Altgeräten nutzbar zu machen. Um gegenüber der Rohstoffgewinnung im Bergbau wettbewerbsfähig zu sein, müssen Sekundärrohstoffe eine ähnliche Qualität aufweisen wie die Primärrohstoffe. Neben effizienten Systemen zu Sammlung, Sortierung und sortenreiner Aufbereitung der Materialien ist in vielen Fällen ein Verfahren zur Qualitätszertifizierung der Sekundärrohstoffe notwendig. Ein recyclingfreundliches Design der ursprünglichen Produkte ist ein erster Schritt zum Recycling.
- In vielen Industrieländern unterstützt eine flankierende Gesetzgebung die verschiedenen Ansätze und Motive des Rohstoffrecyclings.

### 3.6 Rohstoffvorkommen befinden sich häufig in Risikoländern

Für viele Rohstoffe liegen die aktuell nutzbaren Lagerstätten nicht in Europa, weil sie nur in bestimmten geologischen Strukturen in förderwürdiger Form vorkommen, etwa, weil eine ausreichend hohe Konzentration der Rohstoffe in der Lagerstätte erforderlich ist. Bei einigen Rohstoffen führt dies zu einer hohen Konzentration der Förderung auf wenige Länder. Gerade bei Rohstoffen mit einer hohen und spezifischen technologischen Bedeutung – wie z. B. Seltenen Erden, Lithium oder Kobalt – sind Deutschland und Europa heute fast vollständig auf Importe aus anderen Ländern angewiesen. Allerdings zeichnet sich bei einigen der Rohstoffe, für die in Zukunft weiter deutlich zunehmende Abbaumengen prognostiziert werden, eine Diversifizierung der Abbauländer ab. So werden z. B. für Lithium nennenswerte zukünftig förderwürdige Mengen in Deutschland verortet.



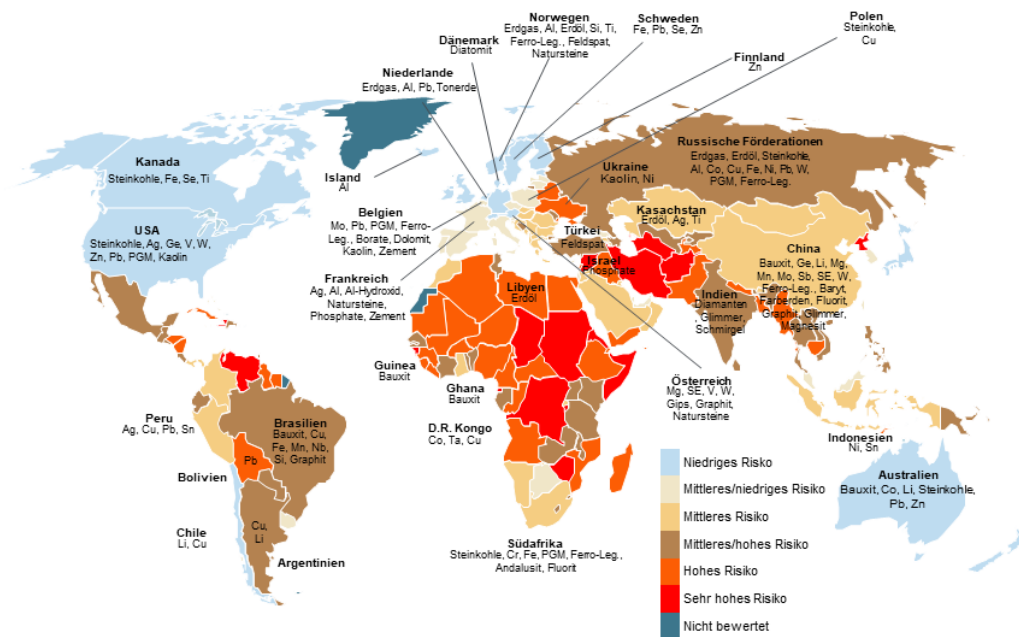
Rohstoffe – Bedeutung und Risiken

Viele außereuropäische Länder müssen in Bezug auf interne und externe Konflikte, Rechtsstaatlichkeit, Korruption sowie ihre politische und wirtschaftliche Stabilität als Risikoländer eingestuft werden. Die mögliche Eskalation interner und externer Konflikte zu Kriegen und Bürgerkriegen bedrohen die Rohstoffgewinnung und -lieferung. Mangelnde Rechtsstaatlichkeit sowie politische und wirtschaftliche Instabilität sind ein Risiko für die Investitionen in die Rohstoffförderung. Häufig kommt eine mangelhafte und störanfällige Transportinfrastruktur hinzu. Es drohen willkürliche Steuern, Abgaben oder Zölle. Eingriffe in bestehende Verträge sind nicht ausgeschlossen.

In Abbildung 3 sind die spezifischen Länderrisiken und die Verteilung wichtiger Rohstoffvorkommen in globalem Maßstab veranschaulicht. Weite Teile der Welt weisen im Vergleich zu Europa hohe Risiken auf. Gleichzeitig sind die Vorkommen wichtiger Rohstoffe stark auf Hochrisikoländer konzentriert.

Abbildung 3

Länderrisiko und Rohstoffvorkommen 2021



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

Zunehmend spielt die Gefährdung von Menschenrechten, Sozial- und Umweltstandards eine Rolle für die Beschaffung von Rohstoffen oder Vorprodukten in der Industrie. Für Bergbauunternehmen und die weiterverarbeitende Industrie bestehen hier zunehmende Risiken für die Reputation des Unternehmens. Diese Dimension ist in 3 nicht eigens berücksichtigt. Es ist aber davon auszugehen, dass eine hohe Korrelation des Risikos besteht. Wo es an Rechtsstaatlichkeit mangelt, wird das Einklagen verbindlicher Standards nur geringe Erfolgsaussichten haben. Das neue Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG)

verpflichtet bestimmte Unternehmen in Zukunft zur Einführung eines auf diese Risiken abzielenden Risikomanagementsystems.

### 3.7 Rohstoffe sind Instrumente strategischer Industriepolitik

Erfolgt die staatliche Förderung bestimmter Industrien mit dem Ziel, in diesen Bereichen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber dem Ausland zu erreichen, wird dies als strategische Industriepolitik bezeichnet. In Schwellenländern zielen solche Maßnahmen in der Regel auf den Aufbau grundlegender Industrien. Die neuen Projekte von bedeutendem Gemeinschaftsinteresse auf europäischer Ebene (*Important Projects of Common European Interest – IPCEI*), wie zum Beispiel in den Bereichen Batterien, Wasserstoff oder Mikroelektronik, lassen sich ebenfalls als strategische Industriepolitik bezeichnen (Details in den Fallstudien in Kapitel 5).

Rohstoffe können dann zu einem Mittel der strategischen Industriepolitik werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der freie Welthandel mit einzelnen Rohstoffen eingeschränkt wird, um den inländischen Industrien mit einem privilegierten Rohstoffzugang einen Wettbewerbsvorteil gegenüber dem Ausland zu verschaffen. Ein aktuelles prominentes Beispiel dafür ist die Einschränkung des Exports bestimmter Nickelqualitäten in Indonesien. Hier soll der Aufbau einer inländischen Erzverarbeitung forciert werden, um die Wertschöpfungskette im Inland über den reinen Bergbau hinaus zu verlängern. Auch bei den *IPCEIs* in Europa wird die gesamte Wertschöpfungskette inklusive der Rohstoffversorgung mitbedacht, auch wenn weiterhin viele Rohstoffe importiert werden müssen.

Über eine strategische Industriepolitik hinaus werden Beschränkungen im Rohstoffhandel auch in handelspolitischen Auseinandersetzungen oder rein politischen Konflikten als Drohmittel eingesetzt. Vor allem China lieferte in der jüngeren Vergangenheit einige Beispiele für dieses Verhalten. Die Ausfuhrbeschränkung von Seltenen Erden gegenüber Japan im Jahr 2010 löste einen Preissprung an den internationalen Rohstoffmärkten aus. 2019 drohte China im Handelskonflikt mit den USA sowie im Konflikt um den Marktzugang des Technologiekonzerns Huawei in den USA mit einer Einschränkung des Rohstoffzugangs. Investitionen in einigen Ländern Asiens und Afrikas wurden von China mit langfristigen Rohstofflieferverträgen verknüpft. Gleichzeitig wird die geplante Erschließung eines Vorkommens von Seltenen Erden, insbesondere Neodym, in Australien explizit strategisch-politisch als Angriff auf Chinas Vormachtstellung bei der Förderung Seltener Erden interpretiert und in den Kontext der Handelskonflikte zwischen Australien und China gesetzt.

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

Die starke Konzentration von Rohstoffen auf wenige förderwürdige Lagerstätten und die hohe Kapitalintensität der Rohstoffförderung und -weiterverarbeitung führt zu einer hohen Konzentration großer Unternehmen im Rohstoffsektor. Häufig gehen substantielle

Anteile des Rohstoffangebots bei einzelnen Rohstoffen von 50 oder mehr Prozent auf die Produktion weniger Unternehmen zurück.

Die oligopolistische Marktstruktur verleiht solchen Rohstoffunternehmen eine höhere Marktmacht und damit die Möglichkeit, Preisforderungen einseitig durchzusetzen und Lieferkonditionen zu bestimmen. In dieser Konstellation müssen die Abnehmer häufig überhöhte Preisen akzeptieren. Dies gilt umso mehr, wenn Angebotsalternativen fehlen und die Produzenten mit Lieferverzögerungen drohen können. Kleinere Abnehmer sind diesen Problemen wegen fehlender Marktmacht stärker ausgesetzt.

### 3.9 Große Bedeutung der Rohstoffe für Zukunftstechnologien

Zukunftstechnologien haben eine hohe Bedeutung für die zukünftige Produktion und den zukünftigen Konsum. Die Verfügbarkeit der dafür notwendigen Rohstoffe ist zentral für die Wettbewerbsfähigkeit und die Wertschöpfung in Deutschland und Bayern. Technologisch anspruchsvolle und komplexe Produkte erfordern den Einsatz einer Vielzahl verschiedener Rohstoffe – wenn auch häufig nur in geringen Mengen. Beispiele finden sich in der Medizintechnik, bei den erneuerbaren Energien, in der Elektromobilität und in Informations- und Kommunikationstechnologien.

Der Einsatz spezifischer Rohstoffe und Legierungen ist in diesen Produkten häufig für die Funktionsweise essenziell oder verbessert wesentlich die Produkteigenschaften. Für die Produktion bedeutet das ein besonderes Risiko, weil schon die Nicht-Verfügbarkeit kleiner Rohstoffmengen für die Produktion kritisch sein kann. Gerade für ein Hochtechnologie-land wie Deutschland ist die reibungslose Versorgung mit den relevanten Rohstoffen von entscheidender Bedeutung. Die gegenwärtigen Versorgungsschwierigkeiten mit Chips in der Automobilindustrie illustrieren das Problem, auch wenn sie weniger mit einem Rohstoffmangel zu erklären sind, als mit Problemen kurzfristiger Produktionsanpassungen.

### 3.10 Substituierbarkeit von Rohstoffen nur begrenzt möglich

Mit höherer Spezialisierung des Rohstoffeinsatzes nimmt die wechselseitige Substituierbarkeit einzelner Rohstoffe ab. Die technologische Leistungsfähigkeit von Produkten nimmt gleichzeitig mit höherer Spezialisierung zu. Bestimmte Produkteigenschaften sind häufig eng mit einem sehr spezifischen Rohstoffeinsatz oder der Verwendung bestimmter Legierungen verbunden.

Dies gilt besonders für den Bereich der Zukunftstechnologien. Die Substitution einzelner Rohstoffe ist dann mit einem hohen zusätzlichen Aufwand für Forschung und Entwicklung verbunden. Gerade weil der spezifische Materialeinsatz für Zukunftstechnologien neu entwickelt wurde, existieren noch keine Alternativen.

Mit geringer Substituierbarkeit steigt das Versorgungsrisiko. Häufig besteht zudem das Problem, dass ein Rohstoff mit hohem Versorgungsrisiko nur durch einen anderen Rohstoff mit ebenfalls hohem Versorgungsrisiko ersetzt werden kann.

## 4 Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Index

Der Rohstoff-Risiko-Index liefert eine Maßzahl für das Versorgungsrisiko jedes Rohstoffes in verschiedenen Dimensionen.

Die verschiedenen Bestimmungsgründe für die Risiken der Rohstoffversorgung (vgl. voriges Kapitel) werden im Rohstoff-Risiko-Index aufgegriffen und mittels acht einzelner Indikatoren gemessen. Fünf quantitative Indikatoren – die statische Reichweite, das Länderrisiko, die 3-Länder-Konzentration, die 3-Unternehmen-Konzentration und das Preisrisiko – sowie drei qualitative Indikatoren – die Bedeutung für Zukunftstechnologien, die Substituierbarkeit und die Gefahr des strategischen Einsatzes – werden in einen gemeinsamen Wertebereich transformiert und gewichtet aggregiert. Eine genauere Beschreibung der Methodik und der Indikatoren befindet sich im Anhang.

Es wurden jene 45 Rohstoffe ausgewählt, die auch in den vorigen Auflagen der vbw-Rohstoffstudie enthalten waren. Die Auswahl orientiert sich an den „Rohstoffwirtschaftlichen Steckbriefen“ und der „Rohstoffliste“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). In den Index werden auch drei Seltenerdmetalle – Scandium, Yttrium und Neodym – sowie vier Spezialmetalle – Selen, Indium, Germanium, Gallium – aufgenommen.

Der Rohstoff-Risiko-Index kann Werte zwischen 25 (höchstes Risiko) und 0 (geringstes Risiko) annehmen. Auf Basis der Ergebnisse werden die Metalle und Mineralien in drei Risikogruppen aufgeteilt:

- In der roten Gruppe befinden sich die 22 Rohstoffe mit dem höchsten Risiko und einem Indexwert von mindestens 15.
- Die orangefarbene Gruppe besteht aus 15 Rohstoffen mit Risikowerten zwischen 10 und 15.
- In der grünen Gruppe finden sich 8 Rohstoffe mit geringem Versorgungsrisiko und Indexwerten von weniger als 10.

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Rohstoff-Risiko-Index 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 lediglich 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.

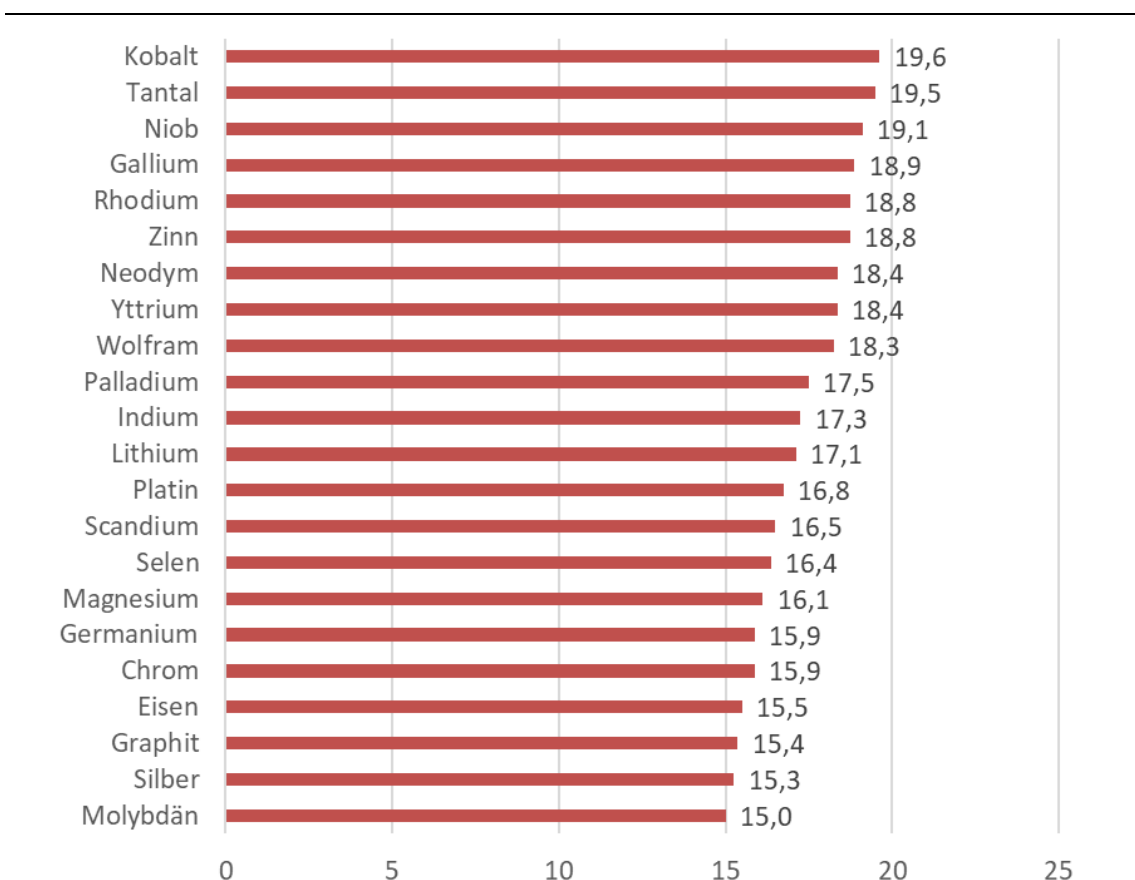
## 4.1 Rote Gruppe

Die 22 Rohstoffe mit dem höchsten Versorgungsrisiko befinden sich in der roten Gruppe (Abbildung 4). Die Zahl der Rohstoffe entspricht der des letzten Jahres. Silber ist neu in der roten Gruppe, Fluorit weist dagegen nun nur ein mittleres Risiko auf und befindet sich in der orangefarbenen Gruppe. Details zur Veränderung bei einzelnen Rohstoffen werden im Folgenden benannt.

Für die meisten Rohstoffe in dieser Risikoklasse resultiert das hohe Versorgungsrisiko aus einer breiten Streuung hoher Risiken. Bei 13 der 22 Rohstoffe liegt die Risikobewertung bei mindestens fünf der acht Dimensionen im kritischen Bereich, bei weiteren sechs Rohstoffen sind es vier Dimensionen. Kritische Bewertungen treten besonders häufig in den Kategorien Bedeutung für Zukunftstechnologien (21 von 22 Rohstoffen), Gefahr des strategischen Einsatzes (18 Rohstoffe) und Länderkonzentration (17 Rohstoffe) auf. Zehn der Rohstoffe weisen ein hohes Länderrisiko auf oder eine geringe statische Reichweite, neun der Rohstoffe lassen sich besonders schlecht durch andere Rohstoffe ersetzen.

Abbildung 4

Risikoklasse I der Rohstoffe – rote Gruppe



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

Kobalt bleibt mit einem Risikowert von 19,6 Punkten wie auch in den Jahren zuvor der Rohstoff mit dem höchsten Versorgungsrisiko. Kobalt kommt eine hohe Bedeutung für Batterien im Rahmen der Elektromobilität zu. Auch die anderen wichtigen Batterierohstoffe Lithium (Rang 12; 17,1 Punkte) und Graphit (Rang 20; 15,4 Punkte) gehören weiterhin zur roten Rohstoffgruppe. Die Risikobewertung der drei Rohstoffe hat im Vergleich zum Vorjahr etwas abgenommen. Die Märkte scheinen sich besser auf die absehbaren Nachfragesteigerungen einzustellen. Bei Kobalt sind die Preisrisiken und die Risiken aus der Bedeutung für Zukunftstechnologien und der Gefahr eines strategischen Einsatzes kleiner. Bei Lithium haben sich die statische Reichweite, die Preisrisiken und die Substitutionsmöglichkeiten verbessert. Letzteres gilt auch für Graphit.

Tantal (Rang 2; 19,5 Punkte) wird ähnlich wie Niob (Rang 3, 19,1 Punkte), Wolfram (Rang 9; 18,3 Punkte), Chrom (Rang 18, 15,9 Punkte) und Molybdän (Rang 22; 15,0 Punkte) in der Stahlindustrie und in elektronischen Bauteilen eingesetzt. Die Rohstoffe werden zur Optimierung der Stahleigenschaften für spezifische Einsatzzwecke verwendet. In der Elektrotechnik sind Niob, Tantal und Wolfram auch Elemente in Kondensatoren. Für Niob, Tantal, Wolfram und Molybdän zeigt sich eine hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien und eine hohe Gefahr des strategischen Einsatzes. Bei diesen vier Rohstoffen ist eine hohe Länderkonzentration zu sehen, die bei Niob, Tantal und Wolfram zusätzlich mit einem hohen Länderrisiko einhergeht. Tantal, Wolfram und Chrom weisen eine kurze statische Reichweite auf. Gegenüber dem Vorjahr stieg das Risiko bei Niob, während die Risikobewertung der anderen vier Metalle etwas geringer ausfällt.

Rhodium (18,8 Punkte) auf Rang 5 gehört wie Palladium (Rang 10; 17,5 Punkte) und Platin (Rang 13; 16,8 Punkte) zu den Platingruppenmetallen. Sie werden unter anderem in Katalysatoren zur Abgasreinigung, in Brennstoffzellen zur Gewinnung elektrischer Energie und Elektrolyseuren zur Erzeugung von Wasserstoff eingesetzt. Daraus ergibt sich für diese Rohstoffe eine hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien im Bereich der Mobilität und der Bereitstellung von Wasserstoff als Energieträger und -speicher. Eine hohe Konzentration der Gewinnung auf wenige Unternehmen und Länder, die gleichzeitig ein erhöhtes Länderrisiko aufweisen, spiegelt sich auch in einer hohen Gefahr des strategischen Einsatzes. Die Platingruppenmetalle lassen sich nur untereinander substituieren. Das Versorgungsrisiko insgesamt hat sich kaum verändert. Bei Palladium ist es etwas gestiegen, bei Platin etwas gesunken, bei Rhodium konstant.

Elektronik und Optik sind Einsatzgebiete von Zinn (Rang 6; 18,8 Punkte) und der Spezialmetalle Gallium (Rang 4; 18,9 Punkte), Indium (Rang 11; 17,3 Punkte), Selen (Rang 15; 16,4 Punkte) und Germanium (Rang 17; 15,9 Punkte). Sie werden etwa in der Herstellung von LCDs und Flachbildschirmen verwendet. Daraus erklärt sich die hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien bei diesen Rohstoffen. Zinn, Indium und Selen weisen nur eine kurze statische Reichweite auf. Die Gewinnung von Gallium, Indium und Germanium ist stark auf wenige Länder konzentriert. Bei Zinn ist ein hohes Länderrisiko zu beobachten. Bei Germanium, Indium, Selen und Gallium wird die Gefahr eines strategischen Einsatzes als hoch bewertet. Die Entwicklung der Risikobewertung ist uneinheitlich. Bei Zinn ist das Risiko leicht gestiegen, bei Germanium und Selen deutlich. Dagegen ist bei Indium und Gallium ein Rückgang des Risikos zu beobachten.

Die Seltenerdmetalle Neodym (Rang 7; 18,4 Punkte), Yttrium (Rang 8; 18,4 Punkte) und Scandium (Rang 14; 16,5 Punkte) werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Sie erfüllen dabei jeweils sehr spezifische Zwecke und lassen sich daher in der Regel höchstens durch andere ähnliche Seltenerdelemente substituieren. Zum hohen Risiko tragen zudem die hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien und die hohe Länderkonzentration der Förderung bei, die sie auch anfällig für eine strategische Rohstoffpolitik macht. Bei Yttrium und Scandium ist die Risikobewertung kleiner als im Vorjahr, weil die Länderrisiken und bei Yttrium das Preisrisiko etwas geringer eingeschätzt werden. Das Versorgungsrisiko bei Neodym ist vor allem wegen zunehmender Preisrisiken gestiegen.

Auch bei Magnesium (Rang 16; 16,1 Punkte) und Eisen (Rang 19; 15,5 Punkte) ist das Rohstoffrisiko gegenüber dem Vorjahr weitergewachsen. Der wichtigste Grund sind die gestiegenen Preisrisiken vor allem in der Entwicklung des letzten Jahres. Dazu kommt eine hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien. Eisen kommt in Form von Stahl in großer Breite in industriellen Produkten etwa der Metall- und Elektroindustrie und im Fahrzeugbau eingesetzt wird. Magnesium findet in der Metallurgie Anwendung. Magnesium weist eine hohe Länderkonzentration der Förderung in China auf. Entsprechend hoch wird auch die Anfälligkeit für eine strategische Rohstoffpolitik eingeschätzt.

Silber (Rang 20; 15,3 Punkte) ist in diesem Jahr neu in der roten Gruppe. Wegen seiner guten elektrischen Leiteigenschaften wird es in der Elektroindustrie eingesetzt und zudem als Schmuck und Wertaufbewahrungsmittel verwendet. Zu den Risiken zählen die hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien sowie die kurze statische Reichweite. Das Versorgungsrisiko ist wegen gestiegener Preisrisiken höher als im Vorjahr.

In Tabelle 1 sind die Rohstoffe der roten Gruppe, deren wichtigste Verwendungen sowie deren Bedeutung für Bayern und die bayerische Industrie zusammengefasst. Bei 17 der 22 Rohstoffe wird die Bedeutung für Bayern als hoch eingeschätzt. Dabei handelt es sich um jene Rohstoffe, die in für Bayern bedeutenden Wirtschaftszweigen eine wichtige Rolle spielen. Zu diesen Wirtschaftszweigen zählen insbesondere der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Elektroindustrie, die Metall- und Stahlverarbeitung sowie die Chemieindustrie.



Tabelle 1

## Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse I für Bayern

| Rohstoffe                              | Verwendung                                                                                            | Bedeutung für Bayern |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Kobalt                                 | Batterien, Superlegierungen, Katalysatoren, Hartmetalle                                               | hoch                 |
| Tantal                                 | Mikroelektronische Kondensatoren, Superlegierungen, Radiofrequenz-Mikrochips, Medizintechnik          | hoch                 |
| Niob                                   | Superlegierungen, Edelstahl, Elektronik, Kondensatoren                                                | hoch                 |
| Gallium                                | Radiofrequenz-Mikrochips, Dünnschicht-Photovoltaik, Optoelektronik/Photonik                           | hoch                 |
| Rhodium                                | Auto-, Chemie- und Elektroindustrie, Schmuck und Dentaltechnik                                        | hoch                 |
| Zinn                                   | Elektronik, Weißblech, LCD, Chemie, Legierungen                                                       | hoch                 |
| Neodym                                 | Magnete, Lasertechnik, Glas- und Porzellanfärbung                                                     | hoch                 |
| Yttrium                                | Reaktortechnik, Magnete, Metallurgie, Röhrentechnik, Leuchtstoffe, Festoxid-Brennstoffzelle           | hoch                 |
| Wolfram                                | Leuchtmittelindustrie, Metallurgie, Militär                                                           | hoch                 |
| Palladium                              | Abgaskatalysatoren, Brennstoffzellen, Chemieindustrie, Schmuck, Medizin- und Dentaltechnik            | hoch                 |
| Indium                                 | Flachbildschirme, Optik, Elektronik, Photovoltaik                                                     | hoch                 |
| Lithium                                | Akkumulatoren/Batterien, Glas/Keramiken, Schmierfette, Metallurgie, Chemie                            | hoch                 |
| Platin                                 | Katalysatoren (Abgasbehandlung, Chemie), Herstellung von Brennstoffzellen, Medizin- und Dentaltechnik | hoch                 |
| Scandium                               | Leichte Legierungen (Flugzeugbau), Festoxid-Brennstoffzelle (Hochtemperatur-Brennstoffzelle)          | mittel               |
| Selen                                  | Chemikalien und Pigmente, Elektronik, Metallurgie                                                     | hoch                 |
| Magnesium                              | Metallurgie, chemische Industrie, Flug- und Fahrzeugbau                                               | mittel               |
| – Fortsetzung auf der nächsten Seite – |                                                                                                       |                      |

– Fortsetzung von Tabelle 1: Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse I für Bayern –

| Rohstoffe                                    | Verwendung                                                                                    | Bedeutung für Bayern |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Germanium                                    | Glasfaser, Halbleiter, Infrarotoptik, Polymerisationskatalysatoren in der PET-Herstellung     | hoch                 |
| Chrom                                        | Edelstahl, Feuerfestindustrie, Chemie, Farbe                                                  | mittel               |
| Eisen                                        | Metall- und Elektroindustrie, Bauwirtschaft                                                   | hoch                 |
| Graphit                                      | Batterien, Feuerfestindustrie, Gießereien, Kunststoffe, Bleistifte, Beläge, Brennstoffzellen  | hoch                 |
| Silber                                       | Schmuck- und Tafelwaren, Münzen und Legierungen, Film-, Foto- und Elektroindustrie            | niedrig              |
| Molybdän                                     | Flugzeug- und Raketenbau, Elektrotechnik, Edelstähle, Schmierstoffe, Farben und Katalysatoren | niedrig              |
| Eigene Zusammenstellung der IW Consult, 2021 |                                                                                               |                      |

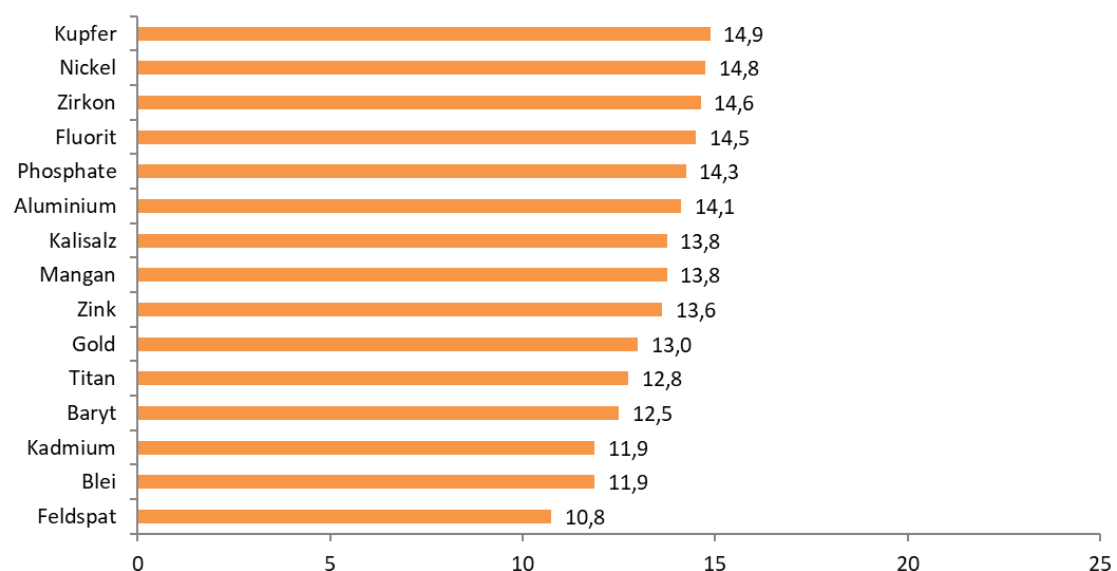
## 4.2 Orangefarbene Gruppe

Auf den Rängen 23 bis 37 befinden sich die 15 Rohstoffe mit einem mittleren Versorgungsrisiko in der orangefarbenen Gruppe des Rohstoff-Risiko-Index (Abbildung 5). Die Zahl der Rohstoffe entspricht auch hier der des letzten Jahres. Fluorit und Silber haben die Gruppen zwischen orangefarben und rot getauscht. Feldspat gehört neu zur orangefarbenen Gruppe. Kaolin wechselte dagegen in die grüne Gruppe. Details zur Veränderung bei einzelnen Rohstoffen werden im Folgenden benannt.

Mit Kupfer, Nickel, Aluminium, Zink und Titan befinden sich auf den Rängen 23, 24, 28, 31 und 33 wichtige Metalle für die Metall- und Elektroindustrie und den Fahrzeugbau. Die starke Verbreitung in der Industrie spiegelt sich in der hohen Bedeutung für Zukunftstechnologien wider. Die zentrale Bedeutung von Kupfer für die zunehmende Elektrifizierung des Energiesystems und der Industrie wird immer deutlicher. Für Nickel wird eine wachsende Bedeutung in der Elektromobilität erwartet. Aluminium und Titan haben eine hohe Bedeutung für den Leichtbau. Zu einem geringeren Versorgungsrisiko tragen die relativ breite geographische Verteilung der Förderkapazitäten und die dadurch nur mittleren Länderrisiken bei. Bei Kupfer, Nickel und Zink werden allerdings die statischen Reichweiten kritisch bewertet. Gegenüber dem Vorjahr sind die Versorgungsrisiken bei Kupfer und Nickel deutlich gewachsen, bei Aluminium und Zink etwas, bei Titan deutlich zurückgegangen.

Abbildung 5

Risikoklasse II der Rohstoffe – orangefarbene Gruppe



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

Mit 14,6 Punkten liegt Zirkon auf Rang 25. Es ist ein temperaturbeständiger und hochfester Rohstoff und wird in Schmelztielen und in der Dentaltechnik verwendet. Die Bedeutung

für Zukunftstechnologien und die statische Reichweite erhöhen das Risiko, die anderen Indikatoren liegen im mittleren Bereich. Das Versorgungsrisiko hat sich etwas erhöht. Bei Fluorit (Rang 26; 14,5 Punkte) tragen ein hohes Länderrisiko und eine hohe Länderkonzentration (vor allem auf China) und eine geringe statische Reichweite zu einem erhöhten Versorgungsrisiko bei. Unkritisch ist dagegen die Preisentwicklung. Die Bewertungen für Substitution, Zukunftstechnologien und strategischen Einsatz liegen im mittleren Bereich.

Phosphate (Rang 27; 14,3 Punkte) und Kalisalz (Rang 29; 13,8 Punkte) werden als Mineralien vor allem als Grundstoffe in der Düngemittelproduktion und so mittelbar in der Landwirtschaft eingesetzt. Bedeutung für Zukunftstechnologien haben sie wegen der Bedeutung für die Ernährung einer weiter steigenden Weltbevölkerung. In beiden Fällen ist auch die Unternehmenskonzentration hoch. Bei mineralischen Phosphaten zeichnen sich eher Substitutionsmöglichkeiten ab als bei Kalisalz. Dennoch ist bei den Phosphaten das Versorgungsrisiko leicht gestiegen, bei Kalisalz etwas gesunken.

Mangan liegt mit 13,8 Punkten auf Rang 30. Es kann abhängig von der konkreten technologischen Entwicklung in Zukunft zunehmende Bedeutung für die Elektromobilität erlangen. Riskant sind bei diesem Rohstoff die Bedeutung für Zukunftstechnologien und die geringe statische Reichweite. Die anderen Indikatoren liegen in diesem Jahr im mittleren und geringen Bereich. Die Risikobewertung ist daher geringer als im Vorjahr.

Neben seiner Rolle als Schmuck und Wertaufbewahrungsmittel wird Gold (Rang 32; 13,0 Punkte) wegen seiner guten elektrischen Leiteigenschaften in der Elektroindustrie eingesetzt. Daraus erwächst dem Edelmetall eine hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien. Die statische Reichweite ist relativ kurz, aber die Preisentwicklung der letzten drei Jahre moderat. Das Versorgungsrisiko ist etwas höher als im Vorjahr.

Das Mineral Baryt (Rang 34; 12,5 Punkte) wird als Zusatzstoff in verschiedensten Industrieprodukten verwendet, beispielsweise in der Beton- und Zementherstellung. Die statische Reichweite und das Länderrisiko sind die wesentlichen Risikofaktoren. Gegenüber dem Vorjahr ist das Versorgungsrisiko unverändert. Feldspat (Rang 37; 10,8 Punkte) kommt als Mineral in der Keramik- und Glasherstellung zum Einsatz. Das gestiegene Risiko ergibt sich aus einem höheren Länderrisiko und einer höheren Länderkonzentration.

Die Verwendung der Schwermetalle Kadmium (Rang 35; 11,9 Punkte) und Blei (Rang 36; 11,9 Punkte) ist mit Gesundheitsgefahren verbunden und deswegen in den meisten Anwendungen streng reguliert und begrenzt. Zum Versorgungsrisiko trägt vor allem die geringe statische Reichweite bei. Bei beiden Metallen ist das Versorgungsrisiko geringer als 2020.

In Tabelle 2 sind die Rohstoffe der orangefarbenen Gruppe mit ihren wichtigsten Verwendungen und ihrer Bedeutung für Bayern zusammengefasst. Bei sechs der 15 Rohstoffe in der orangefarbenen Gruppe wird die Bedeutung für Bayern als hoch eingestuft. Dies sind die Metalle, die im Fahrzeugbau, in der Elektroindustrie und im Maschinenbau eingesetzt werden und teilweise als Speziallegierungen besondere Anforderungen in Bezug auf Festigkeit, Gewicht oder Hitzebeständigkeit aufweisen müssen.

Tabelle 2

## Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse II für Bayern

| Rohstoffe | Verwendung                                                                                                    | Bedeutung für Bayern |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Kupfer    | Elektroindustrie, <i>Radio Frequency Identification</i> (RFID)-Chips, Windkraft                               | hoch                 |
| Nickel    | Legierungen, Gasturbinen, Katalysatoren, Batterien                                                            | hoch                 |
| Zirkon    | Schmelztiegel, Dentaltechnik, Festoxid-Brennstoffzelle                                                        | mittel               |
| Fluorit   | Stahlindustrie, Gießereien, Chemie, Kälte-, Klimaanlage                                                       | mittel               |
| Phosphate | Landwirtschaft                                                                                                | mittel               |
| Kalisalz  | Düngemittel, Industriechemikalien                                                                             | mittel               |
| Mangan    | Eisen- und Stahlindustrie, Batterien                                                                          | hoch                 |
| Aluminium | Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Bau, Elektroindustrie, Windkraft                                            | hoch                 |
| Zink      | Galvanik, Nicht-Eisen-Legierungen, Pharmazie, Batterien, Pigmente                                             | hoch                 |
| Gold      | Schmuck, Zahntechnik, Elektroindustrie                                                                        | niedrig              |
| Titan     | Pigmente, Kunststoffe, Legierungen, Flugzeugbau, Anlagenbau, Medizintechnik                                   | hoch                 |
| Baryt     | Bohrspülung, chemische Anwendungen, Schwerbetonzuschlag oder Röntgenkontrastmittel                            | niedrig              |
| Kadmium   | Solarzellen, Halbleiter                                                                                       | mittel               |
| Blei      | Akkumulatoren, Kabel, Glasindustrie, Chemie, Farbstoffe, Legierungen, Elektrotechnik, Radiologie und Munition | mittel               |
| Feldspat  | Keramik- und Glasindustrie                                                                                    | niedrig              |

Eigene Zusammenstellung der IW Consult, 2021

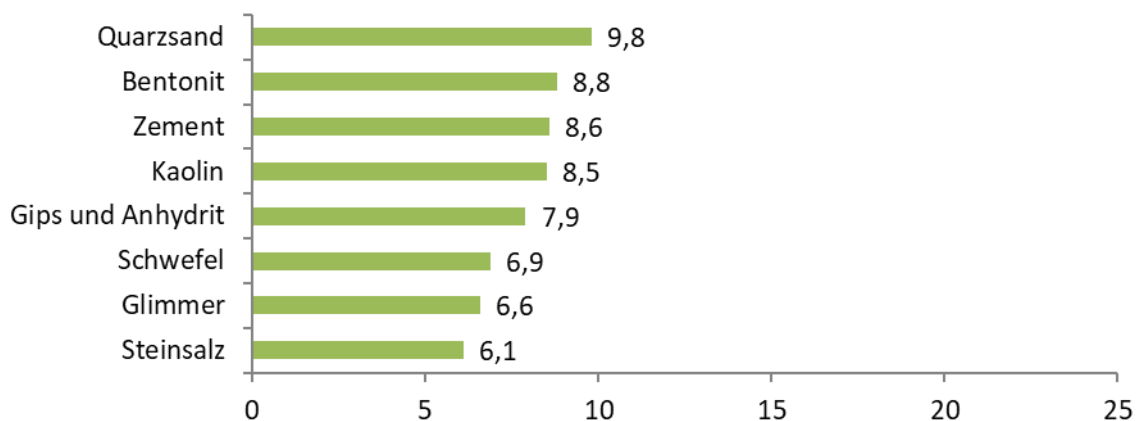
### 4.3 Grüne Gruppe

In der grünen Gruppe der Rohstoffe mit einem geringen Versorgungsrisiko befinden sich acht Rohstoffe (Abbildung 6). Alle diese Rohstoffe sind Mineralien mit einer hohen statischen Reichweite. Die Förderung der Rohstoffe ist jeweils auf viele Länder verteilt, so dass Länderkonzentration, Länderrisiko und Unternehmenskonzentration jeweils gering ausfallen. Gegenüber dem Vorjahr neu in der Gruppe ist Kaolin, das allerdings nur im letzten Jahr in der orangefarbenen Gruppe eingeordnet wurde. Im vergangenen Jahr zählte Feldspat zur grünen Gruppe, der dieses Jahr in der orangefarbenen Gruppe landet. Zement wird in der Regel in engem Zusammenhang mit dem Abbau des wichtigen Bestandteils Kalkstein in direkter Umgebung der Bergwerke und Tagebaue produziert und hier mit zu den Rohstoffen gezählt.

Innerhalb der Gruppe hat sich die Risikobewertung von Quarzsand wegen einer höheren Bedeutung für Zukunftstechnologien erhöht. Bentonit wird wegen gestiegener Länderkonzentration und -risiken als etwas riskanter bewertet. Umgekehrt haben sich diese Risiken bei Glimmer verringert.

Abbildung 6

Risikoklasse III der Rohstoffe – grüne Gruppe



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

In der Tabelle 3 sind die Rohstoffe der grünen Gruppe, ihre wichtigsten Verwendungen sowie ihre Bedeutung für Bayern zusammengefasst. Die Bedeutung für die bayerische Industrie liegt bei den verschiedenen Rohstoffen im mittleren bis niedrigen Bereich.

Tabelle 3

## Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse III für Bayern

| Rohstoffe                                    | Verwendung                                                     | Bedeutung für Bayern |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Quarzsand                                    | Glas- und Gießerei-Industrie                                   | mittel               |
| Bentonit                                     | Gießerei, Eisenindustrie                                       | niedrig              |
| Zement                                       | Infrastruktur                                                  | mittel               |
| Kaolin                                       | Beschichtung von Papier und Keramik                            | mittel               |
| Gips und Anhydrit                            | Baumaterial                                                    | mittel               |
| Schwefel                                     | Chemische und pharmazeutische Industrie                        | mittel               |
| Glimmer                                      | Farbstoffe, Füllstoffe, Dämmung, Kosmetik, Keramik, Isolierung | mittel               |
| Steinsalz                                    | Gewinnung von Chlor und Natrium                                | niedrig              |
| Eigene Zusammenstellung der IW Consult, 2021 |                                                                |                      |

Die Abbildung 7 stellt die Bedeutung für Bayern und das Rohstoffrisiko der einzelnen Rohstoffe in einer Synopse einander gegenüber. Hochrisiko-Rohstoffe haben oft auch eine hohe Bedeutung für Bayern. Bei vielen Rohstoffen liegt das an der großen Bedeutung für Zukunftstechnologien, die gleichzeitig für eine technologieorientierte Industrie wichtig sind.

Abbildung 7

## Bedeutungs-Risiko-Matrix

| Bedeutung für Bayern<br>Risikoklasse                                                              | Hoch                                                                                                                                         | Mittel                                                          | Niedrig               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                                                   | Hoch                                                                                                                                         | Mittel                                                          | Niedrig               |
|  <b>Hoch</b>     | Kobalt, Tantal, Niob, Gallium, Rhodium, Zinn, Neodym, Yttrium, Wolfram, Palladium, Indium, Lithium, Platin, Selen, Germanium, Eisen, Graphit | Scandium, Magnesium, Chrom                                      | Silber, Molybdän      |
|  <b>Mittel</b>   | Kupfer, Nickel, Aluminium, Mangan, Zink, Titan                                                                                               | Zirkon, Fluorit, Phosphate, Kalisalz, Kadmium, Blei             | Gold, Baryt, Feldspat |
|  <b>Niedrig</b> |                                                                                                                                              | Quarzsand, Zement, Kaolin, Gips und Anhydrit, Schwefel, Glimmer | Betonit, Steinsalz    |

Eigene Darstellung IW Consult, 2021



## 5 Fallstudien

Der Ausbau der Elektromobilität und die Herstellung von grünem Wasserstoff sind zwei wichtige Elemente zur Dekarbonisierung der Wirtschaft.

### 5.1 Elektromobilität

In dieser Fallstudie werden die Entwicklung der Elektromobilität und der damit verbundene Rohstoffbedarf untersucht. Durch die jüngsten regulatorischen Änderungen in Europa dürfte die Verbreitung der rein batteriebetriebenen Elektromobilität schneller voranschreiten als bisher vielfach angenommen. Damit steigt der erwartete Rohstoffbedarf für die Elektromobilität.

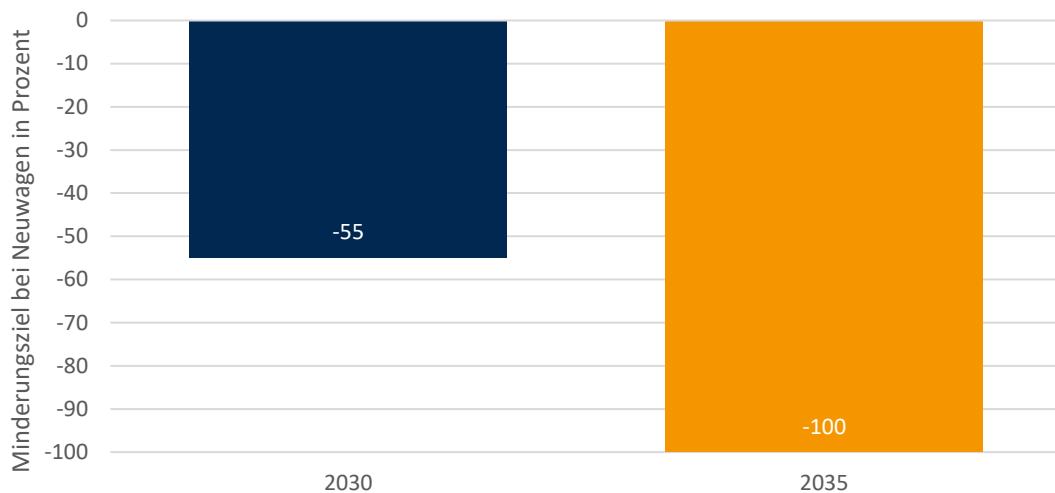
Die erforderlichen Traktionsbatterien machen bei rein batteriebetriebenen Fahrzeugen einen Großteil der Kosten aus. Um in Deutschland an der damit verbundenen Wertschöpfung teilzuhaben, zeichnet sich in den automobilen Wertschöpfungsketten ein Wandel ab. Derzeit wird die Batterieproduktion in Deutschland ausgebaut. Damit steigt der direkte Bedarf an Rohstoffen, die für die Batterieproduktion in Deutschland erforderlich sind. Gleichwohl gibt es weiterhin einen hohen indirekten Bedarf, da Batterien und vor allem Batteriezellen weiterhin im – europäischen und vor allem außereuropäischen – Ausland durch in Deutschland ansässige Hersteller zugekauft werden.

#### 5.1.1 Elektromobilität: Push durch „Fit-for-55“

Am 14. Juli 2021 hat die EU-Kommission ihr Klimapaket „Fit-for-55“ vorgestellt. Im Verkehrssektor sollen bis zum Jahr 2050 europaweit die Treibhausgasemissionen um 90 Prozent im Vergleich zu 1990 gesenkt werden. Dies soll unter anderem durch eine Anpassung der CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzen von Autos erreicht werden (Europäische Kommission, 2021a). Im zugehörigen „Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union“ sind die geplanten Änderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzen von Autos erheblich. Das „Fit-for-55“-Klimapaket sieht vor, die durchschnittlichen jährlichen Emissionen von Neuwagen ab dem Jahr 2030 um 55 Prozent und ab 2035 dann um 100 Prozent zu verringern (Europäische Kommission, 2021b).

Abbildung 8

## CO<sub>2</sub>-Minderungsziel bei Neuwagen nach Fit-for-55



Quelle: Europäische Kommission, 2021b; eigene Darstellung

Durch die neuen politischen Rahmenbedingungen haben Verbrennungsmotoren schon in naher Zukunft in der EU einen schweren Stand. Das vorgeschlagene Minderungsziel wäre ein faktisches Verbot der Neuzulassung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit Verbrennungsmotor ab 2035 in der EU. Dies würde bei Fortführung der geltenden „tank to wheel“-Konvention auch für Verbrennungsmotoren gelten, die mit E-Fuels betrieben werden, also synthetischen Kraftstoffen, die mit Strom aus Wasser und Kohlenstoffdioxid (Power-to-Fuel) hergestellt werden.

In Zukunft gewinnen Elektrofahrzeuge durch die neue Regulierung erheblich an Bedeutung. Dies gilt in erster Linie für vollelektrisch batteriebetriebene Fahrzeuge (BEV), deren Batterien ausschließlich über das Stromnetz geladen werden. Heute vorzufindende Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV), die mit Verbrennungs- und Elektromotor ausgestattet sind und deren Batterie über Bremsenergie und zusätzlich über das Stromnetz aufgeladen wird, werden aufgrund der in Zukunft nicht mehr zulässigen Verbrennungstechnik hingegen ebenfalls an Bedeutung verlieren. Letztlich wird erwartet, dass die neue Regulierung der EU-Kommission einen deutlich schnelleren Markthochlauf der Elektromobilität erforderlich macht (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2021).

Der schnellere Markthochlauf bleibt nicht ohne Auswirkungen auf die Rohstoffbedarfe, da die vollelektrisch batteriebetriebenen Fahrzeuge deutlich mehr Batterien und damit Rohstoffe erfordern als beispielsweise die Plug-in-Hybride. Für die Rohstoffbedarfe sind die Neuzulassungen von besonderem Interesse, da diese – anders als der Bestand – die Produktion widerspiegeln, für die Rohstoffe benötigt wird.

### 5.1.2 Batterietechnik, Batterieproduktion und Rohstoffe

Der Fokus der folgenden Ausführungen liegt auf den Rohstoffen für die Antriebsbatterien. Neben den Rohstoffen für die Antriebsbatterien (= Traktionsbatterien) benötigt die Elektromobilität noch Seltene Erden wie Neodym und Dysprosium, die in den Magneten der Elektromotoren zum Einsatz kommen. Je nach verwendeter Technologie werden dabei die Seltenen Erden in unterschiedlichem Maße benötigt. So benötigt eine stromerregte Synchronmaschine im Gegensatz zum permanenten Synchronmotor keine Seltenen Erden für die Magnete.

Die Elektrifizierung des Antriebs benötigt leistungsfähige Traktionsbatterien. Der schnellere Markthochlauf der Elektromobilität wird zu einer steigenden Nachfrage nach Rohstoffen führen, die für die Herstellung von Batterien benötigt werden. Wertmäßig machen die Antriebsbatterien in Zukunft den größten Kostenfaktor der Kraftfahrzeuge aus. Entsprechend gibt es vielfältige Anstrengungen, die Batterieproduktion vor Ort aufzubauen. Diese Anstrengungen werden ebenfalls kurz vorgestellt, da sich daraus der nationale Bedarf für Rohstoffe ergibt.

#### Technischer Hintergrund

Allgemein ist von batteriebetriebenen Fahrzeugen die Rede. Bei den Traktionsbatterien handelt es sich aber eher um Batteriesysteme. Diese Batteriesysteme bestehen aus mehreren Batteriemodulen und einem Batteriemanagementsystem, die auf unterschiedlichen Wegen verschaltet werden können. Die einzelnen Module bestehen wiederum aus mehreren Batteriezellen, die verbunden werden (DERA, 2021).

Derzeit stehen Lithium-Ionen-Batterien bei der Elektrifizierung der Antriebe im Fokus. Sie haben mehrere Eigenschaften, die sie für die Anwendung in Pkw und leichten Nutzfahrzeugen prädestinieren: Sie weisen eine hohe Energiedichte auf, weshalb sie auch bei einem limitierten Platzangebot wie im Pkw eingebaut werden können. Zudem haben sie hohe Wirkungsgrade beim Laden und Entladen sowie eine geringe Selbstentladung (DERA, 2021).

Bei den derzeitigen Lithium-Ionen-Batterien handelt es sich um Flüssigbatterien. Die einzelnen Batteriezellen bestehen aus zwei Elektroden (Kathode und Anode) und einem flüssigen Elektrolyt, beispielsweise ein Lithiumsalz in einer organischen Lösung, sodass sich Lithium-Ionen zwischen den beiden Elektroden beim Ladungs- und Entladungsvorgang bewegen können. In den einzelnen Batteriezellen werden die Elektroden gestapelt oder gewickelt und sind durch einen Separator physisch und elektrisch voneinander isoliert. Die einzelnen Batteriezellen können in einem festen Stahl-Aluminium-Gehäuse oder in einer Aluminiumverbundfolie verbaut sein (DERA, 2021).

Bei den Batteriezellen kann zwischen einer kobalthaltigen und kobaltfreien Batteriechemie unterschieden werden:

- Die meisten gängigen Lithium-Ionen-Zellen enthalten Kobalt, das gegen ein thermisches Durchgehen dieser Batterien mit hoher Energiedichte zum Einsatz kommt. Ihre Kathode

- besteht aus einem chemischen Gemisch aus Lithium, Kobalt, Mangan und Nickel; die Anode benötigt Graphit (Olivetti et al., 2017). Bei den kobalthaltigen Batterien wird zwischen Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid-Zellen (NCA) und Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid-Zellen (NMC) unterschieden. NCA-Batterien werden vor allem von Panasonic hergestellt und von Tesla eingesetzt. Die meisten anderen Autohersteller setzen bislang in erster Linie auf Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxide (NMC). Die NMC-Batterien sind in der Herstellung günstiger als NCA-Batterien und gelten als langlebiger als die NCA-Kathoden. Sie enthalten aber einen höheren Kobaltanteil als NCA-Zellen.
- Bei kobaltfreien Batteriezellen besteht die Kathode aus Lithium-Eisen-Phosphor-Oxid ( $\text{LiFePO}_4$  oder LFP). Sie haben eine geringere Energiedichte und eignen sich eher für Fahrzeuge mit kurzer Reichweite. Gleichzeitig sind sie günstiger als Lithium-Ionen-Zellen. Bislang kommen sie vor allem bei chinesischen Herstellern zum Einsatz. Auch Tesla setzt in China in seiner lokalen Produktion des Standard Range-Model 3 LFP-Batteriezellen ein, die der chinesische Hersteller CATL liefert. In Zukunft könnten kobaltfreie LFP-Zellen eine größere Rolle spielen. So setzt Tesla bei den einfacheren Modellen in Zukunft stärker auf LFP-Zellen (electrive.net, 2021a). Auch bei europäischen Herstellern könnten die kostengünstigeren LFP-Zellen in Zukunft eine Rolle spielen, zumindest in preissensiblen Segmenten wie Kleinwagen (electrive.net, 2021b).

Je nachdem, welche Technik und Batteriechemie zum Einsatz kommt, resultieren daraus unterschiedliche Rohstoffbedarfe. Deshalb kommt den Annahmen zur eingesetzten Batterietechnik bei der Fahrzeugproduktion eine erhebliche Bedeutung bei der Abschätzung des Rohstoffbedarfs zu. Werden beispielsweise bei sogenannten Volumenmodellen aus Kostengründen kobaltfreie statt kobalthaltige Batterien eingesetzt, dürfte der Kobaltbedarf erheblich sinken.

### Forschung und Weiterentwicklung

Viele Forschungs- und Entwicklungsbemühungen richten sich insbesondere auf die Reduzierung des Kobaletsatzes und die Steigerung der Energiedichte. Die Weiterentwicklung von NMC-Batterien setzt häufig an der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung aus den Rohstoffen Nickel, Mangan und Kobalt an (NMC-111, NMC-622, NMC-811), wobei die Zahlen für die Verhältnisse von Nickel, Mangan und Kobalt stehen. Während der NMC-111-Typ noch ca. 200 Gramm Kobalt je Kilogramm Zelle benötigt, sind es beim NMC-811-Typ ca. 60 Gramm Kobalt (Olivetti et al., 2017). Zu lösen sind insbesondere Probleme bei der Stabilität und der Sicherheit der NMC-811-Batterien. Das thermische Durchgehen scheint aber durch neue Materialien zur Trennung von Kathode und Anode gelöst (electrive.net 2021c). Neu sind auch kobaltfreie NMX-Zellen, die zu 75 Prozent aus Nickel und 25 Prozent aus Mangan bestehen, wie sie der chinesische Hersteller SVOLT seit Mitte 2021 anbietet. Diese sollen fünf Prozent günstiger sein als kobalthaltige Batterien, zugleich aber auch nur fünf Prozent weniger leistungsfähig (electrive.net, 2021d). Zudem wird an weiteren Batterietypen geforscht, bei denen Rohstoffe wie Silizium, Titan und Niob zum Einsatz kommen (Europäische Kommission, 2020a). Auch bei den kobaltfreien LFP-Zellen gibt es Fortschritte. So hat der chinesische Hersteller BYD durch einen technischen Kniff dem voluminösen Eisenphosphat deutlich mehr Raum in der Batterie verschafft, sodass Reichweitennachteile aufgrund der geringeren Energiedichte verringert werden (FAZ, 2021).

Bei der Batterietechnik und ihren Herstellungsprozessen wird es auch zukünftig noch viele Veränderungen geben. Dahinter stehen vielfältige F+E-Anstrengungen. So gibt es das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierte Kompetenzcluster ProZell, das die wissenschaftliche Basis für den Aufbau und die nachhaltige Weiterentwicklung einer international führenden, wettbewerbsfähigen Batteriezellproduktion in Deutschland legen soll. Im Kompetenzcluster arbeiten über 36 Institute von 19 deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammen. Zu den schon erreichten Ergebnissen gehören neue Elektroden mit verbesserten Energieeigenschaften und neue Prozesstechniken, die im Produktionsprozess die Energiekosten und den ökologischen Fußabdruck verringern (<https://prozell-cluster.de/>). Auch in Bayern wird Batterietechnologie gezielt gefördert.

Wie lange Flüssigbatterien noch Stand der Technik in batteriebetriebenen Fahrzeugen sein werden, ist ebenfalls offen. So wird an Feststoffbatterien gearbeitet, die ein Festelektrolytmaterial verwenden. Feststoffbatterien sind kompakter, was eine höhere Reichweite ermöglicht, haben kürzere Ladezeiten und gelten als sicherer. Der US-amerikanische Hersteller Solid Power, an dem unter anderem Ford und BMW beteiligt sind und der ein Festelektrolytmaterial auf Sulfidbasis verwendet, arbeitet derzeit beispielsweise daran, die Voraussetzungen für Batteriezellen im Automobilmaßstab zu schaffen (electrive.net, 2021e). Auf die Rohstoffbedarfe dürfte diese Entwicklung nach Expertenmeinung aber nur wenig Einfluss haben, da sich die grundlegende Zusammensetzung der Materialien der Batterien nicht grundlegend ändert. Zudem dürfte es noch einige Jahre dauern, bis die Feststoffbatterien im Automobilbereich zum Einsatz kommen können (Business Insider, 2021). In seiner Studie „i Vision Circular“ hat BMW auf der IAA 2021 gezeigt, wie ein Kompaktauto im Jahr 2040 aussehen könnte. Das Fahrzeug hat eine zu 100 Prozent recyclingfähige Feststoffbatterie verbaut, die aus Materialien zusammengesetzt werden soll, die selbst aus dem Recyclingkreislauf stammen (electrive.net, 2021f). Hier zeigt sich bereits eine Handlungsmöglichkeit zur Sicherung der Rohstoffversorgung auf, die weiter unten diskutiert wird.

Die Batterieentwicklung gilt als hochdynamischer Bereich (FAZ, 2021). Die verschiedenen Forschungsanstrengungen und -ergebnisse zeigen, dass die Abschätzung des Rohstoffbedarfs immer eine Momentaufnahme mit Annahmen zum Stand der Technik ist. Daher sind die Annahmen, die hinter dem geschätzten Rohstoffbedarf stehen, transparent darzustellen.

### **Batterieproduktion in Deutschland**

Die Wertschöpfungskette einer Lithium-Ionen-Batterie beginnt bei der Bergwerksförderung und Weiterverarbeitung von Rohstoffen. In einem nächsten Schritt werden in der Präkursor-Herstellung meist Pulver oder Pasten gewonnen, die in die Herstellung von Kathode, Anode und Elektrolyt einfließen. Diese werden in der Zellfertigung zu Batteriezellen, um anschließend in der Batterieproduktion zu Modulen und Batteriesystemen verbaut zu werden (DERA, 2021). Die Herstellung von Batteriezellen, -modulen und -systemen wird als Batterieproduktion bezeichnet.

Für den direkten Rohstoffbedarf in Deutschland sind Fabriken relevant, die Batteriezellen fertigen. Daneben gibt es in Deutschland auch Fabriken, die ausschließlich Batteriemodule und -systeme fertigen, wie BMW in Leipzig, Volkswagen in Braunschweig oder Daimler in Kamen. Diese setzen Zellen anderer Hersteller ein, die ihrerseits Abnehmer der Rohstoffe sind (Automobil Produktion, 2021).

Derzeit sind in Deutschland viele Zellfabriken geplant (siehe Tabelle 4). Die Gesamtkapazität könnte damit schon bald zwischen 109 und 242,5 Gigawattstunden (GWh) betragen. Wie hoch die Gesamtkapazität ausfallen wird, hängt stark von Tesla ab, dessen Kapazitätsankündigungen stark schwanken. Waren ursprünglich zu Produktionsbeginn 100 GWh vorgesehen (auto motor sport. 2021), scheinen es nach dem jüngsten Bauantrag „nur“ 50 GWh zu werden. Im Endausbau wird daher mit maximal 100 GWh gerechnet, es war aber auch schon von 250 GWh die Rede. Neben den genannten Fabriken plant auch Porsche eine Zellfertigung in Deutschland, die allerdings nur 0,1 GWh umfassen soll.

Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) schätzt die anfängliche jährliche Zellproduktion auf 55 GWh, wobei vor allem die Kapazität von Tesla in Grünheide nicht darin enthalten ist. Im Endausbau rechnet die DERA mit einer Zellfertigungskapazität zwischen 215 und 245 GWh (DERA, 2021). Die deutschen Hersteller produzieren zugleich im hohen Maße im Ausland. So schätzt Volkswagen, dass im Jahr 2030 in Europa 70 Prozent seiner Fahrzeuge rein batterieelektrisch betrieben sein werden. Vor diesem Hintergrund wird ein weltweiter Batteriebedarf des Konzerns von 250 bis 300 GWh erwartet (Handelsblatt, 2021a).

Tabelle 4

## Geplante Batteriezellfabriken in Deutschland

| Standort          | Bundesland        | Betreiber  | Startjahr | Kapazität (GWh) | Geplante Ausbaustufe (GWh) |
|-------------------|-------------------|------------|-----------|-----------------|----------------------------|
| Salzgitter        | Niedersachsen     | Volkswagen | 2025      | 16              | 40                         |
| Kaiserslautern    | Rheinland-Pfalz   | ACC        | 2023      | 8               | 24                         |
| Überhern          | Saarland          | SVolt      | 2023      | 6               | 24                         |
| Willstätt         | Baden-Württemberg | Leclanché  | 2022      | 1               | 2,5                        |
| Ludwigsfelde      | Brandenburg       | Microvast  | 2021      | 8               | 12                         |
| Grünheide         | Brandenburg       | Tesla      | 2021      | 50              | 100                        |
| Bitterfeld-Wolfen | Sachsen-Anhalt    | Farasis    | 2022      | 6               | 16                         |
| Arnstadt          | Thüringen         | CATL       | 2022      | 14              | 24                         |
| Gesamt            | Deutschland       |            |           | 109             | 242,5                      |

Quellen: DERA (2021), Produktion.de (2021), wiwo.de (2021); auto motor sport (2021)

### 5.1.3 Szenarien zum Rohstoffbedarf, Bewertung der Rohstoffsituation und Handlungsmöglichkeiten

Der zukünftige (weltweite und nationale) Rohstoffbedarf für die Traktionsbatterien hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab, die sich aus zahlreichen Parametern zusammensetzen:

- der Anzahl der neu zugelassenen Fahrzeuge mit Elektroantrieb (Prognosen zum Hochlauf der Elektromobilität und der damit verbundenen Batteriekapazität),
- der Ausstattung der Fahrzeuge mit Batteriekapazitäten sowie
- der Art der verwendeten Batterietechnik, die über den Rohstoffeinsatz je Einheit Batteriekapazität entscheidet.

## Weltweite Entwicklung der Fahrzeugneuzulassungen

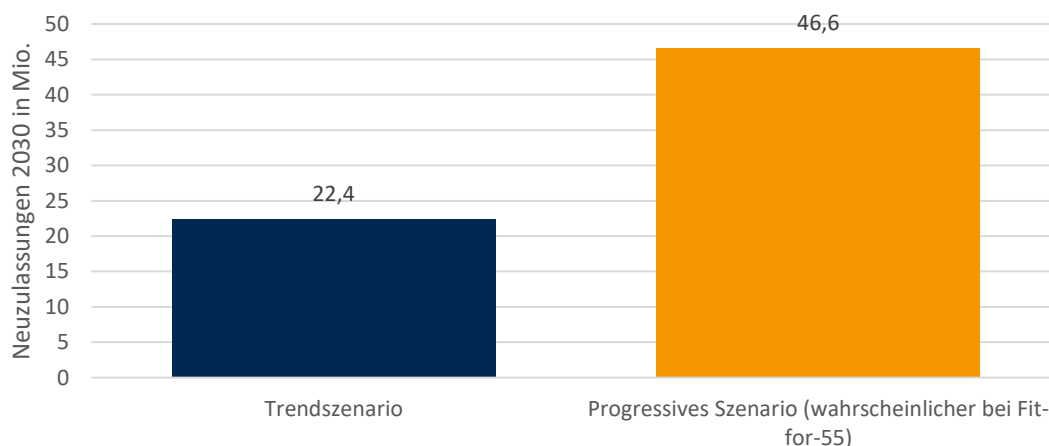
Szenarien zu den Fahrzeugneuzulassungen geben Auskunft darüber, wie sich die Zahl der Fahrzeuge entwickeln wird. Dabei sind in der Vergangenheit Prognosen häufig durch die Realität in Frage gestellt worden. Dennoch ist ohne solche Szenarien kein Abschätzen des Rohstoffbedarfs möglich.

Die bekannten Trendszenarien zur Mobilität der Zukunft rechnen mit deutlich weniger rein batterieelektrischen Fahrzeugen als die Szenarien mit einem stärkeren Ausbau der Elektromobilität. In einer Studie für die Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft erwarten Fraunhofer IAO und IW Consult im Trendszenario für das Jahr 2030 rund 91,4 Millionen Neuzulassungen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen. Davon sollen rund 22,4 Millionen oder 24,5 Prozent rein batterieelektrische Fahrzeuge sein (vbw, 2020a). Bis zum Jahr 2040 soll die Zahl dann auf 63,1 Millionen Fahrzeuge steigen (IW Consult et al., 2021).

Im Szenario mit einem stärkeren Ausbau der Elektromobilität werden bei den Neuzulassungen im Jahr 2030 rund 46,6 Millionen rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge und bis 2040 rund 76,6 Millionen solcher Fahrzeuge erwartet (IW Consult et al., 2021). Der große Unterschied besteht vor allem im Jahr 2030, weil es sich um ein Szenario mit der schnelleren Verbreitung der Elektromobilität handelt. Dieses Szenario ist vor dem Hintergrund des „Fit for 55“-Klimapakets der Europäischen Kommission deutlich wahrscheinlicher geworden.

Abbildung 9

Weltweite Neuzulassungen im Jahr 2030 von rein batteriebetriebenen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in Millionen



Quelle: IW Consult et al. (2021); eigene Berechnung



## Benötigte Batteriekapazitäten

Aus den Neuzulassungen lässt sich die erforderliche weltweite Batteriekapazität für die Elektromobilität ableiten. Dabei wird nur der Rohstoffbedarf für rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge in den Blick genommen. Die Batteriekapazität hängt von der Anzahl der Neuzulassungen und den eingesetzten Batteriekapazitäten ab.

Es liegen unterschiedliche Szenarien zu den erforderlichen Batteriekapazitäten von Elektrofahrzeugen vor:

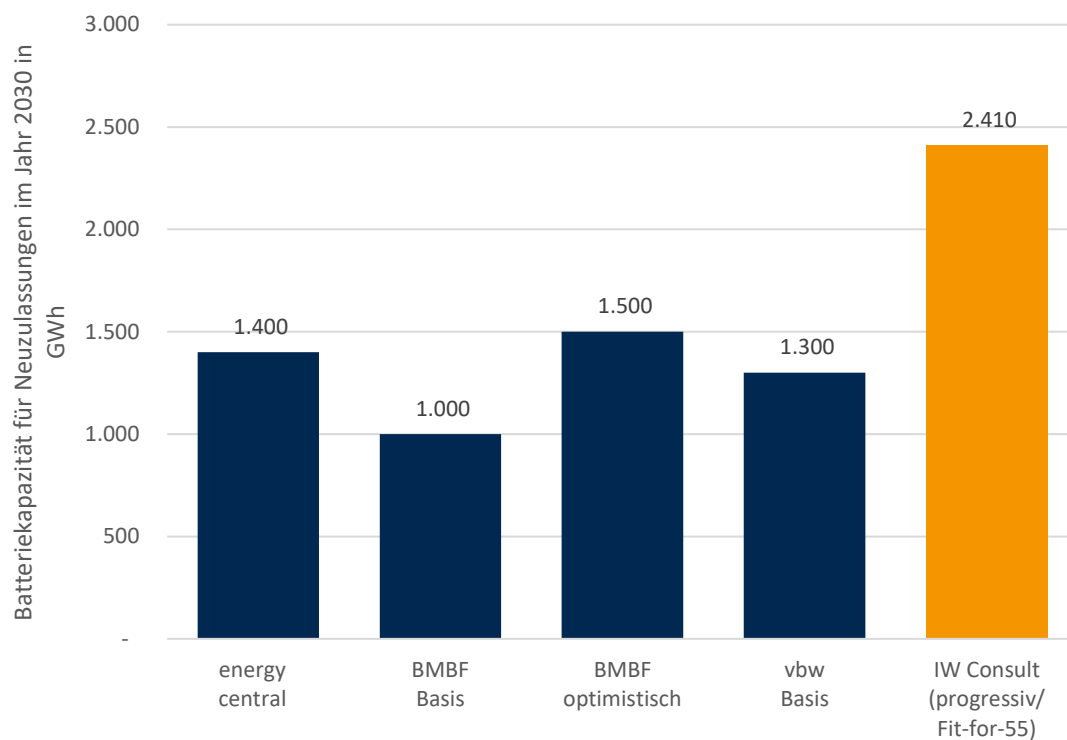
- Energy central, eine von internationalen Energieunternehmen getragene Organisation, schätzt für das Jahr 2030 die benötigte Batteriekapazität für elektrifizierte Pkw auf rund 1.400 GWh (energy central, 2020).
- Buchert et al. errechnen in einer Studie im Auftrag des BMBF für das Jahr 2030 in zwei Szenarien einen Bedarf von 1.000 GWh und 1.500 GWh (Buchert et al., 2019).
- Das World Economic Forum und die Global Battery Alliance schätzen die benötigte Batteriekapazität für das Jahr 2030 im Bereich Elektromobilität auf 2.330 GWh, wobei nicht nur Pkw, sondern auch Pedelecs, Krafträder, Busse, Minibusse sowie leichte und schwere Lkw einbezogen sind (WEF/Global Battery Alliance, 2019).
- Die IW Consult GmbH schätzt auf Basis der Verteilung der Fahrzeugtypen (vbw, 2020a) im Vorgängerbericht dieser Studie für das Trendszenario im Jahr 2030 eine erforderliche Batteriekapazität für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge von rund 1.300 GWh (vbw, 2020b).

Unter Berücksichtigung der höheren Fahrzeugzahl mit batterieelektrischem Antrieb im Szenario eines schnelleren Markthochlaufs der Elektromobilität, wie er aufgrund der neuen Regulierung durch die EU-Kommission wahrscheinlicher wird, ergibt sich unter den gleichen Annahmen zur Batterietechnik wie in der IW Consult-Schätzung für das Jahr 2030 eine erforderliche Batteriekapazität nur für rein batterieelektrisch betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge von 2.410 GWh.

Bis zum Jahr 2040 würde der Bedarf bei unveränderten Annahmen auf 3.960 GWh ansteigen. Damit fällt der Bedarf im Jahr 2030 rund 1.000 GWh höher aus als in den bisher berücksichtigten Szenarien. Dies gilt auch für das optimistische Szenario von Buchert et al., die von der Annahme ausgehen, dass im Jahr 2030 gut die Hälfte der rund 90 Millionen Neuzulassungen auf Hybridfahrzeuge, vollelektrische Pkw oder Brennstoffzellen-Pkw entfallen (Buchert et al., 2019). Im hier zugrundeliegenden Szenario des schnellen Markthochlaufs wird dagegen von einem Anteil von rund zwei Dritteln ausgegangen.

Abbildung 10

Weltweit benötigte Batteriekapazität im Jahr 2030 für rein batterieelektrisch betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Gigawattstunden (GWh)



Quellen: energy central (2020); Buchert et al. (2019), vbw (2020b); IW Consult et al. (2021); eigene Berechnung

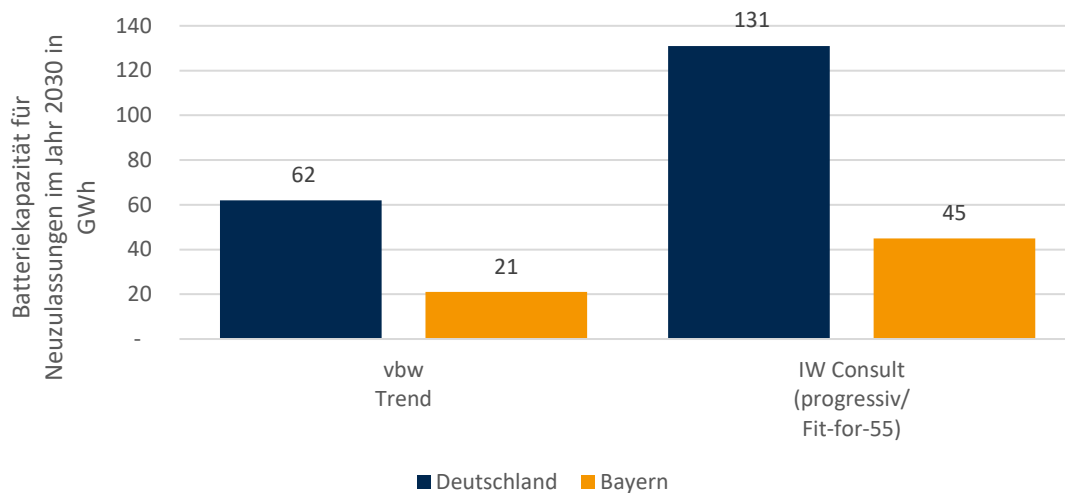
Unter Fortschreibung der heutigen Weltmarktanteile der bayerischen und deutschen Automobilindustrie auf die Struktur der Neuzulassungen im Jahr 2030 wird die benötigte Batteriekapazität für rein batteriebetriebene Fahrzeuge ohne deren schnellen Markthochlauf im Trendszenario auf rund 62 GWh für die Automobilproduktion in Deutschland und rund 21 GWh in Bayern geschätzt (vbw, 2020b, eigene Berechnung).

Diese Kapazität liegt deutlich unter den geplanten Kapazitäten für die Batterieproduktion in Deutschland, die in den nächsten Jahren auf 109 bis 242,5 GWh ansteigen soll – wobei der höhere Endwert des Kapazitätsausbaus vor allem durch die Ankündigung durch Tesla getrieben wird (siehe oben Tabelle 4). Zudem dürften weitere Batterien importiert werden, sodass die Automobilindustrie mit einem stärkeren Anstieg als in dem Basisszenario zu rechnen scheint.

Werden die Annahmen über die Neuzulassungen des progressiven Szenarios mit schnellerem Markthochlauf verwendet, steigt der Batteriebedarf in der Automobilproduktion in Deutschland auf rund 131 GWh und in Bayern auf knapp 45 GWh. Angesichts der höheren geplanten Produktionskapazität ist zu erwarten, dass die Fahrzeuge in Zukunft mit leistungsstärkeren Batterien ausgestattet werden, sodass mit einer höheren benötigten Batteriekapazität zu rechnen ist.

Abbildung 11

In Bayern und Deutschland benötigte Batteriekapazität im Jahr 2030 für rein batterieelektrisch betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Gigawattstunden (GWh)



Quelle: vbw (2020b); IW Consult et al. (2021); eigene Berechnung

### Bedarf an Rohstoffen für die Elektromobilität

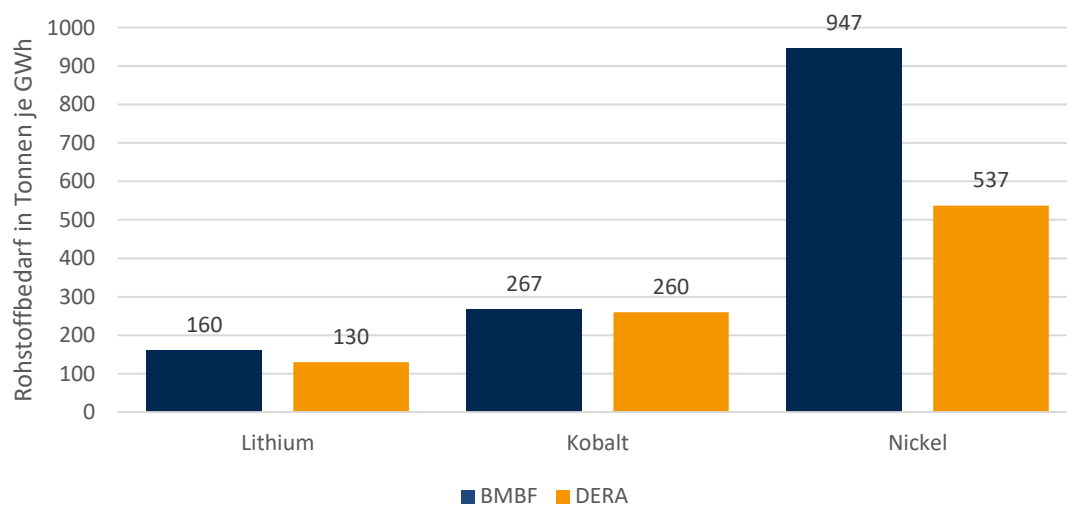
Der Rohstoffbedarf lässt sich unter der Verwendung von Annahmen zu den verwendeten Technologien schätzen. Meist wird davon ausgegangen, dass sich die chemische Zusammensetzung der Lithium-Ionen-Batterien ändern und Kobalt zunehmend durch Nickel und Mangan ersetzt wird. Aus den Prognosen zur Batteriekapazität und den eingesetzten Batterietypen wird der Rohstoffbedarf für die Traktionsbatterien abgeleitet. Sie beziehen sich insbesondere auf die Rohstoffe Lithium, Kobalt und Nickel. Eine der Schätzungen bezieht auch Graphit ein.

Zwei Studien liefern Angaben zur Batteriekapazität und den erwarteten Rohstoffbedarfen. In einer BMBF-Studie wird im Jahr 2030 für eine weltweite Batteriekapazität von 1.500 GWh ein Rohstoffbedarf von 240.000 Tonnen Lithium, 400.000 Tonnen Kobalt, 1,42 Millionen Tonnen Nickel sowie rund 1,4 Millionen Tonnen Graphit erwartet (Buchert et al., 2019). Die Deutsche Rohstoffagentur schätzt – ausgehend von der Batterieproduktionskapazität in Deutschland von 215 GWh und Annahmen zur Batterieart – den Rohstoffbedarf

auf 28.000 Tonnen Lithium, 56.000 Tonnen Kobalt und 115.000 Tonnen Nickel (DERA, 2021). Diese Rohstoffbedarfe können je GWh ausgedrückt werden (siehe Abbildung 12). Die erkennbaren Unterschiede resultieren aus den verschiedenen Annahmen zur Batteriechemie. Während Buchert et al. den weltweiten Bedarf schätzen und von NMC- und schwerpunktmäßig von NCA-Batteriezellen ausgehen, setzt die DERA für die Produktion in Deutschland nur NMC-Zellen in verschiedenen chemischen Zusammensetzungen an.

Abbildung 12

Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 je GWh Batteriekapazität



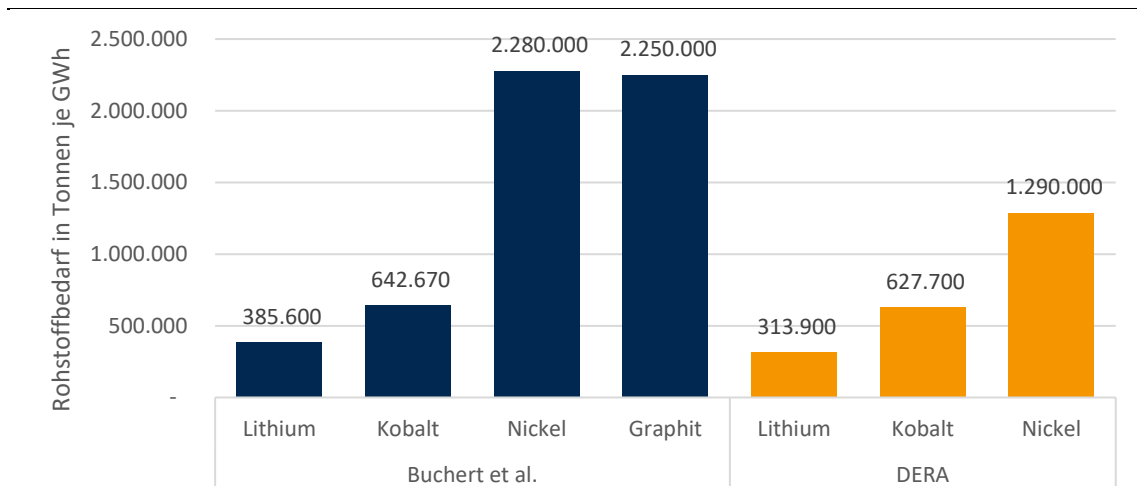
Quelle: Buchert et al., 2019; DERA (2021); eigene Berechnung

Die Angaben zum Rohstoffbedarf je GWh können genutzt werden, um den höheren Rohstoffbedarf beim schnelleren Markthochlauf abzuschätzen. Werden im Jahr 2030 weltweit anstatt 1.500 GWh Batteriekapazität 2.410 GWh nur für die batterieelektrisch betriebenen Fahrzeuge benötigt, sind unter Verwendung der Annahmen von Buchert et al. (2019) und der DERA (2021) deutlich höhere Rohstoffbedarfe zu erwarten (Abbildung 13): Während bei Lithium und Kobalt bei beiden Ansätzen ähnliche Mengen erwartet werden, laufen die Schätzungen für Nickel deutlich auseinander. Dies liegt vor allem an den unterschiedlichen Annahmen zu den Batterietypen.

Für Deutschland und Bayern lässt sich der Rohstoffbedarf für die Traktionsbatterien ebenfalls abschätzen. Ausgehend von der oben ermittelten erforderlichen Batteriekapazität in Deutschland von 131 GWh und in Bayern von 45 GWh ergeben sich unter den verschiedenen Werten zum Rohstoffeinsatz je GWh Batteriekapazität die in Tabelle 5 dargestellten Rohstoffbedarfe. Der höhere Nickelbedarf bei Buchert et al. geht insbesondere auf die stärkere Gewichtung von NCA-Batteriezellen zurück.

Abbildung 13

Weltweite Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 bei einer Batteriekapazität von 2.410 GWh



Quelle: Buchert et al., 2019; DERA (2021); eigene Berechnung

Tabelle 5

Geschätzte Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 für die Batteriezellenproduktion in Deutschland

|             | Deutschland (131 GWh) |        | Bayern (45 GWh) |        |
|-------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|
| Deutschland | Buchert et al.        | DERA   | Buchert et al.  | DERA   |
| Lithium     | 21.000                | 17.100 | 7.100           | 5.800  |
| Kobalt      | 34.900                | 34.100 | 11.900          | 11.600 |
| Nickel      | 124.000               | 70.000 | 42.200          | 23.800 |
| Graphit     | 122.200               | k. A.  | 41.600          | k. A.  |

Quellen: Buchert et al. (2019); DERA (2021); vbw (2020b); IW Consult et al. (2021); eigene Berechnung

Der letzte Rohstoffbedarf für Deutschland und Bayern für die Elektromobilität hängt von der weltweiten Marktentwicklung, den deutschen und bayerischen Marktanteilen bei den verschiedenen Varianten von Elektrofahrzeugen sowie der Kapazität der nachgefragten Batterien ab. Angesichts der umfassenden Forschungsanstrengungen sind hier noch deutliche Veränderungen zu erwarten.

## Rohstoffreserven

In den hier vorgelegten Rohstoff-Risiko-Index gehen aktuelle Informationen zu den Rohstoffreserven ein. Diese zeigen an, welche Mengen der natürlichen Ressourcen zum heutigen Stand der Technik wirtschaftlich abbaubar sind. Die natürlichen Ressourcen sind in der Regel um ein Vielfaches höher. Die Angaben zu den Reserven können sich schnell ändern. So gibt es bei Lithium vielfältige Anstrengungen, neue Reserven zu erschließen, sei es in Australien oder am Oberrhein (Handelsblatt, 2021b). Insgesamt sind folgende Rohstoffreserven bekannt, wie sie in Tabelle 6 dargestellt sind. Anhand der weltweiten Bedarfe lässt sich ein Verhältnis berechnen, wie oft der jährliche Bedarf aus den Reserven bei einem schnellen Markthochlauf der batterieelektrisch betriebenen Elektromobilität bedient werden kann. Dieses Verhältnis abstrahiert von weiteren Verwendungen, die ebenfalls Rohstoffe benötigen und darf daher nicht mit einer statischen Reichweite verwechselt werden. Gleichwohl wird sehr gut deutlich, dass vor allem Kobalt bei einem schnellen Hochfahren der Elektromobilität mit kobalthaltigen Lithium-Ionen-Akkus zum Engpass werden kann. Die übrigen Rohstoffe können hingegen als ausreichend vorhanden angesehen werden.

Tabelle 6

Aktuelle Rohstoffreserven und Rohstoffbedarfe für Traktionsbatterien weltweit im Jahr 2030

|         | Reserve         | Bedarf 2030 bei 2.410 GWh |                              |
|---------|-----------------|---------------------------|------------------------------|
|         | Tonnen          | Tonnen                    | Verhältnis<br>Reserve/Bedarf |
| Lithium | 21.000.000      | 385.600                   | 54                           |
| Kobalt  | 7.100.000       | 642.670                   | 11                           |
| Graphit | 320.000.000.000 | 2.250.000                 | 142.222                      |
| Nickel  | 94.000.000      | 2.280.000                 | 41                           |
| Mangan  | 1.300.000.000   | k. A.                     | k. A.                        |

Quelle: IW Consult (2021); eigene Berechnung

## Versorgungsrisiken bei den Rohstoffen

Die steigende Batterienachfrage führt zu einer hohen Nachfrage nach Rohstoffen. Grundsätzlich gelten alle betrachteten Rohstoffe – mit Ausnahme von Kobalt – auch im Szenario eines schnelleren Hochlaufs der batteriebetriebenen Elektromobilität als ausreichend vorhanden. Angesichts der Reserven und Bedarfe ist somit keine absolute physische Verknappung zu erwarten. Gleichwohl können die Versorgung durch andere Risiken gefährdet und trotz der ausreichenden Reserven temporäre Verknappungen bei der Rohstoffversorgung

oder Preissteigerungen für einzelne Rohstoffe möglich sein. Solche Risiken ergeben sich, wenn die Rohstoffgewinnung auf wenige Länder beschränkt ist, wie bislang bei Kobalt oder Lithium. Wird die Lieferung von Rohstoffen (industrie-)politisch instrumentalisiert oder nutzen einzelne Unternehmen ihre Marktmacht aus, ist eine Substitution durch andere Rohstoffe unmöglich.

Die Risikobewertung des Rohstoffangebots erfolgt über den hier vorgelegten Rohstoff-Risiko-Index. Darin gehen unter anderem die Rohstoffreserven, die Abbaukapazitäten, die Machtkonzentration auf den Rohstoffmärkten, die Preisrisiken, die politischen Risiken in den Förderländern ein (vgl. auch die Darstellung im Anhang). Die Zuordnung der Rohstoffe für die Traktionsbatterien ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7

Rohstoffe für die Elektromobilität im Rohstoff-Risiko-Index

| Risikogruppe                           | Rohstoffe                |
|----------------------------------------|--------------------------|
| Rote Gruppe                            | Kobalt, Lithium, Graphit |
| Orange Gruppe                          | Mangan, Nickel           |
| Grüne Gruppe                           | –                        |
| Quelle: Eigene Berechnungen IW Consult |                          |

### Handlungsmöglichkeiten zur Sicherung der Rohstoffversorgung

Die Fallstudie zeigt, dass die rein batterieelektrisch betriebene Elektromobilität mit den Lithium-Ionen-Batterien gleich drei Rohstoffe (Kobalt, Lithium, Graphit) benötigt, die im Rohstoff-Risiko-Index zur roten Gruppe zählen, also Rohstoffe mit besonders hohen Versorgungsrisiken. Auch Nickel und Mangan als Rohstoffe der orangefarbenen Gruppe spielen eine wichtige Rolle.

Gleichzeitig ist deutlich geworden, dass die Schätzungen zum Rohstoffbedarf stark von den Annahmen zur Batterietechnik abhängen. Insofern erfordert die Beantwortung der Frage, wie sich die Rohstoffversorgung für die Elektromobilität sichern lässt, nicht nur politische, sondern auch technische Lösungen. Insgesamt lassen sich drei Maßnahmenstränge identifizieren:

- *Rohstoffbedarfe durch technologische Weiterentwicklung reduzieren:*  
Insbesondere Kobalt ist ein kritischer Rohstoff, dessen Reichweite am ehesten begrenzt ist. Hier gilt es, den Rohstoffbedarf durch die Elektromobilität zu verringern. Dazu gibt es, wie oben gezeigt wurde, zahlreiche Forschungsanstrengungen. Fortschritte bei kobaltfreien Batterien lassen erwarten, dass zumindest in Teilen der Elektromobilität auch Batterien eingesetzt werden können, die bestimmte Rohstoffe nicht benötigen. So kann es sein, dass kobalthaltige Batterien nur noch im Premiumsegment eingesetzt werden,

während im Massenmarkt weniger leistungsfähige, kobaltfreie Batterien eingesetzt werden. Auch bei kobalthaltigen Batterien selbst gibt es Fortschritte zur Reduzierung des Kobaltgehalts. Dies würde auch bei einer hohen benötigten Batteriekapazität die Reichweite der bekannten Kobaltreserven deutlich erhöhen. Ob in Zukunft überhaupt Lithium-Ionen-Akkus verwendet werden, ist angesichts des hochdynamischen Forschungsumfelds ebenfalls noch nicht ausgemacht. An vielen Forschungsinstituten in Asien und den USA wird an kleineren, sichereren und kostengünstigen Alternativen zu Lithium-Ionen-Akkus geforscht. In Deutschland arbeitet der Exzellenzcluster POLiS („Energiespeicherung jenseits von Lithium“) in Ulm, Karlsruhe und Gießen an der Erforschung und Entwicklung neuer Batteriesysteme (FAZ, 2021).

- *Sekundärrohstoffe und Recycling als alternative Rohstoffquellen nutzen:*  
Recycling ist eine weitere Möglichkeit, um den Rohstoffbedarf zu decken. Das Recycling von Fahrzeugbatterien gilt als technisch machbar. Nickel und Kobalt können zu über 90 Prozent aus gesammelten Batterien zurückgewonnen werden. Wie oben bereits aufgezeigt, spielt Recycling in den langfristigen strategischen Überlegungen eine große Rolle. In der kurzen Frist wird allerdings angesichts der prognostizierten Wachstumspfade, der Lebensdauer von Batterien von mindestens acht Jahren sowie dem Stand der Recyclingtechnologie keine nennenswerte Rohstoffversorgung aus der Wiederverwendung ausgedienter Batterien erwartet (vbw, 2020b). Zwar sind im Jahr 2020 schon mehrere Tausend Tonnen Alt-Akkus, vorwiegend aus Rückrufaktionen und Vorserienfahrzeugen, angefallen, allerdings fehlt es noch an einer Standardisierung beim Recycling. Für das Jahr 2025 wird bereits mit 160.000 Tonnen Altbatterien gerechnet. Bis zum Jahr 2030 oder 2050 ist also mit viel Recyclingmaterial zu rechnen, das nennenswerte Mengen Sekundärrohstoffe für Batterieproduktion erzeugen kann (Handelsblatt, 2021c).
- *Politik zur Sicherung der Rohstoffversorgung:*  
Rohstoffförderländer können beim Aufbau nachhaltiger Bergbaustrukturen unterstützt werden, um politische Versorgungsrisiken zu verringern und die gesellschaftliche Akzeptanz des Rohstoffbezugs zu verbessern. Der Staat kann geeignete internationale Rahmenbedingungen für einen fairen Zugang zu Rohstoffen auf den Weltmärkten aushandeln, um die Rohstoffquellen zu diversifizieren. Zudem können durch politische Maßnahmen die technologische Weiterentwicklung der Batterietechnik und die Gewinnung von Sekundärrohstoffen gefördert werden. So kann die Forschungspolitik die vielfältigen Anstrengungen innerhalb der Innovationssysteme gezielt unterstützen und stärken.



## 5.2 Wasserstoff

Grüner Wasserstoff als Plattform-Rohstoff auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaft führt zu deutlich steigendem Bedarf von Elektrolyse-Anlagen. Je nach anvisierter Elektrolysetechnologie könnten Engpässe bei den kritischen Rohstoffen Iridium und Platin den angestrebten Ausbau beeinträchtigen.

### 5.2.1 Wasserstoff als Plattform-Rohstoff

Die nationalen Regierungen in Europa und der Welt verschreiben sich in verstärktem Maße der Aufgabe, die Ursachen von Erderwärmung und Klimawandel anzugehen. Nach dem Pariser Abkommen haben sich alle unterzeichnenden 195 Nationen völkerrechtlich verpflichtet, Maßnahmen zum nationalen Klimaschutzbeitrag zu erarbeiten und umzusetzen. In Deutschland hat man sich mit der nationalen Ratifizierung dazu verpflichtet, bis zum Jahr 2030 die Treibhausgasemissionen um 65 Prozent zu senken und bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu sein (Bundesregierung, 2021).

Zur Erreichung dieses Ziels muss die Verbrennung fossiler Brennstoffe in den Sektoren Industrie, Wärme, Mobilität und Stromerzeugung deutlich reduziert werden. Ein wesentlicher Ansatzpunkt liegt dabei in der verstärkten Nutzung von grünem Wasserstoff. Als Grundbaustein gasförmiger oder flüssiger Energieträger, die auf Basis erneuerbarer Energien gewonnen werden, wird Wasserstoff künftig unumgänglich sein für alle Nutzungen, in denen eine direkte Stromnutzung technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist (Fraunhofer ISE, 2019). Insbesondere Unternehmen der Stahl- und Chemieindustrie werden zunehmend auf grünen Wasserstoff angewiesen sein, um klimaneutral produzieren zu können (Handelsblatt, 2021d).

Wasserstoff ist als natürliches Element ein Energieträger, der vergleichsweise aufwands- und risikolos gespeichert, transportiert und umgewandelt werden kann. Dabei besitzt Wasserstoff die höchste gewichtsbezogene Energiedichte, ist leichter als Luft, weder giftig noch ätzend, entzündet sich nicht selbst und verbrennt rückstandsfrei (bdew, 2021). Aufgrund der guten Speicherbarkeit können die Wasserstofferzeugung und -nachfrage voneinander entkoppelt werden. Zudem lässt sich für die Distribution zum Anwender oder Verbraucher die bereits bestehende Gasinfrastruktur zumindest teilweise nutzen.

Als Energieträger ist Wasserstoff beispielsweise in den folgenden Gebieten einsetzbar (bdew, 2021):

- im Mobilitätssektor als Kraftstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge (v. a. Schwerlastfahrzeuge) oder zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen für Verbrennungsmotoren,
- im Stromsektor zur Stromerzeugung mittels Gas-to-Power für den Einsatz in Gasturbinen oder Brennstoffzellen,
- im Wärmesektor als Energiespeicher, zur Einspeisung ins Wärmenetz oder zur Beheizung von Gebäuden via Brennstoffzelle in modernen Quartierskonzepten,
- im Industriesektor zur Erzeugung von Stickstoffdünger oder im Rahmen von Prozessen, die nicht elektrifizierbar sind (z. B. Stahlerzeugung),

- für die Kopplung der Sektoren Mobilität, Wärme, Strom und Industrie.

Aufgrund dieser breiten Einsetzbarkeit spielt Wasserstoff die Schlüsselrolle eines Plattform-Rohstoffes für die anvisierte Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft (Öko-Institut, 2020). Diese Bedeutung spiegelt sich auch in den einschlägigen Bedarfsprognosen wider, die eine Vervielfachung des Wasserstoffbedarfes vorhersagen:

- Während der globale Wasserstoffbedarf heute bei ca. 2.400 Terawattstunden (TWh) liegt, soll er im Jahre 2040 knapp 4.600 TWh ausmachen. Für das Jahr 2070 wird laut einer PwC-Studie sogar eine Versiebenfachung auf 17.390 TWh prognostiziert (PwC, 2021).
- Auch in anderen Prognosen wird von einer starken Bedarfserhöhung ausgegangen. Laut einer Studie des Fraunhofer IKTS betrug der globale Wasserstoffbedarf im Jahr 2015 etwa 8 Exajoule (EJ) (also ca. 2.220 TWh). Für das Jahr 2050 werden hingegen etwa 80 EJ (also ca. 22.200 TWh) prognostiziert (Fraunhofer IKTS, 2021). Prognosegrundlage ist hier die Verwendung von Wasserstoff vor allem für die Bereiche Stromerzeugung, Transport, industrielle Energieerzeugung, Gebäudeheizung sowie für neue Anwendungen.
- Für Deutschland wird der Wasserstoffbedarf für das Jahr 2030 auf 90 bis 110 Terawattstunden (wovon 14 TWh auf grünen Wasserstoff entfallen; BMWi, 2020) sowie für das Jahr 2050 auf 250 bis 800 TWh taxiert (Fraunhofer ISE, 2019). Dabei beruht die Schwankungsbreite des vorausgesagten Bedarfes insbesondere auf der Frage, welche Sektoren in welchem Maße in die Prognose eingehen und in welcher Intensität der Weg in die klimaneutrale Wirtschaft beschritten wird.
- Andere Quellen gehen ebenfalls von einem Bedarf für Deutschland in Höhe von ca. 3 Millionen Tonnen Wasserstoff für das Jahr 2030 aus, was etwa den bereits genannten 90 bis 110 Terawattstunden entspricht (Handelsblatt, 2021d).

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Prognosewerte für die künftigen Bedarfe stark abhängig vom jeweils zugrundeliegenden Szenario und den unterschiedlichen Annahmen und Rahmenbedingungen sind. Manche Szenarien gehen z. B. von einem geringeren Anteil an stofflichen Energieträgern aus und nehmen eine weitgehende Elektrifizierung aller Sektoren an, während in anderen Szenarien ein höherer Anteil an stofflichen Energieträgern zugrunde gelegt wird. Außerdem unterscheiden sich die Szenarien hinsichtlich des Anteils, zu dem fossile Energieträger (also Erdöl, Erdgas, Kohle) durch Wasserstoff oder Methan substituiert werden (Fraunhofer ISE, 2019). Zusammengefasst wird für Deutschland, die EU sowie weltweit der in Tabelle 8 dargestellte Bedarf an Wasserstoff prognostiziert.

Allerdings kann dieser künftig deutlich steigende Bedarf nur ansatzweise durch eine inländische Wasserstoffherstellung gedeckt werden. So geht man davon aus, dass von den 90 bis 110 Terawattstunden, die im Jahr 2030 in Deutschland benötigt werden, nur ca. 14 Terawattstunden auch inländisch hergestellt werden (Handelsblatt, 2021a). Um mit dem steigenden Bedarf Schritt halten zu können, muss erstens die inländische Erzeugungskapazität für (insbesondere grünen) Wasserstoff massiv ausgebaut und zweitens der Zugang zu ausländischen Produktionskapazitäten gesichert werden.

Tabelle 8

## Prognostizierter Wasserstoffbedarf

|                       | Heute*<br>(in TWh) | 2030<br>(in TWh) | 2050<br>(in TWh) |
|-----------------------|--------------------|------------------|------------------|
| <b>In Deutschland</b> | 55                 | 90 bis 110       | 250 bis 800      |
| <b>In Europa</b>      | k.A.               | 30 bis 140       | 800 bis 2.250    |
| <b>Weltweit</b>       | 2.400              | 4.400**          | 6.850 bis 22.222 |

Quellen: BMWi, 2019; BMWi, 2020; Fraunhofer ISE, 2019; Fraunhofer IKTS, 2021; Hydrogen Council, 2017; PwC, 2021.

\* ausschließlich grauer Wasserstoff; grüner Wasserstoff wird derzeit nur in Pilotanlagen erzeugt (BMWi, 2019);

\*\* Abgeleitet aus einem globalen Bedarf von 4.600 TWh im Jahr 2040.

Eigene Darstellung IW Consult, 2021

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung in Deutschland die Nationale Wasserstoffstrategie formuliert (vgl. BMWi, 2020). Sie dient einerseits als Rahmen für die zukünftige inländische Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff sowie die dazu notwendigen Investitionen und Innovationen. Insbesondere sollen grundlegende Kompetenzen aus- und aufgebaut und ein Heimatmarkt für Wasserstoff(-technologien) etabliert werden. Andererseits zielt die Nationale Wasserstoffstrategie aber auch darauf ab, internationale Wertschöpfungsketten sowie Infrastrukturen für Import, Transport und Verteilung von grünem Wasserstoff zu schaffen. Durch den deutlich steigenden Bedarf an Wasserstoff werden nämlich vor allem Länder mit großem Potenzial für erneuerbare Energien zu potenziellen Exporteuren von grünem Wasserstoff, die klassischen Industrienationen hingegen eher zu Importeuren (PwC, 2021). So müssten beispielsweise in Europa bis zum Jahr 2030 etwa 6.800 km, bis zum Jahr 2040 sogar 23.000 km zusätzliche Pipelines aufgebaut werden, um den Wasserstoff von Erzeugungs- zu Nutzungsregionen zu transportieren (PwC, 2021).

Dazu befinden sich bereits erste Leuchtturmprojekte zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie in Planung:

- Mit dem Projekt „Windwasserstoff Salzgitter“ soll Deutschlands zweitgrößtes Hüttenwerk von Kohle auf grünen Wasserstoff umgestellt werden (KfW, 2020).
- In Hamburg-Moorburg wollen die Unternehmen Shell, Vattenfall, Mitsubishi sowie die Kommunale Wärme Hamburg gemeinsam einen Green Energy Hub aufbauen, dessen Kernstück ein Elektrolyseur mit einer noch skalierbaren Leistung von 100 MW sein soll.
- Siemens baut in Görlitz aktuell ein Wasserstoff-Testcenter auf, um technische Umsetzbarkeit und Skalierbarkeit von verschiedenen Elektrolyseur-Lösungen zu erproben.
- Zudem sollen diverse Wasserstoffzentren in Deutschland aufgebaut werden. In Wilhelmshaven soll ein nationaler Knotenpunkt entstehen, der u. a. ein Importterminal so-

wie einen Elektrolyseur beherbergt. Dieser Elektrolyseur soll über eine Leistung von 400 MW verfügen und wäre damit die weltweit größte Anlage. Die Inbetriebnahme ist für das Jahr 2025 geplant (Handelsblatt, 2021e).

- Zur Absicherung der notwendigen Importe sollen Wasserstoffpartnerschaften mit dem Ausland eingegangen werden. Dazu wird eine Stiftung gegründet, die Industriekonsortien dabei unterstützen wird, in die Produktion von grünem Wasserstoff im Ausland einzusteigen (Handelsblatt, 2021f).

Die Bayerische Wasserstoffstrategie dient als Rahmen für die Positionierung als Hightech-Entwicklungsstandort für innovative Wasserstofftechnologien. Sie fasst die wichtigsten strategischen Zielrichtungen zusammen und skizziert relevante Handlungsfelder (STMWI, 2020). Es werden drei Ziele verfolgt:

- innovative Technologieführerschaft anstreben und weltweite Marktpotenziale erschließen,
- industrielle Skalierung und Wirtschaftlichkeit beschleunigen,
- Wasserstoffanwendungen in Verkehr und Industrie sowie den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur vorantreiben.

Dazu soll frühzeitig eine Basisinfrastruktur (u. a. 100 Wasserstofftankstellen bayernweit) errichtet und eine Forschungsoffensive gestartet werden (STMWI, 2020). Zu den vor diesem Hintergrund aktuell in Angriff genommenen Leuchtturmprojekten gehören beispielsweise:

- Bund, Freistaat und Unternehmen (u. a. BMW, Bosch, Siemens Energy) investieren gemeinsam rund eine Milliarde Euro in diverse Forschungsvorhaben. So sollen beispielsweise Anlagen zur Wasserstoffproduktion mit einer Leistung von 145 MW entstehen, die als Demonstrationsanlagen insbesondere den Anlagenexport stützen sollen.
- In Wunsiedel entsteht die größte Wasserstoffelektrolyse-Anlage Bayerns. Als Kooperationsprojekt der Siemens AG, des Gaslieferanten Rießner sowie der Wunsiedler Stadtwerke soll eine 8,75 MW starke Anlage errichtet werden, die jährlich bis zu 1.350 Tonnen grünen Wasserstoffs produzieren soll (BR, 2021). Damit sollen vorrangig Industrieunternehmen in Nordbayern, Thüringen sowie dem Nordwesten Tschechiens versorgt werden.
- Im Jahr 2023 soll der erste wasserstoffbetriebene Zug in Bayern zwischen Augsburg und Füssen verkehren. Dabei wird der Strom direkt auf dem Zug aus grünem Wasserstoff erzeugt, auf diese Weise sollen pro Umlauf auf der Strecke bis zu 1,2 Tonnen Kohlendioxid eingespart werden (Augsburger Allgemeine, 2021).
- Das Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) ist eine vom Freistaat initiierte und finanzierte Strategie- und Koordinationsstelle für wasserstoffbezogene Themen und Aktivitäten in Bayern. Inhaltliche Schwerpunkte liegen in den Bereichen Strategie- und Roadmap-Entwicklung, Technologie & Innovation sowie Öffentlichkeitsarbeit. Insbesondere soll das Zusammenspiel zwischen Forschung und Industrie intensiviert werden, um auf diese Weise einen Beitrag zum schnellen Hochlauf der Wasserstoffindustrie zu leisten.
- Die zwei Universitäten TU München und FAU Erlangen-Nürnberg verstärken ihre Kooperation im Bereich Wasserstoff. Bis Ende 2021 sollen sieben neue Professuren

berufen werden, um die gemeinsamen Forschungsarbeiten z. B. in den Bereichen Fertigungstechnologie, Systemtechnologie oder Elektrotechnik weiter zu stärken. Außerdem sollen auf diese Weise dringend benötigte Fachkräfte für den Strukturwandel hin zu einer wasserstoffbasierten Wirtschaft ausgebildet werden.

Die nationalen Bemühungen werden durch intensive Anstrengungen in anderen Ländern begleitet, die sich ebenfalls auf dem Weg in eine Wasserstoff-Wirtschaft befinden (Handelsblatt, 2021g). Dazu gehören insbesondere Japan, Südkorea und Saudi-Arabien. So sollen bis zum Jahr 2050 allein in der europäischen Wasserstoff-Industrie mehr als 5,4 Millionen neue Arbeitsplätze entstehen. Der gesamte Umsatz der europäischen Wasserstoff-Industrie wird dabei auf mehr als 800 Milliarden Euro jährlich prognostiziert (Handelsblatt, 2021e).

### 5.2.2 Elektrolyse als Schlüsselprozess: Überblick und Ausbauprognosen

Wasserstoff kommt in der Natur nicht in reiner Form, sondern ausschließlich als Verbindungsmolekül vor und muss vor einer Nutzung daher zunächst abgespalten werden. Dies geschieht mit Hilfe von Energie und einem wasserstoffreichen Ausgangsstoff (bdew, 2021). Als Ausgangsstoffe eignen sich beispielsweise Erdgas (Methan), andere Kohlenwasserstoffe (z. B. Erdöl), Biomasse, Wasser sowie weitere wasserstoffhaltige Verbindungen. Die Abtrennung des Wasserstoffes kann grundsätzlich auf elektrischem, chemischem oder thermischem Wege erfolgen.

Insbesondere bei der elektrischen Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse handelt es sich grundsätzlich um ein erprobtes und etabliertes Verfahren. In einem Elektrolyseur wird hierbei Wasser mittels Anlegens einer elektrischen Spannung in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Dabei bilden die Protonen an der Kathode Wasserstoff-Moleküle, die aufsteigen und aufgefangen werden.

Üblicherweise wird zwischen grüner, grauer und blauer Wasserstoff-Herstellung unterschieden:

- Bei der grünen Wasserstoff-Herstellung wird klimaneutraler Wasserstoff mittels Elektrolyse aus Wasser, Biomasse oder Biogas unter Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt. Man unterscheidet insbesondere zwischen den drei Verfahren alkalische Elektrolyse, PEM-Elektrolyse und Feststoff-Elektrolyse. Eine detailliertere Darstellung dieser Verfahren folgt unten.
- Bei der grauen Wasserstoff-Herstellung (Dampfreformierung) werden fossile Kohlenwasserstoffe (meist Erdgas oder Methan) als Ausgangsstoff verwendet, jedoch entsteht hier neben Wasserstoff auch klimaschädliches Kohlenstoffdioxid.
- Bei der blauen Wasserstoff-Herstellung wird ebenfalls fossiles Methan als Ausgangsstoff verwendet, jedoch fängt man das während der Reformierung entstandene Kohlenstoffdioxid auf, speichert es in geologischen Lagerstätten (Carbon Capture and Storage (CCS)) oder verarbeitet es weiter (Carbon Capture and Utilization (CCU)).

Im Bereich der klimaneutralen grünen Wasserstoff-Elektrolyse wird in Abhängigkeit vom Betriebstemperaturbereich zwischen mehreren Verfahren unterschieden (Fraunhofer IKTS, 2021). Zu den Niedrigtemperatur-Verfahren zählen dabei die alkalische Elektrolyse sowie die PEM-Elektrolyse, zu den Hochtemperatur-Verfahren die Feststoff-Elektrolyse.

Die alkalische Elektrolyse (auch AEL) ist bereits industriell etabliert. Ein alkalischer Flüssigelektrolyt wird hier bei einer Temperatur von ca. 80° Celsius in Wasserstoff umgewandelt. Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 65 Prozent. Es können bis zu 90.000 Betriebsstunden und eine Leistung von bis zu 130 Megawatt erreicht werden (FFE, 2021). Die besonderen Herausforderungen liegen vorrangig noch in der Erhöhung der Fertigungseffizienz der Anlagen sowie der Skalierung der Elektrolyseure (Fraunhofer IKTS, 2021). Über eine industrialisierte und damit skalierte Fertigung werden sich aber künftig nicht nur Lieferzeiten, sondern auch die Kosten für Elektrolyseure deutlich reduzieren lassen. Insgesamt ist die Elektrolyseindustrie weltweit eher kleinteilig und fragmentiert, wobei Deutschland über eine vergleichsweise breite Hersteller- und Zuliefererindustrie in allen relevanten Technologien verfügt (Fraunhofer ISE, 2019).

Bei der Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (auch PEM-Elektrolyse) bestehen die Elektroden aus Edelmetallen (die Kathode aus auf Kohlenstoff geträgertem Platin, die Anode aus Oxid-Edelmetallen, v. a. Iridium). Die PEM-Elektrolyse zeichnet sich bauartbedingt durch ein gutes Lastwechselverhalten aus, also die Möglichkeit größerer Bandbreiten der Lastzustände und wechselnder Strommengen. Sie kann dadurch besser in Kombination mit fluktuierend produzierenden erneuerbaren Energien genutzt werden. Der Wirkungsgrad liegt mit ca. 63 Prozent geringfügig niedriger als beim AEL-Verfahren. Es können derzeit bis zu 50.000 Betriebsstunden und Leistungen von bis zu 6 Megawatt erzielt werden (Dilico, 2021). Allerdings handelt es sich im Vergleich zur AEL-Elektrolyse noch um eine junge Technologie mit geringerem Marktanteil (ca. 45 Prozent), der aber in den kommenden Jahren insbesondere in Europa wohl weiter zunehmen wird (BGR, 2021). Die Investitionskosten sind noch vergleichsweise hoch. Auch wenn Elektrolyseure auf PEM-Basis bereits kommerziell verfügbar sind, müssen für einen großflächigen industriellen Einsatz zunächst die erzielbaren Lebensdauern weiter erhöht werden (Fraunhofer ISE, 2019). Zudem ist man bestrebt, die Einsatzmenge von Edelmetallen als Elektrodenwerkstoffe künftig deutlich zu reduzieren.

Bei der Hochtemperatur-Elektrolyse (auch Feststoffelektrolyse) wird ein fester keramischer Werkstoff als Elektrolyt verwendet. Wasser wird in Form von Wasserdampf bei Temperaturen von 600 bis 900° Celsius zugeführt und zu Wasserstoff umgewandelt. Im Vergleich zu den Niedrigtemperatur-Verfahren ist der Wirkungsgrad mit über 80 Prozent zwar höher, jedoch muss externe Hochtemperatur-Wärme (die z. B. im Rahmen von industriellen Fertigungsprozessen anfällt) verfügbar sein (FFE, 2021). Aktuell werden Leistungen von bis zu 250 kW erzielt. Dieses Elektrolyseverfahren befindet sich aktuell in der Phase der anwendungsnahen Forschung, erste Pilot- und Demonstrationsanlagen werden geplant, aufgebaut und erprobt. Herausfordernd ist hier eine noch nicht zufriedenstellende Langzeitstabilität, die insbesondere auf die mechanische Belastung der verwendeten Keramikwerkstoffe zurückzuführen ist (NOW, 2018).



Vor dem Hintergrund des prognostiziert deutlich steigenden Bedarfes an grünem Wasserstoff ist man bestrebt, die Kapazität der Elektrolyse-Anlagen und Elektrolyseure zu steigern. Besitzen typische Anlagen heute eine übliche Kapazität von bis zu 10 MW (die großen AEL-Anlagen ausgenommen), wird eine Erhöhung auf mindestens 100 MW angestrebt (Fraunhofer ISE, 2019). Es werden künftig also mehr und leistungsfähigere Elektrolyse-Anlagen gebaut.

Dies führt zu einer positiven Ausbauprognose. In Deutschland befinden sich mehr als 30 Elektrolyseure zur Herstellung von grünem Wasserstoff in der Demonstrations- oder Pilotphase. Bereits im Jahr 2022 sollen in Deutschland 11 Elektrolyseure zur Herstellung von grünem Wasserstoff auf Basis von AEL- oder PEM-Technologie mit einer Kapazität von 10 bis 100 MW in Betrieb stehen (BMW, 2020). Mittelfristig wird ein kontinuierlicher jährlicher Zubau von deutlich mehr als 100 MW angestrebt.

Zwar kann insgesamt von einem deutlich steigenden Bedarf ausgegangen werden, jedoch bestehen bezüglich des langfristigen Bedarfes je nach zugrunde gelegtem Szenario noch große Prognoseunsicherheiten. So schwankt die Prognose für den weltweiten Bestand an Elektrolysekapazitäten für das Jahr 2040 zwischen 100 GW und 1.700 GW, die Prognose für die jährlichen Zubauten von knapp 50 GW bis 500 GW (BGR, 2021).

Laut einer Prognose des Fraunhofer ISE wird die Produktionskapazität von grünem Wasserstoff in Deutschland im Jahr 2030 ca. 5 GW betragen (Fraunhofer ISE, 2019). In Abhängigkeit vom jeweils zugrunde gelegten Ausbauszenario sollen gemäß der Nationalen Wasserstoff-Roadmap bis zum Jahr 2050 inländische Elektrolysekapazitäten von ca. 50 bis 80 GW aufgebaut werden.

Die positive Ausbauprognose führt dazu, dass sich Marktakteure neu positionieren. So erweitern Brennstoffzellen-Hersteller beispielsweise ihre Produktpalette, kleinere Hersteller und Startups tragen zur technologischen Entwicklung bei und etablierte Produzenten im Gasmarkt suchen sich strategische Partner oder gründen Joint Ventures (BGR, 2021). Zusammengefasst wird für Deutschland, die EU sowie weltweit eine Elektrolysekapazität wie in Tabelle 9 dargestellt prognostiziert.

Damit wird die Wasserstoffelektrolyse zu einer entscheidenden industriepolitischen Komponente auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaft (Fraunhofer ISE, 2019). Während für grauen Wasserstoff bereits heute ein funktionierender Markt vorhanden ist (allerdings bauartbedingt verbunden mit relativ hohen Treibhausgasemissionen), müssen für einen wettbewerbsfähigen Ausbau der notwendigen Kapazitäten für grünen Wasserstoff die erforderlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie die Leitungsinfrastruktur zwischen Stromerzeugung und Elektrolyseuren sind zwingende Voraussetzungen. Zu den Rahmenbedingungen gehören aber auch die spürbare Verringerung der Gestehungskosten für Strom aus erneuerbaren Energien, die Erhöhung der Abgaben für Kohlenstoffdioxid-Emissionen (sog. „CO<sub>2</sub>-Abgabe“) sowie effektive Förderinstrumente, um die Transformation in der Industrie zu unterstützen.

Tabelle 9

## Prognostizierte Elektrolysekapazität

|                       | <b>2020<br/>(in GW)</b> | <b>2030<br/>(in GW)</b> | <b>2050<br/>(in GW)</b> |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>In Deutschland</b> | ca. 0,03                | 1 bis 5                 | 50 bis 80               |
| <b>In Europa</b>      | ca. 0,1                 | 40                      | 340 bis 510             |
| <b>Weltweit</b>       | ca. 0,2                 | <200                    | k.A.                    |

Eigene Darstellung IW Consult, 2021

Quellen: Aurora, 2021; EU-Kommission, 2020b; Fraunhofer ISE, 2019

### 5.2.3 Kritische Rohstoffe: Bedarfsabschätzung und Möglichkeiten zur Versorgungssicherung

Die prognostizierte deutlich steigende Nachfrage nach grünem Wasserstoff führt zu einer Erhöhung der Elektrolysekapazität und damit zu einer steigenden Nachfrage nach Elektrolyseuren. Im Wesentlichen bestehen Elektrolyseure (neben Steuerungseinheiten, Zu- und Ableitungen etc.) aus mehreren aneinandergereihten Elektrolysezellen, die wiederum aus Anode, Kathode, Membran und dem Elektrolyten bestehen. Kritische Rohstoffe werden dabei unter anderem in den Elektrolysezellen verbaut, insbesondere der Anode und Kathode.

Dabei ist der künftige spezifische Rohstoffbedarf grundsätzlich von der verwendeten Elektrolysetechnologie, den damit einhergehenden spezifischen Beladungen der Elektroden, den lastabhängigen Extremwerten sowie (technologiefortschrittsbedingten) Annahmen zu einem stetig verringerten Materialverbrauch abhängig. Die aktuellen Annahmen zu spezifischen, gemittelten Rohstoffbedarfen für die Wasserstoffelektrolyse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Die am stärksten genutzten Rohstoffe sind Metalle wie Nickel, Kupfer und Chrom, die auch in den konstruktiven Elementen der Elektrolyseure verwendet werden. Kupfer wird zudem für die Verkabelung und Stromführung genutzt. Unter den Rohstoffen befinden sich allerdings auch viele spezifische Legierungsmetalle, seltene Erden und Platingruppenmetalle, die für die spezifischen Produkteigenschaften des eigentlichen Elektrolyseprozesses benötigt werden. Diese kommen zwar in relativ kleinen Mengen vor, sind aber gleichzeitig die Rohstoffe mit einer hohen Kritikalität.

Die vorgestellten zentralen Technologien zur Wasserstoffherstellung und -elektrolyse stellen dabei unterschiedliche Anforderungen insbesondere an Anoden- und Kathoden-Rohstoffe (Khan et al, 2018). Bei der Herstellung von grauem Wasserstoff aus fossilen



Energieträgern wird für den Katalysator insbesondere Nickel verwendet. Nickel weist im Rohstoff-Risiko-Index ein mittleres Versorgungsrisiko auf.

Bei der Herstellung von grünem Wasserstoff richtet sich die Identifikation möglicher kritischer Rohstoffe nach dem jeweiligen Elektrolyse-Verfahren:

- Für die alkalische Elektrolyse werden für Anode und Kathode vorwiegend Nickel-Materialien verwendet, vereinzelt wird Platin zur Erhöhung der Stromdichten hinzugefügt. Der Materialbedarf an Nickel-Materialien für die Elektrolysezellen beträgt ca. 0,3 g/kW (BGR, 2021). Nickel hat ein mittleres Versorgungsrisiko.
- Für die PEM-Elektrolyse werden die Platingruppenmetalle Iridium und Platin als Katalysatormaterial verwendet. Insbesondere Iridium als Anodenmaterial ist bislang unersetzbar, da noch kein Alternativmaterial die erforderlichen Eigenschaften mitbringt (BGR, 2021). Der Materialbedarf für Iridium beträgt etwa 1 g/kW. An der Kathode wird Platin verwendet, hier beträgt der Materialbedarf etwa 0,2 g/kW (BGR, 2021). Sowohl Iridium als auch Platin sind als kritische Rohstoffe anzusehen.
- Für die Hochtemperatur-Elektrolyse wird als Anodenmaterial eine Legierung aus Nickel und Yttrium-dotiertem Zirkoniumdioxid (Nickel-YSZ) verwendet. Als Kathodenmaterialien kommen Lanthan und Mangan zum Einsatz (BGR, 2021). Lanthan und Yttrium zählen als Seltene Erden zu den kritischen Rohstoffen. Nickel, Zirkonium und Mangan wird ein mittleres Rohstoff-Risiko zugeordnet.

Rund 80 Prozent der weltweit abgebauten Menge an Platin stammt aus Südafrika und Simbabwe, etwa 12 Prozent aus Russland. Iridium wird nur als Nebenprodukt der Platinproduktion mit einer jährlichen Menge von etwa 4 bis 8 Tonnen abgebaut, um die 85 Prozent der weltweiten Menge stammt aus Südafrika (Fraunhofer ISE, 2019). Nickel stammt zu fast 50 Prozent aus Indonesien und von den Philippinen, zu rund 10 Prozent aus Russland.

Tabelle 10

## Spezifische Rohstoffbedarfe für die Wasserstoffelektrolyse

| Rohstoff  | Spezifischer Bedarf*<br>(in g/kW) |
|-----------|-----------------------------------|
| Nickel    | 423,1                             |
| Kupfer    | 229,1                             |
| Chrom     | 131,1                             |
| Aluminium | 112,6                             |
| Zirkonium | 83,7                              |
| Titan     | 28,3                              |
| Cer       | 9,3                               |
| Yttrium   | 5,9                               |
| Mangan    | 0,9                               |
| Lanthan   | 0,8                               |
| Kobalt    | 0,3                               |
| Scandium  | 0,1                               |
| Iridium   | 0,1                               |
| Platin    | 0,01                              |

\* Es handelt sich um Mittelwerte über die verschiedenen Elektrolysetechnologien, zudem sind Annahmen zu einem künftig verringerten Materialverbrauch berücksichtigt.

Quelle: Ursprungsdaten BGR, 2021; eigene Darstellung IW Consult, 2021

Die Kritikalität der Versorgung mit den für die Elektrolyse wichtigen Rohstoffen Nickel, Platin und Iridium ergibt sich aus dem Anstieg des Bedarfs, der sich durch die Relation von prognostiziertem künftigen Bedarf zu aktueller Produktion abbilden lässt. Diese Kennziffer verdeutlicht auch, wie sich der relative Anteil der Verwendung für den Bereich der Elektrolyse im Vergleich zur Verwendung in anderen Anwendungsbereichen entwickeln wird (Tabelle 11).

Tabelle 11

## Abgeschätzter Bedarf an kritischen Elektrolyse-Rohstoffen

| Rohstoff               | Produktion 2018<br>(in t)                     | Bedarf 2018<br>(in t) | Bedarf 2040<br>(in t) |
|------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Nickel</b>          | 2.327.500 (Bergwerk)<br>2.189.313 (Raffinade) | 53,20                 | 203.870               |
| Bedarf/Produktion 2018 |                                               | 0,0012 %              | 4,51 %                |
| <b>Iridium</b>         | 6,8 (Raffinade)                               | 0,01                  | 34                    |
| Bedarf/Produktion 2018 |                                               | 0,15 %                | 500 %                 |
| <b>Platin</b>          | 190 (Bergwerk)                                | 0,01                  | 6                     |
| Bedarf/Produktion 2018 |                                               | 0,005 %               | 3 %                   |

Angaben für 2040: Nachhaltigkeitsszenario für die Reduzierung von Treibhausgasen;  
unterstellter Bedarf an Elektrolysekapazitäten: 1.700 GW

Quelle: Ursprungsdaten BGR, 2021; eigene Darstellung IW Consult, 2021

Insbesondere Iridium könnte bei Zugrundelegung eines ambitionierten „Nachhaltigkeits-Pfades“ zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zum limitierenden Engpassfaktor für den geplanten Ausbau der Elektrolysekapazitäten werden. Im Jahr 2040 würde der erforderliche Rohstoffbedarf von Iridium allein für die Verwendung im Rahmen der Elektrolyse die Produktion von 2018 um das Fünffache übertreffen.

Für Nickel und Platin ist zwar die Bedarf-zu-Produktion-Relation nicht so kritisch wie bei Iridium. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass insbesondere Platin in anderen Anwendungsgebieten immer wichtiger wird (z. B. in Rechenzentren) und sich daher die Verwendungskonkurrenz künftig verschärfen könnte.

Insgesamt wird deutlich, dass die aufgeführten kritischen Rohstoffe den angestrebten massiven Ausbau an PEM-Elektrolyseuren empfindlich limitieren könnten. Zur Reduzierung dieser Restriktion und zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherung kann an unterschiedlichen Punkten angesetzt werden:

- Entwicklungsseitig wird mit Nachdruck daran gearbeitet, die Verwendung von Platin und Iridium für die PEM-Elektrolyse zu reduzieren (Ingenieur.de, 2019). So sollen bis zum Jahr 2030 die konstruktionsbedingt erforderlichen Mengen für PEM-Elektrolyseure von 5,0 g/kW auf 0,4 g/kW verringert werden. Die Firma Heraeus plant beispielsweise,

den Anteil von Iridium künftig um 50 bis 90 Prozent zu reduzieren (Heraeus, 2020). Ein ähnlicher Sprung ist für die Verwendung von Kobalt für AEL-Elektrolyseure angestrebt. Hier will man die erforderlichen Mengen von derzeit 7,3 g/kW auf 0,7 g/kW reduzieren (Fraunhofer ISE, 2019).

- Da verschiedene Elektrolyseverfahren unterschiedliche Rohstoffe benötigen, aber zugleich einen sich teilweise überlappenden Einsatzbereich haben, können eventuelle Materialengpässe zu einem gewissen Grad durch den Einsatz eines alternativen Elektrolysetyps gemildert werden (BGR, 2021).

## 6 Deutsche und europäische Rohstoffpolitik

Die Politik verfolgt das Ziel der sicheren Rohstoffversorgung mit einem breiten Bündel von Instrumenten.

Neben den technologischen Abbaumöglichkeiten bestimmen die politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen die Sicherheit der Rohstoffversorgung. Auf Seiten der Bundesregierung prägt die Rohstoffstrategie aus dem Jahr 2020 die zentralen Leitlinien der deutschen Rohstoffpolitik. Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) ist darin die zentrale Institution. Wichtige Ziele sind sichere Rahmenbedingungen für die (internationalen) Rohstoffmärkte, die Weiter- und Neuentwicklung einer Kreislaufwirtschaft bei einer zunehmenden Zahl von Rohstoffen sowie die entwicklungspolitische Begleitung der Wirtschaft bei ihrer weltweiten Rohstoffbeschaffung.

Die deutsche Rohstoffpolitik entfaltet sich innerhalb des europäischen Rahmens. Die Europäische Kommission verfolgt eine eigene Rohstoffpolitik, die maßgeblich vom *European Green Deal* beeinflusst wird. Neben der Versorgungssicherheit tritt die Einhaltung von ESG-Kriterien (*Environmental, social and governance criteria*; Umwelt- und Sozialstandards sowie Aufsichtsstrukturen in den Unternehmen) bei der Rohstoffbeschaffung als zweites Ziel der Politik zu Tage.

In einigen Punkten verschränken sich deutsche und europäische Initiativen. Europäische Richtlinien werden in nationales Recht umgesetzt, die europäische Ebene reagiert auf nationale Initiativen oder beide staatliche Ebenen führen koordinierte Programme durch wie z. B. die neuen *Important Projects of Common European Interest* (IPCEI).

Die nationalen und europäischen Rohstoffstrategien werden punktuell auch auf Landesebene flankiert. In Bayern zählen unter anderem die Entwicklung von Recyclingkonzepten, die Forschungsunterstützung zu effizientem Rohstoffeinsatz und Rohstoffsubstitution sowie die außenwirtschaftliche Unterstützung der bayerischen Unternehmen zu den bearbeiteten Themen. Dazu erhebt der Freistaat im Rahmen der staatlichen Lagerstätten erkundung Informationen zur Neubewertung und Exploration heimischer Lagerstätten.

### 6.1 Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung

Im Jahr 2020 beschloss die Bundesregierung eine Neuauflage ihrer Rohstoffstrategie (Deutscher Bundestag, 2020), deren zentrales Ziel es ist, Unternehmen bei einer „sicheren, verantwortungsvollen und nachhaltigen Rohstoffversorgung“ zu unterstützen. Grundsätzlich ist ein marktwirtschaftlicher Ansatz, der die Rohstoffversorgung in erster Linie als Aufgabe der Unternehmen selbst sieht.

Gleichwohl werden zwei strukturelle Problemfelder in den internationalen Rahmenbedingungen identifiziert, aus denen sich gemäß der Rohstoffstrategie ein Ansatz für staatliches Engagement ableitet:

- Die Bedrohung freier internationaler Rohstoffmärkte durch Handelsstreitigkeiten und die Ausnutzung von Marktmacht durch einzelne Akteure erfordert das Eintreten für einen freien und fairen Welthandel sowie international gleiche Wettbewerbsbedingungen (Stichwort: *Level Playing Field*).
- Änderungen von Marktstrukturen durch disruptive Technologien sowie gestiegene Anforderungen an die Einhaltung von ESG-Standards und Menschenrechten in den Lieferketten begründen einerseits die Unterstützung von Unternehmen bei Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie in der Transformation der Unternehmensprozesse, andererseits die Bereitstellung von Informationen und das Ziel, eine höhere Transparenz auf den Beschaffungsmärkten zu erreichen.

Die Rohstoffstrategie wird in drei Handlungsfelder strukturiert:

- Als Teil der industriepolitischen Strategie auf den Feldern der E-Mobilität, der Energiewende, des Klimaschutzes und der Digitalisierung soll die Sicherung der Rohstoffversorgung auch bei geänderten Rohstoffbedarfen gewährleistet werden.
- ESG-Kriterien sollen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung der rohstoffproduzierenden Länder durch die Maßnahmen der Bundesregierung und das unternehmerische Handeln auch in den Rohstoffländern berücksichtigt werden.
- Der Einsatz von Primärrohstoffen soll durch effizienten Umgang mit Rohstoffen – einschließlich der Kreislaufwirtschaft – niedrig gehalten werden und so gleichzeitig die Umwelt schonen.

Dazu werden in der Rohstoffstrategie 17 Maßnahmen benannt, die von der Bundesregierung in Ressortverantwortung umgesetzt werden sollen. Eventuelle Zielkonflikte sollen von einem interministeriellen Ausschuss gelöst werden.

### 6.1.1 Rohstoffquellen

In Hinblick auf die Versorgungssituation lassen sich strategisch drei Rohstoffquellen unterscheiden: heimische Primärrohstoffe, Rohstoffe aus dem Import und Sekundärrohstoffe. In der Rohstoffstrategie wird eine verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung für alle drei Quellen als Ziel formuliert, der Nutzung der Sekundärrohstoffe gleichzeitig der Vorrang vor den anderen Quellen eingeräumt.

#### 6.1.1.1 Heimische Rohstoffgewinnung

Die Gewinnung von Primärrohstoffen in Deutschland und Europa soll durch verschiedene Maßnahmen gefördert werden:

- Zur Gewinnung strategisch für E-Mobilität und Energiewende benötigter Rohstoffe wie z. B. Kupfer, Lithium oder Nickel unterstützt die Bundesregierung entsprechende Initiativen der EU-Kommission und anderer EU-Mitgliedstaaten.

- Die Informationsbeschaffung über Rohstoffvorkommen soll durch das Geologiedatengesetz (GeolDG), das auf die Sicherung und Offenlegung geologischer Daten zielt, verbessert werden. Die BGR unterstützt zudem, die staatlichen geologischen Dienste der Länder bei der Rohstofferkundung.
- Die Akzeptanz der heimischen Rohstoffgewinnung soll durch verbesserte Informationsbereitstellung durch die BGR sowie die aktive Umsetzung der internationalen Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft (EITI) befördert werden.
- Ein Forschungs- und Entwicklungszentrum Bergbaufolgelandschaften als Teil der BGR befindet sich in Cottbus (Lausitz) im Aufbau.

#### 6.1.1.2 Rohstoffimporte

Als zentrale Herausforderung der Rohstoffpolitik wird in der Rohstoffstrategie die Zunahme staatlicher Interventionen auf den Rohstoffmärkten identifiziert. Als übergeordnete Reaktion wird das Ziel formuliert, für die Unternehmen in Deutschland den Zugang zu den internationalen Rohstoffmärkten zu erleichtern und für möglichst einheitliche Wettbewerbsbedingungen weltweit (*Level-Playing-Field*) einzutreten.

Zu den wichtigsten Maßnahmen zählt hier einerseits die Arbeit von DERA, BGR und Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe als Informationsangebote für Unternehmen. Andererseits werden Rohstoffpartnerschaften und -kooperationen und Ungebundene Finanzkredit-(UFK)-Garantien als Mittel der Außenwirtschaftsförderung eingesetzt.

Die DERA ist von der Bundesregierung mit einem kontinuierlichen Rohstoffmonitoring beauftragt. Die Ergebnisse dienen der Information und Beratung von Unternehmen, Politik und Öffentlichkeit. Zudem berät die DERA die Bundesregierung bei Rohstoff-Förderprogrammen.

Die Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe an den Außenhandelskammern (AHK) in Australien, Brasilien, Chile, China, Ghana, Kanada, Kasachstan, Peru und dem Südlichen Afrika sind Teil des *German Mining Network*, dem auch die DERA, die GTAI und der Deutsch-Mongolische Unternehmerverband angehören. BMWi und DIHK flankieren und koordinieren die Aktivitäten. Die Aufgaben bestehen in der Unterstützung der Unternehmen bei Rohstoffsicherung, Markttransparenz, Technologietransfer und Kooperationsanbahnung. Die Kompetenzzentren beraten auch hinsichtlich aktueller sozioökonomischer Fragestellungen wie z. B. Sorgfaltspflichten in der Lieferkette.

Die Rohstoffpartnerschaften verfolgen zwei Ziele. Stabile Rahmenbedingungen für die Erschließung von Rohstoffen und Handelskontakten sollen Unternehmen helfen, die Bezugsquellen für Rohstoffe zu diversifizieren und Investitionsmöglichkeiten in den Partnerländern eröffnen. Gleichzeitig unterstützt die Bundesregierung den Aufbau von rohstoffverarbeitenden Industrien in den Partnerländern durch Beratungsleistungen. Rohstoffpartnerschaften bestehen mit Kasachstan, der Mongolei und Peru, Rohstoffkooperationen in Form von *Memoranda of Understanding* (MoU) oder Briefwechseln zwischen den Regierungen mit Australien, Chile, Ghana und Kanada. Seit Juni 2021 besteht zusätzlich eine

strategische Rohstoffpartnerschaft zwischen der EU und Kanada auf Grundlage des Aktionsplans Kritische Rohstoffe der EU.

Der Abschluss langfristiger Abnahmeverträge bei kritischen Rohstoffen von deutschen Unternehmen wird staatlicherseits durch die Ungeordneten Finanzkredit-Garantien (UFK-Garantien) unterstützt. Sie sichern förderwürdige Projekte gegen wirtschaftliche und politische Ausfallrisiken ab. Die Projekte müssen einen wichtigen Beitrag zur Rohstoffversorgung der Bundesrepublik leisten und ESG-Standards einhalten. Die DERA ist mit der Beurteilung der Vorhaben betraut. Seit dem Jahr 2016 wurde so die Förderungswürdigkeit für zwölf unterschiedliche Rohstoffe in 14 verschiedenen Ländern zuerkannt.

Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) beteiligt sich an internationalen Projekten zur Entwicklung eines klimasensiblen und umweltschonenden Bergbaus – z. B. der *Climate-Smart-Mining*-Strategie der Weltbank.

#### 6.1.1.3 Sekundärrohstoffe

Innerhalb der Rohstoffstrategie der Bundesregierung werden Sekundärrohstoffe als wesentliche Rohstoffquelle von zunehmender Bedeutung für die Versorgung in Deutschland betrachtet. Zunehmende Recyclingbemühungen zeigen sich in der fortlaufenden Überarbeitung der einschlägigen Gesetze wie dem Elektro- und Elektronikaltgerätegesetz und dem Verpackungsgesetz.

Die Bundesregierung strebt die Verbesserung von Rückgewinnung und Wiederverwendung im Sinne der Kreislaufwirtschaft durch die Unterstützung von FuE-Projekten an. Themenfelder sind Aufbereitungstechnik und Metallurgie, Optimierung komplexer Recyclingprozesse sowie die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Recyclings. Der stoffliche Schwerpunkt liegt bei Metallen für Zukunftstechnologien, wie z. B. Seltene Erden, Gallium, Germanium, Indium oder Lithium. Auch die Förderung der Batterie-Technologie im Rahmen der IPCEI-Vorhaben schließt die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft in diesem Bereich von vornherein mit ein.

Der Einsatz von mineralischen Sekundärrohstoffen aus dem Recycling in der Industrie soll durch den fortlaufenden Dialog zwischen Bundesregierung, Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung weiter erhöht werden. Dabei sollen Wissenslücken bei den Beteiligten geschlossen und Handlungsprioritäten entwickelt werden.

#### 6.1.2 Rohstoff- und Ressourceneffizienz

Die Steigerung der Rohstoff- und Ressourceneffizienz ist ein Mittel, um die Entwicklung der Rohstoffnachfrage zu bremsen. Dies hilft gleichzeitig, die Risiken der Rohstoffversorgung zu verringern.

Im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) werden von der Bundesregierung Maßnahmen gebündelt, die Ressourceneinsatz und Wirtschaftswachstum entkoppeln



sollen. Die dritte Auflage ProgRess III vom Juni 2020 enthält 118 Maßnahmen und Instrumente, die in

- Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz über die gesamte Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung über Produktgestaltung, Produktion und Konsum bis hin zur Kreislaufwirtschaft,
- übergreifende Instrumente,
- Maßnahmen auf internationaler Ebene,
- Maßnahmen auf regionaler und kommunaler sowie
- Maßnahmen zur Ressourcenschonung im Alltag

gegliedert sind. Dabei wird der Zusammenhang zwischen der Ressourceneffizienz einerseits sowie der Erreichung der Klimaschutzziele, den Potenzialen und Risiken der Digitalisierung sowie der Mobilität andererseits betont.

Die Rohstoff- und Ressourceneffizienz soll auch durch die Zusammenarbeit in Netzwerken und Forschungsförderung gestärkt werden. Die Nationale Plattform Ressourceneffizienz (NaRes) dient als Koordinationsgremium zwischen Bundesministerien, Wirtschafts-, Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden, Gewerkschaften und kommunalen Spitzenverbänden sowie Vertretern der Länder. Für die Koordination zwischen Unternehmen und Wissenschaft bestehen das Netzwerk Ressourceneffizienz (NeRes) und das VDI-Zentrum Ressourceneffizienz, die eine Plattform für den Austausch verschiedener Forschungsinstitute mit Verbänden, Initiativen und öffentlichen Einrichtungen bilden. Beispiele für FuE-Programme sind der Bereich Ressourcen-Effizienz beim Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) und das Programm Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

### 6.1.3 Nachhaltigkeit und Transparenz im Rohstoffbereich

Nachhaltigkeit und Transparenz im Rohstoffbereich sind ausdrücklich Themen der Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Dieser Bereich beinhaltet verschiedene Handlungsstränge.

Im Juni 2021 wurde vom Deutschen Bundestag das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) als Umsetzung des Nationalen Aktionsplans Wirtschaft und Menschenrechte (NAP) verabschiedet. Das Gesetz gilt ab 2023 für Unternehmen mit mindestens 3.000 Mitarbeitern, ab 2024 für Unternehmen mit mindestens 1.000 Mitarbeitern. Sie werden zur Einführung eines Risikomanagements verpflichtet, mit dem Risiken für Menschenrechtsverletzungen und Schädigungen der Umwelt identifiziert, vermieden oder minimiert werden sollen. Es erstreckt sich über den eigenen Geschäftsbereich des Unternehmens hinaus auch auf das Handeln von Vertragspartnern und mittelbaren Zulieferern. Es hat somit auch Relevanz für die (internationale) Rohstoffbeschaffung dieser Unternehmen. Ein abschließender Katalog von elf international anerkannten Menschenrechtsabkommen bestimmt den Umfang der geschützten Rechtspositionen. Zu den dadurch verbotenen Praktiken zählen u. a. Kinderarbeit, Sklaverei und Zwangsarbeit. Damit besteht in Deutschland nun eine ähnlich gelagerte Gesetzgebung wie in anderen europäischen Ländern (z. B. Modern Slavery Act (2015, Vereinigtes Königreich), Loi sur le Devoir de Vigilance (2017, Frankreich)).

Je nach Beschaffungssituation bei einzelnen Rohstoffen kann dies eine Erhöhung der Beschaffungskosten der deutschen Unternehmen oder eine geographische Verlagerung des Rohstoffbezugs nach sich ziehen. Eine Vereinheitlichung der Gesetzgebung auf EU-Ebene würde dem Vorrang der EU in der Außenhandelspolitik besser gerecht.

Die zu Jahresbeginn 2021 in Kraft getretene EU-Konfliktmineralienverordnung verpflichtet deutsche und europäische Rohstoffimporteure von 3TG-Metallen (Zinn, Tantal, Wolfram, deren Erze und Gold) zur Einhaltung von Sorgfaltspflichten. Dazu zählen die Etablierung und Veröffentlichung einer eigenen Lieferkettenpolitik, die Einführung eines Risikomanagementsystems sowie – abhängig von den Risiken – die Umsetzung von Maßnahmen, um negative Auswirkungen zu verhindern oder zu mildern. Die Einhaltung wird von unabhängigen Dritten geprüft. Ein wichtiges Ziel ist es, dass Verkaufserlöse aus 3TG-Metallen nicht in die Finanzierung von bewaffneten Konflikten fließen. Auf freiwilliger Basis können sich auch weitere Unternehmen beispielsweise über die online-Plattform der EU-Kommission *Responsible Minerals Transparency Platform* an dem Reporting beteiligen. Das BMZ engagiert sich begleitend in der *European Partnership for Responsible Minerals* (EPRM), um die Umsetzung der Richtlinie zu unterstützen und negative Auswirkungen in den Abbauländern zu begrenzen.

BGR und Umweltbundesamt (UBA) engagieren sich auf deutscher Seite in der Entwicklung eines OECD-Leitfadens zu verantwortungsvollen Lieferketten mineralischer Rohstoffe, der sich auf den Umgang mit umweltbezogenen Risiken bezieht. Ein OECD-Leitfaden hinsichtlich Mineralien aus Konflikt- und Hochrisikogebieten besteht schon und gilt als Richtschnur für dieses Vorhaben.

Zum Engagement der Bundesregierung für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft zählt auch die Beteiligung an der Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) zur Stärkung der Entwicklungs- und Schwellenländer im gemeinsamen Kampf gegen Korruption, an der sich inzwischen 55 Länder beteiligen. Kern der EITI-Berichterstattung sind kontextbezogene Informationen über den Rohstoffsektor sowie die Offenlegung der staatlichen Rohstoffenergieerlöse und weiterer Zahlungen – wie beispielsweise Lizenzgebühren, Dividenden oder Steuern – der aktiven Öl-, Gas- und Bergbauunternehmen an die jeweilige Regierung. Für Deutschland wurde der dritte EITI-Bericht im Frühjahr 2021 vorgelegt.

Gemäß der Rohstoffstrategie sollen die Maßnahmen im Rohstoffbereich mit der entwicklungspolitischen Zielsetzung der Bundesregierung harmonisieren, dass die Entwicklungs- und Schwellenländer ihren Ressourcenreichtum für eigene Entwicklung nutzen. Gute Regierungsführung und der Aufbau eines nachhaltigen Rohstoffsektors sind dabei Ziel und Mittel zugleich. Die Entwicklung soll sich an den *Sustainable Development Goals* (SDG) und der Agenda 2030 der Weltbank orientieren, die deutsche Beteiligung am Internationalen Forum für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung (IGF) dieses Ziel unterstützen.

#### 6.1.4 Internationale Zusammenarbeit

Die Europäische Union vertritt ihre Mitgliedstaaten in allen Außenhandelsfragen. Verhandlung und Abschluss von Außenhandelsverträgen und die Vertretung der Mitgliedstaaten bei der Welthandelsorganisation (WTO) fallen so in die Kompetenz der EU. In diesen konkreten Fällen bleibt der Bundesregierung die indirekte Einflussnahme über die europäischen Institutionen.

Die Zielsetzung der Bundesregierung auf internationaler Ebene besteht in der Durchsetzung und Verteidigung ihrer ordnungspolitischen Grundhaltung. Dazu zählen der gleichberechtigte Zugang für alle Akteure zu den Rohstoffmärkten und ein freier Welthandel im Sinne eines *Level-Playing-Fields*. Ein Instrument der internationalen Zusammenarbeit ist das Internationale Forum für Bergbau, Minerale, Metalle und nachhaltige Entwicklung (IGF), in dem Leitlinien und Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Rohstoffpolitik entwickelt werden. Aber auch die Beteiligung an den anderen oben genannten themenspezifischen internationalen Initiativen zählt zu diesem Handlungsfeld. Grundsätzlich strebt die Bundesregierung die Beteiligung an internationalen Dialogplattformen für das ganze Themenspektrum Bergbau und Rohstoffe an.

### 6.2 Die Rohstoffstrategie der Europäischen Union

Die Außenhandelspolitik ihrer Mitgliedstaaten liegt in der Zuständigkeit der Europäischen Union. Sie muss daher auch die Rohstoffversorgung in der Handelspolitik berücksichtigen. Dies geschieht im Einsatz für einen grundsätzlich freien Welthandel und bei der hinreichenden Berücksichtigung der Rohstoffversorgung in den bilateralen Handelsbeziehungen und -verträgen mit Drittstaaten.

Zentrale Richtschnur der Wirtschaftspolitik der derzeitigen EU-Kommission ist der *European Green Deal* aus dem Jahr 2019, in dem eine „Industriestrategie für eine saubere und kreislaforientierte Wirtschaft“ angelegt ist. Konkrete Maßnahmen wurden in zwei Aktionsplänen formuliert: dem Aktionsplan für kritische Rohstoffe und dem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft.

Der Aktionsplan für kritische Rohstoffe setzt die Rohstoffinitiative (*Raw Materials Initiative* – RMI) der EU-Kommission von 2008 fort und verfolgt weiterhin den strategischen Dreiklang Sicherung und Diversifizierung der Rohstoffimporte, Ausbau heimischer Rohstoffquellen sowie Nutzung von Sekundärrohstoffen durch Recycling und Kreislaufwirtschaft.

Eine zentrale Maßnahme war die Gründung der Europäischen Rohstoffallianz, die ein breites Bündnis aller relevanten Stakeholder aus Wirtschaft, Mitgliedstaaten und Regionen, Gewerkschaften, Zivilgesellschaft, FuE-Organisationen, Investoren und Nicht-Regierungsorganisationen darstellen soll. Ziel ist es, die Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungsketten in der Europäischen Union bei kritischen Rohstoffen zu stärken. Mittel sind dabei die Nutzung von Sekundärrohstoffen, die Entwicklung eines inländischen Rohstoffangebots in der EU und die Diversifikation der Rohstoffquellen beim Bezug aus Drittländern.

Weitere Elemente des Aktionsplans sind unter anderem die Ermittlung von Bergbau- und Verarbeitungsprojekten in der EU, die Stärkung der Sekundärrohstoffwirtschaft, die Nutzung von FuE zur Verbesserung der Exploration von Ressourcen, der Bergbau- und Verarbeitungstechnologien sowie von Substitution und Recycling. Darüber hinaus werden die Entwicklung nachhaltiger Finanzierungskriterien für den Bergbau- und Verarbeitungssektor sowie die Förderung verantwortungsvoller Bergbaupraktiken für kritische Rohstoffe gefördert.

Zum Aktionsplan kritische Rohstoffe zählt auch der Aufbau strategischer Partnerschaften zur Sicherung einer diversifizierten Versorgung. Im Juni 2021 wurde die erste dieser Partnerschaften mit Kanada besiegelt. Sie konzentriert sich auf Rohstoffe für Magneten und Batterien wie Lithium, Kobalt, Graphit und Mangan.

Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft ist für die Sekundärrohstoffwirtschaft relevant. Elemente des Aktionsplans sind unter anderem die Erhöhung stoffspezifischer Recyclingquoten, die Rücknahmeverpflichtung des Handels bei Elektrogeräten sowie Mindestsammelquoten bei Elektrogeräten. Der Aktionsplan greift ausdrücklich die mehrdimensionale Problematik von Abfallexporten auf: den Verlust potenzieller Rohstoffquellen in der EU und die ökologisch mangelhafte Entsorgung in den Zielländern.

Weitere Entwicklungen mit Auswirkungen auf den Rohstoffbereich sind vor allem auf zwei Feldern zu erkennen:

- In Hinblick auf die Erhöhung der Transparenz besteht auch auf europäischer Ebene eine Initiative zu einer Regelung der unternehmerischen Sorgfaltspflichten in den Lieferketten. Die EU-Kommission soll noch im Jahr 2021 einen Vorschlag dazu vorlegen.
- Die Verschärfung der EU-Klimaschutzziele und die Vorlage des „Fit-for-55“-Programms durch die EU-Kommission haben direkte Rückwirkungen auf die Rohstoffnachfrage in und für Europa (vgl. auch Kapitel 5.1).

## 7 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Herausforderungen im Rohstoffbereich sind vielschichtig. Sie erfordern die gezielte Kooperation aller beteiligten Akteure.

Die Risiken für eine gesicherte und preislich wettbewerbsfähige Rohstoffversorgung für die Industrie in Deutschland und Bayern lassen sich in verschiedene Bereiche ordnen. Für jeden Rohstoff ergibt sich eine eigene Kombination dieser Risiken. Die meisten Rohstoffe kommen in Deutschland oder Europa nicht in ausreichender Menge vor und müssen daher importiert werden. Bei vielen Rohstoffen zählen Länder mit hohen wirtschaftlichen und politischen Risiken und mangelhaften Institutionen zu den größten Anbietern. Hier bestehen Gefahren für die Investitionssicherheit der Rohstoffförderung und eine strategische Verknappung des Rohstoffangebots. In einer Zeit zunehmender handelspolitischer Unsicherheit und sicherheitspolitischer Konfrontationen steigen diese Risiken.

Neuer und steigender Rohstoffbedarf erwächst aus einer zunehmenden Marktdurchdringung neuer Technologien. Markantestes Beispiel ist aktuell die Entwicklung der Elektromobilität. Steigende Ambitionen im Klimaschutz führen hier aktuell zu einem schnelleren Markthochlauf als in den vergangenen Jahren für möglich gehalten wurde. Daneben ist eine weitere Beschleunigung des Ausbaus von Klimaschutztechnologien in der Energieerzeugung oder bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff zu erwarten. Von diesen Entwicklungen geht weiterhin eine steigende Rohstoffnachfrage nach spezifischen Rohstoffen wie Kobalt, Lithium, Graphit, Nickel, seltenen Erden oder Platingruppenmetallen aus, die das Potenzial hat, den Rohstoffeinsatz nachhaltig zu verändern. Gleichzeitig zeichnen sich Reaktionen auf der Angebotsseite ab, die die aktuellen Versorgungsrisiken vermindern können. Langfristig gilt es hier, im Hinblick auf einen ökologischen Umbau der Produktion, geschlossene Recyclingkreisläufe für die wichtigsten Materialien zu entwickeln.

Auf absehbare Zeit wird die Importabhängigkeit Deutschlands und Europas bei den metallischen Rohstoffen dennoch bestehen bleiben. Unternehmen und Staat sind daher gefordert, immer wieder nach internationalen Lösungen zu suchen. Das Bemühen um den Fortbestand eines international gesicherten regelbasierten Handelssystems ist eine der zentralen Aufgaben der Rohstoffpolitik.

Die Sicherung der eigenen Rohstoffversorgung ist aus marktwirtschaftlicher Perspektive in erster Linie Aufgabe der Unternehmen selbst. Dazu gehört die Analyse des eigenen Rohstoffbedarfs und das Ergreifen geeigneter Maßnahmen. Die Zusammenarbeit einzelner Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette ist hier genauso wie in anderen Bereichen Teil einer ökonomisch sinnvollen Arbeitsteilung und Spezialisierung.

Aus ordnungspolitischer Perspektive bestehen staatliche Aufgaben erst dann, wenn gesamtwirtschaftliche oder gesellschaftliche Herausforderungen eine gemeinsame Lösung für alle ökonomischen Akteure erfordern oder wenn eigenes oder fremdes staatliches Handeln die Rahmenbedingungen für die Unternehmen spürbar verändern.

Dies gilt im internationalen Kontext, wenn der Zugang zu ausländischen Märkten administrativ oder mit Zöllen beschränkt wird. Deutschland und die EU sollten sich auf internationaler Ebene für freie Marktzugänge und die Aufrechterhaltung des freien Welthandels einsetzen. Weil von einer Gefährdung des Rohstoffzugangs alle Unternehmen auch auf nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette betroffen sind, gehört die Gewährleistung eines freien Rohstoffzugangs auf allen Stufen der Wertschöpfungskette zu den gesamtgesellschaftlichen Aufgaben.

Eine erfolgreiche Rohstoffpolitik bietet daher verschiedene Ansatzpunkte für Maßnahmen, die unterschiedlichen Akteuren und Handlungsebenen zugeordnet werden können. In Tabelle 12 werden die Unternehmensebene, die staatlichen Ebene sowie eine interaktive Ebene unterschieden. Auf der interaktiven Ebene arbeiten Unternehmen untereinander oder in Kooperation mit anderen Akteuren wie Forschungseinrichtungen oder staatlichen Agenturen zusammen. Tabelle 12 enthält eine Zuordnung einzelner Maßnahmen zu Problemen der Rohstoffsicherung und den Akteursebenen.

## 7.1 Unternehmensebene

Die Rohstoffabhängigkeit kann auf Unternehmensebene über die vertikale Integration der Rohstoffbeschaffung besser kontrolliert werden, indem sich das Unternehmen Zugang zu in- und ausländischem Bergbau sichert. Diese Maßnahme steht eher großen als kleinen und mittelständischen Unternehmen offen.

Die Risiken aus Unsicherheit und Ineffizienzen auf Rohstoffmärkten lassen sich von Unternehmen durch die kontinuierliche Analyse der eigenen Rohstoffsituation verringern. Über die direkte Rohstoffbeschaffung hinaus ist für die meisten Unternehmen auch das Monitoring der Rohstoffströme in der vorgelagerten Wertschöpfungskette wichtig für die Risikoeinschätzung.

Die Abhängigkeit von Primärrohstoffen kann durch Maßnahmen an verschiedenen Stellen der Produkt- und Prozessgestaltung verringert werden. Produktentwicklung, Materialeffizienz, Recycling und Substitution sind hier die relevanten Stichworte.

Verschiedene Instrumente zur Absicherung gegen Preisschwankungen helfen, das Risiko der Preisvolatilität zu bearbeiten. Die Diversifikation von Lieferanten und die Vorratshaltung knüpfen an der stofflichen Seite des Rohstoffhandels an und sichern gleichzeitig gegen Versorgungsausfälle ab. Auf der finanziellen Seite können Finanzinstrumente wie Optionen oder Futures – Stichwort *Hedging* – oder langfristige Lieferverträge mit Preisgleitklauseln zum Einsatz kommen.

Auf die politische und wirtschaftliche Stabilität und Korruption in den Rohstoffländern insgesamt haben einzelne Unternehmen kaum Einfluss. Sie können aber zur Verbesserung der Situation im Rahmen ihrer eigenen Geschäftstätigkeit beitragen. Ein Element ist die Analyse der eigenen Liefer- und Wertschöpfungskette im Hinblick auf Menschenrechte

oder Arbeits-, Sozial- und Umweltstandards, eine entsprechend sorgfältige Auswahl der Lieferanten sowie das eigene Verhalten des Unternehmens.

## 7.2 Interaktive Ebene

Die interaktive Ebene bildet einen Kooperationsraum für Unternehmen, Forschungseinrichtungen oder staatliche Stellen ab. Die Kooperation zwischen Unternehmen oder zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bietet sich an, wenn die Aufgaben für ein einzelnes Unternehmen zu groß oder komplex sind. Staatliche Institutionen können vor allem dann unterstützen, wenn regulatorische Fragen zu klären sind, der Zugang zu staatlichen Stellen anderer Länder erforderlich ist oder Informationen von allgemeinem Interesse erhoben und veröffentlicht werden.

Unternehmen können die Abhängigkeit von ausländischen Rohstoffquellen jenseits der vertikalen Integration auch durch gemeinsame Exploration und Projektentwicklung mit anderen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen begrenzen. Auch die staatliche Unterstützung solcher Projekte – wie in Deutschland durch die UFK-Garantien – lassen sich dieser Ebene zuordnen.

Die Kooperation zwischen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette oder zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen kann in verschiedenen Formen an unterschiedlichen Punkten der Versorgungsrisiken ansetzen:

- Die vollständige Analyse der Rohstoffsituation entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines Unternehmens erfordert die Kooperation aller Beteiligten. Zur Identifikation der Rohstoffrisiken im Endprodukt sollten die Informationen der verschiedenen beteiligten Unternehmen gebündelt werden. Dies gilt für die Versorgungsrisiken ebenso wie für die Risiken, die aus Compliance-Anforderungen erwachsen. Hier können staatliche und halbstaatliche Akteure wie die DERA, des German Mining Network oder das Netzwerk Rohstoffe ebenso einen positiven Beitrag leisten wie Forschungseinrichtungen oder Beratungsunternehmen.
- Die Abhängigkeit von Primärrohstoffen lässt sich durch Fortschritte bei Produktdesign, Recycling und Substitution verringern. Die Verbundforschung als Kooperation zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen kann hier zu einer schnelleren Transformation wissenschaftlicher Erkenntnisse in anwendungsorientiertes Wissen beitragen. Die staatliche Förderung der Forschungseinrichtungen insgesamt sowie die Förderung spezifischer Projekte der Verbundforschung zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterstützen diese Bemühungen.
- Unternehmen können mittels der Zusammenarbeit in Netzwerken durch Nachfragebündelung in Einkaufsgemeinschaften und gemeinsame Lagerhaltung die Risiken aus Preisschwankungen und Versorgungsausfällen leichter bewältigen als jedes Unternehmen individuell.



- Auf deutscher und europäischer Ebene haben in den letzten Jahren die Aktivitäten im Rahmen einer aktiven Industriepolitik zugenommen, die auch die Sicherung der Rohstoffversorgung der Unternehmen berücksichtigen. Dazu zählen die europäische Batterieallianz und die staatliche Unterstützung bei den IPCEI-Vorhaben in verschiedenen Bereichen. Die Etablierung internationaler Kooperationen mit den Abbauländern und die Aufrechterhaltung des offenen internationalen Handels gelten auch hier als wesentliche Pfeiler einer Rohstoffstrategie.

### 7.3 Staatliche Ebene

Auf der staatlichen Ebene sind jene Maßnahmen angesiedelt, die eine internationale staatliche Zusammenarbeit voraussetzen oder bei denen es sich um klassische Staatsaufgaben handelt. In Europa besteht zwischen der EU und den Mitgliedstaaten je nach Bereich eine unterschiedliche Aufgabenverteilung.

Für Fragen der Handelspolitik ist die EU zuständig. Zu den wichtigsten Aufgaben zählen Aufrechterhaltung und Förderung eines möglichst freien Welthandels und eines gesicherten Marktzugangs deutscher und europäischer Unternehmen zu den internationalen Rohstoffmärkten. Der WTO-Rahmen wird dabei zunehmend durch weitere bi- und multilaterale Vereinbarungen ergänzt. Zu den Maßnahmen zählen der Schutz deutscher und europäischer Investitionen in Förderländern und die Beschränkung des strategischen Einsatzes von Marktmacht der Rohstoffländer.

Zu den Hauptrisiken einer gesicherten Rohstoffversorgung in Europa gehört die politische und wirtschaftliche Instabilität in wichtigen Förderländern. Ein Ziel der Rohstoffpolitik in der EU und Deutschland ist es, die Stabilität in den Förderländern durch die Unterstützung bei der Entwicklung von Institutionen und der Etablierung guter Regierungsführung zu stärken. 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. Die Rohstoffpartnerschaften der Bundesregierung mit Kasachstan, der Mongolei und Peru als Teil der Rohstoffstrategie stellen eine Umsetzung dieses Ansatzes dar. Das Engagement in der internationalen Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft (EITI) oder der *European Partnership for Responsible Minerals (EPRM)* sind weitere Beiträge.

Die Förderung der Grundlagenforschung zählt zu den klassischen Staatsaufgaben – vor allem dann, wenn dadurch neues allgemein zugängliches Wissen erzeugt wird. Im Rohstoffbereich sind hier die größten Effekte bei den kritischen Rohstoffen und neuen Verwendungszwecken zu erwarten. Auch die Ausbildung von Wissenschaftlern kann hier subsumiert werden.

Auf staatlicher Ebene ist auch die Organisation der Sekundärrohstoffwirtschaft und die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft angesiedelt. Dies betrifft in erster jene Rohstoffe, bei denen sich mangels Wirtschaftlichkeit noch keine privaten Recyclingkreisläufe gebildet haben.



Die DERA erfüllt als zentrale Institution der deutschen Rohstoffpolitik einige der staatlichen Aufgaben, z. B.:

- die Bereitstellung von Informationen zur Rohstoffverfügbarkeit für Unternehmen, politische Entscheidungsträger und interessierte Öffentlichkeit,
- die Beteiligung in internationalen Netzwerken von Rohstoffverbänden und Forschungseinrichtungen und die Repräsentation der Bundesrepublik auf internationaler Ebene und
- die Beurteilung der Einhaltung von Standards der entwicklungspolitischen Zielsetzungen bei der Gewährung staatlicher Unterstützung von Unternehmen bei Rohstoffprojekten im Ausland, wie z. B. den UFK-Garantien.

Die Rahmenbedingungen für den inländische Primärrohstoffabbau gehören ebenfalls zu den Staatsaufgaben. Dabei gilt es einerseits die derzeit geförderten Rohstoffe in den Blick zu nehmen. Andererseits wandeln sich durch technologische Innovationen die Rohstoffnachfrage und das potenzielle Rohstoffangebot. Die Erschließung neuer Rohstoffvorkommen kann durch zusätzliche Nachfrage oder durch neue Fördertechniken rentabel werden. Ein Beispiel ist die Entwicklung der Lithiumförderung aus unterirdischem Thermalwasser im Oberrheingraben. Effiziente Raumplanungs-, Genehmigungs- und Zulassungsverfahren sind eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Erschließung solcher Ressourcen.

Tabelle 12

## 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                          | – Vertikale Integration                                                                             | – Exploration und Projektentwicklung                                  | – Investitionssicherheit<br>– Partnerschaften<br>– Exploration<br>– Förderung der inländischen Primärrohstoffgewinnung<br>– Sekundärrohstoffe |
|                                                            |                                                                  | – Analyse der eigenen Rohstoffsituation                                                             | – Netzwerkbildung                                                     | – Schaffung von Informationsangeboten                                                                                                         |
| Unsicherheit und ineffizientes Marktverhalten              | Transparente Preisbildung, Kritikalitätslisten                   | – Produktentwicklung                                                                                | – Verbundforschung                                                    | – Ausbildung<br>– Grundlagenforschung<br>– Sekundärrohstoffe                                                                                  |
|                                                            |                                                                  | – Materialeffizienz<br>– Recycling<br>– Substitution                                                |                                                                       |                                                                                                                                               |
| Abhängigkeit von Primärrohstoffen                          | Geringere Abhängigkeit von Primärrohstoffen                      | – Hedging<br>– Langfristige Lieferverträge<br>– Diversifikation von Lieferanten<br>– Vorratshaltung | – Nachfragebündelung<br>– Gemeinsame Lagerhaltung                     |                                                                                                                                               |
|                                                            |                                                                  |                                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                               |
| Preisvolatilität                                           | Absicherung gegen Preisschwankungen                              | – Diversifikation von Lieferanten<br>– Vorratshaltung                                               | – Gemeinsame Lagerhaltung                                             |                                                                                                                                               |
|                                                            |                                                                  |                                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                               |
| Versorgungsausfall                                         | Absicherung gegen Versorgungsschwankungen                        | – Diversifikation von Lieferanten<br>– Vorratshaltung                                               | – Gemeinsame Lagerhaltung                                             |                                                                                                                                               |
|                                                            |                                                                  |                                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                               |
| Strategischer Einsatz von Marktmacht                       | Freier Wettbewerb auf Rohstoffmärkten                            | – Klage gegen Missbrauch von Marktmacht                                                             | – Klage gegen Missbrauch von Marktmacht                               | – Handelspolitik, u. a.: multilaterale und bilaterale Freihandelsverträge, WTO-Verfahren                                                      |
|                                                            |                                                                  |                                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                               |
| Krisen, Korruption, fehlende Stabilität in Rohstoffländern | Politische und wirtschaftliche Stabilisierung der Rohstoffländer | – Technologietransfer<br>– Analyse der eigenen Liefer- und Wertschöpfungskette                      | – Technologietransfer<br>– Informations- und Beratung für Unternehmen | – Unterstützung für Rohstoffländer, z. B. Partnerschaften, Good Governance, Entwicklungshilfe<br>– Informationen und Beratung für Unternehmen |
|                                                            |                                                                  |                                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                               |

Eigene Darstellung in Anlehnung an Bardt et al. (2013), IW Consult, 2021

## Literaturverzeichnis

---

**Augsburger Allgemeine (2021):**

Wasserstoffzug startet bereits in zwei Jahren in Augsburg, <https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Klimaschutz-Wasserstoffzug-startet-bereits-in-zwei-Jahren-in-Augsburg-id60078251.html>, abgerufen am 23. August 2021.

**Aurora Energy Research (2021):**

<https://auroraer.com/media/companies-are-developing-over-200-gw-of-hydrogen-electrolyser-projects-globally-85-of-which-are-in-europe/>, abgerufen am 23. August 2021.

**auto motor sport (2021):**

Batteriezellen-Fertigung in Deutschland und Europa – Wo Elektroauto-Akkus entstehen (sollen); von Thomas Harloff (14.7.2021), <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/batteriezellen-fertigung-deutschland-wo-elektroauto-akkus-entstehen/>

**Automobil Produktion (2021):**

Zweite Ausbaustufe: Volkswagen verdoppelt Batteriekapazitäten in Braunschweig; von Fabian Pertschy (16.4.2021); <https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/produktionstechnik/volkswagen-verdoppelt-batteriekapazitaeten-in-braunschweig-123.html>

**Bardt, Hubertus/Diermeier, Matthias/Grömling, Michael/Hüther, Michael/Obst, Thomas (2021):**

Lieferengpässe und Preisentwicklungen bei Rohstoffen und Vorleistungen. Corona Echo Effekte oder ‚here to stay‘?, IW-Report, Nr. 27, Köln / Berlin

**Bardt, Hubertus (2011):**

Rohstoffpreise – Entwicklung und Bedeutung für die deutsche Wirtschaft, in: IW-Trends, Jg. 38, Heft 2, S. 19-30

**bdew (2021):**

Webseite des Bundesverbandes der Wasserstoff- und Energiewirtschaft, [www.bdew.de](http://www.bdew.de), abgerufen am 10. Juli 2021.

**BMWi (2020):**

Die Nationale Wasserstoffstrategie, <https://www.bmbf.de/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf>, abgerufen am 9. Juli 2021.

**BMWi (2019):**

Dialogprozess Gas 2030– Erste Bilanz, [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/dialog-prozess-gas-2030-erste-bilanz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/dialog-prozess-gas-2030-erste-bilanz.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

**BGR (2021):**

Marscheider-Weidemann, F.; Langkau, S.; Baur, S.-J.; Billaud, M.; Deubzer, O.; Eberling, E.; Erdmann, L.; Haendel, M.; Krail, M.; Loibl, A.; Maisel, F.; Marwede, M.; Neef, C.; Neuwirth, M.; Rostek, L.; Rückschloss, J.; Shirinzadeh, S.; Stijepic, D.; Tercero Espinoza, L.; Tippner, M. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021.– DERA Rohstoffinformationen 50: 366 S., Berlin. [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf;jsessionid=C39D3DD48D4BB082027685D01CFCBA41.1\\_cid331?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf;jsessionid=C39D3DD48D4BB082027685D01CFCBA41.1_cid331?__blob=publicationFile&v=3), abgerufen am 10. Juni 2021.

**BR Bayerischer Rundfunk (2021):**

Grüner Wasserstoff – In Wunsiedel entsteht Bayerns größte Anlage, <https://www.br.de/nachrichten/bayern/gruener-wasserstoff-bayerns-groesste-anlage-entsteht-in-wunsiedel,Sca1g2j>, abgerufen am 23. August 2021.

**Buchert et al. (2019):**

Gigafactories für Lithium – Rohstoffbedarfe für die Elektromobilität bis 2050: Kurzstudie erstellt im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes Fab4Lib - Erforschung von Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Prozesseffizienz in der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion über die gesamte Wertschöpfungskette

**Bundesregierung (2021):**

Klimaabkommen von Paris wird Gesetz, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klima-abkommen-von-paris-wird-gesetz-411212#:~:text=Die%20Bundesregierung%20setzt%20ein%20deutliches%20Signal%3A%20Deutschland%20will,das%20UN%20-Klimaabkommen%20von%20Paris%20eins%20zu%20eins.>, abgerufen am 21. Juli 2021.

**Business Insider (2021):**

Hoffungstechnologie Feststoffbatterie: Wann kommt die E-Auto-Revolution endlich in Serie? Von Elias Holdenried (03.08.2021); <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/mobility/hoffungstechnologie-feststoffbatterie-wann-kommt-die-e-auto-revolution-endlich-in-serie-e/>

**Demary, Vera/Matthes, Jürgen/Plünnecke, Axel/Schaefer, Thilo (Hrsg.). (2021):**

Gleichzeitig: Wie vier Disruptionen die deutsche Wirtschaft verändern. Herausforderungen und Lösungen, IW-Studie, Köln

**DERA (2021):**

DERA Themenheft: Batterierohstoffe für die Elektromobilität; [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-21.pdf;jsessionid=89AC-CEAC81FA92BB9D4C70E73F6C8725.2\\_cid292?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-21.pdf;jsessionid=89AC-CEAC81FA92BB9D4C70E73F6C8725.2_cid292?__blob=publicationFile&v=6)

**Deutscher Bundestag. 2020**, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen, Drucksache 19/16720 vom 16.01.2020,

**Dilico (2021):**

<https://www.dilico.de/de/elektrolyseure.php>, abgerufen am 14. Juli 2021.

**electrive.net (2021a):**

Tesla will offenbar Batterie-Vielfalt eindämmen; von Sebastian Schaal (30.7.2021); <https://www.electrive.net/2021/07/30/tesla-will-offenbar-batterie-vielfalt-eindaemmen/>

**electrive.net (2021b):**

Entwickelt LGES eigene LFP-Zellen? Von Sebastian Schaal (07.09.2021); <https://www.electrive.net/2021/09/07/entwickelt-lges-eigene-lfp-zellen/>

**electrive.net (2021c):**

SVOLT implementiert Zell-Technologie von Soteria BIG; von Cora Werwitzke (23.4.2021); <https://www.electrive.net/2021/04/23/svolt-implementiert-zell-technologie-von-soteria-big/>

**electrive.net (2021d):**

SVOLT beginnt Produktion von kobaltfreiem Kathodenmaterial; von Daniel Bönnighausen (14.4.2021); <https://www.electrive.net/2021/04/14/svolt-beginnt-produktion-des-kobaltfreien-kathodenmaterials/>

**electrive.net (2021e):**

Solid Power plant zweite Fertigung in Colorado, von Sebastian Schaal (09.09.2021); <https://www.electrive.net/2021/09/09/solid-power-plant-zweite-fertigung-in-colorado/>

**electrive.net (2021f):**

BMW i Vision Circular: Wie ein BMW i3 im Jahr 2040 aussieht; von Sebastian Schaal (06.09.2021); <https://www.electrive.net/2021/09/06/bmw-i-vision-circular-wie-ein-bmw-i3-im-jahr-2040-aussieht/>

**energy central (2020):**

World Battery Production; Post vom 5.2.2020; <https://energycentral.com/c/ec/world-battery-production>

**Europäische Kommission (2020a):**

Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study, 2020"; [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs\\_for\\_Strategic\\_Technologies\\_and\\_Sectors\\_in\\_the\\_EU\\_2020.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf)

**EU-Kommission (2020b):**

Fragen und Antworten – Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/QANDA\\_20\\_1257](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/QANDA_20_1257), abgerufen am 23. August 2021.

**Europäische Kommission (2021a):**

Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU- Klimaziels für 2030; COM(2021) 550 final

**Europäische Kommission (2021b):**

Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union; COM(2021) 556 final

**FAZ (2021):**

Mittendrin in der Batterierevolution; von Maximilian Fichtner (1.3.2021); <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/digitec/mittendrin-in-der-batterie-revolution-17220712.html>

**FFE Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2021):**

Elektrolyse – die Schlüsseltechnologie für Power-to-X, <https://www.ffe.de/publikationen/pressemeldungen/892-elektrolyse-die-schlüsseltechnologie-fuer-power-to-x>, abgerufen am 14. Juli 2021.

**Fraunhofer ISE (2019):**

Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10\\_Fraunhofer\\_Wasserstoff-Roadmap\\_fuer\\_Deutschland.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf), abgerufen am 21. Juli 2021.

**Fraunhofer IKTS (2021):**

Elektrolyseverfahren zur Erzeugung von grünem Wasserstoff, [https://www.ikts.fraunhofer.de/de/industrieloesungen/wasserstofftechnologien/elektrolyseverfahren\\_zur\\_erzeugung\\_von\\_gruenem\\_wasserstoff.html](https://www.ikts.fraunhofer.de/de/industrieloesungen/wasserstofftechnologien/elektrolyseverfahren_zur_erzeugung_von_gruenem_wasserstoff.html), abgerufen am 14. Juli 2021.

**Handelsblatt (2021a):**

„Power Day bei VW“- Neue Strategie für Batterien; Handelsblatt, 15.3.2021, S. 17

**Handelsblatt (2021b):**

Elektromobilität – Unterm Rhein liegt Europas größtes Lithium. Vorkommen; von Kathrin Witsch (26.3.2021); <https://amp2.handelsblatt.com/unternehmen/energie/elektromobilitaet-unter-dem-rhein-liegt-europas-groesstes-lithium-vorkommen/27037476.htm>

**Handelsblatt (2021c):**

Elektromobilität – Plötzlich Batterieschritt; von Claudia Scholz (15.4.2021, S. 8)

**Handelsblatt (2021d):**

Allianz für grünen Wasserstoff aus der Wüste, 12.3.2021, abgerufen am 14. Juli 2021.

**Handelsblatt (2021e):**

Ein Wasserstoffzentrum an der Nordseeküste, 15.4.2021, abgerufen am 14. Juli 2021.

**Handelsblatt (2021f):**

Bund schiebt 16 Wasserstoffprojekte an, 8.3.2021, abgerufen am 14. Juli 2021.

**Handelsblatt (2021g):**

Wie Deutschland von Tokios Wasserstoffplan profitiert, 10.3.2021, abgerufen am 14. Juli 2021.

**Heraeus (2020):**

Meilenstein für grünen Wasserstoff – Heraeus bringt neuen Elektrokatalysator auf den Markt, [https://www.heraeus.com/de/hpm/hpm\\_news/2020\\_hpm\\_news/09\\_milestone\\_for\\_green\\_hydrogen.html](https://www.heraeus.com/de/hpm/hpm_news/2020_hpm_news/09_milestone_for_green_hydrogen.html), abgerufen am 23. August 2021.

**Hydrogen Council (2017):**

Hydrogen Scaling up, [https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-Scaling-up\\_Hydrogen-Council\\_2017.compressed.pdf](https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-Scaling-up_Hydrogen-Council_2017.compressed.pdf), abgerufen am 7. September 2021.

**Ingenieur.de (2019):**

Forscher entwickeln edelmetallfreien Katalysator, 18.3.2019, <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/forscher-entwickeln-edelmetall-freien-katalysator/>, abgerufen am 21. Juli 2021.

**IW Consult et al. (2021):**

Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen – Status quo, Trends, Szenarien. Studie der IW Consult in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IAO und automotiveland.nrw für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen; [https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/210226\\_endbericht\\_automobilwirtschaft\\_nrw\\_final.pdf](https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/210226_endbericht_automobilwirtschaft_nrw_final.pdf)

**KfW (2020):**

Grüner Wasserstoff - Die Vorreiter, <https://www.kfw.de/stories/umwelt/erneuerbare-energien/salz-gitter-ag/>, abgerufen am 21. Juli 2021.

**Khan et al. (2018):**

Recent Progresses in Electrocatalysts for Water Electrolysis, in: Electrochemical Energy Review, 1: 483-530.

**Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021):**

AG1 – Bericht: Wege für mehr Klimaschutz im Verkehr; [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/07/NPM\\_AG1\\_Wege-fuer-mehr-Klimaschutz.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/07/NPM_AG1_Wege-fuer-mehr-Klimaschutz.pdf)

**NOW (2018):**

Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff in Verkehr, Strom und Energie, [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/indwede-studie\\_v04.1.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/indwede-studie_v04.1.pdf), abgerufen am 15. Juni 2021.

**Öko-Institut (2020):**

Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe, <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Wasserstoff-und-wasserstoffbasierte-Brennstoffe.pdf>, abgerufen am 10. Juli 2021.

**Olivetti et al. (2017):**

Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals. Joule 1 / October 2017, pp. 229-243

**Produktion.de (2021):**

Interaktive Karte zur E-Mobility – Batterieproduktion in Deutschland: Hier entstehen neue Werke; von Nora Menzel und Dietmar Poll (6.9.2021); <https://www.produktion.de/technik/batterieproduktion-in-deutschland-hier-entstehen-neue-werke-124.html>

**PwC (2021):**

Laying the foundations of a low carbon hydrogen market in Europe, <https://www.strategyand.pwc.com>, abgerufen am 7. Juli 2021.

**STMWI Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2020):**

Bayerische Wasserstoffstrategie, <https://www.stmwi.bayern.de/wasserstoffstrategie/>, abgerufen am 23. August 2021.

**vbw (2020a):**

Auto-Cluster Bayern – Entwicklung und Zukunftsperspektive. Eine vbw/bayme vbm Studie, erstellt von IW Consult GmbH und Fraunhofer IAO; <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2021/Downloads/Studie-Auto-Cluster-Bayern-M%C3%A4rz-2021.pdf>

**vbw (2020b):**

Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft: Eine vbw Studie, erstellt von Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH 8Stand. Dezember 2020); <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2020/Downloads/201202-Studie-Rohstoffe.pdf>

**WEF/Global Battery Alliance (2019):**

A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 - Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation, Insight Report [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_A\\_Vision\\_for\\_a\\_Sustainable\\_Battery\\_Value\\_Chain\\_in\\_2030\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf)

## Abbildungsverzeichnis

---

|              |                                                                                                                                                                  |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abbildung 1  | Industriemetallpreis-Index                                                                                                                                       |
| Abbildung 2  | Risikofaktoren bei Rohstoffen                                                                                                                                    |
| Abbildung 3  | Länderrisiko und Rohstoffvorkommen 2021                                                                                                                          |
| Abbildung 4  | Risikoklasse I der Rohstoffe – rote Gruppe                                                                                                                       |
| Abbildung 5  | Risikoklasse II der Rohstoffe – orangefarbene Gruppe                                                                                                             |
| Abbildung 6  | Risikoklasse III der Rohstoffe – grüne Gruppe                                                                                                                    |
| Abbildung 7  | Bedeutungs-Risiko-Matrix                                                                                                                                         |
| Abbildung 8  | CO <sub>2</sub> -Minderungsziel bei Neuwagen nach Fit-for-55                                                                                                     |
| Abbildung 9  | Weltweite Neuzulassungen im Jahr 2030 von rein batteriebetriebenen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in Millionen                                                  |
| Abbildung 10 | Weltweit benötigte Batteriekapazität im Jahr 2030 für rein batterieelektrisch betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Gigawattstunden (GWh)                  |
| Abbildung 11 | In Bayern und Deutschland benötigte Batteriekapazität im Jahr 2030 für rein batterieelektrisch betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Gigawattstunden (GWh) |
| Abbildung 12 | Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 je GWh Batteriekapazität                                                                                                            |
| Abbildung 13 | Weltweite Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 bei einer Batteriekapazität von 2.410 GWh                                                                                 |
| Abbildung 14 | Gewichtung des Rohstoff-Risiko-Index                                                                                                                             |



## Tabellenverzeichnis

---

|            |                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tabelle 1  | Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse I für Bayern                                          |
| Tabelle 2  | Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse II für Bayern                                         |
| Tabelle 3  | Bedeutung der Rohstoffe Risikoklasse III für Bayern                                        |
| Tabelle 4  | Geschätzte Rohstoffbedarfe im Jahr 2030 für die Batteriezellenproduktion in Deutschland    |
| Tabelle 6  | Aktuelle Rohstoffreserven und Rohstoffbedarfe für Traktionsbatterien weltweit im Jahr 2030 |
| Tabelle 7  | Rohstoffe für die Elektromobilität im Rohstoff-Risiko-Index                                |
| Tabelle 8  | Prognostizierter Wasserstoffbedarf                                                         |
| Tabelle 9  | Prognostizierte Elektrolysekapazität                                                       |
| Tabelle 10 | Spezifische Rohstoffbedarfe für die Wasserstoffelektrolyse                                 |
| Tabelle 11 | Abgeschätzter Bedarf an kritischen Elektrolyse-Rohstoffen                                  |
| Tabelle 12 | Maßnahmen zur Rohstoffsicherung                                                            |



## Anhang – Aufbau des Rohstoff-Risiko-Index

---

### Aufbau

---

Der Aufbau des Rohstoff-Risiko-Indexes hat sich im Vergleich zur siebten Auflage nicht verändert. Im Index werden acht einzelne Elemente des Versorgungsrisikos berücksichtigt. Die Bewertung dieser Elemente erfolgt entweder auf Basis quantitativer Daten aus einschlägigen Rohstoff- und Preisdatenbanken oder auf Basis qualitativer Einschätzungen, die hauptsächlich auf einer Expertenbefragung sowie ergänzend auf Einschätzungen in der einschlägigen Literatur beruhen.

Die acht Elemente lassen sich in zwei Gruppen von fünf quantitativen und drei qualitativen Indikatoren unterteilen:

### Quantitative Indikatoren

---

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

### Qualitative Indikatoren

- Bedeutung für Zukunftstechnologien
- Gefahr des strategischen Einsatzes
- Substituierbarkeit

Um am Ende einen Index erstellen zu können, wird jeder Indikator auf einen Wertebereich zwischen 0 und 25 transformiert. Je höher der Wert, desto größer ist das Risiko eines Rohstoffs in dem betreffenden Indikator. Der Rohstoff-Risiko-Index spiegelt den Datenstand von Oktober 2021 wider.

Die folgenden Abschnitte enthalten kurze Beschreibungen der einzelnen Indikatoren.

### Statische Reichweite

Die statische Reichweite ist ein qualitativer Indikator und gibt das Verhältnis zwischen bekannten (ökonomisch und technisch nutzbaren und förderwürdigen) Reserven und aktueller Förderung in Jahren an. Beispielsweise wurden im Jahr 2020 etwa 21 Millionen Tonnen Kupfer produziert bei einem bekannten Vorkommen von weltweit rund 870 Millionen Tonnen. Somit würde dieser Rohstoff rechnerisch noch über 40 Jahre auf aktuellem Niveau gefördert werden können.

Entscheidend für die Interpretation des Wertes ist, dass er nur unter Konstanz der Rohstoffvorkommen und der aktuellen Förderung gilt. Änderungen sowohl auf der Angebotsseite (Erschließung neuer Vorkommen, verstärktes Recycling) als auch auf der Nachfrageseite (Substitution, Nachfrageänderung) können zu deutlichen Änderungen des jeweils aktuell errechneten Wertes führen. Dazu kommt der technologische Fortschritt, der die Entwicklung beider Marktseiten wesentlich beeinflussen kann.

Die statische Reichweite enthält somit weniger eine Aussage über ein definitives Ende der Produktionsmöglichkeiten bei einem Rohstoff, sondern zeigt eher die Notwendigkeit für angebots- und nachfrageseitige Änderungen an oder löst diese gar mit aus.

### **Länderrisiko**

Die Lagerstätten vieler Rohstoffe und damit deren Produktion sind häufig auf wenige einzelne Länder begrenzt. Dies trifft umso eher zu, je geringer die geförderte Menge der Rohstoffe ist. Das politische und ökonomische Risiko wirtschaftlicher Tätigkeit unterscheidet sich zwischen den Ländern der Welt erheblich. Die Vorkommen vieler Rohstoffe sind in Ländern konzentriert, in denen diese Risiken überdurchschnittlich groß sind. Zu diesen Risiken zählen im Politischen z. B. die (In-)Stabilität des politischen Systems, die Gefahr von internen oder externen bewaffneten Konflikten oder die Sicherheit im Land. Im wirtschaftlichen Bereich werden Phänomene wie die Gefahr von Enteignungen oder das Korruptionsniveau berücksichtigt.

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 (Untergruppe Area 2) zusammen.

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 z. B. stärker auf die ökonomische Freiheit in einem Land konzentriert, erfasst die AON Political Risk Map vor allem das politische Risiko. Die vier Indizes werden auf eine einheitliche Skala transformiert und aggregiert.

Um das Länderrisiko eines Rohstoffs zu bestimmen, werden die zusammengefassten Bewertungen den jeweiligen Ländern zugeordnet und mit deren Anteil an der Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs gewichtet.

### **Länderkonzentration**

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

### **Unternehmenskonzentration**

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 eines Rohstoffs wird für den Rohstoff-Risiko-Index als Mischung aus der Dynamik der Preisentwicklung und den Schwankungen der Preise im Betrachtungszeitraum verstanden. Zur Quantifizierung werden der Preisanstieg im Zeitraum von September 2018 bis September 2021 und die Preisvolatilität im gleichen Zeitraum herangezogen. 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

Die heutige und zukünftige Nachfrage nach Rohstoffen wird stark von der Entwicklung von Zukunftstechnologien geprägt. Weil sich diese Größe nicht quantitativ bestimmen lässt, wurden auch im Rahmen des diesjährigen Gutachtens externe Experten um eine Einschätzung der jeweiligen Bedeutung des Rohstoffs für Zukunftstechnologien gebeten. Die Einschätzung wurde auf einer sechsstufigen Skala für jeden Rohstoff gemessen.

Als weitere qualitative Grundlage wurden einschlägige Gutachten (Fraunhofer, DERA) zur Einordnung der einzelnen Rohstoffe verwendet.

## Gefahr strategischer Rohstoffpolitik

Die Einordnung der Rohstoffe hinsichtlich einer Gefährdung der Versorgung durch strategische Rohstoffpolitik basiert auf der Einschätzung der Rohstoffexperten. Zusätzlich können Übersichten über bestehende Handels- und Wettbewerbsbeschränkungen auf Rohstoffmärkten als Orientierungshilfen für ausgewählte Metalle und Mineralien dienen. Angesichts der derzeitigen internationalen Entwicklungen in der Handelspolitik besteht hier allerdings ein hohes Risiko für plötzliche Änderungen. Für den Rohstoff-Risiko-Index wird jeder einzelne Rohstoff auf einer sechsstufigen Skala eingeordnet.

## Substituierbarkeit

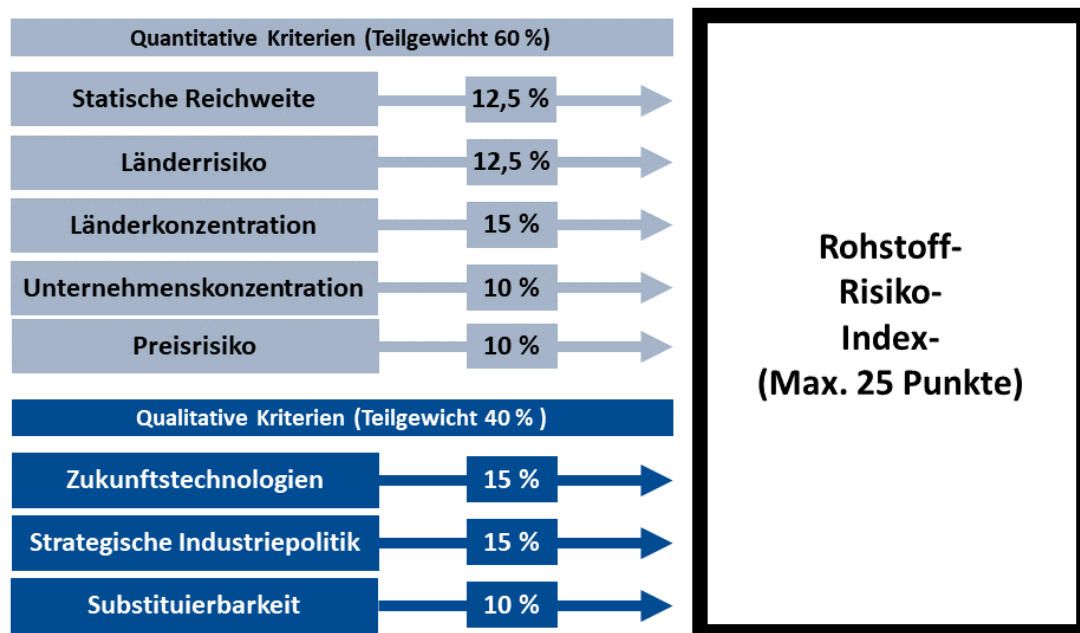
Rohstoffe können in Funktion und Eigenschaften unterschiedlich gut durch andere Rohstoffe ersetzt werden. Gleichzeitig sind diese Substitute selbst nicht immer einfach und ohne Risiko zu beschaffen. Eine einheitliche Quantifizierung der Rohstoffe besteht auch hier nicht, sodass das Rohstoffexperten-Panel auch zu einer Einordnung dieses Aspekts auf einer sechsstufigen Skala aufgefordert wurde. Ein Abgleich mit der Einstufung im Rahmen der europäischen SCREEN Initiative (SCREEN: Solution for Critical Raw Materials – a European Expert Network) rundet das Bild ab.

## Gewichtung

Im Rohstoff-Risiko-Index werden die verschiedenen Elemente des Versorgungsrisikos für jeden Rohstoff einzeln bewertet. Die Bewertung der einzelnen Elemente wird dann für jeden Rohstoff gewichtet aggregiert und bildet damit die Maßzahl des Risikos dieses Rohstoffs. Der Rohstoff-Risiko-Index kann Werte zwischen 25 (höchstes Risiko) und 0 (geringstes Risiko) annehmen. Die quantitativen Kriterien erreichen zusammen ein Gewicht von 60 Prozent des Indexes, die qualitativen Kriterien machen 40 Prozent der Gesamtbewertung aus.

Abbildung 14

### Gewichtung des Rohstoff-Risiko-Index



Eigene Darstellung IW Consult, 2021

## Anhang – Rohstoffsteckbriefe

---

Die Rohstoff-Steckbriefe berücksichtigen den verfügbaren Datenstand von Oktober 2021.

### **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**

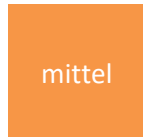
Scandium  
Yttrium  
Neodym

**Spezialmetalle**

Indium  
Germanium  
Gallium  
Selen



## ALUMINIUM



Bedeutung für Bayern: Hoch  
(insbesondere wegen der Bedeutung für die Metall- und Elektroindustrie)

Einsatzfelder:

Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau, Bauindustrie, Elektroindustrie, Windkraft, Verpackungen, Lebensmittelindustrie

Risikoklasse (3er-Skala)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 347 Mio. Tonnen des Aluminiumerzes Bauxit gewonnen.

Aluminium kann bei einer Bauxitreserve von etwa 30 Mrd. Tonnen noch über 85 Jahre produziert werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 95 % des Bauxitabbaus wurden 2019 von zehn Ländern geleistet.
- In fünf Ländern wurden 84 % des Bauxits gewonnen: Australien (30 %), Guinea (20 %), China (18 %), Brasilien (9 %) und Indien (6 %).
- Der Weltmarktanteil der Top-10-Unternehmen liegt bei über 75 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preis für Aluminium ist in den letzten drei Jahren ähnlich wie am Rohstoffmarkt gestiegen. Die Volatilität war aber geringer.

- Preis pro Tonne September 2018: 2.026 US-Dollar
- Preis pro Tonne September 2021: 2.835 US-Dollar
- Anstieg von 40%

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Kupfer, Magnesium, Titan, Verbundwerkstoffe, Glas, Papier und Stahl ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Hoch wegen der hohen Bedeutung im Bereich klassischer Industrieprodukte.
- Weniger relevant als Rohstoff für Zukunftstechnologien, aber Verwendung z. B. in LCD-Panels und RFID-Chips.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Für niedriges Risiko spricht, dass der Rohstoff in westlichen Ländern (z. B. Australien) vorhanden ist.
- Riskant ist, dass China bedeutende Lagerstätten hat und diese strategisch nutzen könnte.

## BLEI

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Akkumulatoren, Kabel, Glasindustrie, Chemie, Farbstoffe, Legierungen, Elektrotechnik, Radiologie und Munition

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden 5,3 Mio. Tonnen Blei produziert.

Blei kann bei bestehenden Reserven von rund 90 Mio. Tonnen noch rund 17 Jahre abgebaut werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 88 % der Bleiförderung wurden 2020 von zehn Ländern erbracht.
- In sechs Ländern wurden 79 % des Bleis gewonnen: China (46 %), Australien (11 %), Mexiko, USA (je 6 %), Peru und Indien (je 5 %).
- Der Weltmarktanteil der Top-10-Unternehmen liegt bei 45 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Bleipreis stieg in den letzten drei Jahren moderat stetig mit nur mäßigen Schwankungen.

- Preis pro Tonne September 2018: 2.023 US-Dollar
- Preis pro Tonne September 2021: 2.248 US-Dollar
- Anstieg von 11%

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Blei kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Plastik, Aluminium, Eisen oder Zinn ersetzt werden.

Verringerte Verwendung durch Nutzung von blei-freien Akkumulatoren, Batterien und Loten.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Mäßige Bedeutung für Zukunftstechnologien.
- Blei wird – auch aufgrund seiner Toxizität – immer stärker durch andere Rohstoffe (wie z. B. Zinn) ersetzt.

### Politische Risiken

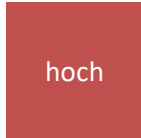
Risikoklasse



- Hier droht mäßige Gefahr.
- China könnte seine hohe Bedeutung als Lagerstätte industriepolitisch nutzen.

## CHROM

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Verwendung bei der Produktion von Edelstählen, in der Feuerfestindustrie, der chemischen Industrie und der Farbindustrie

Einsatzfelder:

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden 38,6 Mio. Tonnen des Erzes Chromit gewonnen.

Chrom kann bei einer Chromitreserve von etwa 570 Mio. Tonnen bei gleichem Verbrauch nur für rund 15 Jahre produziert werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 97 % des Chromitabbaus wurden 2019 in zehn Ländern erbracht.
- In fünf Ländern wurden rund 87 % des Chromits abgebaut: Südafrika (46 %), Kasachstan (18 %), Indien (10 %), die Türkei (9 %) und Simbabwe (4 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



In den letzten drei Jahren sank der Chrompreis bis Mitte 2020 auf rund 6.600 US-Dollar und stieg seitdem wieder an.

- Preis pro Tonne September 2018: 11.254 US-Dollar
- Preis pro Tonne September 2021: 9.895 US-Dollar
- Rückgang von 12%

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Chrom kann nur schwer durch andere Stoffe substituiert werden. Forschung und Entwicklung erweitert die technischen und ökonomischen Möglichkeiten der Substitution. In einigen Bereichen ist dies schon gelungen.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Wichtig für einige Zukunftstechnologien (Meerwasserentsalzung, korrosionsfreier Stahl z. B. für marine Techniken).

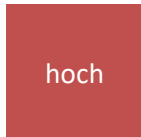
### Politische Risiken

Risikoklasse



Leicht erhöhte Gefahr aufgrund der Relevanz des Rohstoffs.

## EISEN



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(aufgrund der Bedeutung für die metallverarbeitende Industrie)

Einsatzfelder:

Verwendung im Fahrzeugbau, der Bauindustrie  
sowie im Maschinen- und Anlagenbau

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden 2,4 Mrd. Tonnen Eisenerz gefördert.

Bei Eisenerzvorräten von rund 180 Mrd. Tonnen kann Eisen noch für rund 76 Jahre produziert werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 92 % des Eisenerzabbaus fanden 2020 in zehn Ländern statt.
- In fünf Ländern wurden rund 80 % des Eisenerzes gewonnen: Australien (38 %), Brasilien (17 %), China (11 %), Indien (9 %) und Russland (5 %).
- Die Top-10 Unternehmen vereinen einen Weltmarktanteil von rund 63 % auf sich.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Bei Eisen waren stärker steigende Preise und größere Schwankungen als im Marktdurchschnitt zu beobachten. Im Juni 2021 wurde mit 214 US-Dollar ein Allzeithoch erreicht.

- Preis September 2018: 68 US-Dollar je Tonne Feinerz
- Preis September 2021: 125 US-Dollar je Tonne Feinerz
- Anstieg von 82 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Aluminium, Plastik und Verbundwerkstoffe.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Technologische Bedeutung eher gering; Bedeutung ergibt sich aus Materialbedarf durch das Wirtschaftswachstum bestimmt.
- Zunehmende Bedeutung durch Verwendung in Trink- und Abwasseraufbereitung sowie Leiterplatten.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Substanzielle Förderung in eher kritischen Ländern wie China, Russland, Brasilien, Indien, Ukraine, die sich teilweise in Konflikten befinden und zu ausgeprägten industriepolitischen Maßnahmen neigen (China, Indien).
- Erhöhte Unsicherheit über den zukünftigen politischen Kurs in Brasilien.

## KADMIUM

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Produktion von Lampen, Solarzellen und Halbleitern;  
abnehmende Bedeutung wegen der hohen Toxizität  
von Kadmium und seinen Verbindungen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 27.500 Tonnen Kadmium produziert.

Bei Kadmiumvorräten von rund 750.000 Tonnen kann Kadmium bei gleicher Produktion noch für rund 27 Jahre hergestellt werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 93 % des Kadmiumabbaus fanden 2019 in zehn Ländern statt.
- In fünf Ländern wurden rund 75 % des Kadmiums gewonnen: China (37 %), Südkorea (18 %), Japan, Russland und Kanada (je 7 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Bei Kadmium waren Preissteigerung und -schwankungen im Vergleich zu allen betrachteten Rohstoffen besonders klein.

- Preis pro Tonne September 2018: 2.421 US-Dollar
- Preis pro Tonne September 2021: 2.650 US-Dollar
- Anstieg von 9,4 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Kadmium kann durch Lithium, Nickel, Zink und Aluminium substituiert werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Zwar wird Kadmium auch für bestimmte Zukunftsprodukte verwendet, seine Verwendung nimmt aber aufgrund seiner Toxizität ab.

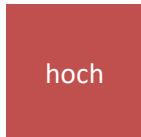
### Politische Risiken

Risikoklasse



Die Länderkonzentration ist mäßig. Mit Südkorea, Kanada und Japan sind zwar auch politisch stabile Länder unter den größeren Produzenten vertreten. Mit China und Russland liegen aber rund 45 Prozent der Produktion in Risikoländern.

## KOBALT



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(aufgrund der Bedeutung für die Batteriezellfertigung für die Elektromobilität)

Einsatzfelder:  
Hochtemperaturlegierungen, Hartmetalle, Dauermagnetwerkstoffe, Katalysatoren, Farben, Batterien und Verwendung in der Radiologie; besondere Bedeutung für die Elektromobilität

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 144.000 Tonnen Kobalt produziert.

Die Vorräte belaufen sich auf rund 7,1 Mio. Tonnen und reichen theoretisch bei gleicher Produktion für weitere rund 49 Jahre. Im Zuge der steigenden Nachfrage für die Elektromobilität ist aber mit deutlich steigendem Verbrauch zu rechnen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Rund 94 % der Kobaltgewinnung konzentrierten sich 2020 auf zehn Länder.
- Die Demokratische Republik Kongo kam allein auf einen Anteil von 69% der weltweiten Produktion. Die nächstgrößeren vier Förderländer sind Australien (5 %), Philippinen, Cuba und Russland (je 3 %).
- Die 10 größten Unternehmen vereinen 72 Prozent der Produktion auf sich.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Kobaltpreise sind im Betrachtungszeitraum gesunken. Mit einem Preistief von rund 27.300 US-Dollar pro Tonne (Juli 2019) war die Volatilität aber weiter besonders stark ausgeprägt.

- Preis September 2018: 62.100 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 51.860 US-Dollar pro Tonne
- Rückgang von 17%

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Kobalt kann ohne deutliche Leistungseinbuße derzeit kaum substituiert werden. Im Batteriebereich wird aber verstärkt an Reduzierung und Substitution von Kobalt gearbeitet.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Der Bedarf an Lithium-Ionen-Akkumulatoren (in Form von Lithium-Cobalt-Oxid) und die Verwendung für Superlegierungen machen Kobalt in der Zukunft sehr bedeutend.
- Kobalt wird auch in weiteren Zukunftstechnologien angewendet: Katalysatoren, CCS, synthetische Kraftstoffe, medizinische Implantate, Hochtemperatursupraleiter.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Der Kongo hat einen Anteil an der Weltproduktion von mehr als zwei Dritteln und verfügt mit Abstand über die größten Reserven. Das Land ist politisch instabil.
- Chinesische Unternehmen spielen eine wichtige Rolle bei Kobaltgewinnung und -weiterverarbeitung.

## KUPFER



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Verwendung in wichtigen Branchen wie Elektroindustrie und Maschinenbau)

Einsatzfelder:  
Elektroindustrie, Bauindustrie, Maschinenbau,  
Radio Frequency Identification (RFID), Windkraft, Münzwesen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 21,0 Mio. Tonnen Kupfer gewonnen.

Bei Vorräten von rund 870 Mio. Tonnen wäre die Produktion für weitere rund 41 Jahre gesichert.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 79 % des Kupferabbaus fanden 2020 in zehn Ländern statt.
- Fünf Länder kamen zusammen auf einen Anteil von rund 60 %: Chile (27 %), Peru (10 %), China (9 %), die Demokratische Republik Kongo (8 %) und USA (6 %).
- Die größten zehn Unternehmen erreichen einen Anteil von 47 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preise für Kupfer stiegen in den letzten drei Jahren stark insbesondere zwischen Mai 2020 und Mai 2021.

- Preis September 2018: 6.050 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 9.320 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 54 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Kupfer kann nur in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Titan, Stahl, Glasfaser oder Plastik ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Hohe Bedeutung für Zukunftstechnologien wie Windkraft oder Elektromobilität, induktive Elektrizitätsübertragung, CCS.

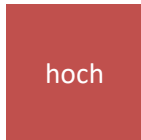
### Politische Risiken

Risikoklasse



Kupfer könnte aufgrund seiner Bedeutung für Zukunftstechnologien für strategische Industriepolitik genutzt werden.

## LITHIUM



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(insbesondere wegen der Bedeutung für den Fahrzeugbau bei eigener Batteriezellfertigung)

Einsatzfelder:  
Herstellung von Batterien und Akkumulatoren, Fahrzeugbau,  
Flussmittel in Aluminium-Hütten, Herstellung von Keramik und Glaswaren,  
Medizin, organische Chemie

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden 415.000 Tonnen Lithium gewonnen. Gegenüber dem Jahr 2015 hat sich diese Menge etwa verzehnfacht.

Lithium kann bei bestehenden Reserven von rund 21 Mio. Tonnen noch rund 50 Jahre abgebaut werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 90 % des Lithiumabbaus wurden 2020 von drei Ländern geleistet.
- In fünf Ländern wurden 98 % des Lithiums gewonnen: Australien (50 %), Chile (27 %), China (12 %), Argentinien (6 %) und Simbabwe (2 %).
- Der Weltmarktanteil der Top-10-Unternehmen liegt bei rund 88 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Lithiumpreise sanken bis zum Oktober 2020 stiegen seitdem nahe an den bisherigen Höchstwert von rund 18.700 US-Dollar (Januar 2018).

- Preis pro Tonne September 2018: 13.490 US-Dollar
- Preis pro Tonne September 2021: 17.720 US-Dollar
- Anstieg von 31 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



In einigen Verwendungen kann Lithium durch Kalzium, Magnesium, Quecksilber oder Zink ersetzt werden. Bei der wichtigsten Zukunftsanwendung Lithium-Ionen-Batterien ist Lithium hingegen essenziell.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Im Bereich der alternativen Mobilitätsformen (Elektro/Hybrid) derzeit nicht zu ersetzen.
- Alternative Technologien zur Lithium-Ionen-Batterie werden erforscht.
- Im Mobilitätsbereich eventuell mittelfristig auch Ersatz durch Brennstoffzelle oder E-Fuels.

### Politische Risiken

Risikoklasse

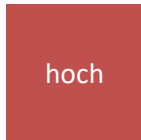


- Für niedriges Risiko spricht, dass der Rohstoff in westlichen Ländern (z. B. Australien, Chile, Argentinien) vorhanden ist.
- Zunehmende Umweltrisiken in der Förderung.
- Die bedeutendsten zukünftig relevanten Vorkommen von Lithium(-sole) liegen in Bolivien, geplante Kooperationsabkommen zur Förderung sind gescheitert.



## MAGNESIUM

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Herstellung von Legierungen und als Reduktionsmittel in der Metallurgie, in der chemischen Industrie sowie im Flugzeug- und Fahrzeugbau

Einsatzfelder:

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 1.060 Tonnen Magnesiumerz gefördert.

Der heutigen Produktion stehen sehr große Vorräte (rund 2,4 Mrd. Tonnen Magnesit) gegenüber. Sie können die derzeitige Produktion für mehrere hundert Jahre sichern.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Praktisch die gesamte Magnesiumförderung konzentrierte sich 2019 auf weniger als zehn Länder.
- Fünf Länder erreichten gemeinsam einen Anteil von 99 %: China (91 %), USA (3 %), Israel (2 %), Russland und Brasilien (je 1,5 %).
- Die Unternehmenskonzentration kann nicht bestimmt werden.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisentwicklung und die Preisschwankungen waren bei Magnesium stärker ausgeprägt als bei anderen Rohstoffen. Besonders deutlich ist der Anstieg im Jahr 2021.

- Preis September 2018: 2.600 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 6.670 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 156 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Magnesium kann in einigen Verwendungen durch Aluminium, Kalziumkarbid oder Zink ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Wichtiger Werkstoff in der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie sowie Reduktionsmittel zur Gewinnung von Metallen.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Die Produktion ist derzeit zu über 90 % in China konzentriert, das im September 2021 weitgehende Exportbeschränkungen verfügt hat.
- Dafür sind die Vorräte aber fast unbegrenzt und auch auf andere Länder verteilt.

## MANGAN

Bedeutung für Bayern: Hoch



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Herstellung von Batterien sowie in der Eisen- und Stahlindustrie eingesetzt, u. a. zum Härten

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 56,6 Mio. Tonnen Mangan produziert.

Die Vorräte belaufen sich auf über 1,3 Mrd. Tonnen. Das heutige Produktionsniveau ließe sich damit rund 23 Jahre aufrechterhalten.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 2019 vereinigten zehn Länder 94 % der Manganproduktion auf sich.
- Fünf Länder erreichten gemeinsam einen Anteil von 75 %: Südafrika (30 %), Gabun (13 %), Australien (12 %), China (11 %) und Ghana (10 %).
- Die Top-10-Unternehmen kommen auf einen Marktanteil von über 62 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisentwicklung und die Preisschwankungen bei Mangan waren deutlich geringer als bei anderen Rohstoffen.

- Preis September 2018: 6,0 US-Dollar pro Tonne Mangan-Erz
- Preis September 2021: 5,4 US-Dollar pro Tonne Mangan-Erz
- Rückgang von 10,7 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Mangan kann bislang kaum durch andere Stoffe substituiert werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Trockenbatterien (als Oxidationsmittel), Stahl- und Aluminiumindustrie.
- Korrosionsbeständige Edelstähle als relativ preisgünstiger Ersatz für Nickel.
- Steigender Verbrauch wegen Nachfrage aus Stahl- und Aluminiumindustrie prognostiziert.

### Politische Risiken

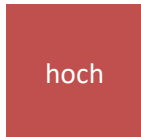
Risikoklasse



Hohe Konzentration auf wenige Länder mit relativ hohen politischen Risiken oder Tendenz zum strategischen Verhalten (China).

## MOLYBDÄN

Bedeutung für Bayern: Niedrig



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Flugzeug- und Raketenbau, Elektrotechnik  
Edelstähle, Schmierstoffe, Farben und Katalysatoren

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden 300.000 Tonnen Molybdän hergestellt.

Die Vorräte von rund 18 Mio. Tonnen reichen für eine unveränderte Produktion von weiteren 60 Jahren aus.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 98 % der Molybdänproduktion konzentrierten sich 2020 auf zehn Länder.
- Fünf Länder erreichten gemeinsam einen Anteil von 93 %: China (40 %), Chile (20 %), USA (17 %), Peru (11 %) und Mexiko (5 %).
- Die Top-10-Unternehmen kommen auf einen Marktanteil von rund 66 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preis ist im Vergleich zum Preis vor drei Jahren ähnlich wie im Durchschnitt der anderen Rohstoffe gestiegen, die Volatilität war allerdings gering.

- Preis September 2018: 40,1 USD pro kg
- Preis September 2021: 57,3 USD pro kg
- Anstieg von 43 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Molybdän ist in bestimmten Eigenschaften nicht substituierbar.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Wichtiger Bestandteil von Stahl in der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie (hart und hitzebeständig).

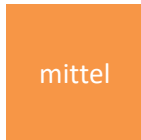
### Politische Risiken

Risikoklasse



- Hohe Länderkonzentration mit einem hohen Anteil in China und den USA.
- Im Rahmen von Handelskonflikten ein Gut mit hohem (wechselseitigem) Drohpotenzial.

## NICKEL



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien)

Einsatzfelder:

korrosionsbeständiger Stahl, andere Legierungen, Gasturbinen, Metallüberzüge, Münzen, Katalysatoren und Batterien

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden 2,5 Mio. Tonnen Nickel hergestellt.

Die Vorräte von rund 94 Mio. Tonnen decken eine unveränderte Produktion von weiteren 38 Jahren.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 88 % der Nickelförderung fanden 2020 in zehn Ländern statt.
- Rund 71 % der Nickelförderung wurden in fünf Ländern erbracht: Indonesien (31 %), Philippinen (14 %), Russland (10 %), Neu-Kaledonien (8 %) sowie Australien (8 %).
- Die Top-10-Unternehmen kommen auf einen Marktanteil von 60 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preisanstieg von Nickel war in den letzten drei Jahren zwar größer als im Marktdurchschnitt, die Volatilität aber leicht unterdurchschnittlich.

- Preis September 2018: 12.510 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 19.380 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 55 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Rund 17 Prozent des in der EU verarbeiteten Nickels stammt aus Recyclingmaterial, das in der EU gewonnen wurde.
- Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Aluminium, beschichtete Stähle, Plastik und Titanlegierungen.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Vorwiegende Funktion als Legierungsmetall.
- Wichtiger Bestandteil von Lithium-Ionen-Akkus.
- Einsatz in mikro-elektronischen Kondensatoren.

### Politische Risiken

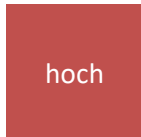
Risikoklasse



Hohe Zukunftsrelevanz spricht für höhere politische Risiken, die sich aus der Expertenbewertung ergeben.

Indonesien begrenzt die Ausfuhren von unverarbeitetem Nickelerz

## NIOB



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Einsatz in der Metall- und Elektroindustrie)

Einsatzfelder:  
Herstellung von Edelstählen und  
Superlegierungen beispielsweise für Flugzeugturbinen  
High-Tech-Anwendungen (Kondensatoren, supraleitende Magnete)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden 167.000 Tonnen Niob gefördert.

Die Vorräte von rund 17 Mio. Tonnen reichen für eine unveränderte Produktion von weiteren rund 102 Jahren.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die Förderung von Niob war 2019 auf sehr wenige Länder konzentriert.
- 94% der Niobförderung wurden in Brasilien erbracht. Kanada (4 %) und Nigeria (1 %) sind die einzigen weiteren Länder mit mehr als 1 % Anteil an der Weltproduktion.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Volatilität des Niob Preises war in den letzten drei Jahren leicht überdurchschnittlich, das Preisniveau ging aber etwas zurück.

- Preis September 2018:  
34,4 US-Dollar pro Kilogramm
- Preis September 2021:  
31,5 US-Dollar pro Kilogramm
- Rückgang von 8,5 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Niob kann nicht ohne erhebliche Leistungseinbußen und Kostensteigerungen substituiert werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Als Legierungszusatz zum Beispiel für den Bau von Gasturbinen nahezu unersetzlich (Superlegierungen). Anwendungen im High-Tech-Bereich wie Kondensatoren oder supraleitende Magnete gewinnen an Bedeutung.

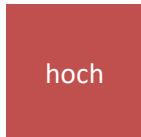
### Politische Risiken

Risikoklasse



- Die starke Konzentration auf ein einziges Schwellenland erhöht die Unsicherheit.
- Die politischen Risiken in Brasilien sind relativ hoch.

## TANTAL



Bedeutung für Bayern: Hoch  
(bedeutender Rohstoff für die Elektroindustrie (Kondensatoren) und die Medizintechnik)

Einsatzfelder:  
Produktion von mikroelektronischen Kondensatoren,  
Radiofrequenz-Mikrochips,  
Medizintechnik zur Herstellung von Instrumenten und Implantaten,  
im chemischen Apparatebau, Herstellung von Karbiden und Superlegierungen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse 



2019 wurden rund 8.300 Tonnen Tantal produziert.

Bei unveränderter Produktion reichen die Vorräte in Höhe von rund 140.000 Tonnen für weitere rund 17 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse 



- Zehn Länder vereinigten 2019 praktisch die gesamte Förderung von Tantal auf sich.
- Fünf Länder kontrollierten rund 97 % der Tantalförderung: Brasilien (75 %), Ruanda (9 %), die Demokratische Republik Kongo (7 %) sowie Malaysia (3 %), China (2 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse 



Der Preis von Tantal ging bis November 2020 zurück. Seitdem steigt der Preis kontinuierlich wieder an. Die Volatilität war unterdurchschnittlich.

- Preis September 2018: 198 US-Dollar pro Kilogramm
- Preis September 2021: 188 US-Dollar pro Kilogramm
- Rückgang von 5,2 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse 



Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Niob, Aluminium, Keramik, Platin, Titan oder Zirkonium.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse 



Vor allem bei mikroelektronischen Kondensatoren derzeit noch nicht ersetzbar.

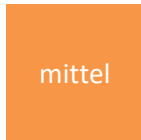
### Politische Risiken

Risikoklasse 



Politische Risiken in wichtigen Förderländern und die dort hohe Konzentration birgt Gefahren.

## TITAN



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(wichtiger Zusatz im Maschinen- und Anlagenbau)

Einsatzfelder:  
Edelstähle, Superlegierungen und Titanmetall für Flugzeugbau, Weltraumfahrt,  
Schiffs- und Bootsbau, Reaktortechnik, Anlagenbau, Medizintechnik;  
Pigment bei Farben, Papier und Plastik

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 8.200 Tonnen Titan hergestellt.

Bei unveränderter Produktion reichen die Vorräte der wichtigsten Erze Ilmenit und Rutil in Höhe von rund 740 Mio. Tonnen sehr lange Zeit aus.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 92 % der Förderung der Titan-Erze Ilmenit und Rutil konzentrierte sich 2020 auf zehn Länder.
- Aus fünf Ländern stammten rund 69 % der geförderten Erze: China (28 %), Südafrika (13 %), Australien (12 %), Kanada (8 %) und Mosambik (7 %)
- Es gibt nur 10 Firmen die über nennenswerte Anteile der weltweiten Produktion verfügen.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Über den kompletten Zeitraum der letzten drei Jahre waren Volatilität und Entwicklung des Titan Preises unauffällig. Im Jahr 2021 war die Volatilität aber sehr groß.

- Preis September 2018:  
4,5 USD/kg pro Tonne
- Preis September 2021:  
4,9 USD/kg
- Anstieg von 9 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Rund 20 % des in der EU verarbeiteten Titans stammt aus Recyclingmaterial, das in der EU gewonnen wurde.
- Als Pigment bestehen Substitutionsmöglichkeiten durch Kalziumkarbonat, Kaolin oder Talk.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften als Legierungszuschlag (leicht, aber fest) wird es vor allem in der Luft- und Raumfahrttechnik verwendet.
- Zudem wird es auch in der Meerwasserentsalzung eingesetzt.

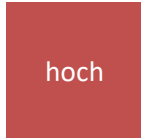
### Politische Risiken

Risikoklasse



Eher kein Einsatz strategischer Industriepolitik zu erwarten, aber hohe Konzentration und Bedeutung für Zukunftstechnologien birgt Gefahren.

## WOLFRAM



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Bedeutung für Metall- und Elektroindustrie)

Einsatzfelder:  
Edelstähle, Karbide, Leuchtmittel  
Luft- und Raumfahrt, Verteidigung, Elektrotechnik  
Fräs-, Schneid- und Bergbauwerkzeuge

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 91.500 Tonnen Wolfram produziert.

Bei unveränderter Produktion reichen die Vorräte von rund 3,4 Mio. Tonnen für knapp 37 Jahre aus.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die Förderung von Wolfram konzentrierte sich 2018 zu 98 % auf zehn Länder.
- Rund 93 % der Produktion wurden in fünf Ländern geleistet: China (82 %), Vietnam (5 %), Russland (3 %), Ruanda und Nordkorea (je 1,5 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Bis September 2019 sank der Preis von Wolfram deutlich auf rund 200 US-Dollar pro Tonne und stieg erst danach wieder an. Die Volatilität war geringer als im Marktdurchschnitt.

- Preis September 2018: 318 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 304 US-Dollar pro Tonne
- Rückgang von 4 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- In bestimmten Verwendungen kann Wolfram durch keramisch-metallische Verbundwerkstoffe ersetzt werden.
- Wolframkarbide durch Molybdän- oder Titankarbide; in Stahl durch Molybdän.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Essenziell für die Leuchtmittelindustrie.
- Als Legierungszusatz für härteste Stähle und wärmebeständige Legierungen und Karbide, z. B. für Turbinen, Brennstoffzellen, Hochtemperaturöfen sowie Fräs-, Schneid- und Bergbauwerkzeuge.

### Politische Risiken

Risikoklasse



China besitzt die weltweit größten Reserven und ist derzeit auch Hauptproduzent von Wolfram.



## ZINK



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Verwendung in den Bereichen Galvanik, NE-Legierungen, Pharmazie, Batterie und Pigmente)

Einsatzfelder:  
Galvanik (Fahrzeugbau, Bauindustrie),  
NE-Legierungen, pharmazeutische Präparate,  
Trockenbatterien und Pigmente

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse 



2020 wurden rund 13,3 Mio. Tonnen Zink produziert.

Mit Vorräten von rund 250 Mio. Tonnen kann die Produktion für 19 Jahre unverändert fortgesetzt werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse 



- Die Förderung von Zink konzentrierte sich 2020 zu 84 % auf zehn Länder.
- In fünf Ländern wurden 67 % der Produktion erbracht: China (34 %), Peru, Australien (je 10 %), Indien (7 %) und USA (6 %).
- Die Top-10-Unternehmen erreichen zusammen einen Marktanteil 45 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse 



Sowohl Preisrückgang als auch Volatilität fielen in den letzten drei Jahren bei Zink moderat aus.

- Preis September 2018: 2.430 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 3.040 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 25 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse 



- Rund 30 % des in der EU verarbeiteten Zinks stammt aus Recyclingmaterial, das in der EU gewonnen wurde.
- Es kann in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Plastik, Stahl oder Magnesium ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse 



- Einsatz in Energiespeichern (Zink-Luft-Energiespeicher).
- Als Bestandteil von Indium-Gallium-Zink-Oxid Bedeutung für hochauflösende Bildschirmtechnik.

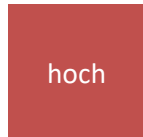
### Politische Risiken

Risikoklasse 



- China ist wichtigster Lieferant und die Förderung insgesamt eher stark konzentriert.
- Vorkommen, Reserven und Produktion in kleinerem Umfang sind aber breit gestreut.

## ZINN



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Verwendung in Elektro- und Chemieindustrie)

Einsatzfelder:

Elektronik (LCD-Displays), Weißbleche, Lote, Legierungen, Chemikalien und Pigmente

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 304.600 Tonnen Zinn gefördert.

Mit Vorräten von rund 4,3 Mio. Tonnen kann die Produktion für 14 Jahre unverändert fortgesetzt werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 98 % der Zinnproduktion konzentrierten sich 2019 auf zehn Länder.
- 82 % der Zinnproduktion stammten aus fünf Ländern: China (28 %), Indonesien (25 %), Burma (16 %), Peru (7 %) und Bolivien (6 %).
- Die Top-10-Unternehmen erreichen zusammen einen Marktanteil von 95 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preisanstieg in den letzten drei Jahren war deutlich. Gegenüber dem Tiefststand in diesem Zeitraum (rund 15.000 US-Dollar im April 2020) hat sich der Preis mehr als verdoppelt.

- Preis September 2018: 18.970 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 34.890 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 84 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Zinn kann nur in bestimmten Verwendungen durch andere Stoffe wie Aluminium, Glas, Plastik, Epoxidharze und Alu- bzw. Kupferlegierungen ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Einsatz in emissionsarmen oder emissionsfreien Mobilitätsanwendungen (Abgasbehandlung, Brennstoffzellen, Festkörper- und Lithium-Ionen-Batterien).
- Nutzung in diversen Anwendungen, z. B. bleifreie Lote, mikro-elektronische Kondensatoren, Windkraftanlagen, Flachbildschirme

### Politische Risiken

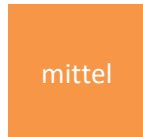
Risikoklasse



- China und Indonesien sind die wichtigsten Lieferanten.
- Unsicherheit über zukünftige politische Bedingungen in den anderen wichtigen Förderländern.

## ZIRKON

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Schmelztiegel (wegen hohem Schmelzpunkt),  
abrasionsfeste Werkstoffe (Zahntechnik)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 1,3 Mio. Tonnen Zirkon produziert.

Mit Vorräten von rund 64 Mio. Tonnen kann die Produktion für 48 Jahre unverändert fortgesetzt werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 2019 entfielen 97 % der Zirkonförderung auf zehn Länder.
- Fünf Länder erbrachten 82 % der Zirkonproduktion: Australien (35 %), Südafrika (28 %) USA, Mosambik (je 7 %), Indonesien (5 %).
- Wenige Unternehmen kontrollieren den gesamten weltweiten Zirkon-Abbau.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preis stieg in den letzten drei Jahren nur gering, es waren auch kaum Schwankungen zu beobachten.

- Preis September 2018: 1.455 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 1.500 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 3 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Eine Substitution erscheint aufgrund der großen noch nicht erschlossenen Ressourcen in mittelfristiger Zukunft nicht notwendig.
- Generell sind die Substitutionsmöglichkeiten aber stark eingeschränkt.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Zirkon kann aufgrund des hohen Schmelzpunktes für Zukunftstechnologien eine Rolle spielen.

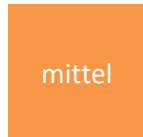
### Politische Risiken

Risikoklasse



Die Förderung ist auf nur wenige Länder konzentriert. Australien als wichtigstes Förderland weist aber nur geringe Risiken auf.

## GOLD



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Niedrig

Einsatzfelder:  
Schmuckwaren, Zahlungsmittel,  
Zahntechnik, Elektroindustrie

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 3.100 Tonnen Gold gefördert.

Bei Vorräten von 53.000 Tonnen ergibt sich eine gesicherte Versorgung für rund 17 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 2020 entfielen 62 % der Goldförderung auf zehn Länder.
- Fünf Länder erbrachten rund 44 % der Goldproduktion: China (12 %), Australien (10 %), Russland (9 %), USA und Kanada (je 6 %).
- Auf die Top-10-Unternehmen entfällt ein gemeinsamer Marktanteil von rund 36 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preis stieg bis August 2020 auf 1970 US-Dollar an und gab danach leicht nach. Die Preisschwankungen waren geringer als im Durchschnitt.

- Preis September 2018: 1.200 US-Dollar pro Feinunze
- Preis September 2021: 1.780 US-Dollar pro Feinunze
- Anstieg von 48 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Gold ist vollständig wiederverwertbar und kann in bestimmten Verwendungen durch Palladium, Platin oder Silber substituiert werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Aus technologiescher Sicht von mittlerer Bedeutung, aber als Spekulationsobjekt und Instrument gegen Inflation wichtig.

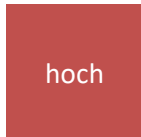
### Politische Risiken

Risikoklasse



China und Russland gehören zu den größten Goldproduzenten. Der Handelskonflikt zwischen China und den USA und die Sanktionspolitik gegenüber Russland erhöhen die politischen Risiken.

## PALLADIUM



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Automobilindustrie, chemische Industrie und Medizintechnik)

Einsatzfelder:  
Autoindustrie, Chemieindustrie, Schmuckindustrie,  
Luftfahrt, Medizintechnik, Dentaltechnik,  
Herstellung von Brennstoffzellen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 200 Tonnen Palladium produziert.

Die Vorräte von 45.000 Tonnen (bzw. 69.000 Tonnen für die Platingruppenmetalle insgesamt) resultieren in einer gesicherten Versorgung für mehr als 200 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die gesamte Palladiumförderung 2020 fand in weniger als zehn Ländern statt.
- 84 % der Förderung konzentrierten sich 2020 auf drei Länder, 98 % auf die fünf größten Förderländer: Russland (42 %) Südafrika (30 %), Kanada (12 %), USA (8 %) und Simbabwe (6 %).
- Auf die Top-10-Unternehmen entfällt ein gemeinsamer Marktanteil von 95 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preisanstieg und die Volatilität bei Palladium zählten zu den höchsten unter den betrachteten Rohstoffen.

- Preis September 2018: 710 US-Dollar pro Feinunze
- Preis September 2021: 1.530 US-Dollar pro Feinunze
- Anstieg von 115 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- 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.
- Knapp 30 Prozent des in der EU verwendeten Palladiums stammen aus Recycling innerhalb der EU.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Palladium wird überwiegend in Abgaskatalysatoren eingesetzt und ist somit heute essenziell für die Automobilproduktion.

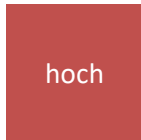
### Politische Risiken

Risikoklasse



- Große Anteile der Förderung befinden sich in Risiko-Ländern.
- Hohe Zukunftsrelevanz und wechselseitige Substitutionsbeziehungen der Platingruppenmetalle erhöhen Risiko.

## PLATIN



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Automobilindustrie, Chemieindustrie, Elektroindustrie)

Einsatzfelder:  
Autoindustrie (Katalysatoren), Chemieindustrie, Schmuckindustrie,  
Elektroindustrie, Dentaltechnik,  
Herstellung von Brennstoffzellen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 163 Tonnen Platin produziert.

Die Vorräte von 20.000 Tonnen (bzw. 69.000 Tonnen für die Platingruppenmetalle insgesamt) resultieren in einer gesicherten Versorgung für mehr als 120 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die gesamte Platinförderung 2020 konzentriert sich auf wenige Länder.
- 89 % der Förderung konzentrierten sich 2020 auf drei Länder, 96 % auf die fünf größten Förderländer: Südafrika (67 %), Russland (13 %), Simbabwe (9 %), Kanada (5 %), USA (3 %).
- Auf die Top-10-Unternehmen entfällt ein gemeinsamer Marktanteil von knapp 90 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Nur leicht steigende Preise und geringe Preisschwankungen führten zu einem niedrigen Preisrisiko.

- Preis September 2018: 800 US-Dollar pro Feinunze
- Preis September 2021: 970 US-Dollar pro Feinunze
- Anstieg von 21 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Platin ist vollständig wiederverwertbar und kann teilweise durch Palladium ersetzt werden.
- Das große Problem ist, dass die Platingruppenmetalle nur untereinander austauschbar sind.
- Rund ein Viertel des in der EU verwendeten Platins stammt aus Recycling innerhalb der EU.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- 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.

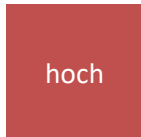
### Politische Risiken

Risikoklasse



- Hohe Länderkonzentration: Südafrika ist mit weitem Abstand der größte Produzent von Platin.
- Hohe Zukunftsrelevanz und wechselseitige Substitutionsbeziehungen der Platingruppenmetalle erhöhen Risiko.

## RHODIUM



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(über 80 % der Weltproduktion wird für Kfz-Abgaskatalysatoren verwendet)

Einsatzfelder:

Autoindustrie (Katalysatoren), Chemieindustrie, Schmuckindustrie, Elektrotechnik, Dentaltechnik

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 22 Tonnen Rhodium produziert.

Die Vorräte von 4.000 Tonnen (bzw. 69.000 Tonnen für die Platingruppenmetalle insgesamt) resultieren in einer gesicherten Versorgung für mehr als 180 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die gesamte Rhodiumförderung 2020 fand in weniger als zehn Ländern statt.
- Fast die gesamte Förderung entfiel auf die fünf größten Förderländer: Südafrika (70 %), Russland (12 %), Kanada (11 %), Simbabwe (6 %), USA (1 %).
- Auf die Top-10-Unternehmen entfällt ein gemeinsamer Marktanteil von 91 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Preisanstieg und Preisschwankungen gehörten zu den größten unter den betrachteten Rohstoffen.

- Preis September 2018: 770 US-Dollar pro Feinunze
- Preis September 2021: 3.520 US-Dollar pro Feinunze
- Anstieg von 355 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Rhodium kann teilweise durch Palladium ersetzt werden.
- Das große Problem ist, dass die Platingruppenmetalle nur untereinander austauschbar sind.
- Knapp 30 Prozent des in der EU verwendeten Rhodiums stammen aus Recycling innerhalb der EU.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Rhodium ist für Fahrzeugkatalysatoren nahezu unersetzlich.

### Politische Risiken

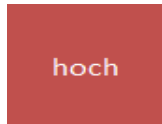
Risikoklasse



- Hohe Länderkonzentration: Südafrika ist mit weitem Abstand der größte Produzent von Platin.
- Hohe Zukunftsrelevanz und wechselseitige Substitutionsbeziehungen der Platingruppenmetalle erhöhen Risiko.

## SILBER

Bedeutung für Bayern: Niedrig



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Schmuck- und Tafelwaren, Münzen und Legierungen,  
Film-, Foto- und Elektroindustrie

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 26.100 Tonnen Silber gefördert.

Bei Vorräten von 500.000 Tonnen ist eine unveränderte Produktion für rund 19 Jahre gewährleistet.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 82 % der Silberförderung konzentrierten sich auf zehn Länder.
- Sieben Länder erbrachten knapp 71 % der Produktion: Mexiko (22 %), Peru (15 %), China (15 %), Chile (6 %) sowie Russland, Australien und Polen (je 5 %).
- Auf die Top-10-Unternehmen entfällt ein gemeinsamer Marktanteil von weniger als 38 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Mitte des Jahres 2020 kam es zu einem deutlichen Preissprung. Seitdem bewegt sich der Preis schwankend auf diesem Niveau.

- Preis September 2018: 14,2 US-Dollar pro Feinunze
- Preis September 2021: 23,2 US-Dollar pro Feinunze
- Anstieg von 63 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Silber kann vollständig wiederverwendet werden.
- Die Substitution gelingt nur in bestimmten Verwendungen durch Aluminium, Rhodium, Tantal oder Edelstahl.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- 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



Silber wird überwiegend in südamerikanischen Ländern abgebaut, in denen nicht mit einer Instrumentalisierung zu rechnen ist. Aber auch China fördert verstärkt.



## BARYT



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Niedrig

Einsatzfelder:

Bohrspülung, Füllstoff,  
Schwerbetonzuschlag oder Röntgenkontrastmittel  
Medizinische und chemische Anwendungen, Strahlenschutz

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse 



2019 wurden rund 9,2 Mio. Tonnen Baryt produziert.

Bei Vorräten von 300 Mio. Tonnen kann Baryt für 42 Jahre unverändert gefördert werden.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse 



- Zehn Länder erbrachten rund 93 % der Barytförderung.
- Auf fünf Länder entfielen 76 % der Produktion: China (31 %), Indien (22 %), Marokko (12 %), Kasachstan (6 %) und Laos (5 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse 



Die Preisinformationen für Baryt sind dürftig. Sie werden so eingeschätzt, dass dieser Rohstoff ein eher geringes Preisrisiko aufweist.

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse 



- In der Herstellung von Bariumchemikalien 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 



- Verwendung als Schmiermittel für Anodenro-toren in Röntgenröhren.
- Desoxidationsmittel in der Kupferproduktion.
- Legierungszusatz in Zündkerzen, keramischen und optischen Gläsern.

### Politische Risiken

Risikoklasse 



- Die Gefahr, dass Baryt strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering.
- Aber hohe Konzentration in Ländern mit stra-tegischer Industriepolitik oder Beteiligung in Handelskonflikten (z. B. China, Indien).

## BENTONIT

Bedeutung für Bayern: Niedrig



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:  
Gießereien, Pelletisierung von Eisenerzen, Katzenstreu,  
Dichtungsmittel (Bauindustrie), Spülmittelzusatz (Bohrtechnik, Papierindustrie),  
Margarine, Speiseöl, Kosmetika, Salben,  
Katalysator und Füllstoff (Chemieindustrie)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 20,9 Mio. Tonnen Bentonit abgebaut.

Die Bentonitvorräte werden als extrem groß eingeschätzt, sodass sich auf sehr lange Zeiträume hinaus keine Knappheiten ergeben sollten.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Zehn Länder erbrachten rund 89 % der Bentonitförderung.
- Auf fünf Länder entfielen 78 % der Produktion: China (27 %), USA (22 %), Indien (16 %), Türkei (6 %) und Griechenland (6 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisinformationen für Bentonit sind dürftig. Sie werden so eingeschätzt, dass dieser Rohstoff ein eher geringes Preisrisiko aufweist.

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Substitutionsmöglichkeiten bestehen teilweise durch Palygorskit, Sepiolith, Halloysit, Kaolinit oder synthetische Chemikalien.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Verwendung als Bohrspülung, in Pharmazie und Diagnostik sowie Elektronik und Logistik.

### Politische Risiken

Risikoklasse



Die Gefahr, dass Bentonit strategisch eingesetzt werden könnte, ist gering. Rund die Hälfte der Förderung entfällt aber auf kritische Abbauländer.

## FELDSPAT

Bedeutung für Bayern: Niedrig



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Keramik- und Glasherstellung;  
nachrangig in Glasuren, als Füllstoff, in Seifen und Scheuermitteln

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 31,9 Mio. Tonnen Feldspat gefördert.

Die Vorräte an Feldspat werden als sehr groß angesehen und werden bei derzeitiger Produktion für mehrere 100 Jahre ausreichen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 86 % der Förderung von Feldspat erfolgten 2019 in zehn Ländern.
- Auf fünf Länder entfielen 75 % der Produktion: Türkei (36 %), Indien (14 %), Italien (13 %), Iran (7 %) und China (6 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisinformationen für Feldspat sind dürftig. Sie werden so eingeschätzt, dass dieser Rohstoff ein eher geringes Preisrisiko aufweist.

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Feldspat kann in einigen Verwendungen durch Soda, Baryt oder feldspatreiche Gesteine ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Verwendung in Glas- und Keramikherstellung.

### Politische Risiken

Risikoklasse



Die Gefahr, dass Feldspat strategisch eingesetzt werden könnte, ist eher gering bzw. kaum möglich, da weltweit große Vorkommen vorhanden sind. Die derzeitige Förderung findet aber zu relevanten Anteilen in kritischen Abbauländern statt.

## FLUORIT

mittel

Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Mittel

Einsatzfelder:

Flussmittel bei der Stahl- und Gusseisenerzeugung,  
Herstellung von Schweißelektroden, Chemieindustrie (Fluorkohlenwasserstoff),  
Herstellung von Fritten, Emailen, Glasuren,  
optische Anwendungen (Gläser für Linsen und Prismen, Spektroskopie  
Kälte- und Klimaanlage)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 6,5 Mio. Tonnen Fluorit produziert.

Vorräte von 320 Mio. Tonnen erlauben eine unveränderte Förderung von Fluorit für weitere rund 49 Jahre.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Zehn Länder erbrachten rund 98 % der Fluoritförderung.
- Auf fünf Länder entfielen rund 90 % der Produktion: China (62 %), Mexiko (19 %), Südafrika, Vietnam (je 4 %) und Mongolei (2 %)

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Rückläufige Preise gehen mit geringer Volatilität einher. Das Preisniveau ist seit August 2020 praktisch unverändert.

- Preis September 2018:  
490 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021:  
405 US-Dollar pro Tonne
- Rückgang von 17 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- 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 ist Substitution teilweise durch synthetisches Kryolith möglich.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Breiter Einsatz bedingt hohe Zukunftsrelevanz, wenn auch selten kritisch für Hochtechnologien.
- Einsatz in Aluminiumherstellung und Pharmazeutika.

### Politische Risiken

Risikoklasse



Über die Hälfte der Weltproduktion kommt aus China.

## GIPS UND ANHYDRIT

niedrig

Risikoklasse (3er-Skala)

vielseitig, u. a. als Bauelemente, Bindemittel für Innenausbau und Tiefbau, Abbindeverzögerer bei Zement, verfahrenstechnisches Hilfsmittel, Entsorgungshilfsstoff, Spezialgipse, Füll- und Trägerstoffe, Düngemittel, Schmierrohstoff

Bedeutung für Bayern: Mittel  
(häufig verwendete Baustoffe)

Einsatzfelder:

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 168 Mio. Tonnen Gips und Anhydrit produziert.

Die Vorräte an Gips und Anhydrit werden als sehr groß angesehen und werden bei derzeitiger Produktion für mehrere 100 Jahre ausreichen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Zehn Länder erbrachten rund 69 % der Produktion von Gips und Anhydrit.
- Auf fünf Länder entfielen 44 % der Produktion: USA (13 %), China (10 %), Iran (8 %), Spanien (7 %) und Türkei (6 %)

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Gips und Anhydrit aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft.

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- 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



- Technologisch eher geringe Bedeutung.
- Verwendung in Bauindustrie und als Düngemittel bedeutsam für zukünftiges Wachstum weltweit.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Gips und Anhydrit zählen zu den größten Sekundärrohstoffen.
- Bei abnehmender Kohleverstromung entfällt aber eine Sekundärrohstoffquelle.

## GLIMMER



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Mittel  
(Baustoff und Verwendung in Keramikfertigung)

Einsatzfelder:

Farb- und Putzzusatz, Füllstoff (Papier, Kunststoff, Gummi, Spachtelmasse), Schalldämmstoffe, Kosmetikartikel, Keramik, Isoliermaterial (Elektronik), Feuerlöschpulver, Korrosionsschutzgrundierung, Bohrspülung  
Entsorgungshilfsstoff, Spezialgipse, Füll- und Trägerstoffe, Düngemittel, Schmierrohstoff

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 289.000 Tonnen Glimmer abgebaut.

Die Vorräte an Glimmer werden als sehr groß angesehen und werden bei derzeitiger Produktion für mehrere 100 Jahre ausreichen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Zehn Länder verantworteten rund 93 % der Produktion von Glimmer.
- Auf die Top-5-Länder entfallen 75 % der Produktion: China (35 %), USA (13 %), Madagaskar (12 %), Südkorea und Kanada (je 8%)

### Preisentwicklung

Risikoklasse



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

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Abhängig vom Einsatzgebiet bestehen verschiedene Substitutionsmöglichkeiten:
- In elektronischen Anwendungen kann synthetischer Glimmer eingesetzt werden.
  - Als Füllstoff ist die Substitution durch Aluminiumtrihydrat (ATH), Baryt, Calciumcarbonat, Diatomit, Feldspat, Kaolin, Nephelinsyenit, Perlit, Talk, Quarz-/ Cristobalitmehle, Wollastonit möglich.
  - Als Schmierstoff können u. a. Graphit oder Lithiumfette eingesetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Verwendung in diversen, auch zukünftig stark nachgefragten Produkten wie Kosmetik, Keramik oder als Isoliermaterial.

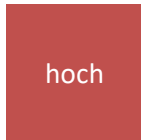
### Politische Risiken

Risikoklasse



Zwar sind weltweit große Vorkommen vorhanden, die Förderung ist aber stark auf wenige Länder konzentriert.

## GRAPHIT



Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Einsatz in Batterien und Brennstoffzellen)

Einsatzfelder:

Herstellung von Batterien und Brennstoffzellen,  
Schmelztiegeln und Feuerfestprodukten,  
Reibbelägen und Kohlebürsten, Kunststoffen, Bleistiften,  
für Graphitdispersionen und in der Pulvermetallurgie

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 1,0 Mio. Tonnen Graphit abgebaut.

Die Vorräte an Graphit werden auf rund 320 Mio. Tonnen veranschlagt. Bei unveränderter Produktion reichen sie für fast 300 Jahre aus.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 98 % des Graphitabbaus waren auf zehn Länder verteilt.
- 89 % der Produktion entfielen auf fünf Länder: China (62 %), Mosambik (10 %), Brasilien (8%), Madagaskar (5 %) sowie Nordkorea (4 %)

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Der Preisanstieg bei Graphit war mäßig, die Volatilität eher gering im Vergleich mit anderen Rohstoffen.

- Preis September 2018: 990 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 1.200 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 22 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- 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



- Graphit ist sehr vielfältig einsetzbar und daher ein Grundstoff vieler Zukunftstechnologien.
- Wichtiger Bestandteil von Lithium-Ionen-Batterien.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- China stellt fast zwei Drittel der Weltproduktion her. Auch die weiteren Produzenten gehören zu den Hoch-Risiko-Ländern.
- Besonders von China droht eine strategische Verknappung des Rohstoffes.

## KALISALZ



mittel

Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Mittel

Einsatzfelder:  
Düngemittel, Industriechemikalie,  
Herstellung von Kalium und seinen Verbindungen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 41,6 Mio. Tonnen Kalisalz produziert.

Bei Vorräten von rund 3,7 Mrd. Tonnen ist eine unveränderte Produktion für weitere rund 89 Jahre gesichert.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- In zehn Ländern konzentrierten sich 97 % der Gewinnung von Kalisalz.
- 84 % der Produktion entfielen auf fünf Länder: Kanada (31 %), Weißrussland (18 %), Russland (16 %), China (13 %) und Deutschland (6 %).
- Auf die Top 5 Unternehmen entfällt ein Marktanteil von knapp 90 %.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Ein geringer Preisanstieg sowie geringe Preisschwankungen resultieren in einem niedrigen Preisrisiko.

- Preis September 2018: 216 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 221 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 3 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Kalisalz kann nicht durch andere Stoffe ersetzt werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Kalisalz wird vorwiegend als Düngemittel eingesetzt. In Technologien spielt der Rohstoff eine untergeordnete Rolle.
- Gleichwohl hohe Bedeutung bei einer zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft und wachsender Weltbevölkerung.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Bedeutung für Düngemittel erhöht Gefahr eines strategischen Einsatzes.
- Reichhaltige, weltweit gestreute Vorkommen verringern Risiko.
- In Deutschland ist Kalisalz einer der wenigen in großen Mengen vorhandenen Rohstoffe.



## KAOLIN

Bedeutung für Bayern: Mittel



niedrig

Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Beschichtung von Papier, Nutzung als Keramikrohstoff, Füllstoff, Extender, Adsorptionsmittel; zur Synthese von Aluminium und in der Herstellung von Spezialzementen Einsatz in der Kunststoffherstellung

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 24,5 Mio. Tonnen Kaolin gewonnen.

Die Vorräte sind als nahezu unbegrenzt anzusehen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 81% der Produktion von Kaolin wurden in zehn Ländern erbracht.
- Auf fünf Länder konzentrierten sich 58 % der Produktion: USA (22 %), China (13 %), Ukraine (8 %) sowie Brasilien und Iran (je 7 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



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

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



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

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Breite Anwendung in vielen Produkten sorgt für einen langfristigen Bedarf des Materials. Experten schätzen, dass in jedem zweiten Industrieprodukt Kaolin in unterschiedlichen Formen enthalten ist.

### Politische Risiken

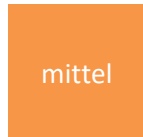
Risikoklasse



Die großen weltweiten Vorkommen vermindern das Risiko eines strategischen Einsatzes. Die breite Verwendung und Zukunftsrelevanz erhöht die Gefahren.

# PHOPHATE

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Herstellung von Düngemittel und Phosphorsäure

## Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden rund 235,8 Mio. Tonnen Phosphate gewonnen.

Die Vorräte werden auf rund 71 Mrd. Tonnen geschätzt, so dass eine unveränderte Produktion von rund 300 Jahren gesichert ist.

## Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Phosphate werden zu 87 % der weltweiten Produktion in zehn Ländern gewonnen.
- Auf fünf Länder konzentrierten sich rund 75 % der Produktion: China (40 %), Marokko (15 %), USA (10 %), Russland (6 %) und Peru (5 %).

## Preisentwicklung

Risikoklasse



Preisanstieg und -volatilität waren in den letzten 3 Jahren leicht überdurchschnittlich. Auffällig ist Verdopplung des Preises seit Sommer 2020.

- Preis September 2018: 87,5 US-Dollar pro Tonne
- Preis September 2021: 147,5 US-Dollar pro Tonne
- Anstieg von 69 %

## Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Phosphate können in der Anwendung nicht durch andere Stoffe substituiert werden. Mineralische Phosphate können aber in der Gewinnung durch organische Phosphate – etwa aus Klärschlämmen – ersetzt werden.

## Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Eher hoch, da der Rohstoff essenziell für die Nahrungsmittelproduktion (bei einer wachsenden Weltbevölkerung) und nicht substituierbar ist.

## Politische Risiken

Risikoklasse



Wesentliche Reserven liegen in Nordafrika und China.

## QUARZSAND

Bedeutung für Bayern: Mittel



niedrig

Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:  
Formmedium in der Glasindustrie und in Gießereien,  
Herstellung von Keramik und Glasfasern

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



Die jährliche Produktion von Quarzsanden beläuft sich auf rund 320 Mio. Tonnen.

Die Vorräte sind als nahezu unbegrenzt anzusehen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Rund 84 % der Quarzsandproduktion wurde 2019 in zehn Ländern erbracht.
- Die fünf größten Produzenten waren die USA (35 %), die Niederlande (17 %), Spanien (11 %) sowie Italien und Indien (je 4 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



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

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Eine Substitution ist in der Glasherstellung nicht, in den anderen Verwendungszwecken aber leicht möglich.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Zukunftsrelevanz erklärt sich aus der Herstellung von Glasfasern und spezifischen Glasformen für die Photovoltaik.

### Politische Risiken

Risikoklasse



In Verbindung mit der Zukunftsrelevanz gehen Experten von zunehmenden politischen Risiken aus.

## SCHWEFEL

Bedeutung für Bayern: Mittel



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

chemische und pharmazeutische Industrie,  
Grundstoff für Schwefelsäure, Farbstoffe, Insektizide und Kunstdünger

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



Im Jahr 2019 wurden rund 78,2 Mio. Tonnen Schwefel gewonnen.

Die Vorräte sind als nahezu unbegrenzt anzusehen. Neben natürlichem Schwefel wird Schwefel auch in erheblichem Maße als Abfallprodukt aus Industrieprozessen gewonnen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Rund 82 % der Schwefelproduktion fielen 2019 in zehn Ländern an.
- Fünf Länder erzeugten 60 % des Schwefels: China (22 %), USA (11 %), Russland (10 %), Kanada (9 %) und Saudi-Arabien (8 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



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

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



In der Herstellung von Schwefelsäure nicht ersetzbar.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Schwefel kann als Legierungselement für Stahl genutzt werden. Insgesamt ist die zukünftige Bedeutung aber eher durchschnittlich einzustufen.

### Politische Risiken

Risikoklasse



Ein Teil des Schwefels wird in kritischen Ländern gewonnen.

## STEINSALZ

Bedeutung für Bayern: Niedrig



Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

Industrie zur Gewinnung von Chlor und Natrium  
sowie als Speisesalz

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



Im Jahr 2020 wurden 225,2 Mio. Tonnen Salz  
(auch Meersalz) gewonnen.

Die Vorräte sind als unbegrenzt anzusehen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Rund 83 % der Salzproduktion fielen in zehn Ländern an.
- Fünf Länder erzeugten fast 66 % des Salzes: China (27 %), USA (17 %), Indien (12 %), Australien (5 %) und Kanada (4 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



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

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Eine Substitution von Salz ist nicht möglich. Steinsalz lässt sich aber durch Meersalz ersetzen.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Technologisch untergeordnete Rolle, aber mittlere Bedeutung bei wachsender Weltbevölkerung.

### Politische Risiken

Risikoklasse



Aufgrund der reichen und weit verbreiteten Vorkommen sind keine politischen Risiken erkennbar.

## ZEMENT



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Mittel

Einsatzfelder:  
Infrastrukturprojekte, Bau

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



Im Jahr 2019 wurden rund 4,1 Mrd. Tonnen Zement produziert.

Die Vorräte sind als nahezu unbegrenzt anzusehen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- 78 % der Zementproduktion erfolgten in zehn Ländern.
- In fünf Ländern wurden rund 71 % des Zements weltweit produziert: China (56 %), Indien (8 %) sowie in Vietnam, in den USA und in Indonesien (je 2 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die internationale Datenlage ist intransparent. Aufgrund von Expertenschätzungen wird Zement aber in eine niedrige Risikoklasse eingestuft. Der Erzeugerpreisindex in Deutschland zeigt ein niedriges und stetiges Wachstum der Preise in den letzten drei Jahren an.

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



- Eine vollständige Substitution von Zement ist in der Herstellung von Beton, Mörtel, Putz oder Stuck nur schlecht möglich.
- Diese Materialien konkurrieren im Bausektor aber mit anderen Werkstoffen wie Aluminium, Asphalt, Ziegelsteinen, Glasfasern, Stein, Gips, Stahl oder Holz.
- Flugasche und Hochofenschlacken können Zement in der Herstellung von Beton teilweise ergänzen.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



- Zement wird für Zukunftstechnologien eine untergeordnete Rolle spielen.
- Weiterhin zunehmende Bautätigkeit bei steigender Weltbevölkerung deutet aber auf einen zunehmenden Zementverbrauch hin.

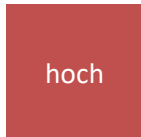
### Politische Risiken

Risikoklasse



Aufgrund der reichen und weit verbreiteten Vorkommen sind keine politischen Risiken erkennbar.

## SELTENERDMETALLE (SCANDIUM, YTTRIUM, NEODYM)



Risikoklasse (3er-Skala)

Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Hohe Bedeutung in Hightech-Branchen)

Einsatzfelder:

Katalysatoren, Leuchtstoffe, Lasertechnik,  
Elektromotoren und -generatoren (Mobilität, IKT, erneuerbare Energien)  
Festoxid-Brennstoffzellen, Leichte Legierungen

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2020 wurden rund 243.200 Tonnen Seltene Erden gewonnen.

Die Vorräte an Seltenen Erden insgesamt werden auf 120 Mio. Tonnen geschätzt. Die Produktion wäre demnach für mehrere 100 Jahre gesichert. Dies gilt jedoch nicht für jedes einzelne Element. Wegen der geringen Konzentration werden einige Elemente nur als Nebenprodukt gewonnen.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die gesamte Produktion konzentrierte sich auf rund zehn Länder.
- In fünf Ländern wurden 96 % der Seltenerdmetalle gewonnen: China (58 %), USA (16 %) sowie Burma (12 %), Australien (7 %) und Madagaskar (3 %).

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisrisiken und -volatilitäten waren in den letzten drei Jahren heterogen. Bei Scandium sanken die Preise, der Neodympreis verdoppelte sich.

- Preise September 2018:  
7.050 CNY/kg (Scandium), 34 US-Dollar/kg (Yttrium), 60 US-Dollar/kg (Neodym)
- Preise September 2021:  
5.640 CNY/kg (Scandium), 37 US-Dollar/kg (Yttrium), 118 US-Dollar /kg (Neodym)
- Veränderung: –20 % bis +98 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Ohne Leistungseinbußen ist eine Substitution von Seltenerdmetallen derzeit für viele Anwendungen nicht absehbar.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Seltenerdmetalle werden für moderne und effiziente Leuchtmittel, für neue Antriebskonzepte (Hybrid- und Elektrofahrzeuge) und verschiedene elektronische Anwendungen benötigt.

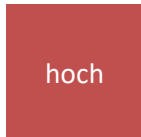
### Politische Risiken

Risikoklasse



- Die hohe Konzentration in China stellt ein hohes Risiko strategischer Handelspolitik dar.
- Zunehmende Handelskonflikte erhöhen das Risiko erheblich.

## SPEZIALMETALLE (INDIUM, GERMANIUM, GALLIUM, SELEN)



Bedeutung für Bayern: Hoch  
(Hohe Bedeutung in Hightech-Branchen)

Risikoklasse (3er-Skala)

Einsatzfelder:

notwendige Kleinmengen etwa für die Herstellung von  
Radiofrequenz-Mikrochips, Flachbildschirmen, Leuchtdioden, Solarzellen oder Halbleitern  
Polymerisationskatalysator in der  
Polyethylenterephthalat (PET)-Herstellung (Germanium)

### Vorräte und Verbrauch

Risikoklasse



2019 wurden insgesamt rund 5.650 Tonnen der Spezialmetalle gewonnen.

Die Vorräte an Spezialmetallen unterscheiden sich stark. Sie werden als Beimischungen anderer Rohstoffe (z. B. Bauxit, Blei, Kupfer, Zink) gewonnen. Die Konzentrationen sind oft sehr gering, sodass Knappheitssignale aus Preisen kaum Auswirkungen auf die Produktionsmengen haben.

### Abbauländer und Konzentration

Risikoklasse



- Die gesamte Produktion konzentrierte sich bei Gallium, Germanium und Indium jeweils auf weniger als zehn Länder, bei Selen auf unter 20 Länder.
- Bei Gallium, Germanium und Indium kommt China jeweils auf Anteile von über 60 %. Selen wird zu 36 % in Japan und Deutschland raffiniert.

### Preisentwicklung

Risikoklasse



Die Preisrisiken sind heterogen, vor allem Gallium weist ein erhöhtes Preisrisiko auf. Die Preise von Indium und Gallium verdoppelten sich seit Sommer 2020.

- Preise September 2018 (in US-Dollar/kg):  
200 (In), 740 (Ge), 190 (Ga), 30 (Se)
- Preise September 2020 (in US-Dollar/kg):  
270 (In), 880 (Ge), 300 (Ga), 24 (Se)
- Veränderung: –22 % bis + 56 %

### Substitutionsmöglichkeiten

Risikoklasse



Spezialmetalle können nach heutigem Kenntnisstand aufgrund ihrer meist sehr spezifischen Verwendung zum Großteil nicht substituiert werden.

### Zukunftsrelevanz

Risikoklasse



Spezialmetalle werden für moderne und effiziente Leuchtmittel, für Solarzellen, in der Computer- und Elektrotechnik (Halbleiter) sowie für LCD-Displays verwendet.

### Politische Risiken

Risikoklasse



- Die hohe Konzentration in China stellt ein großes Risiko strategischer Handelspolitik dar.
- Zunehmende Handelskonflikte erhöhen das Risiko erheblich.



## Ansprechpartner / Impressum

---

### Dr. Peter Pfleger

Abteilung Wirtschaftspolitik

Telefon 089-551 78-253  
[peter.pfleger@vbw-bayern.de](mailto:peter.pfleger@vbw-bayern.de)

### Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich auf alle Geschlechter. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und ohne jede Diskriminierungsabsicht wurde an einigen Stellen auf eine Bezeichnung mit dem Genderstern \* verzichtet.

#### Herausgeber

**vbw**

Vereinigung der Bayerischen  
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5  
80333 München

[www.vbw-bayern.de](http://www.vbw-bayern.de)

© vbw Dezember 2021

#### Weiterer Beteiligter

Institut der deutschen Wirtschaft  
Consult GmbH

Cornelius Bähr  
Dr. Hilmar Klink  
Dr. Thorsten Lang

0221 4981-758  
[baehr@iwkoeln.de](mailto:baehr@iwkoeln.de)  
[www.iwconsult.de](http://www.iwconsult.de)