

## Produktion von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Bio- und E-Kraftstoffen: Geopolitische Risiken und Potenziale aus deutscher Sicht

Hintergrundpapier im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV)

Karlsruhe, 25.02.2025

**M-Five GmbH**  
**Mobility, Futures, Innovation, Economics**  
Bahnhofstr. 46, 76137 Karlsruhe

Dr. Wolfgang Schade  
Tel: +49 721 82481890  
[wolfgang.schade@m-five.de](mailto:wolfgang.schade@m-five.de)  
[www.m-five.de](http://www.m-five.de)

**Autorinnen und Autoren des Arbeitspapiers:**

M-Five GmbH Mobility, Futures, Innovation, Economics:

Dr. Arpita Khanna, Dr. Wolfgang Schade, Thomas Abkai

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI):

Michaela Schicho, Dr. Luis Alberto Tercero Espinoza, Prof. Dr. Martin Wietschel

Technische Universität Hamburg, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE):

Philipp Anstett, Prof. Dr. Martin Kaltschmitt

**Empfohlene Zitierweise :**

Khanna A., Schade W., Abkai T., Anstett P., Kaltschmitt M., Schicho M., Tercero L.A., Wietschel M. (2025) : *Produktion von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Bio- und E-Kraftstoffen: Geopolitische Risiken und Potenziale aus deutscher Sicht*. Hintergrundpapier im Auftrag des BMDV, Karlsruhe.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung		8
1	Einleitung	9
2	BEVs und E-Fuels: Wichtige Rohstoffe und Inputs	11
2.1	Wichtige Rohstoffe für BEVs	11
2.2	Wichtige Rohstoffe für E-Fuels	12
2.3	Wichtige Rohstoffe für BEVs und E-Fuels: Zusammenfassung	13
2.4	Wasserstoff: Ein wichtiger Rohstoff für E-Fuels	14
3	Nachfrageprognosen für Nutzungen im Verkehr in Deutschland	15
3.1	Batterierohstoffe	15
3.1.1	Stoffflussmodell: Struktur, Szenarien und Annahmen	15
3.1.2	Nachfrage und Recyclinghochlaufszszenarien von Batterierohstoffen	17
3.2	Endenergienachfrage im Verkehrssektor	22
3.3	Wasserstoffnachfrage	24
3.4	Nachfrage und Potenziale von Biokraftstoffen	25
3.4.1	Nutzungskonkurrenz	26
3.4.2	Abgleich von Potenzialen und Nachfragen	27
4	Auswirkungen von Versorgungsunterbrechungen auf die deutsche Wirtschaft	30
4.1	Empirische und theoretische ökonomische Effekte von Versorgungskrisen	30
4.2	Simulation von Wirkungsfolgen zukünftiger Versorgungsrisiken auf die ökonomische Entwicklung Deutschlands	31
5	Geopolitische Risiken der Rohstoffversorgung	35
5.1	Geopolitisches Versorgungsrisiko: Definition, Dynamik und Indikatoren	35
5.2	Index des geopolitischen Versorgungsrisikos: Methodologie, Ansatz, und Daten	36
5.2.1	Methodologie und Ansatz	37
5.2.2	Daten und Auswertung	40
5.3	Geopolitische Versorgungsrisiken für Deutschland	43
5.3.1	Rohstoffe	43
5.3.2	Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	53

6	Bewertung und Implikationen für die deutsche Politik	56
6.1	Rohstoffe	56
6.2	Wasserstoff	60
7	Schlussbemerkungen und Ausblick	61
8	Referenzen	63
9	Anhang	70
9.1	Daten zu PKW-Flotte und Batteriechemie	70
9.2	Daten zur Ermittlung des GVRI	71
9.3	Sektoren zur Abbildung der ökonomischen Effekte	95

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 3.1:	Nachfrage- und Sekundärproduktionsentwicklungen der Batterierohstoffe Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium und Graphit für die Flottenszenarien REF2050, KSPr und ELEC.....	19
Abbildung 3.2:	Erwartete Nachfragedeckungsanteile der Sekundärproduktion an der Nachfrage betrachteter Rohstoffe für bzw. aus der deutschen Automobilflotte im Jahr 2050, nach Sammlungsszenarien.....	20
Abbildung 3.3:	Zusammensetzung der Endenergienachfrage im Verkehrssektor nach Subsektoren im Zeitverlauf je betrachtetes Szenario .....	23
Abbildung 3.4:	Nachfrage des Verkehrssektors nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen im Zeitverlauf.....	24
Abbildung 3.5:	Vergleich von Potenzialen und Bedarf an Bioenergie (DE, EU, global).....	29
Abbildung 4.1:	Impulse durch Versorgungsrisiken und ihre Ankopplung in ASTRA-DE....	34
Abbildung 4.2:	Versorgungsschock über 2 und über 5 Jahre – doppelter und vierfacher Preis der Rohmaterialien Importe .....	35
Abbildung 5.1:	GVRI für den importbasierten Bewertungsansatz .....	44
Abbildung 5.2:	GVRI für den produktionsbasierten Bewertungsansatz .....	45
Abbildung 5.3:	GVRI für den reservenbasierten Bewertungsansatz .....	46
Abbildung 5.4:	Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Anteile der Lieferländer an deutschen Importen.....	48
Abbildung 5.5:	Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Verteilung der globalen Produktion .....	49
Abbildung 5.6:	Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Verteilung der globalen Reserven .	50
Abbildung 5.7:	Matrix zur Bestimmung der relativen Risiken und der Priorität von Maßnahmen .....	53
Abbildung 5.8:	GVRI für den Wasserstoffträger Ammoniak bei unterschiedlichen Importkosten (in 2050).....	54
Abbildung 5.9:	Potenzielle Exportländer und die Exportmenge bei verschiedenen globalen H <sub>2</sub> -Kostenniveaus.....	55
Abbildung 6.1:	Mögliche politische Strategie für jede Rohstoffgruppe .....	56
Abbildung 9.1:	Erwartete Kathodenchemieverteilung bis 2050.....	71

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Wichtige Rohstoffe für BEVs .....	12
Tabelle 2.2:	Wichtige Rohstoffe für E-Fuels .....	13
Tabelle 2.3:	Wichtige Rohstoffe für BEVs und E-Fuels .....	14
Tabelle 3.1:	Weltproduktion und Anteil der modellierten Nachfrage der deutschen Automobilflotte für 2022 und 2050.....	22
Tabelle 3.2:	Energienachfrage je Subsektor und Szenario im Jahr 2045 nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen und Energieträgern im Verkehrssektor .....	28
Tabelle 3.3:	Kraftstoffproduktionspotenziale basierend auf den abgeschätzten Verfügbarkeiten biogener Rest- und Abfallstoffe sowie von Energiepflanzen .....	28
Tabelle 4.1:	Wirtschaftliche Bedeutung der Importe von rohstoff-importierenden Sektoren (2021).....	32
Tabelle 4.2:	Abhängige Sektoren mit hohen Zulieferungsanteilen der rohstoff- importierenden Sektoren (2021) .....	33
Tabelle 5.1:	Beispiel der Risikoklassifizierung: Produktion vs. Importbasierter Ansatz.	51
Tabelle 5.2:	Beispiel der Risikoklassifizierung: Import- vs. Reservenbasierter Ansatz .	52
Tabelle 6.1:	Recyclingquote und Substitutionsindex für die Rohstoffe .....	59
Tabelle 9.1:	Angenommene Lebensdauern der ersten und zweiten Nutzungsphase der Fahrzeugtypen in der deutschen Fahrzeugflotte bzw. im stationären Energiespeicher .....	70
Tabelle 9.2:	Angenommene Rückgewinnungsquoten der betrachteten Rohstoffe.....	71
Tabelle 9.3:	Rohstoffe, Wichtigste Exportländer und GVRI („Importbasierter Ansatz“).	72
Tabelle 9.4:	Rohstoffe, Produktionsländer und GVRI („Produktionsbasierter Ansatz“).	86
Tabelle 9.5:	Rohstoffe, wichtigste Länder und GVRI („Reservenbasierter Ansatz“).	91
Tabelle 9.6:	Sektoren im ökonomischen Modul von ASTRA-DE .....	96

## Abkürzungsverzeichnis

ASTRA	Assessment of Transport Strategies, integriertes System-Modell
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BEV	Battery Electric Vehicle – reines Batteriefahrzeug
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
ELEC	Flottenszenario mit maximaler Elektrifizierung
EPI	Environmental Performance Index
EU	Europäische Union
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GRI	Global Rights Index
GVRI	Geopolitischer Versorgungsrisikoindex
H2	Wasserstoff
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index
HS	Harmonisiertes System, Codes für globale Warenklassifikation
HyPat	H <sub>2</sub> -Potenzialatlas, wissenschaftliches Projekt
KSPR	Flottenszenario mit Hochlauf nach Klimaschutzprogramm 2023
PtL	Power-to-Liquid, strombasierter flüssiger Kraftstoff
PtX	Power-to-X, strombasierter Energieträger (flüssig, gasförmig)
RMIS	Raw Materials Information System
USGS	United States Geological Survey
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
WGI	Worldwide Governance Indicators
WZ2008	Klassifikation der Wirtschaftszweige, sektorale Einteilung zur Nutzung in der VGR

## Zusammenfassung

Das geopolitische Umfeld von Fahrzeugproduktion und -handel, aber auch synthetischen Energieträgern ist bestimmt durch neue oder verschärfte Knappheiten und einem systemischen Wandel von Beschaffungsketten und internationalem Handel. Das bisherige Wertschöpfungs-system war geprägt von Markttransaktionen unter wenig verbundenen Akteuren und der Erfahrung, dass Beschaffung wichtiger Rohstoffe und Komponenten auf sogenannten Commodity-Märkten bei entsprechender Zahlungsbereitschaft immer möglich sein wird.

Das sich in Konturen entwickelnde, neue System bei E-PKW und Batterien aber auch bei synthetischen Kraftstoffen dürfte dagegen stärker geprägt sein von Knappheiten und Versorgungsengpässen und vor allem einem strategischen Ansatz zur Sicherung von Bezugsquellen. Im letzten Jahrzehnt implementierte diesen Ansatz vor allem China, neuerdings verfolgen die USA ähnliche strategische Ansätze. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit das Versorgungsengpässe für Rohstoffe und neue Energieträger aus (geo-)politischen Gründen zunehmen.

Vor diesem strategischen Wandel entwickelt dieses Hintergrundpapier einen methodischen Ansatz zur Bewertung geopolitischer Risiken von E-Mobilität und E-Fuels. Das Ergebnis zeigt, dass für die Produktion von Batterien und E-Fahrzeugen praktisch dieselben Rohstoffe benötigt werden. Von 40 identifizierten kritischen Rohstoffen sind nur drei vor allem für BEV relevant, 13 vor allem für die Produktion und Nutzung von E-Fuels, sowie 24 für beide. Entgegen bisherigen Erwartungen bieten E-Fuels also keine Entlastung beim Rohstoffbedarf.

Magnesium, Wolfram und Seltene Erden (die sowohl für BEVs als auch für E-fuels relevant sind) sind die Rohstoffe mit dem höchsten Risiko und haben daher die höchste Priorität für politische Maßnahmen. Hier gilt es die benötigten Importmengen durch Diversifikation, Ressourcendiplomatie und gemeinsame Explorationsaktivitäten mit Lieferländern zu sichern. Bei einzelnen Rohstoffen (insb. Kobalt und Nickel) kann und sollte zukünftig auch das Recycling einen großen Anteil des Bedarfs in Deutschland decken.

Für E-Fuels hat sich gezeigt, dass zu Kosten zwischen 4,5 und 6,5 €/kg H<sub>2</sub> an der deutschen Grenze eine Import-Belieferung für Deutschland aus einer Vielzahl von Lieferländern potenziell realisierbar wäre, auch wenn die globale H<sub>2</sub>-Nachfrage massiv steigen würde. Durch die Verteilung der Importe auf mehrere Lieferländer wäre das geopolitische Risiko sehr gering und auch deutlich geringer als bei Rohstoffen für E-Mobilität.

Biokraftstoffe können nur einen kleinen Teil der Endenergienachfrage im Verkehr in Deutschland decken. In einem Referenzszenario, bei dem durch Biokraftstoffeinsatz im Verkehr in 2045 Klimaneutralität erreicht werden soll, würden fast 90% des EU-Minimal-Potenzials (bzw. mehr als 10% des EU-Maximal-Potenzials) in Deutschland verbraucht. Zum Vergleich: global könnte Biomasse etwa 25% der aktuellen Weltenergienachfrage decken (160 von 600 EJ).

Die deutsche Wirtschaft war seit 2020 mehrfach mit Versorgungsengpässen konfrontiert, teils ausgelöst durch geopolitisches Handeln, durch die Pandemie, teils durch Klima- und Wetterkatastrophen. Dabei wurde deutlich, dass die Engpässe massive wirtschaftliche Effekte auslösen können, und ökonomisch sowohl zu Verlusten als auch zu Gewinnen geführt haben. Es ist notwendig sich gegen zukünftig zunehmende Versorgungsengpässe resilient aufzustellen.



## 1 Einleitung

Um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen und die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor bis 2030 um 48 Prozent zu senken, hat die Bundesregierung eine Politik der Elektrifizierung beschlossen. Ziel ist es, bis 2030 mindestens 15 Millionen Elektrofahrzeuge auf den Straßen zu haben (Deutscher Bundestag, 2024). Um dieses Ziel zu erreichen, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Initiativen und politische Instrumente verabschiedet. Die politischen Maßnahmen auf nationaler Ebene wurden durch die Gesetze und Verordnungen auf europäischer Ebene zur Erreichung der Klimaziele unterstützt und ergänzt. Eine dieser Regelungen ist das Verbot des Verkaufs von Neuwagen mit CO<sub>2</sub>-emittierenden Verbrennungsmotoren ab 2035 (European Parliament, 2023). Dies wird als wichtiger Schritt zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors angesehen, wurde aber von der deutschen Bundesregierung aufgrund der vermuteten negativen Auswirkungen auf die Automobilindustrie und der generellen Umsetzbarkeit abgelehnt. Die daraus resultierenden Diskussionen haben zu einer Einigung geführt, dass geprüft werden soll, ob Neuwagen mit Verbrennungsmotoren auch nach 2035 zugelassen werden dürfen, sofern sie nachweisbar ausschließlich mit E-Fuels (synonym PtL, Power-to-Liquid Kraftstoff) betrieben werden.

In Deutschland hat dies zu einer Diskussion geführt, welche Technologie zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs eingesetzt werden soll – batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEVs) oder E-Fuels. Während einige Experten und Stakeholder den Einsatz von E-Fuels befürworten (ADAC, 2024), sind andere skeptisch und sehen in der Elektromobilität die klimaeffizienteste Lösung für Autos (Transport and Environment, 2021; Miller, 2024; Wietschel & Leidenberger, 2023). Auch die politischen Parteien sind in ihrer Unterstützung und Meinung gespalten: FDP und CDU/CSU befürworten E-Fuels, SPD und Grüne bevorzugen BEVs.

Für beide Technologiepfade gibt es zahlreiche Argumente. Der Vorteil von E-Fuels ist, dass sie mit der bestehenden Energieinfrastruktur für den Verkehr betrieben werden können und keine bzw. nur begrenzte Änderungen der Antriebstechnik oder des Tankstellennetzes erfordern. Dies führt aktuell zu einer höheren Akzeptanz in der Gesellschaft, die nur in begrenztem Umfang auf den Wandel zu elektrifizierten Technologien eingestellt ist. Der Nachteil ist, dass sie energieintensiver und teurer sind als BEVs. Für die Herstellung von E-Fuels wird 2 bis 14 mal mehr erneuerbare Energie benötigt (Ueckerdt *et al.*, 2021). Außerdem verbrauchen sie in der Nutzungsphase des Fahrzeugs fünfmal mehr Energie (*ibid*). E-Fuels betriebene Fahrzeuge sind bei den variablen Kosten etwa achtmal teurer pro Kilometer als BEVs (Rueter, 2022).

Es wird erwartet, dass die Ineffizienzen und Kostennachteile von E-Fuels langfristig durch die zu erwartende Preissenkung für erneuerbare Energien, Skalen- und Lernkurveneffekte reduziert werden (Yugo & Soler, 2019). Kurzfristig bleibt der Verfügbarkeits- und Kostennachteil jedoch ein limitierender Faktor. Zudem ist der Produktionshochlauf von E-Fuels nicht gesichert und es wird davon ausgegangen, dass das zukünftige Angebot die Nachfrage nicht decken kann (Viehmann, 2023; Transport & Environment, 2022; PIK, 2023).

BEVs hingegen sind wirtschaftlicher als E-Fuels. Und sie sind besser mit dem politischen Signal vereinbar, das die Bundesregierung in der Vergangenheit an Investoren und Stakeholder zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs gesendet hat. BEVs erfordern jedoch erhebliche Veränderungen in der verkehrsbezogenen Technologieinfrastruktur, sowohl im Antriebs- als auch im Energiebereich. Hinzu kommen begrenzte aber notwendige Anpassungen im Nutzungsverhalten, was ihre Akzeptanz verringert. Zudem kann die vollständige Elektrifizierung angesichts der langen Lebensdauer von Verbrennungsfahrzeugen mehrere Dekaden dauern (Ravi *et al.*, 2023; Haug *et al.*, 2024).

Unabhängig davon, welchen Weg Deutschland in Zukunft zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs wählt, ist klar, dass massive Investitionen notwendig sind. Bei BEVs sind Investitionen in die Netz- und Ladeinfrastruktur erforderlich, bei E-Fuels in die Elektrolyse, Kohlenstoffabscheidung, Speicherung, Synthese und den Transport. Die massiven Investitionen machen es erforderlich, dass die Bundesregierung einen angemessenen Rechtsrahmen schafft, der politische Sicherheit und Investitionssicherheit gewährleistet.

Die von einigen Experten empfohlene Kombination der beiden Technologieoptionen – E-Fuels und BEV - wäre ideal gewesen (McGovan, 2024; Viehmann, 2023). Sie schafft jedoch Verwirrung und Komplikationen für Hersteller und Investoren. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, BEVs für die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs zu bevorzugen und E-Fuels für den Luft- und Schiffsverkehr zu reservieren, wo die Elektrifizierung schwierig ist. Dies könnte ein guter Weg in die Zukunft sein, vorausgesetzt, dass der Luft- und Schifffahrtssektor genügend Nachfrageimpulse für die Produktionssteigerung von E-Fuels liefern kann. Bezogen auf den gesamten Verkehrssektor wird damit deutlich, dass Deutschland beide Technologien benötigt. Biokraftstoffe können ebenfalls eine potenzielle technologische Option sein, spielen aber angesichts ihrer unzureichenden Verfügbarkeit nur eine begrenzte Rolle (siehe Abschnitt 3.4).

Für die Herstellung von BEVs und E-Fuels werden Mineralien und Metalle benötigt, die fast ausschließlich aus dem Ausland importiert werden. Außerdem müssen Wasserstoff und seine Derivate für E-Fuels importiert werden, da sie in Ländern mit hohem Potenzial an erneuerbaren Energien produziert werden. Diese Importabhängigkeit wirft die Frage auf, ob die Versorgung mit den unterschiedlichen benötigten Inputs aufgrund geopolitischer Dynamiken gestört werden könnte. Wir sprechen hier von geopolitischen Versorgungsrisiken.

Die Analyse geopolitischer Versorgungsrisiken ist wichtig, da sie zu schwerwiegenden Störungen der Wirtschaft führen können. Nach Angaben der OECD haben 53 Länder zwischen 2009 und 2020 Exportbeschränkungen für Rohstoffe eingeführt (Kowalski & Legendre, 2023), was sich auf die Produktionskosten auswirkte und zu Unsicherheiten in der Lieferkette führte.

Ziel des Hintergrundpapiers ist es, die wichtigsten Rohstoffe für die Produktion von BEVs und E-Fuels, ihre zukünftige Nachfragedynamik und die Auswirkungen auf die deutsche Wirtschaft im Falle von Versorgungsunterbrechungen zu identifizieren. Darüber hinaus wird das relative geopolitische Versorgungsrisiko der Rohstoffe und dessen Implikationen für die deutsche Ressourcenstrategie analysiert.

Außerdem werden die mögliche Nachfrage nach Rohstoffen für BEV in Deutschland quantifiziert sowie die Potenziale von Biokraftstoffen und E-Fuels als technisch mögliche Alternativen zur Nutzung von BEV.

Dieses Hintergrundpapier bietet eine umfassende Analyse der wichtigsten Rohstoffe, die in der Produktion und Nutzung von BEVs und E-Fuels über den gesamten Lebenszyklus verwendet werden. Sie quantifiziert geopolitische Versorgungsrisiken durch die Entwicklung von Risikoindizes für Rohstoffe und die Versorgung mit synthetischen Energieträgern (insbesondere strombasiertem grünen Wasserstoff). Die Indizes bieten eine einheitliche Risikobewertung auf Basis standardisierter Kriterien und Methoden. Damit ermöglichen sie eine einfache Vergleichbarkeit und Einordnung von Rohstoffen und Inputs, sowie auch für die Produzentländer von E-Fuels.

Die Ergebnisse der Analyse sollen dazu beitragen, Problemmaterialien zu identifizieren und prioritäre Maßnahmen zur Sicherstellung einer nachhaltigen Versorgung mit den für beide Technologien benötigten Ressourcen zu erleichtern. Außerdem werden die Potenziale zur Produktion von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und von Biomasse beleuchtet.

Abschnitt 2 gibt einen Überblick über die mineralischen Rohstoffe, die für die Produktion von BEVs und E-Fuels benötigt werden. In Abschnitt 3 wird die Nachfrage nach diesen mineralischen Rohstoffen und nach Energieträgern sowie ausgewählten Energierohstoffen prognostiziert. Abschnitt 4 zeigt die möglichen ökonomischen Auswirkungen einer Unterbrechung der Rohstoffversorgung auf die deutsche Wirtschaft auf. Abschnitt 5 quantifiziert die geopolitischen Versorgungsrisiken der verschiedenen verwendeten Rohstoffe und von erneuerbarem Wasserstoff. Abschnitt 6 bewertet die geopolitischen Versorgungsrisiken von Rohstoffen und Wasserstoff, und Abschnitt 7 entwickelt Schlussfolgerungen und Perspektiven für die Zukunft. Das Papier wird vervollständigt durch die genutzten Referenzen (Abschnitt 8) und Details zu den verwendeten Daten im Anhang (Abschnitt 9).

## 2 BEVs und E-Fuels: Wichtige Rohstoffe und Inputs

Rohstoffe können unterteilt werden in mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe. Vereinfachend werden in diesem Papier die mineralischen Rohstoffe als *Rohstoffe* zusammengefasst und bezeichnet. Energierohstoffe werden ebenfalls untersucht, und werden in den entsprechenden Kapiteln explizit benannt als E-Fuels (bzw. strombasierte Kraftstoffe), Wasserstoff (bzw. H<sub>2</sub>) oder Biokraftstoffe.

### 2.1 Wichtige Rohstoffe für BEVs

Es gibt viele Rohstoffe, die für die Nutzung und Produktion von BEVs verwendet werden, und zwar in den verschiedenen Phasen - Erzeugung von erneuerbarer Energie für den Betrieb, Produktion von Lithium-Ionen-Batterien und elektrischen Traktionsmotoren. Diese Phasen der Nutzung und des Betriebes sowie die dazugehörigen Rohstoffe sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Wichtige Rohstoffe für BEVs

Phasen	Wichtige Rohstoffe
Wind Energie	Aluminium, Blei, Bor, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Seltene Erden
Photovoltaiktechnologie	Aluminium, Blei, Bor, Eisen, Gallium, Germanium, Indium, Kadmium, Kupfer, Molybdän, Nickel, Selen, Silber, Silicium, Tellur, Zink, Zinn
Lithium-Ionen-Batterie	Aluminium, Eisen, Fluor, Graphite, Kobalt, Kupfer, Lithium, Mangan, Nickel, Niob, Phosphor, Silicium, Titan, Zinn
Elektrische Traktionsmotoren	Aluminium, Bor, Chrom, Eisen, Kupfer, Molybdän, Nickel, Seltene Erden, Silicium

Quelle: (European Commission, 2020 )

Einige Rohstoffe werden in allen Phasen verwendet, z. B. Aluminium, Eisen, Kupfer, und Nickel, während andere in mehr als einer Phase eingesetzt werden. Dazu gehören Blei, Bor, Chrom, Molybdän, Seltene Erden, Silicium, Niob und Zinn. Andere Metalle wie Kadmium, Fluorid, Titan, Phosphor usw. kommen nur in einer Phase vor. Insgesamt sind 28 verschiedene Rohstoffe für die Produktion von BEVs wichtig.

## 2.2 Wichtige Rohstoffe für E-Fuels

Interessanterweise werden Rohstoffe meist im Zusammenhang mit ihrer Bedeutung für BEV diskutiert. Sie sind jedoch auch für die Herstellung von E-Fuels von zentraler Bedeutung und werden während des gesamten Lebenszyklus bestehend aus Produktion und Nutzung verwendet. Dies umfasst die Erzeugung erneuerbarer Energie, die Elektrolyse, die Lagerung und den Transport von Kraftstoffen, die Kraftstoffsynthese und die Kraftstoffnutzung im Fahrzeug. Diese Phasen und die dazugehörigen Rohstoffe sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst.

Tabelle 2.2: Wichtige Rohstoffe für E-Fuels

Phasen	Wichtige Rohstoffe
Wind Energie*	Aluminium, Blei, Bor, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Seltene Erden
Photovoltaiktechnologie*	Aluminium, Blei, Bor, Eisen, Gallium, Germanium, Indium, Kadmium, Kupfer, Molybdän, Nickel, Selen, Silber, Silicium, Tellur, Zink, Zinn
Electrolyse+	Barium, Chrom, Eisen, Fluor, Gold, Iridium, Kobalt, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Platin, Ruthenium, Seltene Erden, Strontium, Tantal, Titan, Vanadium, Wolfram, Zink, Zirkonium
Kraftstofflagerung und -transport+	Aluminium, Chrom, Eisen, Kadmium, Magnesium, Molybdän, Mangan, Nickel, Seltene Erden, Titan, Vanadium, Zink, Zinn, Zirkonium
Kraftstoffsynthese (Fischer-Tropsch-Synthese/Methanol-Benzin-Verfahren) @	Aluminium, Eisen, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Ruthenium, Zink
Kraftstoffverbrauch (Katalytische Konverter) #	Palladium, Platin, Rhodium

Quelle: \*(European Commission, 2020); +(Matošec, 2024); #(Thomas, 2013); @(Dieterich et al., 2020; Bube et al., 2025; DOE - Department of Energy, o. J.; Rafati et al., 2017)

Rohstoffe wie Eisen, Nickel, Molybdän, Kupfer, Zink und Aluminium werden in mehreren Phasen verwendet. Insgesamt sind 37 Rohstoffe für die Herstellung von E-Fuels wichtig.

## 2.3 Wichtige Rohstoffe für BEVs und E-Fuels: Zusammenfassung

Es gibt viele Rohstoffe, die sowohl für die Herstellung von BEVs als auch von E-Fuels verwendet werden. Dazu gehören z.B. Rohstoffe, die bei der Erzeugung erneuerbarer Energien (Wind und Photovoltaik) eingesetzt werden und für beide Technologien wichtig sind. Darüber hinaus gibt es viele Rohstoffe, die z.B. bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien verwendet werden (z. B. Eisen, Fluorit, Kobalt, Mangan, Nickel und Niob), die auch bei der Elektrolyse eingesetzt werden.

Tabelle 2.3 zeigt die wichtigsten Rohstoffe, die verwendet werden: 1) hauptsächlich in BEVs, 2) hauptsächlich in E-Fuels, 3) sowohl in BEVs als auch in E-Fuels. Von den 40 in Tabelle 2.3 aufgeführten Rohstoffen sind drei die wichtigsten für BEV, 13 für E-Fuels und 24 sowohl für E-Fuels als auch für BEV.

Es ist zu beachten, dass Rohstoffe, die für BEVs von Bedeutung sind (erste Spalte der Tabelle 2.3), auch für die Herstellung von E-Fuels verwendet werden können. Beispielsweise kann Graphit, ein wichtiger Rohstoff für Lithium-Ionen-Batterien, auch als Elektrode in einigen Elektrolysesystemen zur Wasserstoffherzeugung verwendet werden. In ähnlicher Weise können Rohstoffe wie Magnesium, Wolfram, Gold, Vanadium und Tantal, die für die Herstellung von E-Fuels wichtig sind (zweite Spalte der Tabelle 2.3), auch aber in geringerem Umfang für BEVs von Nutzen sein. Beispielsweise in der Elektronik (Wolfram, Gold, Tantal) und in Leichtmetalllegierungen (Vanadium, Magnesium). Eine gesicherte Versorgung mit allen 40 Rohstoffen ist daher sowohl für E-Fuels als auch für BEVs von Vorteil, wobei einige Rohstoffe für die einen wichtiger sind als für die anderen.

Tabelle 2.3: Wichtige Rohstoffe für BEVs und E-Fuels

Vor allem BEVs	Vor allem E-Fuels	BEVs und E-Fuels
Phosphor, Lithium, Graphite	Barium, Iridium, Palladium, Platin, Rhodium, Ruthenium, Strontium, Zirkonium, Magnesium, Gold, Vanadium, Tantal, Wolfram	Aluminium, Blei, Bor, Kadmium, Chrom, Eisen, Fluor, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Niobium, Selen, Seltene Erden, Silber, Silicium, Tellur, Titan, Zink, Zinn
<b>3</b>	<b>13</b>	<b>24</b>

Quelle: M-Five, eigene Zusammenstellung

## 2.4 Wasserstoff: Ein wichtiger Rohstoff für E-Fuels

Für die Herstellung von E-Fuels werden große Mengen an erneuerbarem Strom benötigt, der zur Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse eingesetzt wird. Deutschland verfügt nicht über ausreichende Potenziale an erneuerbaren Energien, um den erwarteten hohen Bedarf an Wasserstoff für die Herstellung von E-Kraftstoffen zu vertretbaren Kosten zu decken.

Andererseits verfügen Länder in sonnen- oder windreichen Regionen - z.B. Australien, Länder in Nordafrika und im Nahen Osten - über ein großes Potenzial an erneuerbaren Energien, das zu relativ geringen Kosten für die Wasserstoffherzeugung genutzt werden kann. Für Deutschland ist es ökonomisch sinnvoller, Wasserstoff aus diesen Regionen zu importieren, als ihn im eigenen Land zu produzieren.

Wasserstoff und seine Derivate sind daher ein wichtiger Input für die Produktion von E-Fuels, für die Deutschland importabhängig sein wird. Daher untersuchen wir neben den in Tabelle 2.3 aufgeführten Rohstoffen auch die Dynamik des geopolitischen Versorgungsrisikos für Wasserstoff (siehe Kapitel 5.3.2).

### 3 Nachfrageprognosen für Nutzungen im Verkehr in Deutschland

Zur Einordnung der geopolitischen Risiken der verschiedenen Rohstoffe (Metalle, Mineralien) und ausgewählter Energierohstoffe werden im Folgenden Nachfrageprognosen für Deutschland erstellt bzw. herangezogen. Insofern eine Betrachtung der globalen Nachfrage für die Einordnung von Verfügbarkeiten und Risiken notwendig erscheint, wird auch diese bereitgestellt.

#### 3.1 Batterierohstoffe

##### 3.1.1 Stoffflussmodell: Struktur, Szenarien und Annahmen

Um die zukünftige Nachfrage nach Batterierohstoffen für die deutsche Fahrzeugflotte zu bilanzieren, wurde ein dynamisches Materialflussmodell entwickelt. Dies umfasst die in Deutschland genutzten Fahrzeuge (und nicht etwa die in Deutschland produzierten Fahrzeuge) und bilanziert die Rohstoffnachfrage für neu zugelassene Fahrzeuge, sowie die in Deutschland zu erwartenden Recyclingströme von Batterierohstoffen von in Deutschland angefallenen Altfahrzeugen aus der deutschen Flotte. Dabei wurden drei Szenarien zur Entwicklung der Fahrzeugflotte, sowie drei EoL-Sammlungsszenarien unterschieden. Das Modell betrachtet die drei Ebenen Fahrzeuge (in Anzahl Fahrzeugen), Batterien (in Anzahl an Batterien oder Batteriekapazität) und Rohstoffe (in Masseneinheiten).

Das Modell deckt die folgenden Lebenszyklusstadien ab:

- **Fertigung von Neufahrzeugen:** Basierend auf Zukunftsszenarien von Neuzulassungen der deutschen Elektrofahrzeugflotte wurde die Nachfrage nach Neufahrzeugen abgebildet. Die Neuzulassungen umfassen Fahrzeuge, die die Elektrofahrzeugflotte erweitern, und solche, die elektrische Altfahrzeuge ersetzen. Es wurden 41 Fahrzeugtypen, aufgelöst nach Größensegmenten von PKWs, Bussen, sowie leichten und schweren Nutzfahrzeugen und den Antriebsarten BEV, PHEV und FCEV, unterschieden. Den einzelnen Fahrzeugtypen wurde eine durchschnittliche Batteriekapazität pro Fahrzeug in kWh pro Fahrzeug zugeordnet, wodurch die Batteriekapazität der Flotte nach Fahrzeugtypen berechnet werden kann. Mithilfe von Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Kathodenchemieverteilung (vgl. Abbildung 9.1, in kWh) sowie der Rohstoffbedarf der verschiedenen Batteriechemien (in kg/kWh, nach Marscheider-Weidemann 2021; Maisel u. a. 2023; Natarajan und Aravindan 2020) wird die Batterierohstoffnachfrage in Masseneinheiten berechnet. Es wird angenommen, dass alle Batterien Graphit als Anodenmaterial einsetzen.
- **Nutzungsphase:** Die Neuzulassungen stellen den Inflow in den Elektrofahrzeugbestand der deutschen Flotte dar. Für eine verlässliche Darstellung der derzeitigen Flotte wurden Elektrofahrzeuge und Bestandsentwicklung auch historisch, seit 1995, modelliert. Der Verbleib der Fahrzeuge bzw. Batterien in der Flotte wird durch eine Annahme zur Lebensdauerverteilung in der deutschen Flotte festgelegt. Die gemittelten



Lebensdauern der Fahrzeuge in der deutschen Flotte wurden nach Fahrzeugtypen aus ASTRA-Flottenbeständen abgeleitet. Aus der Flotte ausscheidende Batterien werden nach Ablauf ihrer Nutzungsphase als Fahrzeugbatterien entweder (i) in Deutschland gesammelt und recycelt, (ii) exportiert, oder (iii) als Second-life Batterie in stationären Energiespeichern weiterverwendet. Werden die Batterien im Second-life eingesetzt, folgt nach der Nutzungsphase in Fahrzeugen eine zweite Nutzungsdauer, für die eine durchschnittliche Lebensdauererlängerung von  $10 \pm 3$  Jahren angenommen wird. Es wird angenommen, dass 30% der Altfahrzeugbatterien in Second-Life Anwendungen eingesetzt werden.

- **Sammlung:** Am Ende der Nutzungsphase in der deutschen Flotte bzw. in Second-Life Anwendungen werden die Fahrzeuge bzw. Batterien entweder exportiert oder als Altbatterien in Deutschland gesammelt. Das Umweltbundesamt (UBA, 2023) geht davon aus, dass derzeit etwa 15% der in Deutschland abgemeldeten Fahrzeuge in Deutschland gesammelt werden. Aufgrund technischer und reglementarischer Vorgaben wird für die in Deutschland gesammelten Altfahrzeuge eine Batteriesammelungsquote von 99% angenommen. Mit einem steigenden Anteil von Batteriefahrzeugen in der deutschen Flotte gehen wir davon aus, dass sich die Sammlungsprozesse gegenüber einer Verbrenner-dominierten Flotte verändern wird. Diese Annahme beruht auf zwei Gründen. Zum einen können die Batterierohstoffe bei lokaler Sammlung vor Ort zurückgewonnen werden. Diese können als zeitlich und örtlich flexible und wirtschaftlich profitable alternative Rohstoffquelle zur Deckung des Rohstoffbedarfs beitragen und dabei geopolitische Risiken, die mit der Beschaffung von Primärrohstoffen verbunden sind, umgangen werden. Zum anderen gehen wir vereinfachend davon aus, dass der Export von Elektrofahrzeugen aufgrund von infrastrukturellen Voraussetzungen ihrer Nutzung für altfahrzeugimportierende Länder unattraktiver wird.

Um den Einfluss der Sammlung auf die Verfügbarkeit von recycelten Batterierohstoffen zu verdeutlichen, wurden drei verschiedene Sammlungsszenarien definiert:

- **BAU-Szenario:** 15% der aus der deutschen Flotte scheidenden Fahrzeugbatterien werden zum Recycling in Deutschland gesammelt.
- **Export-Szenario:** 0% der aus der deutschen Flotte scheidenden Fahrzeugbatterien werden zum Recycling in Deutschland gesammelt. Alle Altbatterien werden exportiert.
- **Recyclingpotential:** 100% der aus der deutschen Flotte scheidenden Fahrzeugbatterien werden zum Recycling in Deutschland gesammelt.

Diese Sammlungsquoten beziehen sich dabei ausschließlich auf Altfahrzeugbatterien, die nicht in Second-Life Anwendungen eingesetzt werden. Für End-of-second-life-Batterien wird eine Sammlungsquote von 99% angenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Deutschland über ausreichende Batterierecyclingkapazitäten verfügt.

- **Recycling:** Die in Deutschland gesammelten Altbatterien fließen dann in das Batterierecycling. Annahmen zu Rückgewinnungsquoten wurden für Lithium, Kobalt und



Nickel auf Basis der EU-Batterieverordnung (EU, 2023) und für Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium und Graphit nach ergänzender Literaturrecherche getroffen. Dazu wurden Prozesse, die sich im Forschungs- und Entwicklungsstadium befinden oder als Pilotanlagen betrieben werden, zu Rate gezogen, die Rückgewinnungsquoten von jeweils mehr als 90% versprechen (Li-Cycle, 2025; Aurubis, 2024; cylib, 2024, 2025; Kyburz, 2025; Mining.com, 2019; AL Circle, 2023; Wu, 2024; Vieceli *et al.*, 2023). Für den großindustriellen Maßstab wurden etwas geringere Rückgewinnungsquoten von 80% angenommen. Das Modell betrachtet recycelte Materialien als solche, die als raffinierte Rohstoffe zurückgewonnen werden, und als solche in allen Anwendungen der jeweiligen Rohstoffe eingesetzt werden können, wie es in hydro- oder pyrometallurgischem Recycling geschieht. Batterierohstoffe werden aus EoL-Lithium-Ionen-Batterien in der Praxis jedoch nicht immer als solche zurückgewonnen. Im sogenannten Direktrecycling werden aus den Batterien die Kathodenmaterialien zurückgewonnen, die dann als solche in der Batteriefertigung eingesetzt werden. Hier wird angenommen, dass sich der Batterierohstoffmarkt durch die große Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien so an die zur Verfügung stehenden Recyclingmaterialien anpasst, dass alle direktrecycelten Kathodenmaterialien in der Batteriefertigung eingesetzt werden und dementsprechend die Nachfrage nach raffinierten Rohstoffen reduzieren. Unter dieser Annahme betrachtet das Modell Rohstoffe aus Direktrecycling und hydro- oder pyrometallurgischen Recyclingprozessen gleichermaßen als „recycelte Materialien“. Analog wurde Phosphor aus LFP-Batterien, das als Phosphat recycelt wird, betrachtet.

Annahmen zu Batterielebensdauern und Rückgewinnungsquoten sind im Anhang (Tabelle 9.1 und Tabelle 9.2) in tabellarischer Form zusammengefasst.

### 3.1.2 Nachfrage und Recyclinghochlaufsznarien von Batterierohstoffen

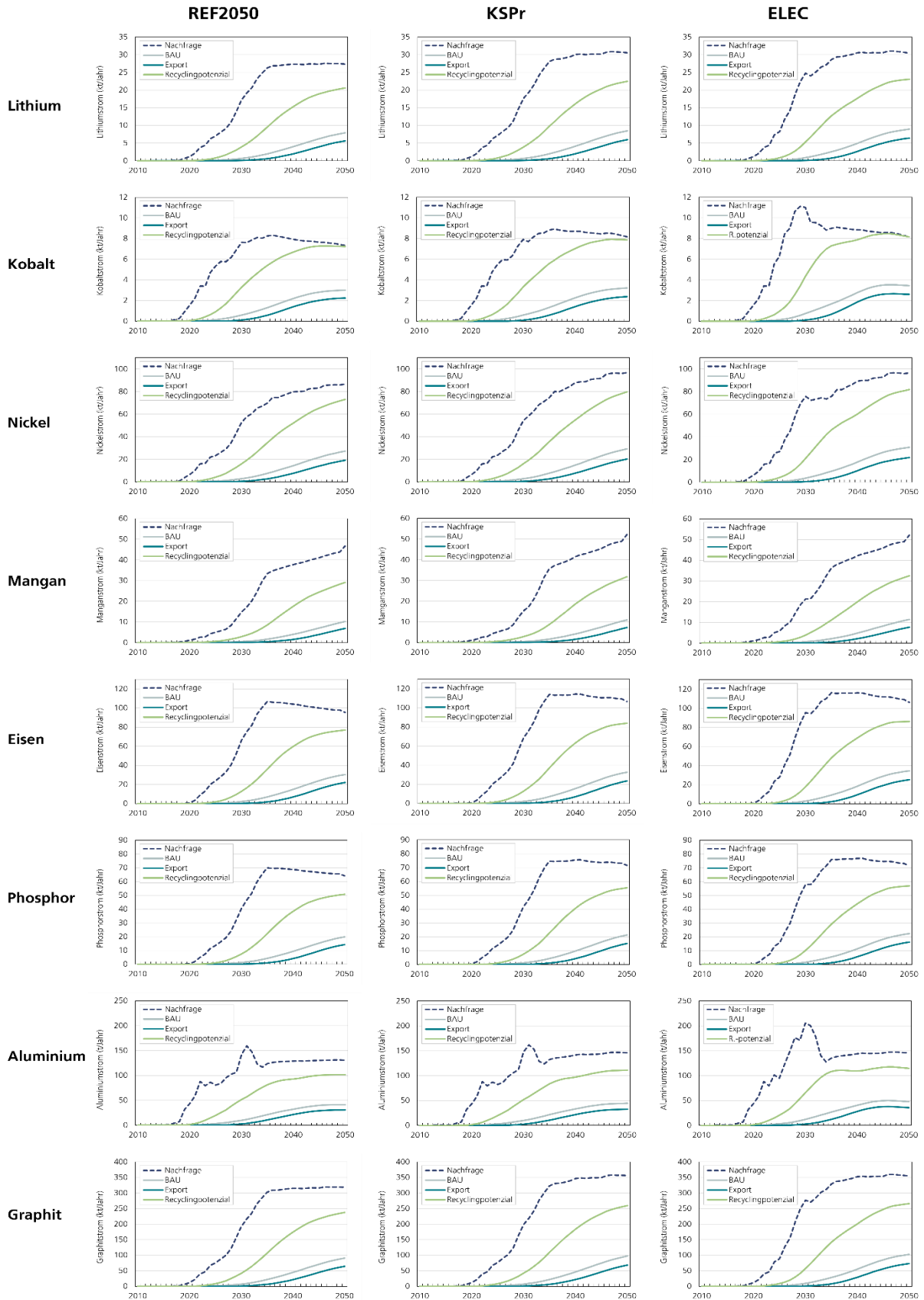
Auf Grundlage des in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Stoffflussmodells wurden Nachfrage und Sekundärproduktion (d.h. Produktion von recycelten Rohstoffen) der mineralischen Batterierohstoffe Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium und Graphit (Marscheider-Weidemann, 2021) für die drei Zukunftsszenarien der Flottengerüste REF2050, KSPR und ELEC bilanziert. Abbildung 3.1 zeigt die verschiedenen Rohstoffe jeweils ein Nachfrage- sowie die Sekundärproduktionsentwicklungen der drei definierten Sammlungsszenarien.

Die Nachfragekurven steigen für alle Flottenszenarien bis etwa 2035 stark an, bevor sie von 2035 bis 2050 abflachen (Nickel, Mangan), einen Plateau-Wert erreichen (Lithium, Aluminium, Graphit) oder abfallen (Kobalt, Eisen und Phosphor). Da als Anodenmaterial für alle Batterien einheitlich Graphit mit einer Materialintensität von 1 kg/kWh angenommen wurden, bildet die Graphitnachfragekurve die Flottenentwicklung proportional zur Gesamtbatteriekapazität der Flotte ab. Das erwartete großflächige Ersetzen von Fahrzeugen mit Verbrennermotoren durch batterie-basierte Fahrzeuge (BEV, PHEV, FCEV) begründet den starken Anstieg aller Batterierohstoffnachfragen bis 2035. Nach Vollenden dieses Technologiewechsels stabilisiert sich die Nachfrage nach Batteriekapazität auf die Summe aus zu ersetzenden Fahrzeugen, die

aus der Flotte ausscheiden, dem Wachstum der Gesamtfahrzeugnachfrage und der Verlagerung hin zu größeren Fahrzeugsegmenten, die mehr Batteriekapazität pro Fahrzeug erfordern. Die rückläufige Nachfrage nach Eisen, Phosphor und Kobalt sind auf die Annahme zurückzuführen, dass die Kathodenanteile von LFP- und kobaltreichen NMC- Batterien zugunsten von NMCA und LMNO-Batterien pro Batteriekapazität sinken. Nickel und Mangan steigen ab 2035 vergleichsweise stark weiter an, da wir davon ausgehen, dass die nickel-intensiven Kathodenchemien NMCA und NCA an Bedeutung gewinnen werden und zudem innerhalb der NMC-Kathodenchemien hoch-nickelhaltige (NMC811) gegenüber niedrig- oder mittelnickelhaltigen (NMC 111, 433, 523, 622) bevorzugt werden.

Vergleicht man die Flottenszenarien (REF2050, KSPR und ELEC), sind die geringsten Nachfragen für das Referenzszenario REF2050 zu erwarten, die größten für das ELEC-Szenario. Am deutlichsten unterscheiden sich die Nachfragen mit 46 bis 42% Abweichung des ELEC vom REF2050 Szenario in den Jahren 2026 bis 2030. Anschließend verkleinert sich diese Abweichung auf 12% im Jahr 2050.

Die dargestellten Recyclingströme folgen den Nachfragekurven qualitativ nach einem systemischen Muster: Die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen ist der Nachfrage gegenüber um die Nutzungsdauer der Batterien zeitlich verzögert. Neu hergestellte Batterien stehen erst nach ihrem Einsatz in Fahrzeugen und ggf. anschließendem Second-life Einsatz im stationären Energiespeicher dem Recycling als Altbatterien zur Verfügung. Zudem können die in die Batterien eingesetzten Rohstoffe nicht in ihrer Gänze zurückgewonnen werden. Sowohl bei der Sammlung als auch bei den verschiedenen Aufarbeitungsschritten fallen, im Idealfall minimale, Verluste an. Solange die Nachfrage nicht sinkt, kann die Sekundärproduktion folglich die Nachfrage nie komplett decken (Tercero Espinoza *et al.*, 2020). Im Jahr 2050 sind die möglichen Beiträge der Sekundärproduktion zur Deckung der Nachfrage am größten: Durch die beschriebene zeitliche Verzögerung von Sekundärrohstoffverfügbarkeit gegenüber der Nachfrage steigt die Sekundärproduktion bis 2050 an, während die Nachfragekurve ab etwa 2035 abflacht.

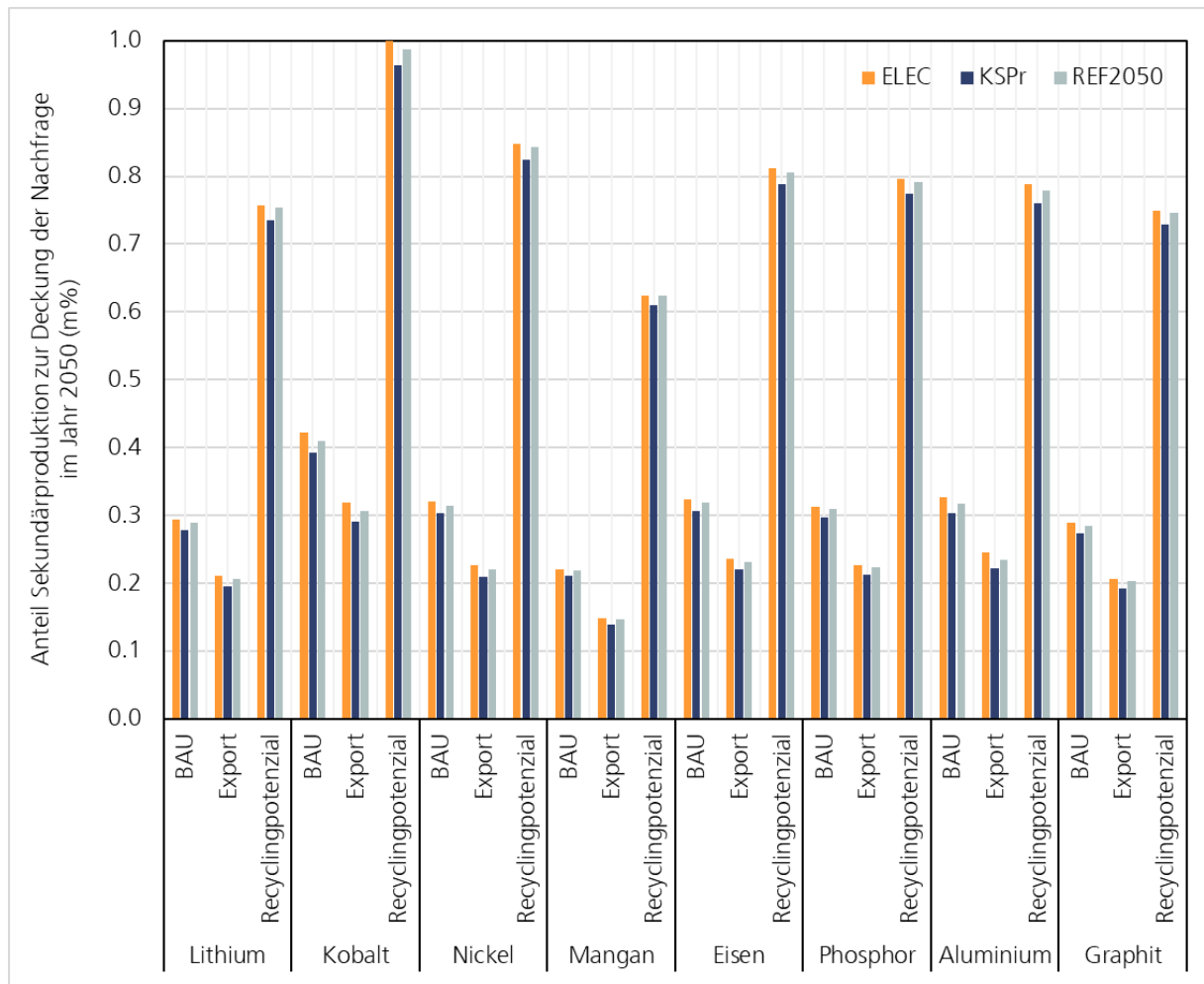


Anmerkung: Pro Rohstoff und Flottenszenario sind Nachfrage sowie verfügbare Sekundärrohstoffmengen der drei Sammlungsszenarien BAU, Export und Recyclingpotenzial abgebildet. Natürliches Graphit ist als Graphit abgekürzt.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Abbildung 3.1: Nachfrage- und Sekundärproduktionsentwicklungen der Batterierohstoffe Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Eisen, Phosphor, Aluminium und Graphit für die Flottenszenarien REF2050, KSPr und ELEC.

Abbildung 3.2 zeigt die Nachfragedeckungsanteile der betrachteten Rohstoffe im Jahr 2050. Massenanteile sind für die drei Flottenentwicklungsszenarien REF2050, KSPr und ELEC nach den Sammlungsszenarien BAU, Export und Recyclingpotenzial dargestellt. Natürliches Graphit ist als Graphit abgekürzt.



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Abbildung 3.2: Erwartete Nachfragedeckungsanteile der Sekundärproduktion an der Nachfrage betrachteter Rohstoffe für bzw. aus der deutschen Automobilflotte im Jahr 2050, nach Sammlungsszenarien.

Die Sammlungsszenarien BAU, Export und Recyclingpotenzial zeigen, wie sich die Sammlungsquoten der deutschen Altfahrzeuggatterien auf die mögliche Sekundärproduktion auswirken. Werden 99% der Altfahrzeuggatterien in Deutschland gesammelt und recycelt (Recyclingpotenzial-Szenario), kann die Nachfrage für alle Flottenszenarien von etwa 60 bis 80% von lokalem Recycling gedeckt werden. Werden wie bisher nur etwa 15% der Altfahrzeuggatterien gesammelt (BAU-Szenario), liegen diese Werte bei etwa 20 bis 30%, werden alle Altfahrzeuggatterien exportiert (Export-Szenario) liegt er bei 15-30%. In diesem Fall ist die Sekundärproduktion dennoch nicht null, weil davon ausgegangen wird, dass Batterien, die als second-life Batterien in industriellen stationären Speichern eingesetzt werden, mit hoher Effizienz gesammelt werden. Gemäß den angenommenen Rückgewinnungsquoten werden für

Kobalt und Nickel die größten möglichen Beiträge zur Deckung der Nachfrage erwartet. Für Kobalt wird 2050 eine potentielle Deckung (ELEC-Szenario) oder annähernde Deckung (REF2050, KSP<sub>r</sub>) der Nachfrage erwartet, sollten 99% der aus der deutschen Flotte scheidenden Elektrofahrzeuge in Deutschland gesammelt und recycelt werden. Diese Deckung ist kurzfristig möglich, da der zeitlich verzögerte Rücklauf von Altbatterien auf eine sinkende Nachfrage trifft. Da die Sekundärproduktionskurven dem Verlauf der Nachfragekurven um die Lebensdauer-Verteilung verzögert folgt, wird erwartet, dass die Sekundärproduktionskurve nach 2050 dementsprechend sinken wird.

Über alle betrachteten Rohstoffe hinweg zeigen die modellierten Recyclingströme, dass eine möglichst vollständige Sammlung von Altfahrzeugbatterien den Anteil der Nachfrage, den die Sekundärproduktion decken kann, von 15-30% auf etwa 60-80% mehr als verdoppeln kann. Werden wie derzeit nur etwa 15% der Altfahrzeuge in Deutschland gesammelt und recycelt (BAU-Szenario), wird also nur etwa die Hälfte des Recyclingpotenzials ausgeschöpft. Der Einfluss der Sammelquote auf diesen Beitrag zur Rohstoffversorgung ist dabei deutlich größer als der Flottenentwicklungspfade.

Zur Einordnung der absoluten Volumina der modellierten Nachfrage- und Recyclingströme von Batterierohstoffen für bzw. aus der deutschen Automobilflotte zeigt Tabelle 3.1 die Weltproduktion der betrachteten Rohstoffe im Jahr 2022 (Europäische Kommission, o. J.), Szenarien der für 2050 erwarteten Gesamtnachfragen (Gregoir & van Acker, 2022; Argus, 2023; IEA - International Energy Agency, 2020; ECGA, 2022) und die jeweiligen Anteile der modellierten Werte für die betrachteten Rohstoffe.

Daraus geht hervor, dass sich die Nachfrage nach Rohstoffen für die deutsche Automobilflotte mit Nachfrageanteilen von 0.5 bis 3% in 2022 am stärksten auf die Märkte von Graphit, Lithium, Kobalt und Nickel auswirkt. Die Nachfrageanteile an den Basismetallen Eisen und Aluminium belaufen sich auf weniger als 0.001%. Ein Vergleich der hier modellierten Nachfragen für das Jahr 2050 mit Zukunftsszenarien der Gesamtnachfragen der betrachteten Rohstoffe deutet auf eine Verschärfung der Nutzungskonkurrenz für natürliches Graphit hin, wobei eine Steigerung der Nachfrageanteile auf 9 bis 10% erwartet wird. Die Nachfrageanteile für Kobalt und Nickel liegen in einem Bereich zwischen 0.4 und 5%. Der Nachfrageanteil für Lithium fällt gemäß der Zukunftsszenarien auf unter 1%, was bedeutet, dass für die Gesamtnachfrage nach Lithium bis 2050 ein stärkeres Wachstum erwartet wird als für die Rohstoffe der deutschen Automobilflotte.

Tabelle 3.1: Weltproduktion und Anteil der modellierten Nachfrage der deutschen Automobilflotte für 2022 und 2050.

Rohstoff	Weltproduktion 2022 (gerundet)	Anteil der modellierten Nachfrage der deutschen Automobilflotte 2022	Erwartete Gesamtnachfrage 2050	Anteil der modellierten Nachfrage der deutschen Automobilflotte 2050
Lithium	150 kt	2.6%	3700-8000 kt	0.05-0.8%
Kobalt	210 kt	1.6%	270-600 kt	0.6-3%
Nickel	3.1 Mt	0.5%	1800-4000 kt	0.4-5%
Mangan	20 Mt	0.01%	n/v	n/v
Eisen	1.4 Gt	< 0.001%	1.9 Mt	≤ 0.006%
Phosphor (als Phosphatgestein)	71 Mt	0.05%	78-100 Mt	0.04-0.7%
Aluminium	69 Mt	< 0.001%	25-42 Mt	< 0.001%
Natürliches Graphit	1.3 Mt	3.1%	3.8 Mt	9-10%

Anmerkung: Gerundete Werte. Für Mangan ist unseres Wissens kein Zukunftsszenario zur Gesamtnachfrage 2050 zugänglich.

Quelle: Zusammenstellung Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen, sowie (Gregoir & van Acker, 2022; Argus, 2023; IEA - International Energy Agency, 2020; ECGA, 2022)

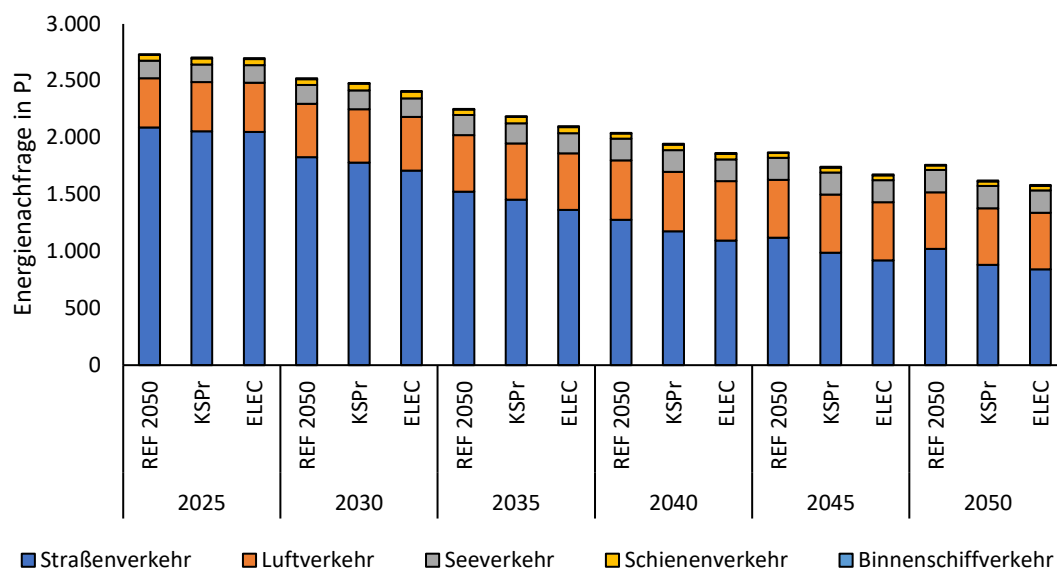
### 3.2 Endenergienachfrage im Verkehrssektor

Die Nachfrage nach Kraftstoffen und Energieträgern im Verkehrssektor wird über die genutzten Antriebstechnologien bestimmt. Der größte Einzelnachfrager ist dabei der Straßenverkehr, wobei die Zusammensetzung der Energienachfrage im Zeitverlauf maßgeblich durch die Elektrifizierung geprägt ist (Abbildung 3.3). Dabei sinkt nicht nur die verbleibende Nachfrage nach flüssigen oder gasförmigen Energieträgern, sondern auch die Gesamtenergienachfrage durch die höhere Effizienz des Elektromotors (Abbildung 3.4).

Andere Teilsektoren hingegen, wie Luft- und Seeverkehr, gelten aus heutiger Sicht als nur schwer elektrifizierbar und es wird angenommen, dass diese – wie bisher – auch in Zukunft mit flüssigen Kraftstoffen versorgt werden müssen. Abbildung 3.3 zeigt die gesamte Endenergienachfrage im Verkehrssektor aufgeteilt auf die verschiedenen Subsektoren. Die ausgewiesenen Energiegerüste der Szenarien „REF 2050“, „KSPr“ und „ELEC“ unterscheiden sich vorwiegend im Bereich des Straßenverkehrs, insbesondere durch die Geschwindigkeit des Hochlaufs und den Durchdringungsgrad elektrifizierter Antriebe im Flottenbestand. Für den restlichen Verkehrssektor wurde in allen Szenarien eine identische Entwicklung unterstellt.

- **REF 2050.** Dieses Flottengerüst bildet den Regulatorik- und Maßnahmenstand bis August 2022 ab (Schade *et al.*, 2023).
- **KSPr.** In diesem Flottengerüst werden auch die Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (KSPr) von 2023 berücksichtigt (insbesondere relevant ist hier die Einführung der CO<sub>2</sub>-differenzierten LKW-Maut und das Deutschlandticket).

- **ELEC.** Dieses Szenario baut auf dem KSPr Szenario auf, ist aber durch eine maximal mögliche Elektrifizierung geprägt; das 15 Mio. E-Pkw-Ziel der Bundesregierung in 2030 wird erfüllt und die Elektromobilität wächst auch im Nutzfahrzeugbereich schneller.

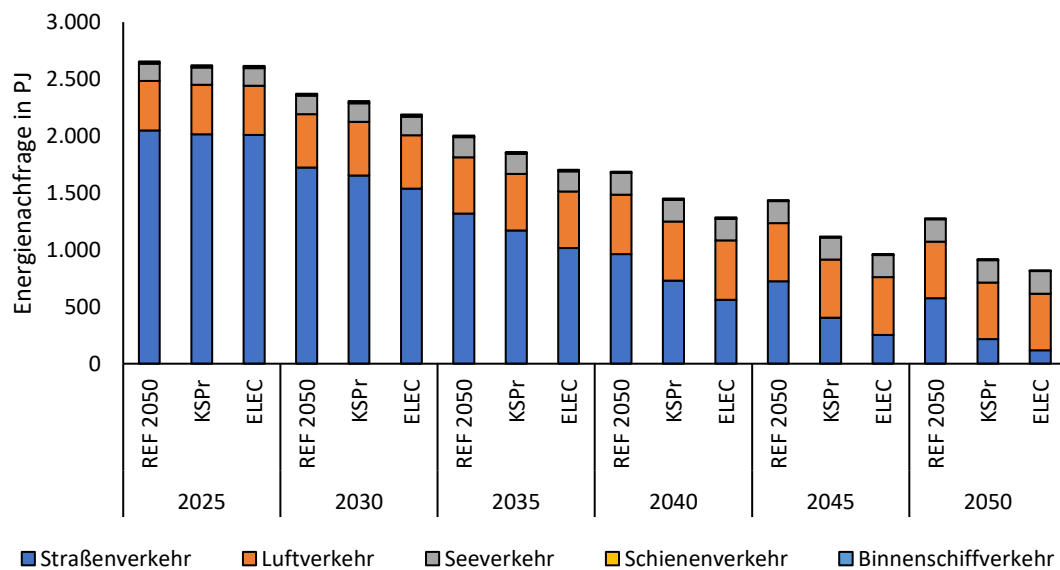


Quelle: IUE/M-Five, ASTRA-M, eigene Berechnungen

Abbildung 3.3: Zusammensetzung der Endenergienachfrage im Verkehrssektor nach Subsektoren im Zeitverlauf je betrachtetes Szenario

Es ist zu sehen, dass die Endenergienachfrage in allen Szenarien sinkt, wobei der Rückgang der Nachfrage mit höherem Grad der Elektrifizierung ansteigt. Noch deutlicher wird diese Entwicklung bei Betrachtung der Nachfrage nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen ohne Inklusion der Stromnutzung in Abbildung 3.4. Während die gesamte Endenergienachfrage je nach Szenario zwischen 35% und 40% abnimmt, reduziert sich die Nachfrage nach flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen um ca. 50% bis 70% im Vergleich zwischen den Jahren 2025 und 2050.





Quelle: IUE/M-Five, ASTRA-M, eigene Berechnungen

Abbildung 3.4: Nachfrage des Verkehrssektors nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen im Zeitverlauf

Es ist zu berücksichtigen, dass jeweils die gesamte Nachfrage nach flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen ausgewiesen wird, um den maximalen Substitutionsbedarf im Kraftstoffszenario zu ermitteln. Damit wird jedoch keine Prognose oder Einschätzung abgegeben, ab welchem Zeitpunkt diese Kraftstoffe tatsächlich vollständig erneuerbar bereitgestellt werden (können) und auch der regulatorische Rahmen, der den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe im Verkehrssektor bisher maßgeblich bestimmt, wird an dieser Stelle nicht betrachtet.<sup>1</sup> Für die weiteren Betrachtungen wird die Nachfrage im Jahr 2045 herangezogen, da ab diesem Zeitpunkt Deutschland nach dem geltenden Bundes-Klimaschutzgesetz klimaneutral sein soll.

### 3.3 Wasserstoffnachfrage

Weltweit wird ein erheblicher Anstieg der Nachfrage nach Wasserstoff prognostiziert. Es gibt jedoch Unterschiede zwischen den Ländern. In Ländern mit ehrgeizigen Treibhausgasreduktionszielen wird eine besonders starke Nachfrage erwartet. Je höher die Ziele, desto größer die Nachfrage nach Wasserstoff, wobei einige Studien vorhersagen, dass ab einer Treibhausgasreduktion von 80% gegenüber 1990 die Nutzung von Wasserstoff die einzige Alternative sein wird (Riemer *et al.*, 2022).

Der Gesamtbedarf an Wasserstoff im Jahr 2050 wird zwischen 4 und 11 % des weltweiten Endenergiebedarfs erwartet. In der EU könnte der Anteil der Wasserstoffnachfrage bis zu 14 % betragen, wobei für Deutschland ein Anteil von etwa 20 % prognostiziert wird. Der hohe Anteil der Wasserstoffnachfrage in Deutschland ist auf seine potenzielle Rolle im Industriesektor zurückzuführen, insbesondere im Stahl- und Chemiesektor.

<sup>1</sup> Die Regulatorik wird in einem weiteren Hintergrundpapier vorgestellt (Anstett *et al.*, 2024).



Die Bundesregierung schätzt den Gesamtbedarf an Wasserstoff bis 2030 auf 95 bis 130 TWh. Darin enthalten ist der prognostizierte Bedarf an Wasserstoffderivaten wie Ammoniak, Methanol oder synthetischen Kraftstoffen. Von diesem prognostizierten Bedarf müssen ca. 50-70 % (d.h. 45-90 TWh) aus dem Ausland importiert werden (Bundesregierung, 2024; BMWK, 2023). Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach Wasserstoff und Wasserstoffderivaten über das Jahr 2030 hinaus weiter ansteigen wird, und zwar auf bis zu 360-500 TWh für Wasserstoff und 200 TWh für Wasserstoffderivate. Dabei werden 230-370 TWh für die industrielle Nutzung von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten erwartet (Fraunhofer ISE, 2025).

Der Anteil der Importe zur Deckung des Wasserstoffbedarfs wird nach 2030 weiter steigen (Bundesregierung, 2024; BMWK, 2023). Nach einer Metaanalyse könnte der Importbedarf Deutschlands im Jahr 2050 bis zu 900 TWh betragen (Wietschel *et al.*, 2024).

### 3.4 Nachfrage und Potenziale von Biokraftstoffen

In diesem Hintergrundpapier wird primär zwischen E-Fuels und der direkten Stromnutzung im Verkehr unterschieden. Für die Bereitstellung von konventionellen Kraftstofftypen, d.h. flüssige oder auch gasförmige Kraftstoffe wie Diesel oder Methan, kann neben der rein strombasierten Syntheseroute jedoch auch Biomasse genutzt werden.

Heute wird Biomasse bereits in unterschiedlichsten Formen genutzt. Es bestehen Unterschiede in Bezug auf den Ursprung der Biomasse, etwa zwischen Anbaubiomasse wie Raps und Neben- bzw. Abfallprodukten wie Stroh, sowie hinsichtlich ihrer spezifischen Eigenschaften, beispielsweise ölhaltige Saaten oder holzartige Biomasse. Diese Unterschiede sind für die nachfolgenden Verarbeitungsschritte und -verfahren hin zu einem Kraftstoff oder Energieträger von Relevanz (d. h., z. B. die Eignung zur Gewinnung von Pflanzenölen und der nachfolgenden Biodieselherstellung oder eine Gaserzeugung mit nachfolgender Kraftstoffsyntheseroute). Biogene Rohstoffe können auch als Neben- oder Abfallstrom aus Industrieprozessen anfallen, wobei vor einer Nutzung ggf. zunächst weitere Aufbereitungsschritte notwendig sind. Die Einteilung von Biomasse kann jedoch nicht immer eindeutig erfolgen, da es mehrere passende Kategorien geben kann.

Als nachwachsende Ressource unterliegt Biomasse natürlichen Schwankungen, die von den jeweiligen Umweltbedingungen abhängig sind und sich auch kurzfristig ändern können. Zusätzlich können Schätzungen zum Bestand deutlich auseinander gehen, insbesondere für nicht-kultivierte Biomasse. Auch ökologische Richtlinien, Entnahmebestimmungen oder wirtschaftliche Aspekte beeinflussen die nutzbare Biomasse stark. Zusätzlich können marktseitige Änderungen auch Anreize für Maßnahmen zur Erhöhung des Biomasseertrags geben (z. B. durch höhere Erträge pro Fläche oder die Verringerung von Verlusten entlang der Prozessketten) und somit das Angebot insgesamt erhöhen – auch ohne die Ausweitung von Anbauflächen. Gleichmaßen können marktseitige Entwicklungen auch dazu führen, dass gewisse Potenzialanteile nicht mehr wirtschaftlich gehoben werden können.

Für die nachfolgenden Betrachtungen ist aus den zuvor genannten Gründen zu berücksichtigen, dass die getroffenen Annahmen mit hohen Unsicherheiten verbunden und als eine Abschätzung zu sehen sind, um die Größenordnung der Versorgungsmöglichkeiten über biogene Rohstoffe abzustecken.

### 3.4.1 Nutzungskonkurrenz

In allen Sektoren einer Volkswirtschaft gibt es gängige und etablierte Einsatzmöglichkeiten für Biomasse. Aber das biogene Angebot ist begrenzt – einerseits durch natürliche Gegebenheiten (z. B. geeignete klimatische Bedingungen, Verfügbarkeit von landwirtschaftlich nutzbarer Flächen) und andererseits aber auch durch einen politischen Konsens, dass keine neuen Anbauflächen für Energiepflanzen geschaffen werden sollen („Tank vs. Teller“). Das begrenzte Angebot bei gleichzeitig im Rahmen höherer Klimaschutzbemühungen und -zielsetzungen steigender Nachfrage führt in Zukunft potenziell zu Nutzungskonkurrenzen zwischen den Sektoren, die auf diese Bioressourcen zugreifen wollen. Dies betrifft oftmals die Verteilung der Ressourcen selbst, kann aber auch vorgelagert die Konkurrenz um den Anbau von bestimmter Biomasse auf den begrenzt verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen betreffen. Da die heute angebauten Energiepflanzen bereits in unserer Volkswirtschaft genutzt werden, müssten zukünftig somit vor allem solche Neben- und Abfallstoffströme weitergehend bzw. zusätzlich erschlossen werden, die bislang nicht gesammelt und/oder verwertet werden.

Biomasse wird schon lange großtechnisch in verschiedenen Anwendungen genutzt und damit sind die damit verbundenen Umwandlungstechnologien weitgehend Stand der Technik. Hierdurch kann Biomasse in vielen Sektoren schnell und mit einem geringen technologischen Risiko eingesetzt werden, um dadurch die entsprechenden Klimagasemissionen zu reduzieren. Ebenfalls vorteilhaft ist hierbei, dass bestimmte Biomassearten mit nur wenigen Umwandlungsschritten in der bestehenden Infrastruktur und im aktuellen Anlagenbestand eingesetzt werden können; Beispiele sind die Erzeugung von Biomethan und die Einspeisung ins Erdgasnetz zur Substitution von fossilem Erdgas oder die Herstellung von Biodiesel und die nachfolgende Beimischung zu fossilem Diesel (siehe (Anstett *et al.*, 2024) für weitere Informationen zu Kraftstoffproduktionsrouten). Auf diese Weise werden Emissionseinsparungen ohne Investitionen in neue Anlagen ermöglicht. Vor allem kurz- bis mittelfristig kann dies die Nutzungskonkurrenz zwischen den Sektoren erhöhen.

Die deutsche Wirtschaft basiert derzeit in vielen Bereichen vor allem auf der Nutzung von Kohlenwasserstoffen – sowohl zur energetischen Nutzung als auch stofflich. Bisher stammen diese Kohlenwasserstoffverbindungen (C-H-Bindungen) vor allem aus fossilen Quellen, die in Zukunft aber dort, wo keine Alternativen vorhanden sind, zunehmend durch solche aus erneuerbaren Quellen substituiert werden sollen.

Prinzipiell wird zwischen zwei Produktionsrouten bei der Bereitstellung dieser C-H-Bindungen unterschieden: Zum einen die Synthese von C-H-Bindungen aus Elektrolyse-Wasserstoff und atmosphärischem Kohlenstoff (über Direct-Air-Capture-Anlagen); der Betrieb erfolgt mit Strom aus erneuerbaren Energien. Und zum anderen der direkten Nutzung von Biomasse, in der bereits Kohlenwasserstoffverbindungen vorliegen. Da die strombasierte Synthese mit einem

hohen energetischen Aufwand einhergeht, ist die direkte Nutzung von Biomasse vorteilhaft, was auch an diesem Punkt zu Nutzungskonkurrenzen führt.

Neben diesen zwei Wegen gibt es auch Verknüpfungen bzw. Mischformen. Bei diesen kann Biomasse als Ausgangsbasis genutzt und zusätzlich durch Elektrolyse-Wasserstoff ergänzt werden. Da Biomasse oft ein ungenügendes Wasserstoff-zu-Kohlenstoff-Verhältnis (d. h. Wasserstoffdefizit) aufweist im Vergleich zu den zu synthetisierenden Kohlenwasserstoffverbindungen (z. B. Kerosin oder auch Methanol), kann durch die Zugabe von Wasserstoff der in der Biomasse bereits konzentriert vorliegende Kohlenstoff besser ausgenutzt werden (d. h. Verbesserung der Kohlenstoffnutzungseffizienz). Über die Biomasse kann somit die „Synthesevorleistung der Natur“ ausgenutzt werden und der (vor allem energetische) Aufwand für die Synthese der benötigten C-H-Bindungen bzw. der Einzelbestandteile reduziert werden. Neben dem Verkehrssektor, der diese Kohlenwasserstoffe in Form von flüssigen Kraftstoffen nutzen kann, ist diese Eigenschaft vor allem in der chemischen Industrie bei der Herstellung von Basischemikalien oder auch Kunststoffen relevant, die insbesondere auf den Kohlenstoff angewiesen sind.

Darüber hinaus kann biogener Kohlenstoff auch in Kombination mit Elektrolyse-Wasserstoff genutzt werden (z. B. in Form von biogenem Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)), das bei Prozessen wie der Erzeugung von Bioethanol oder der Aufreinigung von Biogas zu Biomethan anfällt (sog. Punktquellen), und somit ebenfalls den energetisch aufwändig aus der Atmosphäre zu entnehmenden Kohlenstoff (teilweise) ersetzen kann. Diese CO<sub>2</sub>-Punktquellen werden heute bislang nicht oder nur in einem geringen Umfang genutzt und das biogene CO<sub>2</sub> kann somit das Angebot an erneuerbarem Kohlenstoff erhöhen und letztlich Nutzungskonkurrenzen abbauen.

### 3.4.2 Abgleich von Potenzialen und Nachfragen

Nachfolgend wird ein Vergleich zwischen der nationalen Energienachfrage im Verkehrssektor im Jahr 2045 (Tabelle 3.2) und den abgeschätzten Potenzialen zu biogenen Kraftstoffproduktionspotenzialen (Tabelle 3.3) angestellt (siehe auch (Anstett *et al.*, 2024)).

**Tabelle 3.2:** Energienachfrage je Subsektor und Szenario im Jahr 2045 nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen und Energieträgern im Verkehrssektor

In PJ	REF 2050	KSPr	ELEC
Straßenverkehr	725	405	251
Luftverkehr	509	509	509
Seeverkehr	194	194	194
Schienenverkehr	2	2	2
Binnenschiffverkehr	7	7	7
<b>Summe</b>	<b>1.437</b>	<b>1.117</b>	<b>963</b>

Quelle: IUE/M-Five, ASTRA-M, eigene Berechnungen

Tabelle 3.3 zeigt die Kraftstoffproduktionspotenziale unter Berücksichtigung von biogenen Rest- und Abfallstoffen und zusätzlich auch Energiepflanzen. Da sich die Potenziale aus sehr unterschiedlichen Arten von Biomasse ergeben, die jeweils mit verschiedenen Prozesswegen und -effizienzen verbunden sind, wird neben der Variation in der Potenzialabschätzung auch eine Variation der Effizienz zur Erzeugung eines Kraftstoffs aus dem jeweiligen biogenen Ausgangsrohstoff mitbetrachtet; d. h., 20 % werden als untere bzw. 50 % als obere energetische Effizienz bis zur Bereitstellung des fertigen Kraftstoffs angenommen (siehe auch (Anstett et al., 2024)).

**Tabelle 3.3:** Kraftstoffproduktionspotenziale basierend auf den abgeschätzten Verfügbarkeiten biogener Rest- und Abfallstoffe sowie von Energiepflanzen

Kraftstoffproduktionspotenzial		
In PJ	Unteres Potential	Oberes Potential
DE	191	493
EU27	1.624	9.100
WW	9.088	159.190

DE - Deutschland

WW – Weltweit

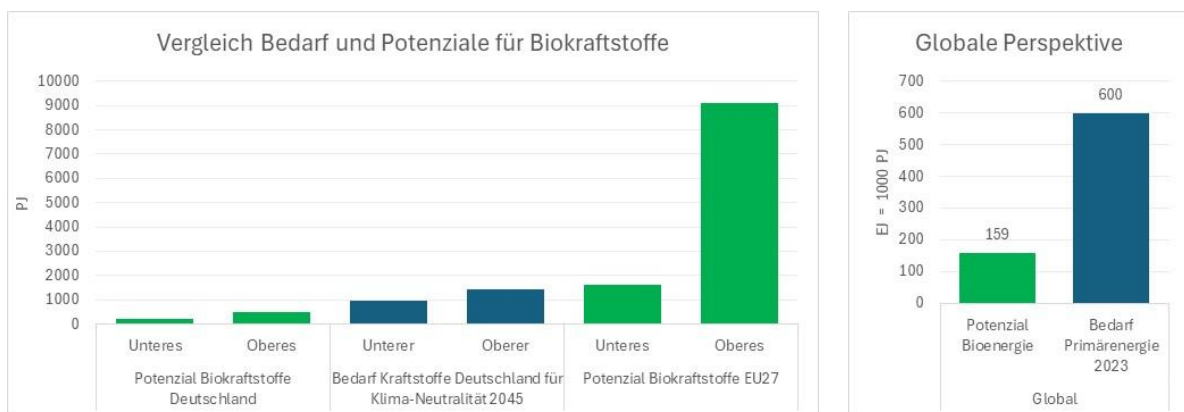
Quelle: IUE, eigene Berechnungen nach BioRest (Fehrenbach et al., 2019), DBFZ (Schröder & Naumann, 2022), FAO-Stat (FAO, o. J.), FNR (FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., o. J.)

Demnach kann nur unter Einbeziehung der deutschen Kraftstoffproduktionspotenziale (bis max. 500 PJ) die Nachfrage nach flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen mit insgesamt

zwischen 950 und 1400 PJ im Jahr 2045 nicht ausreichend gedeckt werden. Zur Deckung der deutschen Nachfrage müssten folglich mindestens die europäischen Potenziale nutzbar gemacht werden, im Falle der unteren Grenze sogar nahezu vollständig (siehe auch Abbildung 3.5). Dabei gilt es zusätzlich zu berücksichtigen, dass keine Nutzungskonkurrenzen zwischen den deutschen Sektoren und auch keine Konkurrenzen zu Sektoren anderer (europäischer) Länder berücksichtigt werden.

Zur weiteren Einordnung kann das abgeschätzte weltweite Kraftstoffproduktionspotenzial ins Verhältnis gesetzt werden zur aktuellen Primärenergienachfrage. Das weltweite biogene Kraftstoffproduktionspotenzial liegt nach den getroffenen Annahmen bei bis zu 160 EJ. Nach globalen Energiestatistiken liegt der weltweite Primärenergieeinsatz aktuell bei über 600 EJ (IEA - International Energy Agency, 2023; Energy Institute, 2024). Das abgeschätzte Biomasseangebot reicht auch in diesem Fall nicht aus, um als alleinige erneuerbare Versorgungsquelle zu dienen. Wird nur die aktuelle weltweite Endenergienachfrage betrachtet, liegt diese kumuliert bei ca. 420 EJ (inkl. Strom mit ca. 90 EJ, nach (IEA - International Energy Agency, 2021)) und übersteigt somit ebenfalls die ermittelten biogenen Potenziale.

Abbildung 3.5: Vergleich von Potenzialen und Bedarf an Bioenergie (DE, EU, global)



Quelle: IUE / M-Five, eigene Darstellung, siehe Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3

Aus dem Vergleich mit der weltweiten Primär- und Endenergienachfrage folgt, dass Biomasse zwar zum betrachteten kraftstoffbasierten Versorgungsszenario beitragen, aber nicht als alleinige Nutzungsoption dienen kann. Neben Deutschland und insbesondere neben dem Verkehrssektor als einzelner Sektor werden im Zuge von zunehmenden Klimaschutzbemühungen auch andere Länder und weitere Sektoren auf die biogenen Ressourcen zugreifen, so dass nicht davon auszugehen ist, dass Deutschland die benötigten Rohstoffe nur für den Verkehrssektor in der benötigten Höhe beziehen kann. Biomasse kann im Verkehrssektor jedoch vorteilhaft und ergänzend zu E-Fuels eingesetzt werden, bspw. über die beschriebene Mischform als Lieferant für erneuerbaren Kohlenstoff für die Synthese von langkettigen Kohlenwasserstoffen für die nicht bzw. nur schwer elektrifizierbaren Bereiche wie den Flug- oder Seeverkehr.

## 4 Auswirkungen von Versorgungsunterbrechungen auf die deutsche Wirtschaft

Der russische Angriffskrieg und die dadurch ausgelöste Energiepreiskrise hat gezeigt, welche massiven ökonomischen Folgen Versorgungsunterbrechungen wichtiger Rohstoffe (in diesem Fall insbesondere Gas) auf Wirtschaft und Gesellschaft ausüben können. Die politische und gesellschaftliche Reaktion (z.B. Installation Floating LNG-Terminals, Gas sparen der VerbraucherInnen) hat aber auch gezeigt, dass solchen Krisen effektiv begegnet werden kann und ihre Wirkungen zumindest abgeschwächt werden können. Kurzfristig gelang die Abschwächung der Wirkungen durch die Einführung der Strom- und Gaspreisbremsen (Bundesregierung, 2023). Aktuell tragen die mittel- und langfristigen Effekte aber noch zur wirtschaftlichen Stagnation in 2024 und 2025 in Deutschland bei.

### 4.1 Empirische und theoretische ökonomische Effekte von Versorgungskrisen

Ökonomisch kann die Wirkung einer Versorgungsunterbrechung in Anlehnung zu Wirkungsanalysen von extremen Boomphasen eines Gutes betrachtet werden. Nachfrage und Verknappung des Gutes führen zu kurzfristigen und starken Preisanstiegen, meistens aber nicht zum vollständigen Ausfall der Belieferung mit dem Gut, weil z.B. auf Lagerbestände zurückgegriffen werden kann oder alternative Quellen erschlossen werden.

In der deutschen Automobilindustrie sind in den letzten vier Jahren drei Fälle von Versorgungsunterbrechungen offensichtlich geworden, die ökonomisch aber unterschiedlich gewirkt haben. Negative wirtschaftliche Folgen hatten der Ausfall der Produktion von Kabelbäumen in der Ukraine in Folge des russischen Angriffskrieges (Automobilwoche, 2022a, 2022b) und die durch Starkregen verursachten Überschwemmungen in Slowenien, die die Produktion eines Zulieferteils für PKW-Getriebe lahmlegte (Automobilwoche, 2023b, 2023c). In beiden Fällen konnte kurzfristig keine Alternative beschafft werden, so dass dadurch die Produktion und Absatzzahlen einzelner deutscher OEM sanken (z.B. bei Volkswagen um 150,000 Fahrzeuge durch die Überschwemmung in Slowenien in 2023), was auch deren Umsatz und Ertrag negativ beeinträchtigte. Dagegen führte die mangelnde Versorgung mit Halbleitern in 2021 zwar zu Kurzarbeit und Rückgängen beim Absatz von PKW deutscher OEM (Automobilwoche, 2021b, 2021c), aber durch kurzfristige Steuerung des Absatzes mit Fokus auf margenstärkere PKW konnten deutsche OEM in 2021 sogar ihre Renditen und den Gewinn auf Rekordniveaus steigern (Automobilwoche, 2021a). Dagegen verstärkte sich für die stärker von der Erzielung von Skalenerträgen abhängenden Automobilzulieferer die betriebswirtschaftliche Krise durch den Halbleitermangel (Automobilwoche, 2021d). Die Wirkung dieser sogenannten Chipkrise wurde für Europa von 2021 bis 2023 auf 2,7 Millionen wegen fehlender Halbleiter nicht produzierte PKW geschätzt (Automobilwoche, 2023a).

Ähnlich wie die empirischen Beispiele für eingetretene Versorgungsrisiken aus der Automobilindustrie sowohl negative als auch positive Wirkungen aufzeigen, ist auch die wissenschaftliche Literatur zu den ökonomischen Wirkungen von Boomphasen eines Gutes zweigeteilt. Dies gilt auch für den Befund zu wirtschaftlichen Effekten von Rohstoff-Boomphasen. Sowohl



negative als auch positive ökonomische Impulse können ausgelöst werden. Verknappung bei Rohstoffen kann zusätzliche Investitionen anreizen und durch höhere (erwartete) Marktwerte der Rohstoffe auch die Kreditbedingungen der Investoren verbessern. Damit werden wachstumsstimulierende Impulse ausgelöst und die gesamtwirtschaftliche Entwicklung verbessert sich. Eine negative ökonomische Entwicklung würde eintreten, wenn für die zusätzlichen Investitionen im Rohstoffbereich Investitionsmittel aus anderen noch produktiveren Sektoren abgezogen würden (Fernández-González *et al.*, 2024). Der Effekt eines Rohstoff-Booms bzw. einer Rohstoff-Blase kann auch wesentlich stärker von den makro-ökonomischen Bedingungen abhängen, als von den im Rohstoffsektor oder durch Spekulation mit den Rohstoffen ausgelösten Effekten (Li *et al.*, 2024). Umgekehrt können Energiepreisschocks, als ein Beispiel für Boomphasen von (Energie-)Rohstoffen, das allgemeine Preisniveau deutlich anheben und so die Inflation und den Verlust an Realeinkommen antreiben (Bernoth & Fratzscher, 2022).

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sieht ebenfalls die Risiken der Unterbrechung der Rohstoffversorgung durch aktuelle und zukünftige geopolitische Krisen, warnt aber davor Handelsbeziehungen stark einzuschränken, da sich in den letzten beiden Krisen (Corona-Pandemie, russischer Angriff auf die Ukraine) auch gezeigt hat, dass ausgeprägte Handelsbeziehungen die ökonomischen (und damit auch gesellschaftlichen) Effekte gedämpft haben (Ullrich, 2023).

## 4.2 Simulation von Wirkungsfolgen zukünftiger Versorgungsrisiken auf die ökonomische Entwicklung Deutschlands

Als weiterer Ansatz zur Analyse der Wirkungen von Versorgungsrisiken für die Transformation der Mobilität zur Dekarbonisierung des Verkehrs soll eine eigene modellgestützte Analyse erfolgen. Anhand einer Simulation der Versorgungsrisiken sollen die Wirkungsfolgen auf die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands in Form einer Sensitivität abgeschätzt werden. Dazu wird das ökonomische Modul des integrierten Systemmodells ASTRA-M genutzt. Es bildet die Zusammenhänge zwischen Außenhandel, Konsum, Investitionen und der sektoralen Verflechtung in einem Gesamtmodell ab (siehe Abbildung 4.1, bzw. (Schade *et al.*, 2020a)). Das ASTRA-Modell wurde bereits genutzt, um Krisenfolgen zu bewerten. Zu Beginn der Corona-Pandemie konnte damit bereits im April 2020 eine Einschätzung vorgelegt werden, welche gravierenden wirtschaftlichen Folgen der Pandemie ohne Gegenmaßnahmen für Deutschland zu erwarten wären (Schade *et al.*, 2020b).

Für die ökonomische Folgenabschätzung von krisenbedingten Impulsen spielt die sektorale Struktur einer Volkswirtschaft und die Verflechtung zwischen den Sektoren eine zentrale Rolle. Das ASTRA-Modell berücksichtigt hierfür 57 Wirtschaftssektoren (siehe Anhang Kapitel 9, Tabelle 9.6).<sup>2</sup> Von diesen sind zwei Sektoren direkt betroffen als Importeure von Rohstoffen und verarbeiteten Metallen der ersten Prozessstufe. Diese beiden sind:

---

<sup>2</sup> Das ASTRA-Modell wurde ursprünglich anhand der Klassifikation der Wirtschaftszweige WZ2003 entwickelt. Mit der Weiterentwicklung der Klassifikation der Wirtschaftszweige auf WZ2008 stammen die Daten für die Modellierung seit 2018 aus der WZ2008-Struktur und werden für die Modellierung auf die 57 Sektoren von ASTRA umgeschlüsselt.

- Metalle und Mineralien: Erzbergbau, sonstiger Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Dienstleistungen hierfür (in WZ2008: Kode 07.xx bis 09.xx).
- Metallherstellung: Metallerzeugung und Bearbeitung (in WZ2008: Kode 24.xx bestehend aus Roheisen-/Stahlerzeugung, NE-Metallen und Gießerei).

Die deutschen Input-Output Tabellen von 2021 (DeStatis, 2025) zeigen, dass die Sektoren eine große Bedeutung für die Bereitstellung von Vorleistungen anderer Sektoren haben. Ihre ausgelieferten Vorleistungen betragen 122,1 Mrd. € (nominal). Für den Export werden durch die Sektoren Güter im Wert von 52,3 Mrd. € hergestellt. Der Großteil der Importe der Sektoren geht in die Produktion der Vorleistungen (und damit nicht in die letzte Verwendung oder den Export) mit 65 bis 98% (siehe Tabelle 4.1). Dies unterstreicht auch die große Bedeutung von Preisschocks die durch Boomphasen und/oder Versorgungsengpässe bei diesen Rohstoffen für andere Sektoren durch die sektoralen Produktionsverflechtungen entstehen können.

Tabelle 4.1: Wirtschaftliche Bedeutung der Importe von rohstoff-importierenden Sektoren (2021)

WZ2008	Güter- bzw. Warengruppe	Ausgelieferte Vorleistungen	Produktion für Export	Gesamte Verwendung	Anteil Import für Vorleistungen an gesamten Importen
		Mrd. €	Mrd. €	Mrd. €	%
07-09	Metalle und Mineralien	14.2	1.2	15.7	86%
24.1 bis .3	Roheisen, Stahl, Erz.d.erst. Bearb.v.Eisen u.Stahl	73.0	26.1	96.1	93%
24.4	Nicht-Eisen-Metalle (NE) und Halbzeug daraus	30.3	26.0	54.0	65%
24.5	Gießereierzeugnisse	18.8	0.2	17.0	98%
	<b>Metallherstellung (WZ2003 in ASTRA: 27.xx)</b>	<b>122.1</b>	<b>52.3</b>	<b>167.2</b>	<b>76%</b>

Quelle: M-Five, eigene Berechnung, Basis (DeStatis, 2025)

Neben der Belieferung des jeweils eigenen Sektors mit Vorleistungen spielen die Bereitstellung von Vorleistungen durch rohstoff-importierende Sektoren für andere Sektoren eine wichtige Rolle für die Weitergabe von (Preis-)Impulsen aufgrund von Versorgungsrisiken. Tabelle 4.2 zeigt jeweils die Anteile der Zulieferungen durch rohstoff-importierende Sektoren für die jeweiligen Top-3 der empfangenden Sektoren. Anteilig der größte Empfänger ist jeweils der Sektor selbst, wobei für die Sektoren *Metalle und Mineralien* sowie für *Gießereierzeugnisse* die Eigenbelieferung nur bei etwa einem Viertel der Vorleistungsempfänge liegt (21,1 % bzw. 28,0 %). Die beiden anderen Sektoren aus der Metallherstellung (NE-Metalle und Halbzeuge, Gießereien) erhalten etwa zwei Drittel ihrer Vorleistungs-Inputs vom eigenen Sektor (72,6 % bzw. 69,7 %).



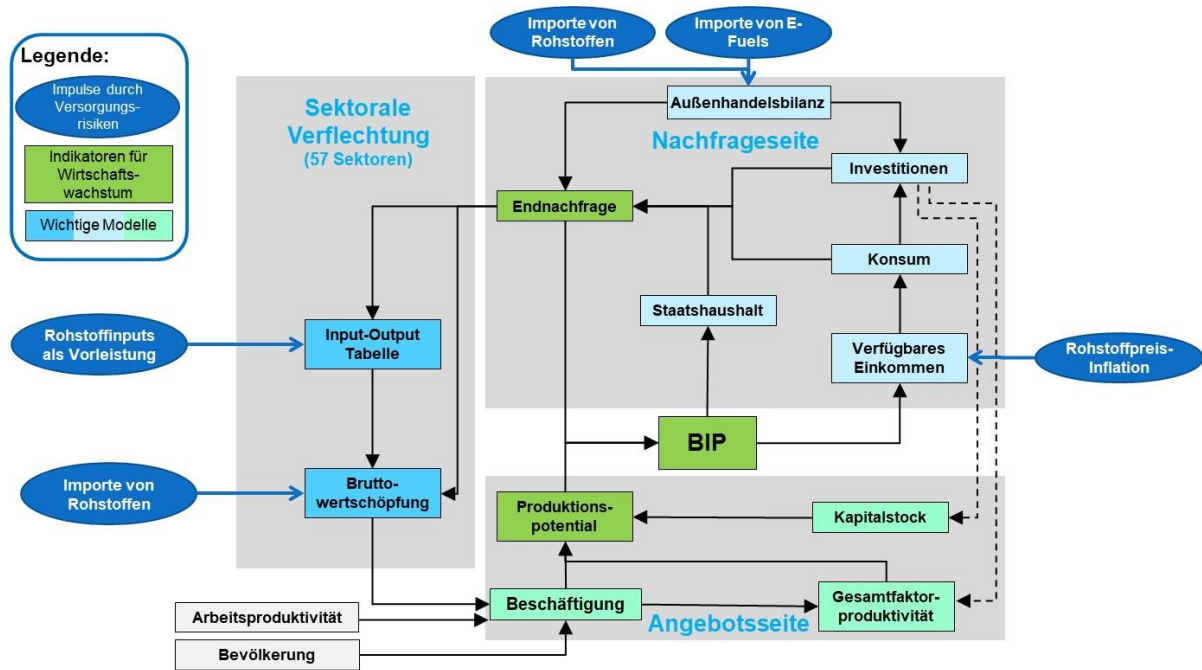
Tabelle 4.2: Abhängige Sektoren mit hohen Zulieferungsanteilen der rohstoff-importierenden Sektoren (2021)

WZ2008	Güter- bzw. Warengruppe	Top 3 belieferte Sektoren	Anteil Wert-Input
07-09	Metalle und Mineralien	<i>An sich selbst</i>	21,1 %
		Keramik, bearb. Steine und Erden (WZ23.2-9)	12,4 %
		Chemische Erzeugnisse (WZ20)	5,1 %
24.1 bis .3	Roheisen, Stahl, Erz.d.erst. Bearb.v.Eisen u.Stahl	<i>An sich selbst</i>	72,6 %
		Metallerzeugnisse (WZ25)	13,5 %
		Gießereierzeugnisse (WZ24.5)	7,1 %
24.4	Nicht-Eisen-Metalle (NE) und Halbzeug daraus	<i>An sich selbst</i>	69,7 %
		Gießereierzeugnisse (WZ24.5)	11,1 %
		Metallerzeugnisse (WZ25)	4,2 %
24.5	Gießereierzeugnisse	<i>An sich selbst</i>	28,0 %
		Maschinen (WZ28)	4,1 %
		Kraftwagen und Kraftwagenteile (WZ29)	3,2 %

Quelle: M-Five, eigene Berechnung, Basis (DeStatis, 2025)

Versorgungsrisiken triggern das ökonomische Modell in ASTRA als Impulse (blaue Ovale in Abbildung 4.1). Für die Modellierung der Sensitivitäten wurden vier Impulse als Folge des Eintretens eines Versorgungsrisikos berücksichtigt:

- der Ausfall bzw. die Reduktion der Versorgung metallischer Rohstoffe mit der Folge von stark steigenden Preisen von Importen in den beiden rohstoff-importierenden Sektoren (z.B. Metalle und Mineralien, Metallherstellung) im Außenhandelsmodell. Dadurch verschlechtert sich die sektorale Handelsbilanz.
- Anstieg der Ausgaben für Vorleistungen von anderen Sektoren, die auf Zulieferungen der beiden rohstoff-importierenden Sektoren angewiesen sind. Dadurch verändert sich die Tabelle der intermediären Verwendung. Vorleistungsinputs von empfangenden Sektoren vergrößern sich und die Wertschöpfung der Sektoren sinkt, während durch diesen Impuls rechnerisch zunächst die Wertschöpfung in den rohstoff-importierenden Sektoren steigt.
- Anstieg der direkten Importe in die rohstoff-importierenden Sektoren, welcher zu einer Verringerung der Wertschöpfung in diesen Sektoren führt. Dieser Impuls wirkt dem vorhergehenden Impuls entgegen.
- Anwachsen der Inflation aufgrund der Mehrausgaben für die teureren Importe von Rohstoffen. Auch wenn die rohstoff-importierenden Sektoren nur sehr geringe Beiträge zur letzten Verwendung liefern, wirkt sich ihr Preisanstieg über die Produktionsverflechtung auf die Inflation für die Endverbraucher aus und verringert das reale verfügbare Einkommen.
- Engpässe bei der Versorgung mit E-Fuels und dadurch steigende Preise von Importen im deutschen Energiesektor. In Folge verschlechtert sich die sektorale Handelsbilanz. Dieser Impuls konnte in den Sensitivitäten noch nicht umgesetzt werden.

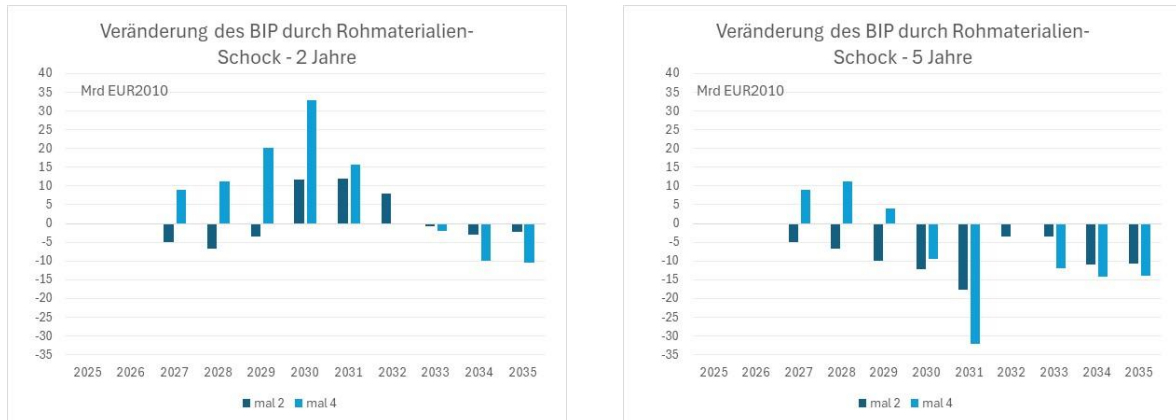


Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Abbildung 4.1: Impulse durch Versorgungsrisiken und ihre Anknüpfung in ASTRA-DE

Als Impuls des Schock wurde die Höhe des Preisanstiegs (doppelt, vierfach) und die Dauer des Schocks (zwei oder fünf Jahre) für die Sensitivitätsrechnung variiert. Abbildung 4.2 stellt die Wirkungen auf das BIP in Deutschland gegenüber der EKM-Referenz dar. Vergleichbar zu den theoretischen und empirischen Erkenntnissen sind sowohl negative als auch positive Wirkungen beobachtbar. Ein kurzer niedriger Impuls in 2027 und 2028 führt noch nicht zu zusätzlichen Investitionen, um den Kosten-Impuls abzufedern. Daher wirkt nur der negative Teil des Impulses und führt zu BIP-Verlusten. Dagegen löst ein stärkerer Impuls (vierfacher Preisanstieg) zusätzliche Investitionen aus. Diese führen zu einem Anstieg des BIPs gegenüber der Referenz. Der stimulierende Effekt läuft mit der Zeit aus (siehe linke Seite in Abbildung 4.2).

Tritt der Schock längerfristiger auf, dann werden die stimulierenden Effekte des Preisanstiegs auch beim stärkeren Investitions-auslösenden Impuls bereits im vierten Jahr kompensiert und beide Simulationen führen aufgrund der Verluste an Wertschöpfung und in der Handelsbilanz zu einem Verlust an BIP (siehe rechte Seite in Abbildung 4.2).



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Abbildung 4.2: Versorgungsschock über 2 und über 5 Jahre – doppelter und vierfacher Preis der Rohmaterialien Importe

## 5 Geopolitische Risiken der Rohstoffversorgung

### 5.1 Geopolitisches Versorgungsrisiko: Definition, Dynamik und Indikatoren

Es gibt verschiedene Arten von Risiken, die zu Versorgungsunterbrechungen führen können. Diese Risiken lassen sich in zwei große Kategorien einteilen: i) Versorgungsunterbrechungen aufgrund von extremen Wetterereignissen, lokalen Terroranschlägen, Unfällen und anderen **unvorhergesehenen** Ereignissen; ii) Versorgungsunterbrechungen aufgrund von **politischen** Maßnahmen und Strategien, politischen Ereignissen und Konflikten in den Ländern, die die Ressourcen produzieren oder kontrollieren.

Obwohl beide Arten von Risiken die Lieferketten beeinflussen und Schwachstellen schaffen, sind sie unterschiedlicher Natur, haben unterschiedliche Ursachen und erfordern unterschiedliche Strategien zur Minderung der Versorgungsrisiken. Unter geopolitischen Versorgungsrisiken werden Risiken verstanden, die sich aus einer strategisch motivierten Kontrolle der Versorgung oder dem Zusammenbruch von Systemen aufgrund von Konflikten und politischen Ereignissen ergeben. Die letztgenannte Art von Risiko ist daher Gegenstand der vorliegenden Studie. Dazu gehören Risiken, die sich aus Exportbeschränkungen, Sanktionen, Unruhen und Konflikten, Änderungen der Regierung oder ihrer Politik, Enteignungen usw. ergeben.

Geopolitische Versorgungsrisiken sind in der Regel kurz- oder mittelfristiger Natur und wirken sich nur über wenige Jahre aus. Versorgungsunterbrechungen, die häufig zu höheren Preisen führen, schaffen Anreize für Investitionen in Exploration, technologischen Fortschritt, Recycling und die Suche nach Ersatzstoffen. Diese Dynamik führt längerfristig zu einem höheren Angebot und/oder einer geringeren Nachfrage, was wiederum zu sinkenden Preisen führt.

Aber selbst diese kurzfristigen Versorgungsunterbrechungen können, wie in Abschnitt 4 dargestellt, zu erheblichen Kosten für die Wirtschaft führen und die Entwicklung von Schlüsseltechnologien verlangsamen, einschließlich der Technologien, die für BEVs und die Herstellung von E-Fuels erforderlich sind.

In der Literatur werden verschiedene Indikatoren verwendet, um geopolitische Versorgungsrisiken bei Ressourcen (sowohl im Energie- als auch im Nicht-Energiebereich) zu messen (Blyth & Lefevre, 2004; Gupta, 2008; Flach *et al.*, 2022; DERA, 2014, 2021, 2023; European Commission, 2020). Diese werden im Folgenden aufgelistet:

- **Ausmaß der Importabhängigkeit:** Je höher die Importe im Verhältnis zur Inlandsnachfrage sind, desto größer sind die Möglichkeit und die Kosten einer Versorgungsunterbrechung.
- **Konzentration der Versorgungsquelle:** Je höher die geografische Konzentration der Versorgungsquellen ist, desto größer ist das Risiko einer Unterbrechung aufgrund des Ausfalls einer bestimmten Versorgungsquelle.
- **Politisches Risiko in den Versorgungsländern:** Angebotskonzentration in politisch instabilen Ländern erhöht das Risiko von Versorgungsunterbrechungen.
- **Internationaler Marktüberschuss:** Diese bezieht sich auf den Umfang der Inlandsnachfrage im Verhältnis zum weltweiten Angebot. Dieser Indikator wird häufig verwendet, um die Fähigkeit eines Landes zu messen, zwischen verschiedenen Anbietern zu wechseln (Blyth & Lefevre, 2004; Gupta, 2008). Je größer diese Fähigkeit ist, desto geringer sind die Risiken.

Der Indikator des internationalen Marktüberschusses ist zwar informativ, aber für die Rohstoffe möglicherweise nicht unbedingt relevant. Die meisten Rohstoffe werden auf der Grundlage langfristiger Verträge gehandelt. Es gibt zwar Spotmärkte für diese Rohstoffe, aber die dort gehandelten Mengen sind begrenzt. Daher ist es bei Versorgungsunterbrechungen nicht immer möglich, sofort neue Lieferungen zu organisieren, selbst wenn höhere Preise angeboten werden.

Vor diesem Hintergrund konzentrieren wir uns bei der Messung und Quantifizierung geopolitischer Versorgungsrisiken auf die folgenden Indikatoren: Importabhängigkeit, Konzentration der Versorgungsquellen und politisches Risiko in den Versorgungsländern.

## 5.2 Index des geopolitischen Versorgungsrisikos: Methodologie, Ansatz, und Daten

Deutschland verfügt für keinen der 40 untersuchten Rohstoffe über nachgewiesene Reserven (USGS, 2023). Das bedeutet, dass Deutschland zu 100 % von Importen abhängig ist, entweder bei den Erzen oder bei den verarbeiteten Rohstoffen. Deutschland ist somit aufgrund des Ausmaßes seiner Importabhängigkeit geopolitischen Versorgungsrisiken ausgesetzt<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Siehe Abschnitt 5.2.2.3 für die Diskussion über Wasserstoff.

Allerdings ist die Importabhängigkeit nicht die einzige Determinante geopolitischer Versorgungsrisiken. Wie in Kapitel 5.1 dargestellt, hängt viel vom Grad der Konzentration der Versorgungsquellen und den politischen Risiken in den Versorgungsländern ab. Um diese Dynamik zu quantifizieren und einen geopolitischen Versorgungsrisikoindex (GVRI) für die 40 betrachteten Rohstoffe zu entwickeln, werden wir eine modifizierte Version des „Herfindahl-Hirschman-Index“ (HHI) verwenden. Die Methodik wird im Folgenden erläutert.

### 5.2.1 Methodologie und Ansatz

In einem ersten Schritt messen wir die Konzentration der Versorgungsquellen mit dem klassischen HHI, der die Summe der Quadrate der Marktanteile ( $s$ ) der verschiedenen Versorgungsländer ist. Je höher der HHI, desto höher die Konzentration der Versorgungsquellen.

$$HHI = \sum_{i=1}^N s_i^2 \quad (1)$$

Im nächsten Schritt verwenden wir eine modifizierte Version des HHI, bei der wir die Marktanteile um den politischen Risikoindex ( $r$ ) der Versorgungsländern bereinigen. Mit diesem modifizierten Index erhalten wir den Index des geopolitischen Versorgungsrisikos für Rohstoffe. Je höher der Index, desto größer ist das geopolitische Versorgungsrisiko.

$$GVRI = \text{Modifizierter HHI} = \sum_{i=1}^N (r * s_i^2) \quad (2)$$

In Abschnitt 5.2.1.1 wird der in Gleichung (2) verwendete Index des politischen Risikos erläutert. Abschnitt 5.2.1.2 erläutert die in dieser Studie verwendete Definition der Versorgungsländer.

#### 5.2.1.1 Politischer Risikoindex

Zur Messung des politischen Risikos verwenden wir einen politischen Risikoindex, der ein Durchschnitt verschiedener politischer und sozio-ökologischer Risikoindikatoren ist. Dazu gehören die Worldwide Governance Indicators (WGI) der Weltbankgruppe (World Bank Group, 2024).

- **Voice and Accountability:** Der Indikator gibt an, inwieweit die Bürger eines Landes in der Lage sind, an der Wahl ihrer Regierung mitzuwirken, sowie die Meinungs- und Vereinigungsfreiheit und freie Medien.
- **Political stability and absence of violence:** Er misst die Wahrscheinlichkeit von politischer Instabilität und/oder politisch motivierter Gewalt, einschließlich Terrorismus.
- **Government effectiveness:** Er erfasst die Qualität der öffentlichen Dienstleistungen, die Qualität des öffentlichen Dienstes und den Grad seiner Unabhängigkeit von

politischem Druck, die Qualität der Politikformulierung und -umsetzung sowie die Glaubwürdigkeit des Engagements der Regierung für diese Politik.

- **Regulatory Quality:** Er erfasst die Fähigkeit der Regierung, eine solide Politik und Vorschriften zu formulieren und umzusetzen, die die Entwicklung des Privatsektors ermöglichen und fördern.
- **Rule of Law:** Er erfasst das Ausmaß, in dem die Akteure Vertrauen in die Regeln der Gesellschaft haben und diese einhalten, insbesondere die Qualität der Vertragsdurchsetzung, der Eigentumsrechte, der Polizei und der Gerichte sowie die Wahrscheinlichkeit von Verbrechen und Gewalt.
- **Control of Corruption:** Er misst das Ausmaß, in dem öffentliche Macht zum privaten Vorteil ausgeübt wird, einschließlich kleiner und großer Formen der Korruption sowie der „Vereinnahmung“ des Staates durch Eliten und private Interessen.

Dies sind die in der Literatur am häufigsten verwendeten Risikoindikatoren (DERA, 2021, 2023; European Commission., 2023). Darüber hinaus beziehen wir auch die folgenden Indikatoren in den politischen Risikoindex ein.

- **Environmental Performance Index (EPI):** Anhand von 58 Indikatoren wird die Leistung der Länder in den Bereichen Klimawandel, Umweltgesundheit und Vitalität der Ökosysteme gemessen (Block *et al.*, 2024).
- **Global Rights Index (GRI):** Er misst die Grundrechte und -freiheiten von Arbeitnehmern und Gewerkschaften anhand von 87 Indikatoren (ITUC, 2024).

Diese beiden Indikatoren wurden vom (Flach *et al.*, 2022) verwendet, das den WGI vernachlässigt und stattdessen das Risiko eines Landes als Durchschnitt des Global Rights Index, des Environmental Performance Index und des Democratic Index misst.

In dieser Studie verwenden wir ein umfassendes Maß für politisches Risiko, das nicht nur die Risiken schlechter Regierungsführung (gemessen durch die sechs WGI), sondern auch schlechte sozio-ökologische Bedingungen (gemessen durch den EPI und den GRI) umfasst. Soweit uns bekannt ist, ist dies die einzige Studie, die die oben genannten acht Indikatoren in einem Rahmen/Index verwendet. Sie bietet somit ein umfassendes Maß für das politische Risiko<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Bitte beachten Sie, dass wir den Demokratieindex nicht als Indikator für das politische Risiko verwendet haben, wie es (Flach *et al.*, 2022). Der Grund dafür ist, dass das Risiko von Versorgungsunterbrechungen in der Regel aus der schlechten Qualität der Institutionen eines Landes resultiert (d.h. Korruption, ineffiziente Bürokratie, schwacher Schutz von Eigentumsrechten, schwache Rechtsstaatlichkeit usw.). Und die Art des politischen Regimes (d.h. Demokratie, Autokratie oder Anokratie) ist kein guter Indikator dafür. In der Theorie erwarten wir, dass demokratische Länder starke Institutionen haben. In der Realität gibt es jedoch viele Demokratien mit schlechter Politik und schwachen Institutionen und viele Autokratien mit guten Institutionen. Daher haben wir uns entschieden, die Qualität der Institutionen eines Landes direkt anhand der sechs WGI zu messen.



Da die acht Indikatoren auf unterschiedlichen Skalen gemessen werden, normalisieren wir sie zunächst auf einen Bereich von 0 bis 1 und bilden dann den ungewichteten Durchschnitt. Der so ermittelte politische Risikoindex wird dann so angepasst, dass er sich in Richtung des Gesamtindex bewegt, wobei höhere Werte höhere Risiken anzeigen<sup>5</sup>. Der Index reicht von 1,2 (Dänemark) bis 11 (Syrien).

### 5.2.1.2 Versorgungsländer: Definitionen und Ansatz

Der in Gleichung (1) und (2) angegebene HHI-Index basiert auf dem Marktanteil der Versorgungsländer. In der Literatur gibt es zwei Ansätze, um die Versorgungsländer zu identifizieren:

- **Importbasierter Ansatz:** Hier werden die Länder betrachtet, die nach Deutschland exportieren. Der HHI wird anhand ihres Anteils an den deutschen Gesamtimporten berechnet.
- **Produktionsbasierter Ansatz:** Hier werden die Produzierende Länder betrachtet. Und der HHI wird anhand ihres Anteils an der gesamten Weltproduktion berechnet.

In der Literatur haben einige Studien die geopolitischen Versorgungsrisiken mit dem importbasierten Ansatz analysiert (Flach *et al.*, 2022), während andere einen produktionsbasierten Ansatz verwenden (DERA, 2021).

Der Grund für die Verwendung des importbasierten Ansatzes liegt darin, dass davon ausgegangen wird, dass die direkten Versorgungsrisiken von der Instabilität der wichtigsten Handelspartner und nicht von den globalen Produzenten ausgehen (Gemechu *et al.*, 2016). Diese Risiken sind jedoch anders geartet und in der Regel von kurzer Dauer. Das heißt, sie bestehen nur so lange, bis das importierende Land seine Bezugsquellen diversifiziert und neue Verträge ausgehandelt hat.

Die Instabilität wichtiger globaler Produzenten hingegen führt zu länger anhaltenden Versorgungsunterbrechungen. Diese Unterbrechungen können nicht einfach durch eine Diversifizierung der Lieferquellen und die Unterzeichnung neuer Verträge umgangen werden. Sie erfordern Lösungen, die zeit- und ressourcenintensiv sind, z. B. die Eröffnung von Minen und die Aufnahme der Produktion in Ländern mit nachgewiesenen Reserven, Investitionen in die Prospektion und Exploration usw. Diese Instabilität kann daher größere negative Auswirkungen auf die importabhängigen Länder haben.

Aus politischer Sicht ist es wichtig, nicht nur die Risiken, sondern auch die Art und Quelle der Risiken zu verstehen, um optimale Lösungen zu finden. Wir verwenden daher beide Ansätze. Das heißt, wir analysieren die Konzentration und die politische Stabilität der nach Deutschland exportierenden Länder sowie der globalen Produzenten. Darüber hinaus analysieren wir die Risiken in Bezug auf den Grad der Konzentration und das politische Risiko in Ländern mit

---

<sup>5</sup>Wir haben auch einen gewichteten Durchschnitt berechnet, wobei die verwendeten Gewichte aus einer statistischen Analyse (d.h. einer Hauptkomponentenanalyse) abgeleitet wurden. Der Index, der sich aus dem gewichteten Durchschnitt ergab, war jedoch dem ungewichteten Durchschnitt sehr ähnlich. Wir verwenden daher weiterhin den aus dem ungewichteten Durchschnitt resultierenden Index.

nachgewiesenen **Rohstoffreserven**. Der Grund dafür ist, dass Länder mit Reserven wahrscheinlich die zukünftigen Produzenten von Rohstoffen sein werden (wenn sie es nicht schon sind). Dies könnte Hinweise darauf geben, ob und wie sich das Ausmaß der Risiken langfristig verändern könnte.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass das Konzept der „Reserven“ nicht statisch, sondern dynamisch ist. Reserven beziehen sich auf den Teil der Ressourcen, der unter Berücksichtigung der vorherrschenden Preise und der verfügbaren Technologie wirtschaftlich gefördert und genutzt werden kann. Sie verändern und entwickeln sich daher als Reaktion auf veränderte Marktbedingungen, technologischen Fortschritt und wirtschaftliche Faktoren. Es wäre ideal gewesen, die „Ressourcen“ zu verwenden, d.h. die Gesamtmenge einer Ressource, die in einem Land verfügbar ist und im Laufe der Zeit abgebaut werden kann, da dies ein besseres Verständnis der zukünftigen potenziellen Förderländer, ihrer Dynamik und der damit verbundenen Risiken ermöglicht. Daten zu Ressourcen sind jedoch nicht verfügbar. Daher werden Reserven verwendet.

Die Dynamik der Länder mit Reserven wird uns zusammen mit den Produktions- und Lieferländern ein umfassenderes Verständnis der Risiken und ihrer Art vermitteln.

Vor dem Hintergrund der obigen Diskussion entwickeln wir drei Varianten von Risikoindizes, die auf den folgenden Basis Punkten basieren:

- Länder, aus denen Deutschland die Rohstoffe importiert („Importbasierter Ansatz“)
- Länder, in denen die Rohstoffe produziert werden („Produktionsbasierter Ansatz“)
- Länder mit Reserven des Rohstoffs („Reservenbasierter Ansatz“).

Wie in Abschnitt 2.4 erläutert, entwickeln wir auch einen geopolitischen Versorgungsrisikoindex für Wasserstoff. Da Wasserstoff die Technologie der Zukunft ist, verwenden wir zur Berechnung des Index das Versorgungspotenzial der Länder. Das Versorgungspotenzial ist das Exportpotenzial der Länder nach Deckung ihres prognostizierten Binnenbedarfs.

## 5.2.2 Daten und Auswertung

GVRI wird mit Daten für das Jahr 2022 entwickelt. Im Folgenden werden die Datenquellen und Auswertungskriterien für die drei Ansätze aufgeführt.

### 5.2.2.1 Importbasierter Ansatz

Für den importbasierten Ansatz werden die Daten für das Jahr 2022 von Destatis bezogen<sup>6</sup>. Destatis stellt Daten für Waren zur Verfügung, die nach den Codes des Harmonisierten

---

<sup>6</sup> Für einige Rohstoffe wie Kadmium, Tantal und Zirkonium lagen keine Einfuhrdaten für das Jahr 2022 vor. In diesem Fall haben wir den Index auf der Grundlage der Daten für 2021 entwickelt.



Systems (HS), einem globalen Warenklassifikationssystem, klassifiziert sind. Wir verwenden das 6-stellige Warenverzeichnis (Codes).

Um alle relevanten 6-stelligen Codes zu ermitteln, unter denen ein Rohstoff klassifiziert und gehandelt wird, verwenden wir die Rohstoffliste der (DERA, 2021). Diese Liste wurde von der DERA auf Basis einer Branchenbefragung in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) erstellt.

Wir berechnen den GVRI für alle relevanten 6-stelligen Codes, die sich auf den Rohstoff beziehen. Der maximale GVRI wird dann als zusammenfassender Index für die Analyse und die Schlussfolgerungen verwendet.

Bei einigen Rohstoffen ist der maximale GVRI jedoch mit dem HS-Code verbunden, der nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamteinfuhren des Rohstoffs über alle HS-Codes ausmacht. In vielen Fällen liegt dieser Anteil sogar unter ein Prozent.

Auch wenn das Importvolumen eines Rohstoffs kein guter Indikator für ihre wirtschaftliche Bedeutung ist<sup>7</sup>, können Lieferbeschränkungen für einen HS-Code, dessen Anteil an den Gesamtimporten des Rohstoffs gering ist, weniger störend sein. Aus diesem Grund verwenden wir den höchsten GVRI für einen HS-Code nur dann als zusammenfassenden Index für den Rohstoff, wenn der Anteil des HS-Codes an den Gesamteinfuhren des Rohstoffs mehr als 5 % beträgt.

Tabelle 9.3 im Anhang enthält die Liste der relevanten HS-Codes für jeden Rohstoff, ihre Beschreibung, ihren prozentualen Anteil an den Gesamtimporten des Rohstoffs, den entsprechenden GVRI, den für die Analyse verwendeten zusammengefassten GVRI (Abschnitt 5.3) sowie die fünf wichtigsten Exportländer nach Deutschland mit ihren Anteilen und dem Index des politischen Risikos.

### 5.2.2.2 Produktionsbasierter und Reservenbasierter Ansatz

Die Produktions- und Reservedaten für das Jahr 2022 stammen von (USGS, 2023). Datenlücken werden mit Informationen aus dem Rohstoffinformationssystem der Europäischen Kommission „Raw Material Information System (RMIS)“ (Europäische Kommission, o. J.) und anderen Quellen gefüllt.

#### **Produktionsdaten und Auswertung**

Für die meisten Rohstoffe liegen Produktionsdaten nur für Erze vor, für einige nur für Raffinerieprodukte. Letzteres gilt insbesondere für Rohstoffe, die als Nebenprodukte anfallen (z.B. Cadmium, Gallium, Germanium, Indium). Das heißt, sie fallen bei der Produktion oder Verarbeitung anderer Rohstoffe an.

---

<sup>7</sup> Beispielsweise werden einige Rohstoffe wie Aluminium, Kupfer und Nickel aufgrund ihrer weit verbreiteten Anwendungen in großen Mengen importiert und verwendet, während andere wie Kobalt und Wolfram in weniger spezifischen Anwendungen eingesetzt werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die letztgenannten Rohstoffe weniger wichtig sind als die erstgenannten. Die Bedeutung eines Rohstoffs wird durch seine Rolle in strategischen Sektoren und sein Substitutionspotenzial bestimmt und nicht durch die Menge, in der er verwendet oder importiert wird.

Für einige Rohstoffe wie Eisen, Kupfer, Silicium, Titan und Magnesium liegen Produktionsdaten sowohl für Erze als auch für raffinierte Produkte vor. In diesen Fällen berechnen wir den GVRI sowohl für die Erze als auch für die raffinierten Produkte und verwenden wir dann den maximalen GVRI als zusammengefassten Index für den Rohstoff.

Tabelle 9.4 im Anhang enthält Einzelheiten zu den Rohstoffen, dem entsprechenden GVRI und dem GVRI, der für die Analyse in Abschnitt 5.3 verwendet wurde. Außerdem sind die fünf wichtigsten Produktionsländer, ihr Anteil an der Weltproduktion und ihr politischer Risikoindex aufgeführt.

### **Reservedaten und Auswertung**

Die Angaben zu den Reserven beziehen sich nur auf Erze. Für einen Rohstoff, Titan, gibt es jedoch zwei titanhaltige Mineralien - Ilmenit und Rutil. Wir berechnen den GVRI für beide Mineralien und verwenden dann den maximalen GVRI (für Rutil) als zusammenfassenden Index für Titan.

Tabelle 9.5 im Anhang enthält Einzelheiten über den für die Analyse verwendeten GVRI (siehe Abschnitt 9.2), die fünf Länder mit dem größten Anteil an den Gesamtreserven und den entsprechenden politischen Risikoindex.

Nachdem wir den GVRI mit den drei Ansätzen berechnet haben, teilen wir die Rohstoffe auf der Grundlage ihrer GVRI-Werte in drei Klassen ein. Wir bezeichnen diese Klassen als „Hohes Risiko“, „Mittleres Risiko“ und „Geringes Risiko“.

### **5.2.2.3 Wasserstoff**

Für die Angaben zum zukünftigen Exportpotenzial von Wasserstoff nach Ländern wird auf die HyPat-Studie (Wietschel *et al.*, 2024) zurückgegriffen. In dieser Studie wurde ein globaler Atlas für grünen Wasserstoff und seine Derivate entwickelt, der auf einer umfassenden Analyse der technischen, wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Aspekte basiert. Dieser Atlas zeigt die Mengen an Wasserstoff und seinen Derivaten, die im Jahr 2050 zu unterschiedlichen Kosten exportiert werden können. Die Kosten werden nach dem Merit-Order-Prinzip geschätzt und umfassen die Kosten für die Produktion (d.h. nivellierte Strom-, Betriebs- und Kapitalkosten), die Speicherung, die Synthese und den Transport der Wasserstoffträger einschließlich der Kosten für die Rückwandlung zu molekularem Wasserstoff an den Importpunkten in Deutschland. Nur Länder mit einem EE-Potenzial von bis zu 100 EUR/MWh werden in die Analyse einbezogen.

Bei der Abschätzung des zukünftigen Exportpotenzials der Länder berücksichtigt (Wietschel *et al.*, 2024) bereits die nationalen Bedürfnisse dieser Länder, zu denen die nachhaltige Deckung des eigenen Energiebedarfs, die Erreichung der eigenen Klimaziele und die Einhaltung spezifischer Nachhaltigkeitskriterien für die Wasserstoffwirtschaft in den Importländern gehören. Dies steht im Einklang mit der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung (Bundesregierung, 2024), die fordert, dass Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten nach Deutschland nicht zu Lasten der Energiewende in den Exportländern gehen dürfen und dass die Produktion von grünem Wasserstoff als Katalysator für den Aufbau von

Erneuerbare-Energien-Kapazitäten in diesen Ländern und für die Schaffung lokaler Wertschöpfung wirken soll.

Wir berechnen den GVRI für Ammoniak als Wasserstoffträger, der über Wasserstoffpipelines oder per Schiff transportiert wird. Der Grund für die Analyse von Ammoniak ist, dass es kurz- und mittelfristig der realistischste Technologiepfad und das kosteneffizienteste PTX-Produkt ist, sowohl mit als auch ohne Konversion. Die Verfahren für die großtechnische Herstellung, Lagerung und den Transport von Ammoniak sind bereits auf dem Stand der Technik<sup>8</sup>.

Wir berechnen den GVRI auf der Grundlage des Exportpotenzials der Länder bei verschiedenen Kostenniveaus: i) maximal 3.0 EUR/kg ii) maximal 4.5 EUR/kg, iii) maximal 6.5 EUR/kg. Die erwarteten Kosten für Importe nach Deutschland betragen bis zu 6,5 EUR/kg im Jahr 2030 und bis zu 4,5 EUR/kg im Jahr 2050.

## 5.3 Geopolitische Versorgungsrisiken für Deutschland

### 5.3.1 Rohstoffe

#### 5.3.1.1 GVRI aus den drei Bewertungsansätzen

Abbildung 5.1 bis Abbildung 5.3 zeigen die Ergebnisse. Sie stellen den GVRI dar, der sich aus den drei Ansätzen ergibt<sup>9</sup>. Die Ergebnisse sind in absteigender Reihenfolge des Risikos dargestellt, wobei rote Balken Rohstoffe mit hohem Risiko, orange Balken Rohstoffe mit mittlerem Risiko und grüne Balken Rohstoffe mit geringem Risiko darstellen. Die Abbildung zeigt auch, auf welcher Ebene der Wertschöpfungskette das Risiko sowohl für den import- als auch für den produktionsbasierten Ansatz bestimmt wird. Wenn das Risiko für Erze und Konzentrate bestimmt wird, wird es als Risiko auf der Ebene „Erze“ eingestuft. Für andere Produkte wird das Risiko als Risiko auf der Ebene „Verarbeitet“ eingestuft.

Interessanterweise sind die Ergebnisse je nach Ansatz unterschiedlich. Einige Rohstoffe, die in einem Ansatz als „hohes Risiko“ eingestuft werden, werden in den beiden anderen Ansätzen als „mittleres“ oder „geringes“ Risiko eingestuft. Beispielsweise werden Vanadium und Fluor im produktionsbasierten Ansatz als „hohes Risiko“ eingestuft, während sie in den beiden anderen Ansätzen als „mittleres“ oder „geringes“ Risiko eingestuft werden.

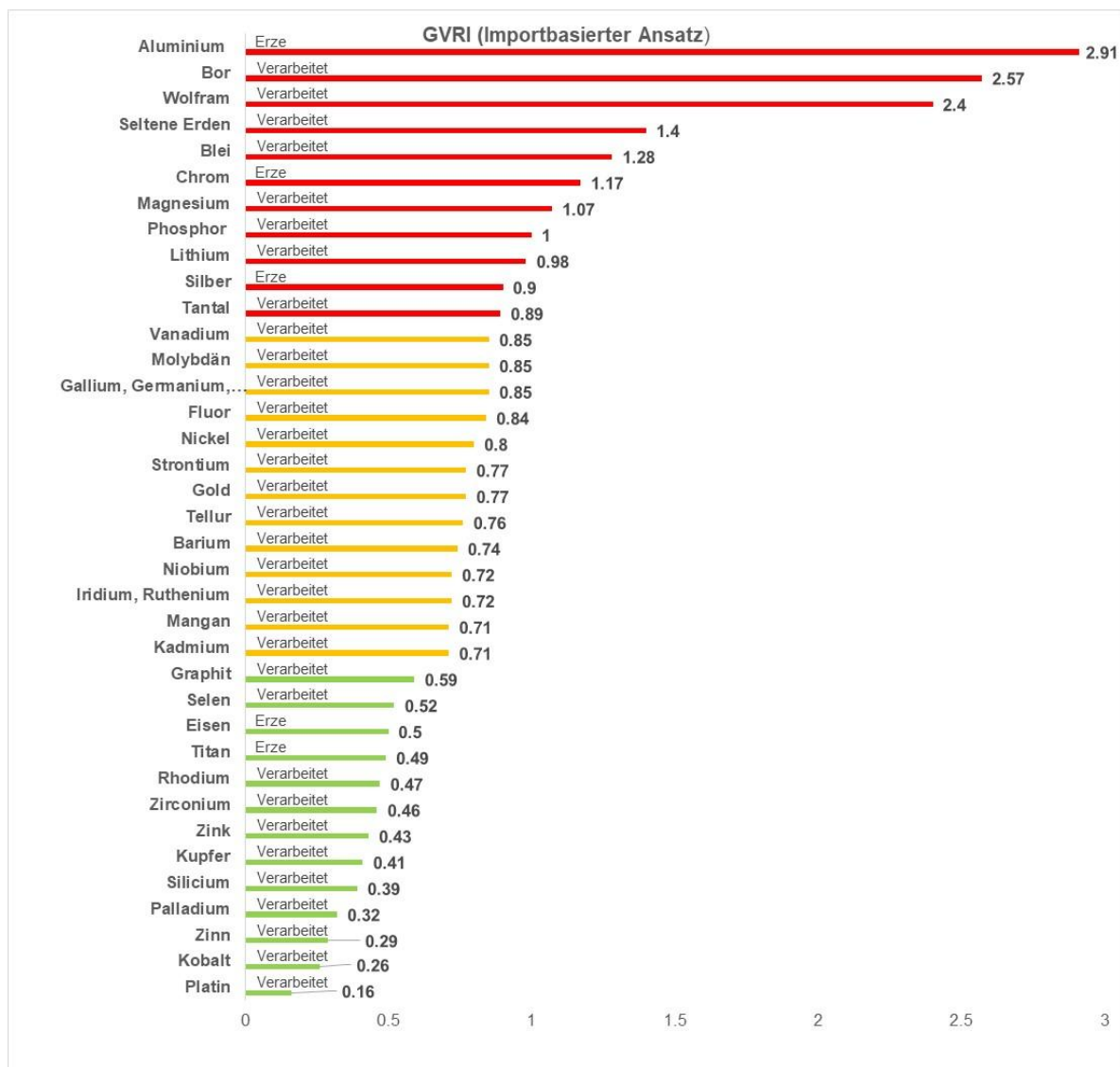
Während keiner der Rohstoffe in allen drei Ansätzen als "hohes Risiko" eingestuft wurde, wurden Magnesium, Wolfram, Seltene Erden, Ruthenium, Niob, Iridium, Rhodium und Kobalt in mehr als einem Ansatz als "hohes Risiko" eingestuft.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der drei Ansätze unterstreichen, wie wichtig es ist, alle drei Ansätze zu nutzen, um eine ganzheitliche Perspektive auf geopolitische Versorgungsrisiken zu entwickeln (Abbildung 5.1, Abbildung 5.2, Abbildung 5.3).

<sup>8</sup>Ammoniak kann bei seiner Herstellung, seinem Transport und seiner Verwendung negative Auswirkungen auf die Umwelt haben. Dies könnte seine Attraktivität als Wasserstoffträger verringern. Bislang gibt es jedoch noch keine schlüssigen Beweise dafür.

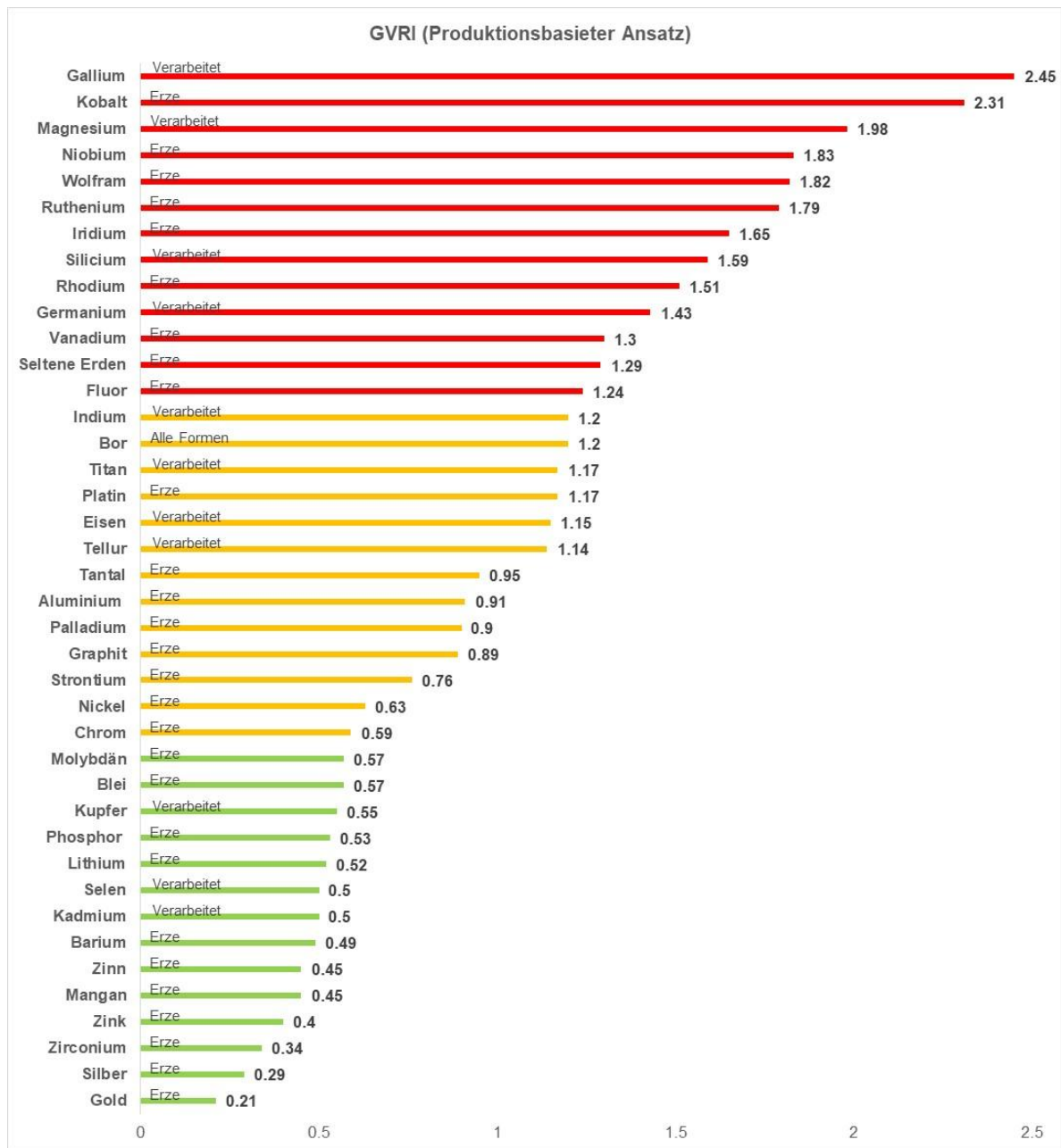
<sup>9</sup> Im ressourcenbasierten Ansatz fehlen die GVRI für Gallium, Germanium, Indium und Cadmium, da es sich um Nebenprodukte handelt. Auch für Silizium liegen keine quantitativen Reservedaten vor, so dass der Risikoindex nicht entwickelt werden konnte.

Abbildung 5.1: GVRI für den importbasierten Bewertungsansatz



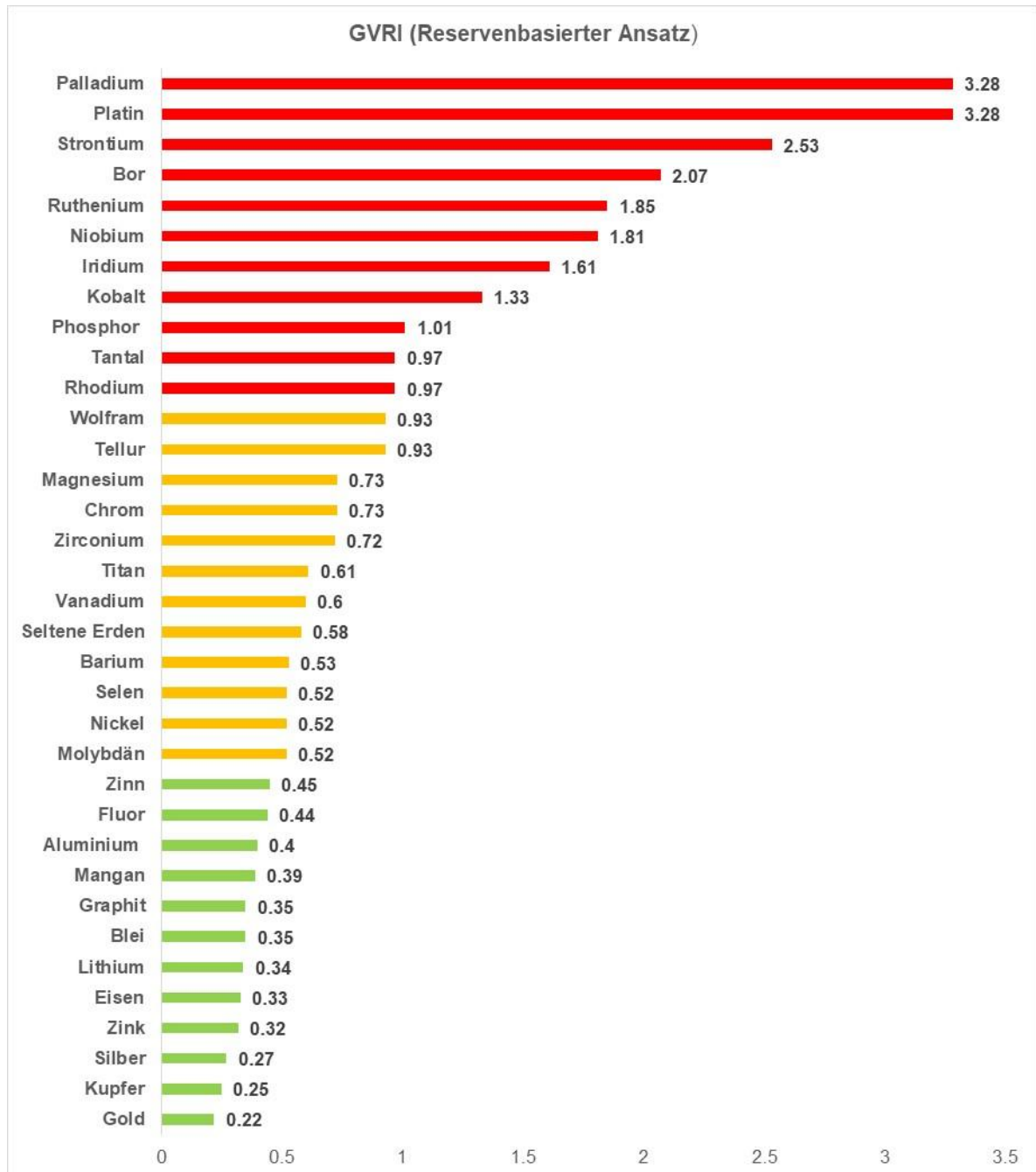
Quelle: Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von Destatis, USGS, JRC (RMIS)

Abbildung 5.2: GVRI für den produktionsbasierten Bewertungsansatz



Quelle: M-Five, Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von DeStatis, USGS, JRC(RMIS)

Abbildung 5.3: GVRI für den reservenbasierten Bewertungsansatz



Quelle: M-Five, Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von DeSstatis, USGS, JRC(RMIS)

### 5.3.1.2 Wichtige Länder und ihre Anteile

Abbildung 5.4 bis Abbildung 5.6 zeigen die wichtigsten Länder für die Versorgung der Wertschöpfungsketten von E-Mobilität und E-Fuels mit Rohstoffen sowie deren Anteile als Indikator für die Bedeutung der einzelnen Länder. Abbildung 5.4 stellt die wichtigsten Exportländer für die Importe nach Deutschland dar. Abbildung 5.5 listet die wichtigsten Produzentenländer der Welt auf. Abbildung 5.6 zeigt die Länder mit den weltweit größten Reserven. Auf der y-Achse sind die Rohstoffe zusammen mit der Wertschöpfungsstufe aufgetragen, auf der das Risiko identifiziert wird: Erz (E) oder Verarbeitet (V).

Die Abbildungen zeigen, dass bei vielen Rohstoffen die Hauptexportländer nach Deutschland nicht mit den Hauptproduktionsländern identisch sind. Beispielsweise werden Zirkonerze hauptsächlich in Australien, Südafrika und China gefördert, das verarbeitete Zirkon wird jedoch hauptsächlich aus dem Vereinigten Königreich und Frankreich nach Deutschland importiert. In ähnlicher Weise ist Indonesien zusammen mit den Philippinen der Hauptproduzent von Nickelerzen, aber der größte Teil des Nickels wird von Deutschland in verarbeiteter Form aus den Niederlanden importiert.

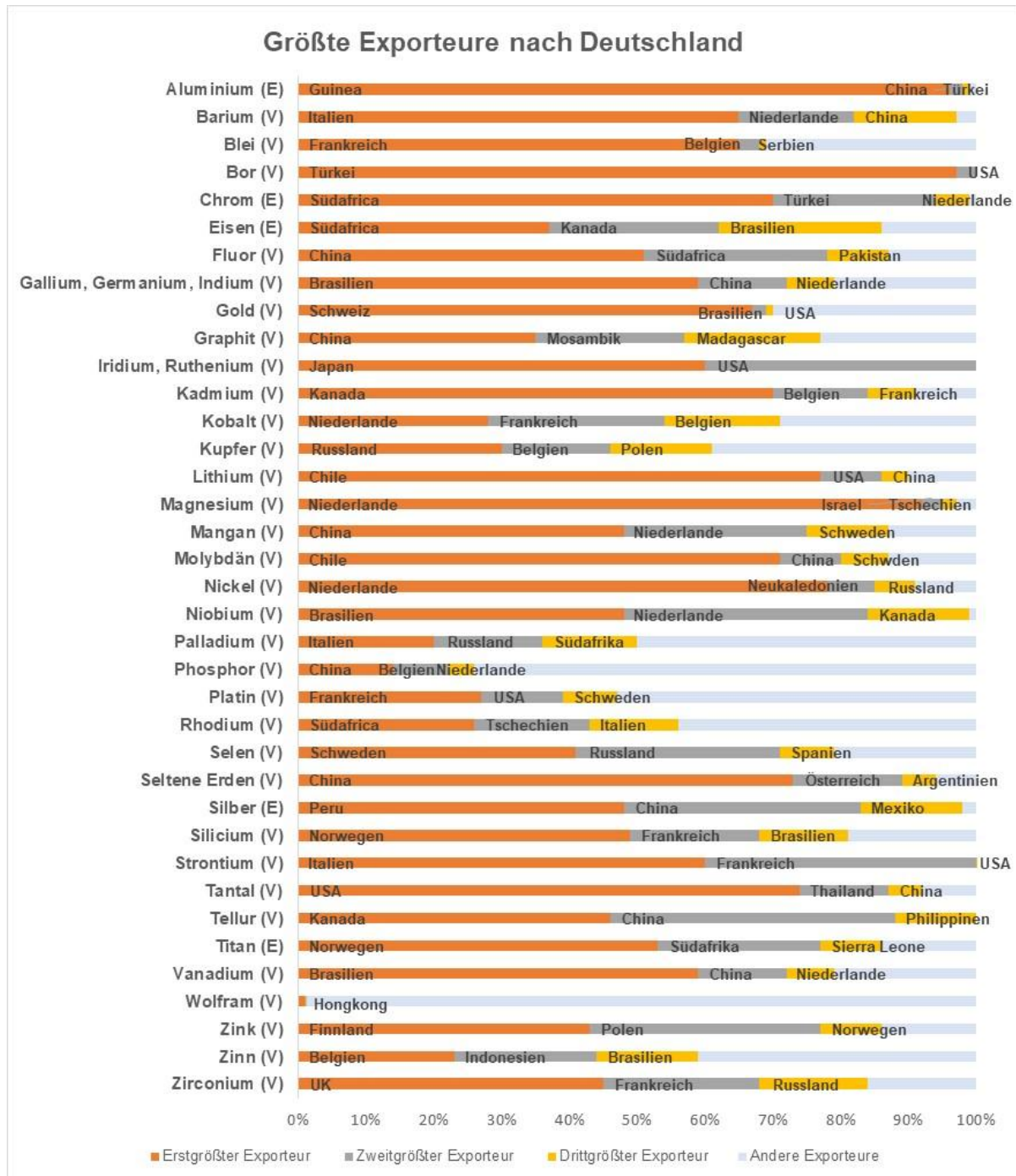
Ein Grund dafür ist, dass die erzproduzierenden Länder nicht notwendigerweise die führenden Hersteller von verarbeiteten oder höherwertigen Produkten sind. Es kommt häufig vor, dass ein Land zwar über Rohstoffe verfügt, aber nicht über die Technologie oder Infrastruktur, um diese zu höherwertigen Produkten zu verarbeiten. Zudem durchlaufen Rohstoffe oft mehrere Verarbeitungsstufen, die jeweils in verschiedenen Ländern stattfinden. Dies verdeutlicht die Komplexität globaler Wertschöpfungsketten. Darüber hinaus gibt es Länder, wie die Niederlande, die nicht an der Verarbeitung oder Wertschöpfung beteiligt sind, sondern als Transitknoten in der globalen Lieferkette fungieren.

Während die Länder, aus denen Deutschland seine Rohstoffe importiert, breiter gestreut sind, werden die meisten Rohstoffe in China produziert. In Abbildung 5.5 ist zu erkennen, dass China zu den beiden größten Produzenten von 60 % der Rohstoffe gehört. Ein Grund dafür ist, dass China bei einigen Rohstoffen auch den größten Anteil an den weltweiten Reserven hat. Dazu gehören Rohstoffe wie Wolfram, Vanadium, Seltene Erden und Molybdän.

Bei vielen anderen Rohstoffen ist China hingegen der größte Produzent, obwohl es nicht über ausreichende Reserven verfügt. Bei Magnesium und Tellur beispielsweise verfügt China nur über 8-9 % der weltweiten Reserven, hat aber einen Anteil von mehr als 60 % an der Weltproduktion von verarbeitetem Magnesium und Tellur. Ähnlich verhält es sich bei Kupfer: China verfügt nur über 4 % der Weltreserven, ist aber mit einem Anteil von 40 % an der Weltproduktion der führende Produzent von verarbeitetem Kupfer. Dies spiegelt den Vorteil Chinas in Bezug auf Verarbeitungstechnologie, Kosten und Infrastruktur wider und ist auch ein Abbild der strategischen chinesischen Bemühungen um den Zugang zu Rohstoffen im letzten Jahrzehnt.

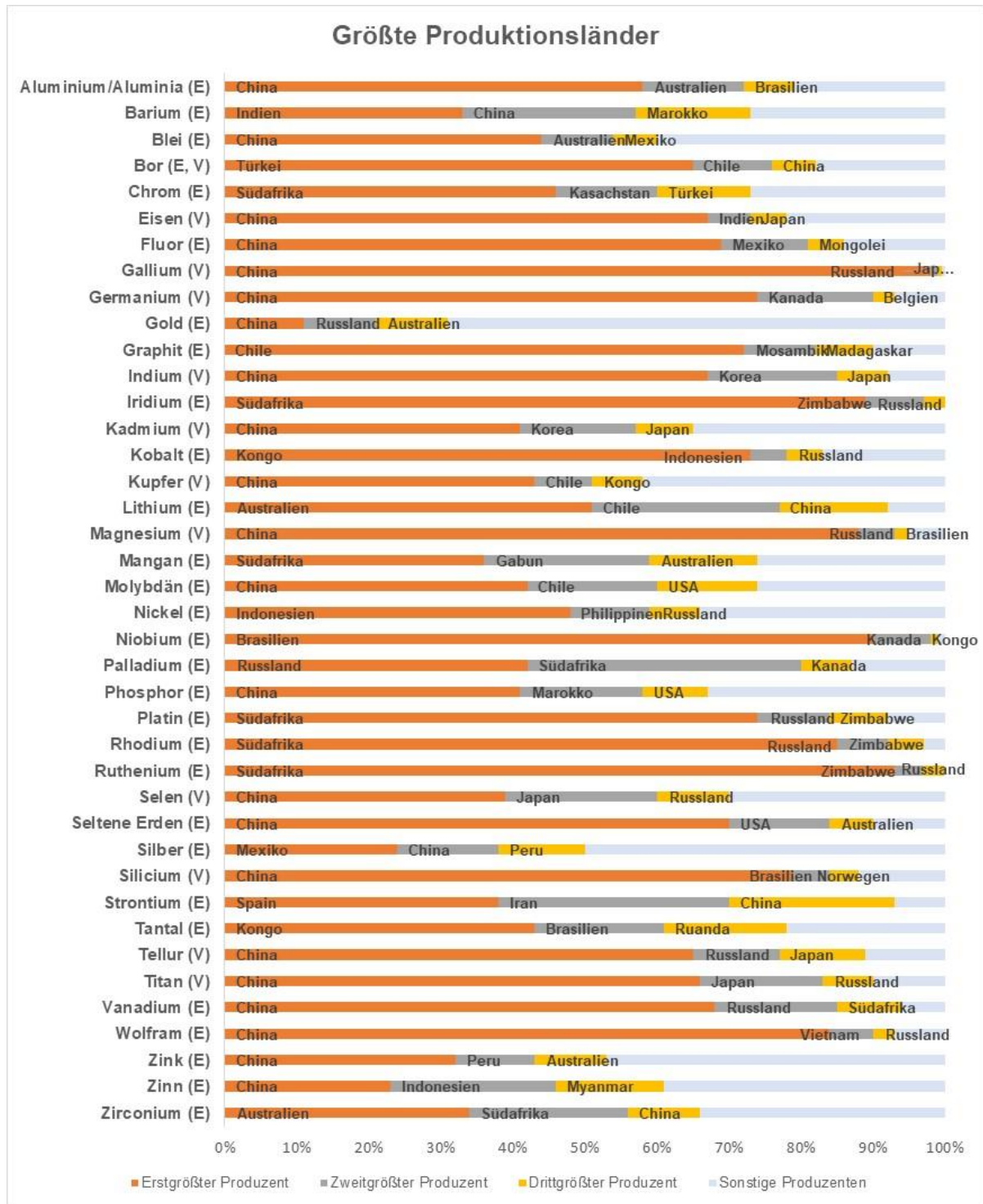


Abbildung 5.4: Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Anteile der Lieferländer an deutschen Importen



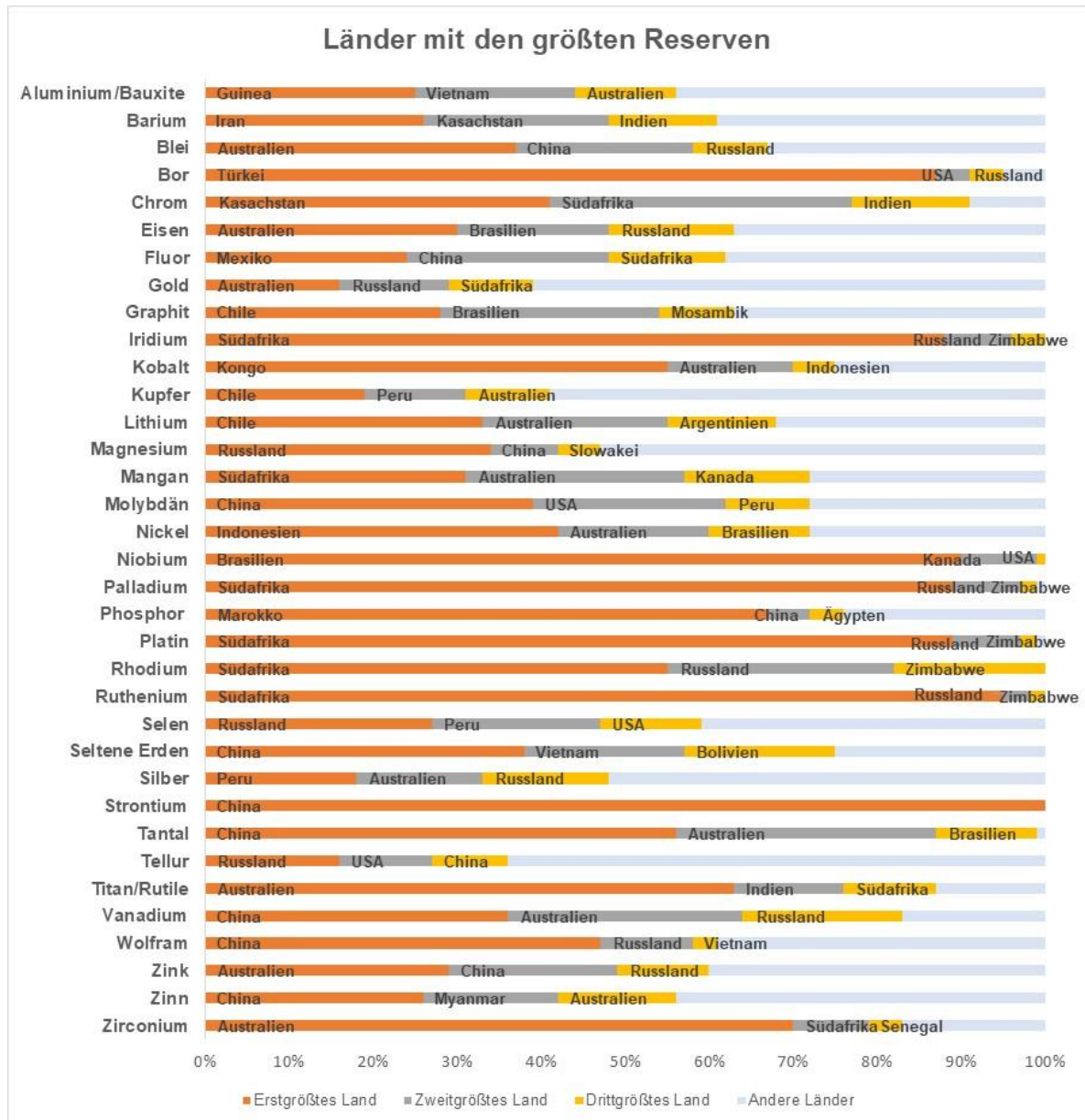
Quelle: M-Five, Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von Destatis, USGS, JRC(RMIS)

Abbildung 5.5: Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Verteilung der globalen Produktion



Quelle: M-Five, Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von Destatis, USGS, JRC(RMIS)

Abbildung 5.6: Rohstoffe für E-Mob und E-Fuels und Verteilung der globalen Reserven



Quelle: M-Five, Eigene Berechnungen und Abbildungen auf Basis der Daten von Destatis, USGS, JRC(RMIS)

### 5.3.1.3 Risikoeinstufung und Priorisierung von Maßnahmen

Wie in Abbildung 5.3 zu sehen ist, unterscheiden sich die Risikoeinstufungen der Rohstoffe in den drei Ansätzen, weshalb versucht wird, die drei Ansätze so zu kombinieren, dass ein Satz von Einstufungen zur Verfügung steht, um die Priorität politischer Maßnahmen zu bestimmen. Um dies zu erreichen, haben wir einige Entscheidungen getroffen, die im Folgenden aufgeführt sind.

- Wir messen den Ergebnissen des produktionsbasierten Ansatzes größere Bedeutung bei. Wie in Abschnitt 5.2.1.2 erläutert, haben Produktionsstörungen schwerwiegendere Folgen. Sie führen automatisch auch zu Importausfällen für Deutschland, selbst wenn die Handelspartner Deutschlands andere sind als die Hauptproduktionsländer.

Um die gravierenden Folgen von Produktionsstörungen auszugleichen, sind politische Maßnahmen erforderlich, die zeit- und ressourcenintensiver sind.

Tabelle 5.1 zeigt ein Beispiel für die Klassifizierung von Risiken. Angenommen, es gibt zwei Rohstoffe A und B. A hat nach dem produktionsbasierten Ansatz ein „hohes Risiko“ und nach dem importbasierten Ansatz ein „geringes Risiko“. Rohstoff A wird als risikoreicher eingestuft als Rohstoff B, der nach dem importbasierten Ansatz ein „hohes Risiko“, nach dem produktionsbasierten Ansatz jedoch ein „geringes Risiko“ aufweist.

**Tabelle 5.1:** Beispiel der Risikoklassifizierung: Produktion vs. Importbasierter Ansatz

Rohstoff A		Rohstoff B	
Produktionsbasierter Ansatz	<b>Hoch</b>	Produktionsbasierter Ansatz	<b>Gering</b>
Importbasierter Ansatz	<b>Gering</b>	Importbasierter Ansatz	<b>Hoch</b>
Reservenbasierter Ansatz	<b>Mittel</b>	Reservenbasierter Ansatz	<b>Hoch</b>
Risikoklassifizierung	<b>Höher</b>		<b>Geringer</b>

Quelle: M-Five, eigene Darstellung

- Im Vergleich zwischen dem import- und dem reservenbasierten Ansatz messen wir der Risikoeinstufung des importbasierten Ansatzes eine größere Bedeutung bei. Der Grund dafür ist, dass sich die Risiken und Störungen der Importe unmittelbarer und kurzfristig auf Deutschland auswirken. Gegenmaßnahmen werden (meist) erst ergriffen, wenn die Störung eingetreten ist und die Importe ausfallen. Die im Rahmen des reservenbasierten Ansatzes identifizierten Risiken spiegeln dagegen die in Zukunft potenziell zu erwartenden Störungen und Auswirkungen wider.

Tabelle 5.2 zeigt ein weiteres Beispiel für die Risikoklassifizierung. Rohstoff A hat nach dem importbasierten Ansatz ein „mittleres Risiko“ und nach dem reservenbasierten Ansatz ein „geringes Risiko“. Rohstoff A wird als risikoreicher eingestuft als Rohstoff B, der nach dem reservenbasierten Ansatz ein „hohes Risiko“, nach dem importbasierten Ansatz jedoch ein „geringes Risiko“ aufweist.

Tabelle 5.2: Beispiel der Risikoklassifizierung: Import- vs. Reservenbasierter Ansatz

Rohstoff A		Rohstoff B	
Produktionsbasierter Ansatz	Gering	Produktionsbasierter Ansatz	Gering
Importbasierter Ansatz	Mittel	Importbasierter Ansatz	Gering
Reservenbasierter Ansatz	Gering	Reservenbasierter Ansatz	Hoch
Risikoklassifizierung	Höher		Geringer

Quelle: M-Five, eigene Darstellung

- Daten zu Reserven von Rohstoffen, die nur als Nebenprodukte verfügbar sind, liegen nicht vor. Daher konnten wir für sie keine Risikoindizes auf der Basis von Reserven entwickeln. Dazu gehören Rohstoffe wie Germanium, Gallium, Indium und Cadmium.

Nebenprodukte fallen bei der Extraktion oder Verarbeitung anderer Hauptprodukte an. Sie sind daher zufällig und ihre Verfügbarkeit hängt von der Dynamik von Angebot und Nachfrage bei anderen Hauptprodukten sowie von der Verfügbarkeit der Infrastruktur für ihre Verarbeitung, Handhabung und Lagerung ab. Aus diesem Grund sind sie anfälliger für Versorgungsunterbrechungen und Volatilität als die Hauptprodukte. Um dieser zusätzlichen Risikokomponente bei den Nebenprodukten Rechnung zu tragen, gehen wir im reservenbasierten Ansatz für sie von einem „hohen Risiko“ aus.

- Quantitative Schätzungen der Reserven sind für Silizium nicht verfügbar. Laut USGS (2023) sind die Reserven in den meisten Produktionsländern im Verhältnis zur Nachfrage reichlich vorhanden. Wenn die Verteilung der Reserven auf die Länder und die politischen Risiken die gleichen bleiben wie die Verteilung und die Risiken in den Ländern, die derzeit Siliziumerze produzieren, wäre Silizium mit dem gleichen Risikoniveau verbunden, das für Erze im Rahmen des produktionsbasierten Ansatzes ermittelt wurde.

Wie aus Tabelle 8.2 im Anhang hervorgeht, beträgt das GVRI für Siliziumerze nach dem produktionsbasierten Ansatz 0,42. Wir gehen davon aus, dass das GVRI für Silizium nach dem reservenbasierten Ansatz gleich ist. Dies entspricht einem „niedrigen“ Risikoniveau.

Die Matrix zur Einstufung der relativen Risiken und zur Festlegung der Maßnahmenpriorität für Rohstoffe ist in Abbildung 5.7 dargestellt. Die Rohstoffe sind in absteigender Reihenfolge der Maßnahmenpriorität dargestellt. Für Rohstoffe wie Magnesium, Wolfram und Seltene Erden wurden Maßnahmen mit der höchsten Priorität festgelegt, während Zink, Kupfer und Zinn am unteren Ende der Prioritätenskala stehen. Die Matrix hilft nicht nur bei der Festlegung der Prioritäten für politische Maßnahmen, sondern auch bei der Bestimmung der Art der politischen Maßnahmen, die für jeden Rohstoff oder jede Rohstoffgruppe ergriffen werden müssen (siehe Abschnitt 6.1).



Abbildung 5.7: Matrix zur Bestimmung der relativen Risiken und der Priorität von Maßnahmen

	Rohstoff	GVRI (Produktionsbasierter)	GVRI (Importbasierter)	GVRI (Reservernbasierter)
↑ Hoch  ↓ Gering	Magnesium, Wolfram, Seltene Erden	Red	Red	Yellow
	Gallium, Niobium, Ruthenium, Iridium, Germanium	Red	Yellow	Red
	Vanadium	Red	Yellow	Yellow
	Fluor	Red	Green	Green
	Kobalt, Rhodium	Red	Green	Red
	Silicium	Red	Green	Green
	Bor, Tantal	Yellow	Red	Red
	Chrom	Yellow	Red	Yellow
	Aluminium	Yellow	Green	Green
	Indium, Strontium	Yellow	Yellow	Red
	Tellur, Nickel	Yellow	Yellow	Yellow
	Palladium, Platin	Yellow	Green	Red
	Titan	Yellow	Green	Yellow
	Eisen, Graphit	Yellow	Green	Green
	Phosphor	Green	Red	Red
	Blei, Lithium, Silber	Green	Red	Green
	Kadmium	Green	Yellow	Red
	Molybdän, Barium	Green	Yellow	Yellow
	Mangan, Gold	Green	Green	Green
	Selen, Zirconium	Green	Green	Yellow
Kupfer, Zinn, Zink	Green	Green	Green	

Quelle: M-Five Analyse, eigene Illustration

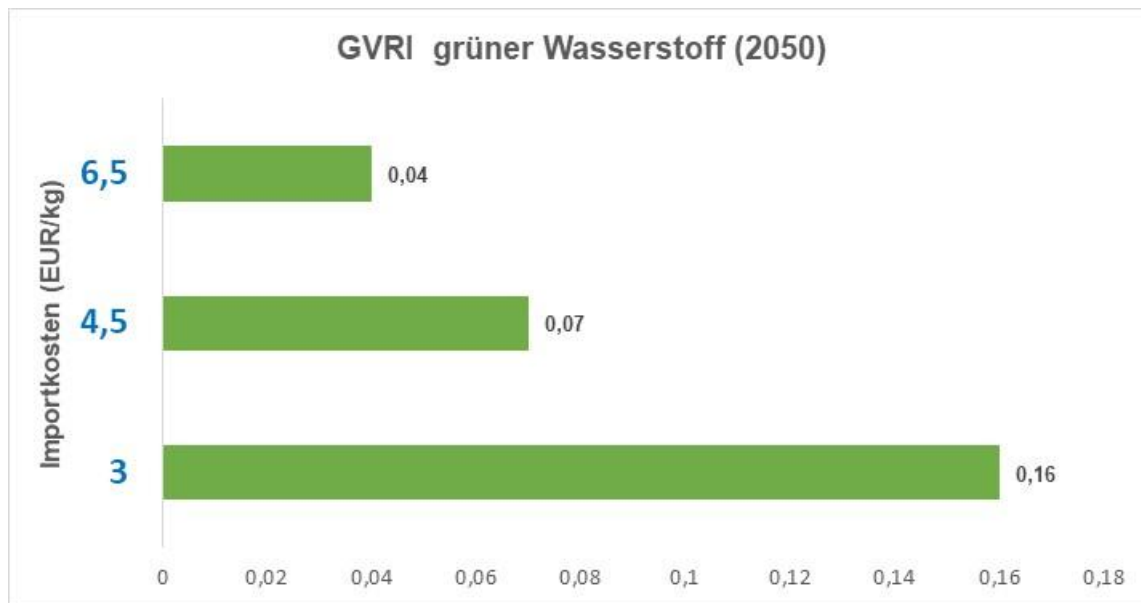
Hinweis: In der vorherigen Version des Berichts auf der Website gab es einen Fehler bei der Risikoklassifizierung in der Matrix. Der Fehler und die damit verbundenen Informationen und Abbildungen wurden korrigiert.

### 5.3.2 Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

Grüner Wasserstoff bzw. seine e-Fuels Derivate könnten zukünftig in mehreren Ländern produziert und nach Deutschland exportiert werden. Auch für diese Länder kann das geopolitische Risiko der Importabhängigkeit Deutschlands bei grünem Wasserstoff anhand des GVRI bewertet werden.

Abbildung 5.8 zeigt den GVRI des Wasserstoffträgers Ammoniak für verschiedene Importkosten an der deutschen Grenze. Bei Importkosten von 3 EUR/kg kommen aufgrund ihrer Potenziale zur Produktion von grünem Wasserstoff 13 Länder als Handelspartner in Frage. Der GVRI beträgt 0.16, was als „geringes“ Risiko eingestuft werden kann. Steigen die akzeptierten Importkosten auf 4.5 EUR/kg (42 potenzielle Lieferländer) bzw. 6 EUR/kg (48 potenzielle Lieferländer), sinkt der GVRI weiter auf Werte von 0.07 bzw. 0.04. Bei diesen Importkosten ist das geopolitische Versorgungsrisiko nahezu gleich Null.

Abbildung 5.8: GVRI für den Wasserstoffträger Ammoniak bei unterschiedlichen Importkosten (in 2050)



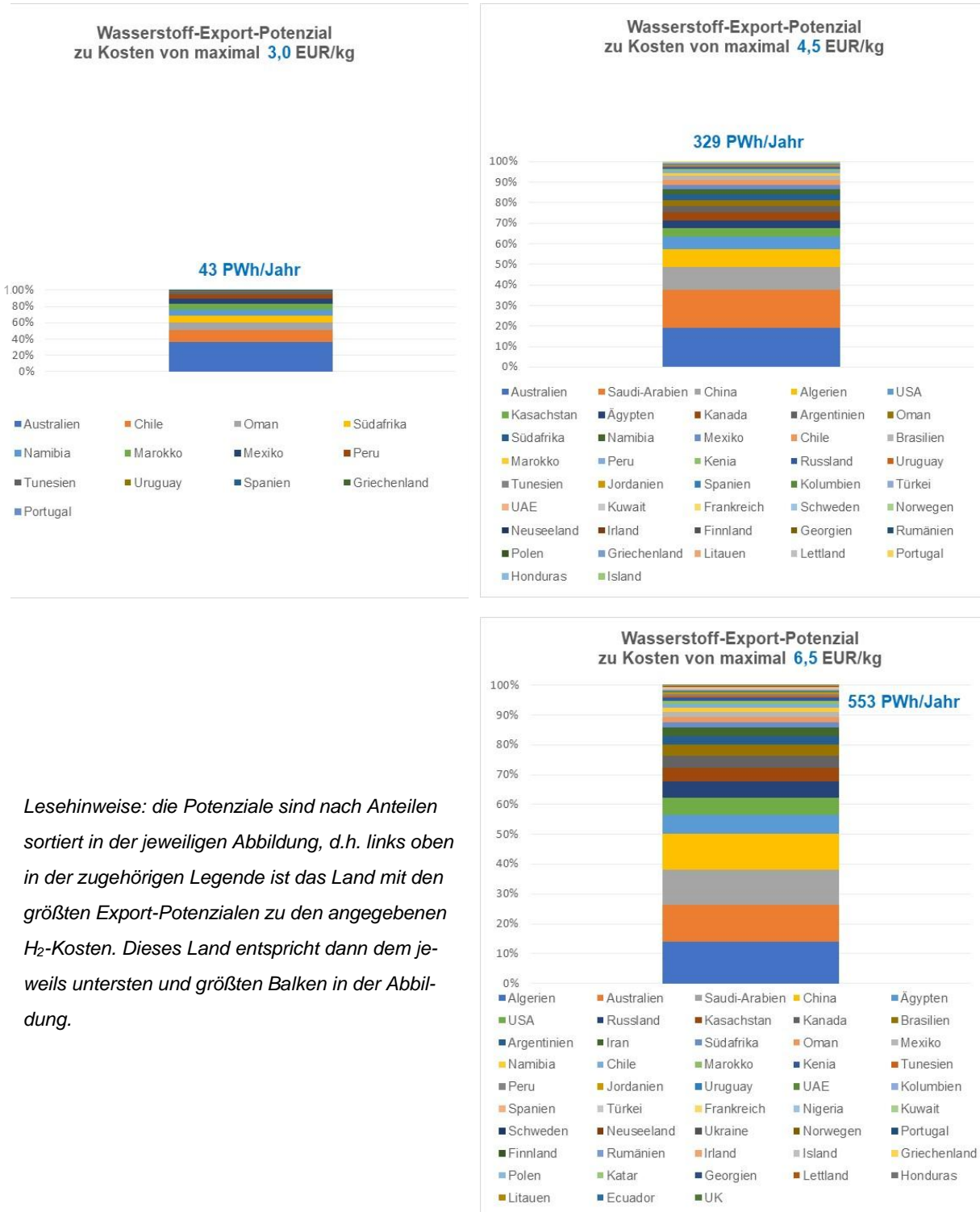
Quelle: M-Five, eigene Berechnungen und Abbildungen basierend auf Daten von (Wietschel et al., 2024)

Die Analyse der Daten zu Wasserstoff-Potenzialen bezieht sich auf das Jahr 2050 und damit einen eingeschwungenen Zustand der Wasserstoffproduktion und der Transportkette nach Deutschland (Wietschel et al., 2024).

Zur Verdeutlichung der Berechnung des GVRI betrachten wir die potenziellen Exportländer von grünem Wasserstoff zusammen mit den Potenzialen, die zu diesen unterschiedlichen Importkosten produziert und, vorausgesetzt die Produktionsanlagen und Transportinfrastrukturen werden aufgebaut, auch in Deutschland importiert werden können. Die Liste der Länder und die Größe ihrer H<sub>2</sub>-Produktions-Potenziale ist in Abbildung 5.9 dargestellt.



Abbildung 5.9: Potenzielle Exportländer und deren Exportmenge bei verschiedenen globalen H<sub>2</sub>-Kostenniveaus



Quelle: M-Five, eigene Berechnungen, basierend auf Daten von (Wietschel et al., 2024)

Bei Importkosten von 3 EUR/kg könnten bei entwickeltem Wasserstoff-Markt in 2050 aus 13 Ländern insgesamt 43 PWh pro Jahr importiert werden. Dies ist deutlich mehr als der geschätzte Importbedarf Deutschlands, der in 2030 je nach Szenario zwischen 0,05 und 0,09 PWh liegt. Das Potenzial ist sogar deutlich höher als der Importbedarf aller Länder zusammen,

der je nach Szenario bis zu 4,5 PWh beträgt (Wietschel *et al.*, 2024). Bei diesen Kosten wäre Australien mit einem Anteil von 37% an den gesamten potenziellen Exporten der wichtigste Lieferant, gefolgt von Chile (15%) und Oman (9%).

Bei einem Anstieg der akzeptierten Importkosten auf 4,5 EUR/kg können zusätzlich 286 PWh pro Jahr aus einer Vielzahl von Ländern und Regionen der Welt erschlossen werden. Insgesamt beläuft sich zu diesen Importkosten das globale Potenzial auf 329 PWh/Jahr (siehe Abbildung 5.9). Bei einem weiteren Anstieg der akzeptierten Importkosten auf 6,5 EUR/kg stehen zusätzlich weitere 224 PWh pro Jahr zur Verfügung. Die Kurve der potenziellen Wasserstoffexporte verläuft relativ flach, was langfristig auf einen wettbewerbsorientierten Markt und stabile Preise hindeutet.

## 6 Bewertung und Implikationen für die deutsche Politik

### 6.1 Rohstoffe

Abbildung 5.7 in Kapitel 5.3.1 hilft, die verschiedenen Gütergruppen nach ihrem Risikoniveau sowie nach der Art der Risiken zu unterscheiden. Für verschiedene Risikoprofile der Rohstoffe sind unterschiedliche politische und unternehmerische Strategien sinnvoll, um die Wirkung der Risiken zu reduzieren. Eine Übersicht über mögliche Strategien für die einzelnen Rohstoffe wird in Abbildung 6.1 gegeben. Die Rohstoff-Risikoprofile lassen sich in drei Gruppen einteilen (gelbe Felder). Die Gruppen und die entsprechenden Strategien werden im Folgenden erörtert.

Abbildung 6.1: Mögliche politische Strategie für jede Rohstoffgruppe



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

### **Mittleres bis hohes Risiko durch Importe; geringes Risiko durch die Produktion**

Diese Stoff-Gruppe besteht aus Rohstoffen, bei denen das Risiko von Versorgungsunterbrechungen aufgrund der Dynamik in den erzproduzierenden Ländern gering ist. Es besteht jedoch ein mittleres bis hohes Risiko von Versorgungsunterbrechungen aufgrund der Dynamik in den Ländern, aus denen Deutschland diese Rohstoffe in verarbeiteter Form bezieht. Dazu gehören Rohstoffe wie Phosphor, Blei, Lithium, Silber, Kadmium, Molybdän, Barium, Mangan und Gold.

Hier wäre die optimale Strategie, die Diversifizierung der Importe durch die Identifizierung neuer Partnerländer und Handelsabkommen voranzutreiben. Dies ist besonders wichtig, da die meisten Rohstoffe über langfristige Verträge gehandelt werden. Im Falle einer Versorgungsunterbrechung ist es daher nicht einfach, den Lieferanten zu wechseln oder die benötigte Menge über Spotmärkte zu beschaffen. Auch der Aufbau von Lagerbeständen könnte eine Option sein, um die Wirtschaft zumindest kurzfristig vor Preissteigerungen zu schützen, falls die Importe unterbrochen werden.

Deutschland importiert viele Rohstoffe in verarbeiteter Form. Die Verbesserung der Produktionsmöglichkeiten in Deutschland, Investitionen in Verarbeitungstechnologien und Infrastruktur sowie die Entwicklung von Fähigkeiten und Kompetenzen sind daher von höchster Priorität. Während sich an der Tatsache, dass Deutschland nicht mit günstigen geologischen Ressourcen gesegnet ist, wenig ändern lässt, muss sichergestellt werden, dass deutsche Unternehmen bei der Verarbeitung und Herstellung von Produkten mit hoher Wertschöpfung wettbewerbsfähig sind. Dazu müssen geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden, die Investitionssicherheit und politische Stabilität bieten.

Wichtig ist auch, dass die Verbesserung von Sozial- und Umweltstandards und die Einführung von Strategien zur Reduzierung von Kohlenstoffemissionen nicht zu Wettbewerbsnachteilen für deutsche Unternehmen auf den internationalen Märkten führen.

### **Mittleres bis hohes Risiko durch die Produktion; geringes Risiko durch Importe**

Eine weitere Gruppe besteht aus Rohstoffen, bei denen das Risiko von Störungen aufgrund der Dynamik in den Ländern, die nach Deutschland exportieren (entweder Erze oder verarbeitete Varianten), gering ist. Aber bei denen ein mittleres bis hohes Risiko aufgrund der Dynamik in den erzproduzierenden Ländern besteht. Dazu gehören Rohstoffe wie Rhodium, Kobalt, Silicium, Palladium, Platin, Titan, Eisen und Graphit.

Die optimale Strategie in diesem Zusammenhang ist die Förderung der Ressourcendiplomatie durch den Abschluss von Investitionsabkommen, Abkommen über die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und präferenziellen Handelsabkommen mit den Produzentenländern.

### **Mittleres bis hohes Risiko durch die Produktion; Mittleres bis hohes Risiko durch Importe**

Bei der dritten Gruppe besteht ein mittleres bis hohes Störungsrisiko aufgrund der Dynamik sowohl in den erzproduzierenden Ländern als auch in den Ländern, die Erze und/oder verarbeitete Varianten nach Deutschland exportieren. Dazu gehören Rohstoffe wie Magnesium,

Wolfram, Seltene Erden, Gallium, Niobium, Ruthenium, Iridium, Germanium, Vanadium, Fluor, Bor, Tantal, Chrom, Aluminium, Indium, Strontium, Tellur und Nickel. Diese Rohstoffgruppe erfordert eine Kombination verschiedener, oben genannter Maßnahmen.

Diese Rohstoffe erfordern auch gemeinsame Explorationsaktivitäten Deutschlands in Ländern mit hohen Rohstoffperspektiven. Dies gilt insbesondere für Rohstoffe, bei denen aufgrund der Dynamik in den bestehenden Ländern mit Reserven ein hohes Risiko besteht. Dazu gehören Niobium, Ruthenium, Iridium, Bor, Tantal und Strontium. Viele Rohstoffe dieser Gruppe sind Nebenprodukte (d.h. Indium, Germanium, Gallium), die einer unbeständigen Dynamik unterliegen. Diese Rohstoffe erfordern zusätzliche Investitionen und Infrastrukturen, um ihre optimale Verwertung zu gewährleisten. Die Lagerhaltung von Nebenprodukten kann auch einen gewissen Puffer gegen unerwartete Preissteigerungen bieten.

Für diese Gruppe hat die Verringerung der Importabhängigkeit oberste Priorität. Dies kann durch die Förderung des Recyclings erreicht werden. Derzeit liegen keine Informationen darüber vor, inwieweit der Bedarf in Deutschland durch Recycling gedeckt wird. Auf EU-Ebene gibt es jedoch Informationen über die Recyclingquote am Ende des Lebenszyklus für jeden Rohstoff (EC 2023). Diese Quote gibt an, welcher Anteil der Gesamtnachfrage in der EU durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden kann. Sie ist in der zweiten Spalte der Tabelle 6.1 aufgeführt. Die Rohstoffe sind in derselben Reihenfolge wie in der Matrix in Abbildung 5.7 angeordnet.

Bei mehr als 50 % der Rohstoffe liegt die Recyclingrate unter 10%, bei Rohstoffen wie Phosphor, Lithium, Niob, Gallium, Strontium, Barium und Silizium sogar bei 0%. Die höchste Recyclingrate wird bei Blei (83%) erreicht, gefolgt von Kupfer (55%), Wolfram (42%) und Zink (34%). Diese Zahlen deuten auf ein immenses Recyclingpotenzial hin, das entwickelt und genutzt werden muss, um die Binnennachfrage zu decken und unabhängiger von Importen zu werden, insbesondere bei Rohstoffen mit hohen geopolitischen Versorgungsrisiken. Die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Recyclingtechnologien, Investitionen in die Infrastruktur und die Erleichterung von Ökodesign sind daher von größter Bedeutung.

Eine weitere Möglichkeit zur Risikominderung bietet die Substitution. Die EU-Kommission hat die Möglichkeit der Substitution von Rohstoffen bewertet (European Commission., 2023). Dabei wurden nur erprobte Ersatzstoffe berücksichtigt, die heute leicht verfügbar sind und die Auswirkungen eines Ausfalls verringern und/oder das Risiko eines Ausfalls beeinflussen können. Sie entwickelten einen Substitutionsindex, der von 0 bis 1 reicht, wobei 1 keine Substituierbarkeit anzeigt. Dieser Index ist in der dritten Spalte von Tabelle 6.1 dargestellt.

Der Indexwert der meisten Rohstoffe liegt über 0.9. Die Substitution hat somit nur einen sehr begrenzten Einfluss auf die Verringerung der Versorgungsrisiken bei Rohstoffen, wie sie von der Europäischen Kommission bewertet wird (Espinoza, 2020). Investitionen in die Suche nach realisierbaren Ersatzstoffen mit gleicher wirtschaftlicher und technischer Leistungsfähigkeit und geringeren geopolitischen Versorgungsrisiken sind daher von größter Bedeutung.

Tabelle 6.1: Recyclingquote und Substitutionsindex für die Rohstoffe

Rohstoff	Recyclingquote am Ende des Lebenszyklus	Substitutionsindex
Magnesium	13%	0.94
Wolfram	42%	0.96
Seltene Erden	1%	0.93
Tantal	1%	0.98
Bor	1%	0.99
Chrom	21%	0.93
Aluminium	32%	0.86
Phosphor	0%	0.98
Blei	83%	0.99
Lithium	0%	0.94
Silber	4%	0.99
Ruthenium	12%	0.94
Niobium	0%	0.96
Iridium	12%	0.94
Germanium	2%	0.94
Gallium	0%	0.98
Vanadium	6%	0.92
Fluor	1%	0.91
Strontium	0%	0.97
Indium	1%	0.89
Nickel	16%	0.92
Tellur	1%	0.94
Cadmium	30%	0.9
Molybdän	30%	1
Barium	0%	0.92
Gold	5%	0.99
Mangan	9%	1
Rhodium	12%	1
Kobalt	22%	0.98
Silicium	0%	0.99
Palladium	12%	0.99
Platin	12%	0.95
Titan	1%	0.95
Eisen	31%	0.95
Graphit	3%	Nicht verfügbar
Zirconium	12%	0.97
Selen	1%	0.94
Zink	34%	0.8
Kupfer	55%	0.71
Zinn	31%	0.92

Quelle: (European Commission., 2023)

## 6.2 Wasserstoff

Wie in Abschnitt 5.3.2 dargestellt, ist das geopolitische Versorgungsrisiko Deutschlands für Wasserstoff und Wasserstoffderivate sehr gering. Das große Angebotspotenzial sollte Deutschland zukünftig gute Möglichkeiten zur Diversifizierung seiner Importe bieten.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass eine Diversifizierung der Importe zwar möglich, aber rein betriebswirtschaftlich betrachtet nicht wünschenswert ist. Ein höherer Diversifizierungsgrad erhöht die Importkosten, da bei geringen Exportmengen die Kosten aufgrund fehlender Skaleneffekte beim Transport oft höher sind. Mit zunehmender Menge sinken diese Kosten und erreichen bei einer mittleren kritischen Exportmenge ein Minimum. Der Diversifizierungsgrad soll daher so gewählt werden, dass ein Gleichgewicht zwischen der Aufrechterhaltung der Bezahlbarkeit und der Gewährleistung der Versorgungssicherheit besteht.

Die Bildung von Allianzen und die Zusammenarbeit zwischen den Importländern ist daher wichtig, um sicherzustellen, dass der Wasserstoffhandel ein kritisches Volumen erreicht, das notwendig ist, um Größenvorteile beim Transport zu erzielen und höhere Kosten aufgrund kleiner Mengen zu vermeiden.

Die Zusammenarbeit mit den Importländern ist ebenfalls wichtig, um eine Fragmentierung der Nachfrage zu vermeiden. Deutschland und die Europäische Union (EU) haben sich klar für die Nutzung und Förderung von grünem Wasserstoff entschieden. Viele andere Länder sind jedoch auch offen für die Nutzung von blauem Wasserstoff. Dies gilt insbesondere für Länder mit niedrigen Gaspreisen (z.B. Argentinien und Brasilien). Die unterschiedlichen Präferenzen und Nachhaltigkeitskriterien der Importeure können den Exporteuren mehr Marktmacht geben, um hohe Preise zu setzen.

Daher ist eine Koordinierung zwischen den Importländern erforderlich, um harmonisierte Normen und Zertifizierungen zu fördern. Innerhalb der EU dürften neben Deutschland auch Belgien, Italien und die Niederlande Nettoimporteure sein. Außerhalb der EU werden Japan und Südkorea Nettoimporteure sein. Weniger klar ist die Rolle von China, Indien und den USA. Sie verfügen über ausreichende Potenziale an erneuerbaren Energien, könnten aber dennoch importieren, um ihren hohen Bedarf zu decken (Wietschel *et al.*, 2024).

Wasserstoffdiplomatie ist daher wichtig, um den oben genannten Herausforderungen zu begegnen und geopolitische Versorgungsrisiken zu minimieren. Eine im Rahmen des HYPAT-Projekts<sup>10</sup> durchgeführte Expertenbefragung deutet darauf hin, dass neben der Zahlungsbereitschaft auch Faktoren wie bestehende Beziehungen, Energiepartnerschaften, Handelsbeziehungen und Unternehmenskooperationen für Exportländer bei der Auswahl ihrer Importpartner eine entscheidende Rolle spielen.

Deutschland hat hier einen einzigartigen Vorteil. Es ist eines der wenigen Länder weltweit, das sowohl über das technische Know-how für den Elektrolyseprozess (weitere Länder sind die USA und China) als auch über die Herstellung von Komponenten entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette verfügt. Dieser Wettbewerbsvorteil Deutschlands ist eine gute Basis für

---

<sup>10</sup> Das Projekt HYPAT - H2-POTENTIALATLAS - wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in den Jahren 2021-2024 gefördert. Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts sind in (Wietschel *et al.*, 2024) vorgestellt.



Vertragsverhandlungen und „Win-Win“-Vereinbarungen mit potenziellen Exportländern, von denen viele nicht über das notwendige technische Know-how verfügen, um ihr H<sub>2</sub>-Potenzial auszuschöpfen.

## 7 Schlussbemerkungen und Ausblick

In den letzten Jahren haben Ereignisse wie der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine, die Unterbrechung der Versorgungsketten durch die COVID-19-Pandemie und Handelskonflikte dazu geführt, dass „Importabhängigkeiten“ zunehmend mit Besorgnis betrachtet werden, und weniger als nutzenstiftende Folge der Vernetzung durch Globalisierung. Die Importabhängigkeit bindet das Wohlergehen und die Sicherheit eines Landes an wenige externe Quellen und macht es anfällig für Versorgungsengpässe und kurz- oder langfristige Unterbrechungen von etablierten Lieferketten.

Das Gegenteil von Importabhängigkeit, nämlich Selbstversorgung, ist zwar unter dem Gesichtspunkt der Verringerung externer Abhängigkeiten verlockend, kann aber für viele Rohstoffe und Aspekte der Wertschöpfungskette weder praktikabel noch wirtschaftlich vorteilhaft sein. Folglich ist ein gewisses Maß an Importabhängigkeit unvermeidlich. Mit dieser Abhängigkeit geht ein inhärentes geopolitisches Versorgungsrisiko einher, ob es nun hoch, mittel oder niedrig ist. Entscheidend ist jedoch, dass Deutschland gegenüber diesen Risiken widerstandsfähig bleibt. Dies erfordert dynamische und anpassungsfähige Risikomanagementstrategien, die sich mit den veränderten Marktbedingungen weiterentwickeln.

In dieser Studie wird ein breites Spektrum von Strategien untersucht, wobei die Ressourcendiplomatie als eine der wichtigsten hervorsticht. Es ist auch wichtig anzuerkennen, dass Deutschland nicht der einzige Akteur auf dem internationalen Markt ist; es gibt andere wichtige Akteure, darunter sehr wettbewerbsfähige wie China. Prognosen und unseren Erwartungen zufolge wird sich der globale Wettbewerb um Ressourcen in den kommenden Jahrzehnten verschärfen. Die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen wird sich voraussichtlich mehr als verdoppeln, angetrieben durch Faktoren wie die wachsende Weltbevölkerung, die steigende Nachfrage aus Entwicklungsländern, den Übergang zur Klimaneutralität und den breiten Einsatz von Klimaschutztechnologien sowie der Digitalisierung. In diesem Zusammenhang sollten frühzeitige Entscheidungen und proaktive politische Maßnahmen die Eckpfeiler der deutschen Ressourcenpolitik sein.

Der technologische Wettbewerbsvorsprung Deutschlands hat in der Vergangenheit entscheidend dazu beigetragen, dass Deutschland seine führende Position auf den Weltmärkten behaupten konnte. Um diesen technologischen Vorsprung zu erhalten und auszubauen, in Teilen wohl auch erst wiederzugewinnen, ist es für Deutschland von entscheidender Bedeutung, in die kontinuierliche Weiterentwicklung seiner technologischen Basis und den dazugehörigen Rohstoffzugängen zu investieren, Innovationen zu fördern (z.B. auch beim Recycling der kritischen Rohstoffe) und die hohe Qualifikation der Arbeitskräfte in neuen Technologiefeldern zu sichern. Die Förderung und der Erhalt dieses technologischen Vorsprungs durch die richtigen politischen Maßnahmen und Rahmenbedingungen sind entscheidend für die



wirtschaftliche Widerstandsfähigkeit Deutschlands und für die Sicherung seiner führenden Rolle beim Übergang zu einer nachhaltigeren, kohlenstoffneutralen Wirtschaft.

Im Hinblick auf die im EKM immer wieder aufgeworfene Dichotomie die Dekarbonisierung im Verkehr durch direkte Elektrifizierung oder durch strombasierte Kraftstoffe zu erreichen, hat die Analyse der mineralischen Rohstoffe gezeigt, dass der bzgl. Rohstoffknappheit und -verfügbarkeit auf BEV liegende Fokus irreführend ist. E-Fuels unterliegen mindestens vergleichbaren Versorgungsrisiken beim Aufbau ihrer Produktionsanlagen und in der Nutzung der Kraftstoffe.

Dagegen scheinen die geopolitischen Versorgungsrisiken mit grünem Wasserstoff bzw. H<sub>2</sub>-Derivaten gering, da die globalen Potenziale über viele Länder verteilt sind. Dies setzt aber wiederum voraus, dass der Aufbau der Anlagen und ihr Betrieb mit grünem Strom nicht an den knappen Rohstoffen scheitern und global weitläufig verteilt erfolgen.

Mit diesem Hintergrundpapier konnten noch nicht alle Forschungsfragen beantwortet werden, bzw. es wurden auch neue Fragen aufgeworfen. Dazu gehören die Entwicklung des GVRI für Biokraftstoffe, so dass Rohstoffe, grünes H<sub>2</sub> und Biokraftstoffe vollständig auf derselben Basis verglichen werden können. Ähnlich wie für Biokraftstoffe sollte auch die globale Rohstoffnachfrage für Fahrzeuge den Verfügbarkeiten gegenübergestellt werden, nicht nur die deutsche Nachfrage. Die ökonomische Folgenabschätzung konnte anhand der durchgeführten Sensitivitäten nur angerissen werden und bedarf einer tiefergehenden Untersuchung.

## 8 Referenzen

- ADAC (2024): *Synthetische Kraftstoffe: Sind E-fuels die Zukunft der Mobilität?* Verfügbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/synthetische-kraftstoffe/>
- AL Circle (2023): *A new battery recycling method that allows 100% aluminium recovery; Aluminium Extrusion, Profiles, Price, Scrap, Recycling, Section.* 2023. Verfügbar unter: [https://www.alcircle.com/news/new-battery-recycling-method-allows-100-aluminium-recovery-101632?srsId=AfmBOora8fQIkLvt8PSmb\\_Zh6eNd5XcvZG8i1\\_hIL7oOhl-MENjnJlly8,%20https://www.nature.com/articles/s44287-024-00127-5](https://www.alcircle.com/news/new-battery-recycling-method-allows-100-aluminium-recovery-101632?srsId=AfmBOora8fQIkLvt8PSmb_Zh6eNd5XcvZG8i1_hIL7oOhl-MENjnJlly8,%20https://www.nature.com/articles/s44287-024-00127-5) [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Anstett, P., Bube, S., Kaltschmitt, M., Schulthoff, M., Wietschel, M. & Haug, I. (2024): *Einsatz von alternativen Kraftstoffen.* Verfügbar unter: <https://m-five.de/publikationsartikel/einsatz-von-alternativen-kraftstoffen-regulatorik-potenziale-und-technologien> [Zugegriffen: 30. September 2024]
- Argus (2023): *Phosphate Rock Resources & Reserves.* Verfügbar unter: [https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2023/04/2023\\_Argus\\_IFA\\_Phosphate\\_Rock\\_Resources\\_and\\_Reserves\\_Final.pdf](https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2023/04/2023_Argus_IFA_Phosphate_Rock_Resources_and_Reserves_Final.pdf)
- Aurubis (2024): *Aurubis and Talga partner to develop first-of-its-kind process for battery-grade recycled graphite.* 2024. Verfügbar unter: <https://www.aurubis.com/en/media/press-releases/press-releases-2024/aurubis-and-talga-partner-to-develop-first-of-its-kind-process-for-battery-grade-recycled-graphite> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Automobilwoche (2021a): *Wie die Chipkrise das Geschäft mit Autos verändert.* *Automobilwoche.*
- Automobilwoche (2021b): *Audi verlängert Kurzarbeit.* *Automobilwoche.*
- Automobilwoche (2021c): *Chipkrise bremst BMW aus.* *Automobilwoche.*
- Automobilwoche (2021d): *Chipkrise bremst Transformation von Zulieferern aus.* *Automobilwoche.*
- Automobilwoche (2022a): *Wo die Kabelbäume herkommen.* *Automobilwoche.* Verfügbar unter: <https://www.automobilwoche.de/bc-online/wo-die-kabelbaume-herkommen>
- Automobilwoche (2022b): *Weiter Schichtanpassung und Kurzarbeit.* *Automobilwoche.* Verfügbar unter: <https://www.automobilwoche.de/bc-online/weiter-schichtanpassung-und-kurzarbeit>
- Automobilwoche (2023a): *Chipkrise ist noch nicht vorbei.* *Automobilwoche.*
- Automobilwoche (2023b): *Ende des Jahres ist das Thema ausgestanden.* *Automobilwoche.* Verfügbar unter: <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/vw-einkaufsvorstand-uber-teilemangel-ende-des-jahres-ist-das-thema-ausgestanden>
- Automobilwoche (2023c): *VW baut wegen Slowenien-Hochwasser 150.000 Autos weniger.* *Automobilwoche.* Verfügbar unter: <https://www.automobilwoche.de/agenturmeldungen/vw-baut-wegen-slowenien-hochwasser-150000-autos-weniger>

- Bernoth, K. & Fratzscher, M. (2022): Die EZB-Geldpolitik in der Zwickmühle. *Wirtschaftsdienst*. 102 (6), 423–425. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10273-022-3207-3
- Block, S., Emerson, J.W., Esty, D.C., de Sherbinin, A. & Wendling, Z.A. (2024): *2024 Environmental Performance Index*. 2024. Environmental Performance Index. Verfügbar unter: <https://epi.yale.edu/> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- BloombergNEF (2024): *BNEF Electric Vehicles Outlook*.
- Blyth, W. & Lefevre, N. (2004): *Energy security and climate change policy interactions: an assessment framework*. Verfügbar unter: <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/20647734> [Zugegriffen: 3. Februar 2025]
- BMWK (2023): *Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.html> [Zugegriffen: 7. Februar 2025]
- Bube, S., Voß, S., Bullerdiek, N., Neuling, U. & Kaltschmitt, M. (2025): Electricity-Based Methanol: Status and Prospects of Methanol as a Power-To-Liquid Product. In: Nils Bullerdiek, Ulf Neuling, & Martin Kaltschmitt (Hrsg.). *Powerfuels*. Green Energy and Technology. Cham, Springer Nature Switzerland. S. 667–711. Verfügbar unter: doi:10.1007/978-3-031-62411-7\_24 [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Bundesregierung (2023): *Bericht der Bundesregierung zur Wirkung der Preisbremsen*.S.21. Verfügbar unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/20230816-bericht-wirkung-preisbremsen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/20230816-bericht-wirkung-preisbremsen.pdf?__blob=publicationFile&v=8)
- Bundesregierung (2024): *Importstrategie Wasserstoff und Wasserstoffderivate*. 2024. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/importstrategie-wasserstoff.html> [Zugegriffen: 3. Februar 2025]
- cylib (2024): *cylib commissions battery recycling pilot plant in Aachen, Germany*. 2024. cylib commissions battery recycling pilot plant in Aachen, Germany. Verfügbar unter: <https://www.cylib.de/news/press-release-on-the-opening-of-the-battery-recycling-pilot-line-in-aachen-germany> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- cylib (2025): *Cylib | Next generation battery recycling*. 2025. Verfügbar unter: <https://www.cylib.de/> [Zugegriffen: 7. Februar 2025]
- DERA (2014): *DERA-Rohstoffliste 2014 - Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferisiken*. 2014. Verfügbar unter: [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.html](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.html) [Zugegriffen: 3. Februar 2025]
- DERA (2021): *DERA Rohstoffinformationen 49 (2021). DERA-Rohstoffliste 2021*. 2021. Verfügbar unter: [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-49.html?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-49.html?__blob=publicationFile) [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- DERA (2023): *DERA veröffentlicht Rohstoffliste 2023*. 2023. Verfügbar unter: [https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Aktuelles/2023/2023-07-26\\_dera\\_veroeffentlicht\\_rohstoffliste\\_2023.html?nn=2061574](https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Aktuelles/2023/2023-07-26_dera_veroeffentlicht_rohstoffliste_2023.html?nn=2061574) [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- DeStatis (2025): *Input-Output-Rechnung 2021*. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/statistischer-bericht-input->

- output-rechnung-2180200217005-rev-2024-august-2024.xlsx?\_\_blob=publication-File&v=2 [Zugegriffen: 30. Januar 2025]
- Deutscher Bundestag (2024): *15 Millionen E-Autos in Deutschland bis 2030 als Ziel*. 2024. Deutscher Bundestag. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurz-meldungen-997098> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Dieterich, V., Buttler, A., Hanel, A., Spliethoff, H. & Fendt, S. (2020): Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer–Tropsch-fuels: a review. *Energy & Environmental Science*. 13 (10), 3207–3252. Verfügbar unter: doi:10.1039/D0EE01187H
- DOE - Department of Energy (o. J.): *Fischer-Tropsch Synthesis*. netl.doe.gov. Verfügbar unter: <https://www.netl.doe.gov/research/carbon-management/energy-systems/gasification/gasifiedia/ftsynthesis> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- ECGA (2022): *GRAPHITE A strategic raw material, indispensable to implementing the EU, regional and national policies, achieving the climate targets and overcoming the current energy-related crisis*. Verfügbar unter: [https://www.ecga.net/sites/default/files/pdf/position\\_on\\_strategic\\_graphite.pdf](https://www.ecga.net/sites/default/files/pdf/position_on_strategic_graphite.pdf)
- Energy Institute (2024): *Statistical review of world energy*. 2024. Statistical review of world energy. Verfügbar unter: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Espinoza, L.A.T. (2020): *Understanding the methodology behind the EU list of critical raw materials*.
- EU (2023): VERORDNUNG (EU) 2023/1542 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG. 2023/1542. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542>
- Europäische Kommission (o. J.): *RMIS - Raw Materials Information System*. RMIS - Raw Materials Information System. Verfügbar unter: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- European Commission (2020): *Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: A foresight study*. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/58081> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- European Commission. (2023): *Study on the critical raw materials for the EU 2023: final report*. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- European Parliament (2023): *EU ban on the sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained*. Verfügbar unter: [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2022/11/story/20221019STO44572/20221019STO44572\\_en.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2022/11/story/20221019STO44572/20221019STO44572_en.pdf)
- FAO (o. J.): *FAO - Food and Agriculture Organisation of the UN*. Verfügbar unter: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Fehrenbach, H., Giegrich, J., Köppen, S., Bernhard, W., Pertagnol, J., Baur, F., Hünecke, K., Dehoust, G., Bulach, W. & Wiegmann, K. (2019): *BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor)*. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biorest-verfuegbarkeit-nutzungsoptionen-biogener> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]

- Fernández-González, C., Hierro, L.A. & Domínguez-Torres, H. (2024): The effect of bubbles on production: The state of the literature. *Journal of Economic Surveys*. joes.12635. Verfügbar unter: doi:10.1111/joes.12635
- Flach, L., Teti, F., Gourevich, I., Scheckenhofer, L. & Grandum, L. (2022): *Wie abhängig ist Deutschland von Rohstoffimporten? Eine Analyse für die Produktion von Schlüsseltechnologien | Publikationen | ifo Institut*. 2022. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2022/monographie-autorenschaft/wie-abhaengig-ist-deutschland-von-rohstoffimporten> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (o. J.): *Basisdaten Bioenergie*. Verfügbar unter: <https://mediathek.fnr.de/basisdaten-bioenergie.html> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Fraunhofer ISE (2025): *Dekarbonisierungs- und Elektrifizierungspotentiale in der deutschen Industrie*. 2025. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/ind-e.html> [Zugegriffen: 7. Februar 2025]
- Gemechu, E.D., Helbig, C., Sonnemann, G., Thorenz, A. & Tuma, A. (2016): Import-based Indicator for the Geopolitical Supply Risk of Raw Materials in Life Cycle Sustainability Assessments. *Journal of Industrial Ecology*. 20 (1), 154–165. Verfügbar unter: doi:10.1111/jiec.12279
- Gregoir, L. & van Acker, K. (2022): *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*.
- Gupta, E. (2008): Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*. 36 (3), 1195–1211. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.enpol.2007.11.011
- Haug, I., Berthold, D., Dahl, A., Gading, H., Krail, M., Meitz, C., Schade, W. & Waßmuth, V. (2024): *Instrumente für den Pkw-Bestand*. Verfügbar unter: <https://m-five.de/publikationsartikel/instrumente-fuer-den-pkw-bestand> [Zugegriffen: 15. August 2024]
- IDTechEx (2025): *Iron and Phosphate to Unlock the Mass-Market EV at Last*. 2025. Verfügbar unter: <https://www.idtechex.com/en/research-article/iron-and-phosphate-to-unlock-the-mass-market-ev-at-last/32411> [Zugegriffen: 7. Februar 2025]
- IEA - International Energy Agency (2020): *Iron and Steel Technology Roadmap - Towards more sustainable steelmaking*. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- IEA - International Energy Agency (2021): *Key World Energy Statistics*. 2021. IEA. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- IEA - International Energy Agency (2023): *World Energy Outlook 2023 – Analysis*. 2023. IEA. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- ITUC (2024): *Global Rights Index - International Trade Union Confederation*. 2024. Verfügbar unter: <https://www.ituc-csi.org/global-rights-index> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Kowalski, P. & Legendre, C. (2023): *Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions*. 269. Verfügbar unter: doi:10.1787/c6bb598b-en [Zugegriffen: 6. Februar 2025]



- Kyburz (2025): *Battery recycling*. 2025. Verfügbar unter: <https://kyburz-switzerland.ch/en/battery-recycling> [Zugegriffen: 7. Februar 2025]
- Li, B., Chen, Y., Wu, H. & Mao, X. (2024): *Price Bubbles in Resource Commodities: A Comprehensive Analysis of Supply, Speculation, and Macroeconomics*. Verfügbar unter: doi:10.2139/ssrn.4938681 [Zugegriffen: 9. Februar 2025]
- Li-Cycle (2025): *Li-Cycle: Lithium Battery Recycling Efficiency and Recovery Rates*. 2025. Verfügbar unter: <https://li-cycle.com/blog/li-cycle-lithium-battery-recycling-efficiency-and-recovery-rates/> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Maisel, F., Neef, C., Marscheider-Weidemann, F. & Nissen, N.F. (2023): A forecast on future raw material demand and recycling potential of lithium-ion batteries in electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*. 192106920. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.resconrec.2023.106920
- Marscheider-Weidemann, F. (2021): *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021: Auftragsstudie*. DERA Rohstoffinformationen 50. Datenstand: Mai 2021; Aktualisierung im August 2021. Berlin, DERA.
- Matošec, M. (2024): Critical raw materials in the hydrogen sector. *Hydrogen Tech World.com*. Verfügbar unter: <https://hydrogentechworld.com/critical-raw-materials-in-the-hydrogen-sector> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- McGovan, J. (2024): *Need e-fuels to clean up existing combustion car fleet - German auto industry*. 2024. Clean Energy Wire. Verfügbar unter: <https://www.cleanenergywire.org/news/need-e-fuels-clean-existing-combustion-car-fleet-german-auto-industry> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Miller, S. (2024): *Warum E-Fuels die Klimaprobleme des Verkehrs nicht lösen | Greenpeace*. 15 Oktober 2024. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.de/klimaschutz/mobilitaet/synthetische-kraftstoffe-pkw-teuer-ineffizient> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Mining.com (2019): *American Manganese to help US government recover lithium-ion battery materials*. 2019. Verfügbar unter: <https://www.mining.com/american-manganese-help-us-government-recover-lithium-ion-battery-materials/> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Natarajan, S. & Aravindan, V. (2020): An Urgent Call to Spent LIB Recycling: Whys and Wherefores for Graphite Recovery. *Advanced Energy Materials*. 10 (37), 2002238. Verfügbar unter: doi:10.1002/aenm.202002238
- PIK (2023): *E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen*. Verfügbar unter: [https://www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels\\_Stand-und-Projektionen\\_PIK-Potsdam.pdf](https://www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels_Stand-und-Projektionen_PIK-Potsdam.pdf)
- Rafati, M., Wang, L., Dayton, D.C., Schimmel, K., Kabadi, V. & Shahbazi, A. (2017): Techno-economic analysis of production of Fischer-Tropsch liquids via biomass gasification: The effects of Fischer-Tropsch catalysts and natural gas co-feeding. *Energy Conversion and Management*. 133153–166. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.enconman.2016.11.051
- Ravi, S.S., Brace, C., Larkin, C., Aziz, M., Leach, F. & Turner, J.W. (2023): On the pursuit of emissions-free clean mobility – Electric vehicles versus e-fuels. *Science of The Total Environment*. 875162688. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.162688
- Riemer, M., Zheng, L., Eckstein, J., Wietschel, M., Pieton, N. & Kunze, R. (2022): *Future hydrogen demand: A cross-sectoral, global meta-analysis*. Verfügbar unter: doi:10.24406/publica-339 [Zugegriffen: 7. Februar 2025]

- Rueter, G. (2022): *Batteries versus e-fuels: Which is better? – DW – 05/25/2022*. 2022. dw.com. Verfügbar unter: <https://www.dw.com/en/batteries-versus-e-fuels-which-is-better/a-61921402> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Schade, W., Anstett, P., Berthold, D., Emmerich, J., Emmerich, C., Haug, I., Khanna, A., Krail, M., Oehme, R., Streif, M., Walther, C. & Waßmuth, V. (2023): *Gestaltung des MKS-Referenzszenarios für die Periode 2022 bis 2050 (REF-2050)*. Verfügbar unter: <https://m-five.de/publikationsartikel/gestaltung-des-mks-referenzszenarios-fuer-die-periode-2022-bis-2050-ref-2050> [Zugegriffen: 31. März 2024]
- Schade, W., Berthold, D., Mader, S., Scherf, C., Stich, M. & Wagner, U. (2020a): *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch die Transformation zu nachhaltiger Mobilität*. S.205. Verfügbar unter: [https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five\\_AP5\\_Gesamtwirtschaftliche\\_Analyse\\_Nachhaltige\\_Mobilitaet\\_200131\\_FINAL.pdf](https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five_AP5_Gesamtwirtschaftliche_Analyse_Nachhaltige_Mobilitaet_200131_FINAL.pdf) [Zugegriffen: 30. November 2024]
- Schade, W., Stich, M., Berthold, D. & Scherf, C. (2020b): *Überlegungen zu Szenarien der verkehrlichen und ökonomischen Folgen der Corona-Pandemie in Deutschland*. S.34. Verfügbar unter: [https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five\\_PF\\_Folgen\\_Corona\\_Pandemie\\_200430\\_FINAL-1.pdf](https://m-five.de/wp-content/uploads/M-Five_PF_Folgen_Corona_Pandemie_200430_FINAL-1.pdf) [Zugegriffen: 31. Mai 2020]
- Schröder, J. & Naumann, K. (2022): *Monitoring erneuerbarer Energien im Verkehr*. S.352 Seiten, 9,5 MB. Verfügbar unter: doi:10.48480/19NZ-0322 [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Tercero Espinoza, L., Rostek, L., Loibl, A. & Stijepic, D. (2020): *The promise and limits of Urban Mining*. Verfügbar unter: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Fraunhofer\\_ISI\\_Urban\\_Mining.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Fraunhofer_ISI_Urban_Mining.pdf)
- Thielmann, A., Sauer, A. & Wietschel, M. (2015): *Produkt-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030*.
- Thomas, G.P. (2013): *What Materials are Used in Catalytic Converters?* 2013. AZoM. Verfügbar unter: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8094> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Transport & Environment (2022): *Only enough e-fuels to power 2% of cars on the road in 2035 – analysis*. 2022. Transport & Environment. Verfügbar unter: <https://www.transportenvironment.org/articles/only-enough-e-fuels-to-power-2-of-cars-on-the-road-in-2035-analysis> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Transport and Environment (2021): *E-fuels: why e-fuels in cars make no economic or environmental sense*. Verfügbar unter: [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/legacy/2021\\_Efuels\\_in\\_cars\\_briefing.pdf.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/legacy/2021_Efuels_in_cars_briefing.pdf.pdf)
- UBA (2023): *Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib | Umweltbundesamt*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertungsentsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R. & Luderer, G. (2021): Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*. 11 (5), 384–393. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41558-021-01032-7
- Ullrich, K. (2023): Schocks, Abhängigkeiten und Trends – Überlegungen zu den internationalen Produktionsverflechtungen. *KfW Research*. (428). Verfügbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF->



Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2023/Fokus-Nr.-428-April-2023-Wertschoepfungsketten.pdf

- USGS (2023): *Mineral commodity summaries 2023 | U.S. Geological Survey*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.usgs.gov/publications/mineral-commodity-summaries-2023> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Vieceli, N., Vonderstein, C., Swiontek, T., Stopić, S., Dertmann, C., Sojka, R., Reinhardt, N., Ekberg, C., Friedrich, B. & Petranikova, M. (2023): Recycling of Li-Ion Batteries from Industrial Processing: Upscaled Hydrometallurgical Treatment and Recovery of High Purity Manganese by Solvent Extraction. *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 41 (2), 205–220. Verfügbar unter: doi:10.1080/07366299.2023.2165405
- Viehmann, S. (2023): *Besser als Elektroautos? Das müssen Sie zu E-Fuels wissen*. 2023. FOCUS online. Verfügbar unter: [https://www.focus.de/auto/news/klima-sprit-jetzt-zugelassen-besser-als-elektro-das-muessen-sie-zu-e-fuels-wissen\\_id\\_187136064.html](https://www.focus.de/auto/news/klima-sprit-jetzt-zugelassen-besser-als-elektro-das-muessen-sie-zu-e-fuels-wissen_id_187136064.html) [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Wietschel, M. & Leidenberger, J. (2023): *E-Fuels nicht sinnvoll für großflächigen Einsatz bei Pkw und Lkw*. 2023. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Verfügbar unter: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-05-efuels-nicht-sinnvoll-fuer-pkw-und-lkw.html> [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- Wietschel, M., Riemer, M., Thomann, J., Breitschopf, B., Fragoso García, J., Wachsmuth, J., Weißenburger, B., Müller, V.P., Kantel, A., Karkossa, L., Marscheider-Weidemann, F., Pieton, N., Lenivova, V., Drechsler, B., Ragwitz, M., Ranzmeyer, O., Voglstätter, C., Mender, F., Holst, M. & Hank, C. (2024): *HYPAT Abschlussbericht*. Verfügbar unter: doi:10.24406/publica-4010 [Zugegriffen: 6. Februar 2025]
- World Bank Group (2024): *Worldwide Governance Indicators*. 2024. World Bank. Verfügbar unter: <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators> [Zugegriffen: 5. Februar 2025]
- Wu, L. (2024): Efficient metal recovery from lithium-ion batteries using plastics. *Nature Reviews Electrical Engineering*. 1 (12), 767–767. Verfügbar unter: doi:10.1038/s44287-024-00127-5
- Yugo, M. & Soler, A. (2019): *A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030-2050) (literature review)*. Verfügbar unter: <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/E-fuels-article.pdf>

## 9 Anhang

### 9.1 Daten zu PKW-Flotte und Batteriechemie

Tabelle 9.1: Angenommene Lebensdauern der ersten und zweiten Nutzungsphase der Fahrzeugtypen in der deutschen Fahrzeugflotte bzw. im stationären Energiespeicher

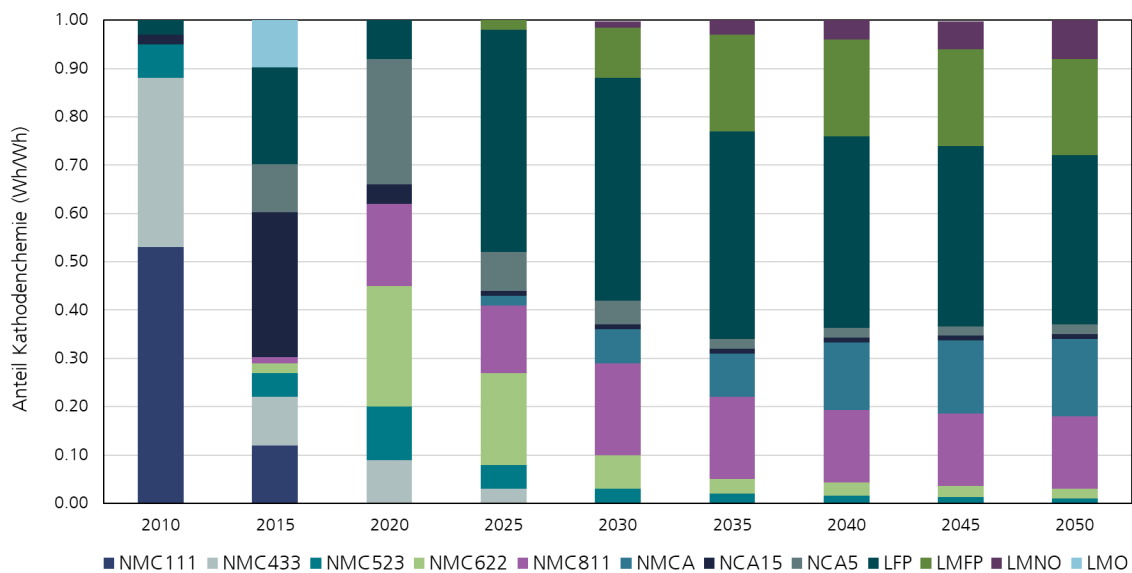
Typ	Antrieb	Segment	Lebensdauer in dt. Fahrzeugflotte		Lebensdauer Second life (wenn eingesetzt)	
			$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
PKW	BEV	Mini	5.6	3.4	10	3
PKW	BEV	Small	5.4	3.3	10	3
PKW	BEV	Compact	5.5	3.1	10	3
PKW	BEV	Large	5.6	3.3	10	3
PKW	BEV	Executive	5.6	3.2	10	3
PKW	BEV	Offroad	5.0	2.8	10	3
PKW	BEV	MPV	5.4	3.1	10	3
PKW	PHEV	Mini	10.4	7.1	10	3
PKW	PHEV	Small	9.8	6.8	10	3
PKW	PHEV	Compact	9.2	6.4	10	3
PKW	PHEV	Large	8.8	6.4	10	3
PKW	PHEV	Executive	8.6	6.5	10	3
PKW	PHEV	Offroad	8.9	6.3	10	3
PKW	PHEV	MPV	9.5	6.8	10	3
PKW	FCEV	Compact	5.8	2.8	10	3
PKW	FCEV	Large	5.6	2.6	10	3
PKW	FCEV	Offroad	4.4	2.1	10	3
Lnf	BEV	KEP	7.5	1.2	10	3
Lnf	BEV	Gewerblich	7.5	1.2	10	3
Lnf	BEV	Flotte	7.5	1.2	10	3
Lnf	BEV	Privat	7.5	1.2	10	3
Lnf	PHEV	KEP	9.1	3.6	10	3
Lnf	PHEV	Gewerblich	9.1	3.6	10	3
Lnf	PHEV	Flotte	9.1	3.6	10	3
Lnf	PHEV	Privat	9.1	3.6	10	3
Snf	BEV	Below7	8.7	1.9	10	3
Snf	BEV	Below12	8.9	1.6	10	3
Snf	BEV	Above12	9.4	1.7	10	3
Snf	BEV	Above20	7.9	0.9	10	3
Snf	BEV	SZM	5.9	0.2	10	3
Snf	H2	Below7	8.3	1.2	10	3
Snf	H2	Below12	8.9	1.3	10	3
Snf	H2	Above12	9.0	1.5	10	3
Snf	H2	Above20	7.7	0.9	10	3
Snf	H2	SZM	5.8	0.2	10	3
Bus	BEV	City	12.7	1.1	10	3
Bus	BEV	Coach	12.4	1.1	10	3
Bus	FCEV	City	13.1	1.4	10	3
Bus	FCEV	Coach	12.4	1.0	10	3

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Annahmen

Tabelle 9.2: Angenommene Rückgewinnungsquoten der betrachteten Rohstoffe

Rohstoff	Rückgewinnungsquote Recycling
Lithium	0.80
Kobalt	0.95
Nickel	0.95
Mangan	0.80
Eisen	0.80
Phosphor	0.80
Aluminium	0.80
Natürliches Graphit	0.80

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Annahmen



Quelle: Thielmann, Sauer, und Wietschel 2015; IDTechEx 2025; Maisel u. a. 2023; BloombergNEF 2024

Abbildung 9.1: Erwartete Kathodenchemieverteilung bis 2050

## 9.2 Daten zur Ermittlung des GVRI

Tabelle 9.3: Rohstoffe, Wichtigste Exportländer und GVRI („Importbasierter Ansatz“)

Rohstoff	HS-Codes	Beschreibung	Anteil an den Einführen	Wichtigste Exportländer und ihre Anteile	Wichtigste Exportländer und ihr politischer Risikoindex	GVRI	Maximaler GVRI	Für die Analyse verwendete GVRI
Aluminium	WA260600	Aluminiumerze und ihre Konzentrate	36%	Guinea (96%), China (2%), Türkei (1%), Guyana (0.7%)	Guinea (3.13), China (2.54), Türkei (2.75), Guyana (2.15)	2.91	2.91	2.91
	WA281810	Künstlicher Korund, auch chemisch nicht einheitlich	2.1%	China (58%), Ungarn (8%), Österreich (7%), Frankreich (6%), Brasilien (3%)	China (2.54), Ungarn (1.79), Österreich (1.28), Frankreich (1.40), Brasilien (2.23)	0.90		
	WA262040	Aschen und Rückstände, überwiegend Aluminium enthaltend	1.8%	Frankreich (20%), Polen (15%), Italien (10%), Schweiz (9%), Niederlande (9%)	Frankreich (1.40), Polen (1.65), Italien (1.52), Schweiz (1.27), Niederlande (1.27)	0.15		
	WA760200	Abfälle und Schrott, aus Aluminium	14.1%	Niederlande (22%), Polen (12%), Frankreich (7%), Österreich (7%), Vereinigtes Königreich (6%)	Niederlande (1.27), Polen (1.65), Frankreich (1.40), Österreich (1.28), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.13		
	WA760120	Aluminiumlegierungen in Rohform	23.3%	Niederlande (14%), Norwegen (12%), Vereinigtes Königreich (11%), Vereinigte Arabische Emirate (9%), Frankreich (8%)	Niederlande (1.27), Norwegen (1.20), Vereinigtes Königreich (1.42), Vereinigte Arabische Emirate (1.78), Frankreich (1.40)	0.11		
	WA760110	Nichtlegiertes Aluminium in Rohform	11.1%	Niederlande (29%), Russische Föderation (18%), Südafrika (10%), Vereinigte Arabische Emirate (9%), Island (8%)	Niederlande (1.27), Russische Föderation (3.30), Südafrika (2.05), Vereinigte Arabische Emirate (1.78), Island (1.25)	0.27		
	WA283322	Aluminiumsulfate	0.3%	Niederlande (41%), Ungarn (30%), Belgien (11%), Schweden (7%), Tschechien (4%)	Niederlande (1.27), Ungarn (1.79), Belgien (1.40), Schweden (1.21), Tschechien (1.41)	0.40		
	WA282732	Aluminiumchlorid	0.3%	Indien (35%), Frankreich (22%), Niederlande (22%), Österreich (8%), USA (5%)	Indien (2.36), Frankreich (1.40), Niederlande (1.27), Österreich (1.28), USA (1.55)	0.43		
	WA281830	Aluminiumhydroxid	2.3%	Spanien (42%), Niederlande (28%), Bosnien und Herzegowina (12%), Slowenien (6%), Frankreich (3%)	Spanien (1.50), Niederlande (1.27), Bosnien und Herzegowina (2.31), Slowenien (1.50), Frankreich (1.40)	0.41		
	WA281820	Aluminiumoxid (ausg.künstlicher Korund)	9%	Niederlande (58%), Australien (15%), Spanien (13%), Slowenien (4%), Frankreich (3%)	Niederlande (1.27), Australien (1.33), Spanien (1.50), Slowenien (1.50), Frankreich (1.40)	0.48		
Barium	WA251110	Natürliches Bariumsulfat (Baryt)	90.3%	Bulgarien (42%), Niederlande (18%), China (17%), Spanien (9%), Vereinigtes Königreich (1%)	Bulgarien (1.89), Niederlande (1.27), China (2.54), Spanien (1.5), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.50	1.16	0.74
	WA283327	Bariumsulfate	9.5%	Italien (65%), Niederlande (17%), China (15%), Japan (2%), Belgien (0.3%)	Italien (1.52), Niederlande (1.27), China (2.54), Japan (1.32), Belgien (1.40)	0.74		
	WA251120	Natürliches Bariumcarbonat (Wittherit), auch gebrannt (ausg. Bariumoxid)	0.1%	Niederlande (95%), China (4.6%)	Niederlande (1.27), China (2.54)	1.16		

<b>Blei</b>	WA260700	Bleierze und ihre Konzentrate	24.7%	Schweden (25%), Marokko (17%), Irland (17%), USA (14%), Spanien (8%)	Schweden (1.20), Marokko (2.18), Irland (1.25), USA (1.55), Spanien (1.50)	0.24	1.28	1.28
	WA262029	Aschen und Rückstände, überwiegend Blei enthaltend (ausg. Schlämme von bleihaltigem Benzin und Schlämme von bleihaltigen Antiklopfmitteln)	14.2%	Frankreich (95%), Belgien (3%), Serbien (1%), Schweden (0.003%)	Frankreich (1.40), Belgien (1.40), Serbien (2.12), Schweden (1.21)	1.28		
	WA282410	Bleimonoxid (Lythargyrum, Massicot)	0.03%	Südafrika (46%), Korea (31%), Polen (13%), Belgien (4%), USA (3%)	Südafrika (2.05), Südkorea (1.64), Polen (1.65), Belgien (1.40), USA (1.55)	0.63		
	WA282490	Bleioxide (ausg. Bleimonoxid [Lythargyrum, Massicot])	0.6%	Italien (57%), Spanien (30%), Polen (11%), Japan (2%)	Italien (1.52), Spanien (1.5), Polen (1.65), Japan (1.32)	0.65		
	WA780110	Raffiniertes Blei, in Rohform	44.1%	Belgien (42%), Vereinigtes Königreich (17%), Niederlande (10%), Frankreich (9%), Spanien (8%)	Belgien (1.40), Vereinigtes Königreich (1.42), Niederlande (1.27), Frankreich (1.40), Spanien (1.50)	0.33		
	WA780199	Blei in Rohform (ausg. Raffiniertes Blei sowie Blei, Antimon als gewichtsmäßig vorherrschendes anderes Element enthaltend)	11.2%	Tschechien (26%), Belgien (23%), Schweden (13%), Frankreich (13%), Vereinigtes Königreich (10%)	Tschechien (1.41), Belgien (1.40), Schweden (1.20), Frankreich (1.40), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.24		
	WA780200	Abfälle und Schrott, aus Blei (ausg. Aschen und Rückstände der Bleiherstellung [Pos. 2620], Rohblöcke [Ingots] und ähnl. Rohformen)	5.2%	Niederlande (45%), Schweiz (19%), Österreich (7%), Norwegen (6%), Tschechien (3%)	Niederlande (1.27), Schweiz (1.27), Österreich (1.28), Norwegen (1.20), Tschechien (1.41)	0.33		
<b>Bor</b>	WA281000	Unbearbeitet: Boroxide, Borsäuren	20.7%	USA (46%), Türkei (39%), Russische Föderation (5%), Niederlande (2%), Peru (2%)	USA (1.55), Türkei (2.75), Russische Föderation (3.30), Niederlande (1.27), Peru (2.30)	0.76	2.57	2.57
	WA284019	Unbearbeitet: Dinatriumtetraborat raffinierter Borax	75.3%	Türkei (97%), USA (3%)	Türkei (2.75), USA (1.55)	2.57		
	WA284030	Unbearbeitet: Peroxoborate (Perborate)	0.04%	Österreich (97%), Frankreich (1%), Belgien (1%), USA (0.004%)	Österreich (1.28), Frankreich (1.40), Belgien (1.40), USA (1.55)	1.21		
	WA280450	Unbearbeitet: Bor, Tellur	1.4%	Kanada (46%), China (42%), Philippinen (12%)	Kanada (1.35), China (2.54), Philippinen (2.52)	0.76		
	WA284020	Unbearbeitet: Borate, a.n.g.	1.8%	Frankreich (36%), Italien (20%), Vereinigte Staaten von Amerika (11%), China (10%), Belgien (5%)	Frankreich (1.40), Italien (1.52), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), China (2.54), Belgien (1.40)	0.30		
	WA284011	Unbearbeitet: Dinatriumtetraborat, wasserfrei	0.8%	Türkei (61%), USA (35%), Niederlande (4%)	Türkei (2.75), USA (1.55), Niederlande (1.27)	1.23		
<b>Chrom</b>	WA261000	Chromerze und ihre Konzentrate	43.5%	Südafrika (70%), Türkei (24%), Niederlande (5%), Italien (0.4%), Österreich (0.3%)	Südafrika (2.05), Türkei (2.75), Niederlande (1.27), Italien (1.52), Österreich (1.28)	1.17	1.18	1.17

	WA281910	Chromtrioxid	1.9%	Kasachstan (64%), Türkei (11%), Südafrika (9%), Italien (8%), Russische Föderation (3%)	Kasachstan (2.44), Türkei (2.75), Südafrika (2.05), Italien (1.52), Russische Föderation (3.30)	1.06		
	WA281990	Chromoxide und Chromhydroxide, a.n.g.	1.1%	Kasachstan (22%), USA (16%), Indien (16%), Niederlande (14%), China (13%)	Kasachstan (2.44), USA (1.55), Indien (2.36), Niederlande (1.27), China (2.54)	0.33		
	WA720241	Ferrochrom, Kohlenstoff >4GHT	37.1%	Kasachstan (38%), Finnland (17%), Niederlande (13%), Türkei (7%), Russische Föderation (6%)	Kasachstan (2.44), Finnland (1.22), Niederlande (1.27), Türkei (2.75), Russische Föderation (3.30)	0.44		
	WA720249	Ferrochrom, Kohlenstoff <= 4GHT	7.7%	Russische Föderation (30%), Kasachstan (29%), Niederlande (18%), Türkei (7%), China (6%)	Russische Föderation (3.30), Kasachstan (2.44), Niederlande (1.27), Türkei (2.75), China (2.54)	0.57		
	WA720250	Ferrosiliciumchrom	4.8%	Polen (83%), Indien (12%), Simbabwe (2%), China (2%), Niederlande (1%)	Polen (1.65), Indien (2.36), Simbabwe (3.50), China (2.54), Niederlande (1.27)	1.18		
	WA811222	Abfälle und Schrott, aus Chrom (ausg. Aschen und Rückstände, Chrom enthaltend sowie Chromlegierungen mit einem Nickelgehalt von > 10 GHT)	2.0%	Tschechien (33%), Slowakei (28%), Polen (16%), Rumänien (7%), Ungarn (7%)	Tschechien (1.41), Slowakei (1.56), Polen (1.65), Rumänien (1.76), Ungarn (1.79)	0.34		
	WA811221	Chrom in Rohform, Pulver aus Chrom	1.9%	Russische Föderation (42%), China (19%), Frankreich (15%), Vereinigtes Königreich (9%), Schweden (7%)	Russische Föderation (3.30), China (2.54), Frankreich (1.40), Vereinigtes Königreich (1.42), Schweden (1.21)	0.71		
<b>Eisen</b>	WA260112	Eisenerze und ihre Konzentrate, agglomeriert	25.3%	Kanada (38%), Schweden (23%), Russische Föderation (14%), USA (7%), Brasilien (5%)	Kanada (1.35), Schweden (1.21), Russische Föderation (3.30), USA (1.55), Brasilien (2.23)	0.35		
	WA260111	Eisenerze und ihre Konzentrate, unagglomeriert	65.4%	Südafrika (37%), Kanada (25%), Brasilien (24%), Schweden (8%), Liberia (4%)	Südafrika (2.05), Kanada (2.54), Brasilien (2.23), Schweden (1.21), Liberia (2.83)	0.50		
	WA260120	Schwefelkiesabbrände	0.01%	Norwegen (100%)	Norwegen (1.20)	1.20		
	WA261800	Granulierte Schlacke (Schlackensand) aus der Eisen- und Stahlherstellung	1.2%	Österreich (91%), Niederlande (4%), Luxemburg (2%), Schweiz (1%), Belgien (0.005%)	Österreich (1.28), Niederlande (1.27), Luxemburg (1.22), Schweiz (1.27), Belgien (1.40)	1.07	1.27	0.50
	WA261900	Schlacken, Zunder und andere Abfälle aus der Eisen- und Stahlherstellung (ausg. Granulierte Schlacke)	0.8%	Frankreich (28%), Schweiz (17%), Österreich (16%), Belgien (16%), Polen (5%)	Frankreich (1.40), Schweiz (1.27), Österreich (1.28), Belgien (1.40), Polen (1.65)	0.23		
	WA282110	Eisenoxyde und hydroxide	0.1%	China (39%), Brasilien (11%), Niederlande (9%), Finnland (9%), Italien (6%)	China (2.54), Brasilien (2.23), Niederlande (1.27), Finnland (1.22), Italien (1.52)	0.45		
	WA720110	Roheisen, nichtlegiert, Phosphor <=0,5GHT	1.1%	Brasilien (34%), Ukraine (12%), Schweden (8%), Russische Föderation (8%), Norwegen (7%)	Brasilien (2.23), Ukraine (2.79), Schweden (1.21), Russische Föderation (3.30), Norwegen (1.20)	0.35		



	WA720120	Roheisen, nichtlegiert, Phosphor >0,5GHT	fast 0%	Schweiz (100%)	Schweiz (1.27)	1.27		
	WA720150	Roheisen, legiert sowie Spiegeleisen	0.04%	Frankreich (63%), Vereinigtes Königreich (23%), Österreich (13%), Brasilien (1%), Niederlande (1%)	Frankreich (1.40), Vereinigtes Königreich (1.43), Österreich (1.28), Brasilien (2.23), Niederlande (1.27)	0.64		
	WA720299	Ferrolegerungen, a.n.g.	0.1%	China (30%), Niederlande (19%), Slowenien (17%), Frankreich (10%), Spanien (6%)	China (2.54), Niederlande (1.27), Slowenien (1.50), Frankreich (1.40), Spanien (1.50)	0.34		
	WA720310	Eisenerzeugnisse durch Direktreduktion a. Eisenerz	2.2%	Trinidad & Tobago (21%), Kanada (19%), Russische Föderation (17%), Libyen (12%), Algerien (8%)	Trinidad & Tobago (2), Kanada (1.35), Russische Föderation (3.30), Libyen (8.25), Algerien (3.01)	0.39		
	WA720390	Eisenschwamm, Eisen >=99,94GHT	fast 0%	Niederlande (70%), Frankreich (11%), China (5%), Polen (5%), Belgien (3%)	Niederlande (1.27), Frankreich (1.40), China (2.54), Polen (1.65), Belgien (1.40)	0.66		
	WA720410	Abfälle und Schrott, aus Gusseisen (ausg. Radioaktiv)	0.7%	Polen (30%), Österreich (16%), Niederlande (12%), Tschechien (10%), Frankreich (10%)	Polen (1.65), Österreich (1.28), Niederlande (1.27), Tschechien (1.41), Frankreich (1.40)	0.24		
	WA720421	Abfälle und Schrott, aus legiertem Stahl (ausg. Radioaktiv sowie aus Batterien und Akkumulatoren)	0.7%	Niederlande (20%), Österreich (16%), Tschechien (11%), Schweiz (9%), Belgien (6%)	Niederlande (1.27), Österreich (1.28), Tschechien (1.41), Schweiz (1.27), Belgien (1.40)	0.13		
	WA720441	Drehspäne, Frässpäne, Hobelspane, Schleifspäne, Sägespäne, Feilspäne und Stanzabfälle oder Schneidabfälle, aus Eisen oder Stahl, auch paketi	2.2%	Niederlande (26%), Tschechien (22%), Polen (19%), Frankreich (14%), Österreich (9%)	Niederlande (1.27), Tschechien (1.41), Polen (1.65), Frankreich (1.40), Österreich (1.28)	0.25		
	WA720430	Abfälle und Schrott, aus verzinnem Eisen oder Stahl (ausg. radioaktiv sowie aus Batterien und Akkumulatoren)	0.03%	Polen (37%), Niederlande (30%), Schweiz (15%), Österreich (10%), Dänemark (7%)	Polen (1.65), Niederlande (1.27), Schweiz (1.27), Österreich (1.28), Dänemark (1.18)	0.39		
	WA720510	Körner aus Eisen oder Stahl	0.1%	Frankreich (78%), Türkei (6%), Slowenien (4%), Italien (2%), Russische Föderation (1%)	Frankreich (1.40), Türkei (2.75), Slowenien (1.50), Italien (1.52), Russische Föderation (3.30)	0.86		
	WA720521	Pulver aus legiertem Stahl (ausg. Pulver aus Ferrolegerungen und radioaktive Eisenpulver [Isotope])	0.05%	Türkei (37%), Kanada (22%), Schweden (18%), Südafrika (6%), USA (4%),	Türkei (2.75), Kanada (1.35), Schweden (1.21), Südafrika (2.05), USA (1.55),	0.50		
	WA720610	Rohblöcke (Ingots) aus Eisen oder nicht leg. Stahl	0.03%	Italien (46%), Österreich (26%), Tschechien (19%), Frankreich (5%), Polen (2%)	Italien (1.52), Österreich (1.28), Tschechien (1.41), Frankreich (1.40), Polen (1.65)	0.46		
	WA720690	Eisen oder nichtlegierter Stahl in Rohluppen u.a.	0.003 %	Polen (41%), Italien (23%), China (18%), Spanien (8%), Belgien (3%)	Polen (1.65), Italien (1.52), China (2.54), Spanien (1.50), Belgien (1.40)	0.45		
<b>Fluor</b>	WA252921	Flussspat mit Calciumfluoridgehalt <=97GHT	23.7%	China (51%), Südafrika (27%), Pakistan (9%), Mongolei (4%), Türkei (4%)	China (2.54), Südafrika (2.05), Pakistan (3.47), Mongolei (2.16), Türkei (2.75)	0.84	0.84	0.84



	WA252922	Flussspat mit Calciumfluoridgehalt >97GHT	72.8%	Südafrika (40%), Spanien (18%), Vietnam (17%), Kenia (10%), Kanada (5%)	Südafrika (2.05), Spanien (1.50), Vietnam (2.47), Kenia (2.51), Kanada (1.35)	0.48		
	WA281111	Fluorwasserstoff (Flusssäure)	3.5%	Singapur (37%), Spanien (32%), Belgien (17%), Japan (7%), Frankreich (4%)	Singapur (1.28), Spanien (1.50), Belgien (1.40), Japan (1.32), Frankreich (1.40)	0.38		
<b>Gallium, Germanium, Indium</b>	WA811292	Hafnium, Niob, Rhenium, Gallium, Indium u.a.	100%	Brasilien (59%), China (13%), Niederlande (7%), Slowakei (5%), Russische Föderation (4%)	Brasilien (2.23), China (2.54), Niederlande (1.27), Slowakei (1.56), Russische Föderation (3.30)	0.85	0.85	0.85
<b>Gold</b>	WA284330	Goldverbindungen, anorganisch oder organisch, auch chemisch nicht einheitlich	0.4%	Schweiz (38%), Vereinigtes Königreich (38%), Tschechien (13%), Vereinigte Staaten von Amerika (13%)	Schweiz (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42), Tschechien (1.41), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.42		
	WA710812	Gold (einschl. platinisiertes Gold), in Rohform, zu nicht monetären Zwecken (ausg. als Pulver)	68.8%	Schweiz (56%), Russische Föderation (7%), USA (6%), Vereinigtes Königreich (4%), Schweden (3%)	Schweiz (1.27), Russische Föderation (3.30), USA (1.55), Vereinigtes Königreich (1.42), Schweden (1.21)	0.48	0.77	0.77
	WA710813	Gold (einschl. platinisiertes Gold), als Halbzeug, zu nicht monetären Zwecken	30.7%	Schweiz (67%), Brasilien (2%), USA (1%), Kroatien (1%), Singapur (1%)	Schweiz (1.27), Brasilien (2.23), USA (1.55), Kroatien (1.60), Singapur (1.28)	0.77		
<b>Graphite</b>	WA250410	Unbearbeitet: Natürlicher Grafit, in Pulverform oder in Flocken	50.9%	China (35%), Mosambik (22%), Madagaskar (20%), Brasilien (12%), Norwegen (3%)	China (2.54), Mosambik (2.71), Madagaskar (2.87), Brasilien (2.23), Norwegen (1.20)	0.59		
	WA250490	Unbearbeitet: Natürlicher Grafit, a.n.g.	0.4%	China (66%), Vereinigtes Königreich (9%), Russische Föderation (5%), Norwegen (5%), Frankreich (5%)	China (2.54), Vereinigtes Königreich (1.42), Russische Föderation (3.30), Norwegen (1.20), Frankreich (1.40)	1.15	1.15	0.59
	WA380120	Unbearbeitet: Grafit, kolloid, und halbkolloider Grafit	2.2%	Niederlande (94%), Tschechien (2%), Japan (1%), Schweiz (1%), Vereinigtes Königreich (1%)	Niederlande (1.27), Tschechien (1.41), Japan (1.32), Schweiz (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42)	1.12		
	WA380110	Unbearbeitet: Künstlicher Grafit	46.5%	China (34%), Russische Föderation (18%), Frankreich (10%), Japan (6%), Indien (6%)	China (2.54), Russische Föderation (3.30), Frankreich (1.40), Japan (1.32), Indien (2.36)	0.43		
<b>Iridium and Ruthenium<sup>1</sup></b>	WA711041	Iridium, Osmium, Ruthenium in Rohform, Pulver	88.0%	Südafrika (39%), Vereinigte Staaten von Amerika (39%), Italien (11%), Vereinigtes Königreich (6%), Belgien (3%), Hongkong (3%)	Südafrika (2.05), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Italien (1.52), Vereinigtes Königreich (1.42), Belgien (1.40), Hongkong (1.57)	0.57	0.72	0.72
	WA711049	WA711049 Iridium, Osmium und Ruthenium, als Halbzeug	12.0%	Japan (60%), Vereinigte Staaten von Amerika (40%)	Japan (1.32), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.72		
<b>Kadmium</b>	WA810720	Cadmium in Rohform; Pulver aus Cadmium	100%	Kanada (70%), Belgien (14%), Frankreich (7%), Russische Föderation (5%), Vereinigtes Königreich (1%)	Kanada (1.35), Belgien (1.40), Frankreich (1.40), Russische Föderation (3.30), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.71	0.71	0.71
<b>Kobalt</b>	WA260500	Unbearbeitet: Cobalterze und ihre Konzentrate	0.01%	USA (73%), Belgien (27%)	USA (1.55), Belgien (1.40)	0.93	0.93	0.26

	WA282739	Unbearbeitet: Chloride, a,n,g	95.3%	Niederlande (28%), Frankreich (26%), Belgien (17%), Österreich (14%), Indien (2%)	Niederlande (1.27), Frankreich (1.40), Belgien (1.40), Österreich (1.28), Indien (2.36)	0.26		
	WA282200	Unbearbeitet: Cobaltoxide und Cobalthydroxide	1.3%	Finnland (80%), Belgien (11%), Dänemark (6%), Italien (1%), China (1%)	Finnland (1.22), Belgien (1.40), Dänemark (1.18), Italien (1.52), China (2.54)	0.80		
	WA810590	Bearbeitet: Waren aus Cobalt, anderweitig nicht genannt	0.5%	Österreich (58%), USA (15%), Vereinigtes Königreich (8%), Australien (4%), Frankreich (3%)	Österreich (1.28), USA (1.55), Vereinigtes Königreich (1.42), Australien (1.33), Frankreich (1.40)	0.48		
	WA810530	Bearbeitet: Abfälle und Schrott aus Cobalt	0.6%	Niederlande (27%), Polen (13%), Spanien (8%), Schweiz (7%), USA (6%)	Niederlande (1.27), Polen (1.65), Spanien (1.50), Schweiz (1.27), USA (1.55)	0.17		
	WA810520	Bearbeitet: Cobaltmatte u.a. aus Cobalt, in Rohform, Pulver	2.3%	Kanada (24%), Belgien (14%), Finnland (9%), Russische Föderation (8%), Vereinigtes Königreich (8%)	Kanada (1.35), Belgien (1.40), Finnland (1.22), Russische Föderation (3.30), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.18		
<b>Kupfer</b>	WA260300	Kupfererze und ihre Konzentrate	41.0%	Chile (24%), Brasilien (20%), Peru (17%), Indonesien (9%), Australien (8%)	Chile (1.61), Brasilien (2.23), Peru (2.30), Indonesien (2.30), Australien (1.33)	0.29	1.67	0.41
	WA262030	Aschen und Rückstände, überwiegend Kupfer enthaltend	2.1%	Chile (24%), Italien (8%), USA (7%), Niederlande (6%), Vereinigtes Königreich (6%)	Chile (1.61), Italien (1.52), USA (1.55), Niederlande (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.14		
	WA282550	Kupferoxide und hydroxide	0.05%	Australien (71%), Italien (7%), Taiwan (7%), Belgien (4%), Österreich (3%)	Australien (1.33), Italien (1.52), Taiwan (1.40), Belgien (1.40), Österreich (1.28)	0.69		
	WA283325	Kupfersulfate	0.3%	Polen (23%), Italien (21%), Türkei (16%), Chile (13%), Russische Föderation (7%)	Polen (1.65), Italien (1.52), Türkei (2.75), Chile (1.61), Russische Föderation (3.30)	0.28		
	WA740100	Kupfermatte; Zementkupfer (gefältes Kupfer)	0.03%	Bulgarien (42%), Belgien (36%), Frankreich (15%), Niederlande (6%), Türkei (1%)	Bulgarien (1.89), Belgien (1.40), Frankreich (1.40), Niederlande (1.27), Türkei (1%)	0.55		
	WA740200	Kupfer, nichtraffiniert, Kupferanoden zum elektrolytischen Raffinieren	3.9%	Bulgarien (82%), Chile (8%), Brasilien (3%), Sambia (3%), Belgien (3%)	Bulgarien (1.89), Chile (1.61), Brasilien (2.23), Sambia (2.34), Belgien (1.40)	1.29		
	WA740311	Raffiniertes Kupfer, in Form von Kathoden oder Kathodenabschnitten	26.8%	Russische Föderation (30%), Belgien (16%), Polen (15%), Schweden (15%), Finnland (7%)	Russische Föderation (3.30), Belgien (1.40), Polen (1.65), Schweden (1.21), Finnland (1.22)	0.41		
	WA740312	Kupfer, raffiniert, in Form von Drahtbarren	0.002%	Niederlande (90%), Vereinigtes Königreich (5%), USA (5%)	Niederlande (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42), USA (1.55)	1.04		
	WA740313	Raffiniertes Kupfer, in Form von Knüppeln	0.4%	Österreich (100%)	Österreich (1.28)	1.28		
	WA740319	Raffiniertes Kupfer, in Rohform (ausg. In Form von Knüppeln, Drahtbarren, Kathoden oder Kathodenabschnitten)	0.4%	Belgien (28%), Österreich (27%), Polen (12%), Serbien (11%), Frankreich (8%)	Belgien (1.40), Österreich (1.28), Polen (1.65), Serbien (2.12), Frankreich (1.40)	0.27		
WA740321	Kupfer-Zink-Legierungen in Rohform (Messing)	0.4%	Frankreich (51%), Spanien (19%), Italien (8%), Österreich (5%), Portugal (4%)	Frankreich (1.40), Spanien (1.50), Italien (1.52), Österreich (1.28), Portugal (1.44)	0.44			

	WA740322	Kupfer-Zink-Legierungen in Rohform (Bronze)	0.3%	Italien (24%), Polen (24%), Spanien (19%), Portugal (11%), USA (6%)	Italien (1.52), Polen (1.65), Spanien (1.50), Portugal (1.44), USA (1.55)	0.26		
	WA740329	Kupferlegierungen in Rohform (ausg. Kupfer-Zink-Legierungen [Messing], Kupfer-Zinn-Legierungen [Bronze], Kupfer-Nickel-Legierungen [Kupfernickel], Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen [Neusilber], Kupfervorlegierungen der Pos. 7405)	0.2%	Vereinigtes Königreich (41%), Spanien (15%), Schweiz (11%), Niederlande (8%), Indien (5%)	Vereinigtes Königreich (1.42), Spanien (1.50), Schweiz (1.27), Niederlande (1.27), Indien (2.36)	0.31		
	WA740400	Abfälle und Schrott, aus Kupfer (ausg. Rohblöcke [Ingots] oder ähnl. Rohformen, aus eingeschmolzenen Abfällen und Schrott aus Kupfer, Aschen und Rückstände)	23.9%	Niederlande (21%), Frankreich (9%), Schweiz (9%), Vereinigtes Königreich (7%), Polen (6%)	Niederlande (1.27), Frankreich (1.40), Schweiz (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42), Polen (1.65)	0.11		
	WA740610	Pulver aus Kupfer, ohne Lamellenstruktur	0.3%	Russische Föderation (70%), Italien (17%), USA (5%), Österreich (2%), Vereinigtes Königreich (2%)	Russische Föderation (3.30), Italien (1.52), USA (1.55), Österreich (1.28), Vereinigtes Königreich (1.42)	1.67		
	WA740620	Pulver aus Kupfer, mit Lamellenstruktur, Flitter	0.004 %	Italien (53%), USA (16%), Vereinigtes Königreich (15%), Schweiz (7%), Luxemburg (3%)	Italien (1.52), USA (1.55), Vereinigtes Königreich (1.42), Schweiz (1.27), Luxemburg (1.22)	0.51		
<b>Lithium</b>	WA283691	Unbearbeitet: Lithiumcarbonate	100.0 %	Chile (77%), USA (9%), China (4%), Argentinien (3%), Vereinigtes Königreich (2%)	Chile (1.61), USA (1.55), China (2.54), Argentinien (2.11), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.98	0.98	0.98
<b>Magnesium</b>	WA251910	Natürliches Magnesiumcarbonat (Magnesit)	0.4%	Österreich (24%), Niederlande (20%), China (14%), Frankreich (10%), Türkei (7%)	Österreich (1.28), Niederlande (1.27), China (2.54), Frankreich (1.40), Türkei (2.75)	0.22		
	WA251990	Magnesia, geschmolzen; tot gebrannte (gesinterte) Magnesia, auch mit Zusatz von geringen Mengen anderer Oxide vor dem Sintern; anderes Magnesiumoxid	79.3%	China (48%), Niederlande (12%), Russische Föderation (8%), Brasilien (6%), Türkei (6%)	China (2.54), Niederlande (1.27), Russische Föderation (3.30), Brasilien (2.23), Türkei (2.75)	0.65		
	WA253020	Natürliche Magnesiumsulfate (Kieserit und Epsomit)	0.03%	Niederlande (78%), Österreich (14%), China (3%), Luxemburg (2%), Vereinigtes Königreich (1%)	Niederlande (1.27), Österreich (1.28), China (2.54), Luxemburg (1.21), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.81	1.56	1.07
	WA281610	Magnesiumhydroxid und Operoxid	3.2%	Österreich (49%), Mexiko (24%), Niederlande (11%), Belgien (4%), Israel (3%)	Österreich (1.28), Mexiko (2.48), Niederlande (1.27), Belgien (1.40), Israel (1.74)	0.47		
	WA282731	Magnesiumchlorid	8.5%	Niederlande (92%), Israel (3%), Tschechien (2%), Frankreich (1%), Österreich (1%)	Niederlande (1.27), Israel (1.74), Tschechien (1.41), Frankreich (1.40), Österreich (1.28)	1.07		
	WA283321	Magnesiumsulfate	0.4%	Niederlande (27%), China (25%), Polen	Niederlande (1.27), China (2.54), Polen (1.65), Indien (2.36), USA (1.55)	0.33		

				(13%), Indien (12%), USA (6%)				
	WA810411	Magnesium in Rohform, mit einem Magnesiumgehalt von 99,8 GHT	3.1%	China (77%), Niederlande (12%), Österreich (3%), Luxemburg (3%), Italien (1%)	China (2.54), Niederlande (1.27), Österreich (1.28), Luxemburg (1.21), Italien (1.52)	1.53		
	WA810419	Magnesium in Rohform, mit einem Magnesiumgehalt von < 99,8 GHT	2.3%	China (78%), Österreich (10%), Niederlande (5%), Rumänien (4%), Frankreich (1%)	China (2.54), Österreich (1.28), Niederlande (1.27), Rumänien (1.76), Frankreich (1.40)	1.56		
	WA810420	Abfälle und Schrott, aus Magnesium (ausg. Aschen und Rückstände, Magnesium enthaltend sowie Drehspäne und Körner, aus Magnesium, nach Grösse sortiert)	0.4%	Tschechien (29%), Spanien (14%), Schweden (11%), Frankreich (11%), Niederlande (8%)	Tschechien (1.41), Spanien (1.50), Schweden (1.21), Frankreich (1.40), Niederlande (1.27)	0.21		
	WA810430	Drehspäne und Körner aus Magnesium; Pulver aus Magnesium	2.1%	China (66%), Österreich (11%), Slowakei (10%), Türkei (4%), Niederlande (2%)	China (2.54), Österreich (1.28), Slowakei (1.56), Türkei (2.75), Niederlande (1.27)	1.15		
	WA810490	Waren aus Magnesium (a.n.g.)	0.4%	Österreich (41%), China (22%), Rumänien (21%), Polen (6%), Niederlande (3%)	Österreich (1.28), China (2.54), Rumänien (1.76), Polen (1.65), Niederlande (1.27)	0.42		
<b>Mangan</b>	WA720219	Ferromangan, mit einem Kohlenstoffgehalt von <= 2GHT	13.5%	Südafrika (40%), Norwegen (25%), Niederlande (15%), Indien (6%), Südkorea (4%)	Südafrika (2.05), Norwegen (1.20), Niederlande (1.27), Indien (2.36), Südkorea (1.64)	0.45	0.71	0.71
	WA720230	Ferrosilikomangan	42.6%	Frankreich (24%), Italien (18%), Norwegen (17%), Indien (12%), Spanien (7%)	Frankreich (1.40), Italien (1.52), Norwegen (1.20), Indien (2.36), Spanien (1.50)	0.22		
	WA720211	Ferromangan, mit einem Kohlenstoffgehalt von > 2GHT	24.8%	Frankreich (20%), Norwegen (19%), Malaysia (12%), Spanien (8%), Niederlande (8%)	Frankreich (1.40), Norwegen (1.20), Malaysia (1.94), Spanien (1.50), Niederlande (1.27)	0.18		
	WA282090	Manganoxide (ausg. Mangandioxid)	0.8%	Frankreich (51%), Niederlande (17%), Norwegen (13%), Belgien (10%), USA (6%)	Frankreich (1.40), Niederlande (1.27), Norwegen (1.20), Belgien (1.40), USA (1.55)	0.44		
	WA260200	Manganerze und ihre Konzentrate	4.8%	Niederlande (33%), Brasilien (18%), Marokko (16%), Belgien (9%), Gabun (9%)	Niederlande (1.27), Brasilien (2.23), Marokko (2.18), Belgien (1.40), Gabun (2.42)	0.30		
	WA282010	Mangandioxid	3.7%	China (42%), Griechenland (32%), Spanien (19%), Brasilien (2%), USA (1%)	China (2.54), Griechenland (1.77), Spanien (1.50), Brasilien (2.23), USA (1.55)	0.69		
	WA811100	Waren aus Mangan, anderweitig nicht genannt	9.7%	China (48%), Niederlande (27%), Schweden (12%), Indonesien (3%), Spanien (2%)	China (2.54), Niederlande (1.27), Schweden (1.21), Indonesien (2.30), Spanien (1.50)	0.71		
<b>Molybdän</b>	WA261310	Molybdänerze und ihre Konzentrate (geröstet)	14.1%	Niederlande (68%), Mexiko (14%), Belgien (10%), Chile (7%), Iran (1%)	Niederlande (1.27), Mexiko (2.48), Belgien (1.40), Chile (1.61), Iran (3.84)	0.65	1.16	0.85
	WA282570	Molybdänoxide und -hydroxide	8.7%	Chile (71%), China (9%), Schweden (7%), USA (4%), Niederlande (3%)	Chile (1.61), China (2.54), Schweden (1.21), USA (1.55), Niederlande (1.27)	0.85		
	WA284170	Molybdate	3.5%	USA (52%), Polen (19%), Japan (8%),	USA (1.55), Polen (1.65), Japan (1.32), Indien	0.50		

				Indien (5%), Vertrauliche Länder (4%)	(2.36), Vertrauliche Länder (2.48)			
	WA720270	Ferromolybdän	61.5%	Belgien (30%), Korea (25%), Niederlande (24%), Armenien (7%), China (4%)	Belgien (1.40), Südkorea (1.64), Niederlande (1.27), Armenien (2.10), China (2.54)	0.32		
	WA810210	Pulver aus Molybdän	0.1%	USA (67%), Österreich (27%), China (4%), Irland (2%),	USA (1.55), Österreich (1.28), China (2.54), Irland (1.25),	0.79		
	WA261390	Molybdänerze und ihre Konzentrate, ungeröstet	0.1%	China (57%), Italien (32%), Niederlande (10%), Japan (1%)	China (2.54), Italien (1.52), Niederlande (1.27), Japan (1.32)	1.00		
	WA810297	Abfälle und Schrott, aus Molybdän (ausg. Aschen und Rückstände, Molybdän enthaltend)	10.1%	Österreich (43%), China (30%), Vereinigtes Königreich (7%), Frankreich (6%), Korea (2%)	Österreich (1.28), China (2.54), Vereinigtes Königreich (1.42), Frankreich (1.40), Südkorea (1.64)	0.47		
	WA810294	Molybdän in Rohform	1.8%	Usbekistan (63%), Österreich (17%), China (16%), Niederlande (2%), Belgien (1%)	Usbekistan (2.67), Österreich (1.28), China (2.54), Niederlande (1.27), Belgien (1.40)	1.16		
<b>Nickel</b>	WA750300	Abfälle und Schrott, aus Nickel (ausg. Rohblöcke [Ingots] und ähnl. Rohformen, aus eingeschmolzenen Abfällen oder Schrott, aus Nickel, Aschen und Rückstände)	14.0%	Österreich (17%), Frankreich (9%), Niederlande (9%), Usbekistan (6%), Italien (5%)	Österreich (1.28), Frankreich (1.40), Niederlande (1.27), Usbekistan (2.67), Italien (1.52)	0.10		
	WA750210	Nicht legiertes Nickel, in Rohform	60.8%	Russische Föderation (42%), Norwegen (12%), Vereinigtes Königreich (12%), Niederlande (9%), Australien (6%)	Russische Föderation (3.30), Norwegen (1.20), Vereinigtes Königreich (1.42), Niederlande (1.27), Australien (1.33)	0.63		
	WA750120	Nickeloxidsinter und andere Zwischenzeugnisse der Nickelmetallurgie (ausg. Nickelmatte)	0.8%	Ukraine (58%), Belarus (17%), Russische Föderation (14%), Kasachstan (11%),	Ukraine (2.79), Belarus (3.20), Russische Föderation (3.30), Kasachstan (2.44),	1.13		
	WA720260	Ferronickel	10.7%	Niederlande (78%), Neukaledonien (7%), Russische Föderation (6%), Belgien (4%), Brasilien (2%)	Niederlande (1.27), Neukaledonien (1.81), Russische Föderation (3.30), Belgien (1.40), Brasilien (2.23)	0.80	0.95	0.8
	WA283324	Nickelsulfate	4.7%	Belgien (54%), Polen (14%), Österreich (9%), Finnland (9%), Philippinen (5%)	Belgien (1.40), Polen (1.65), Österreich (1.28), Finnland (1.22), Philippinen (2.52)	0.47		
	WA282735	Nickelchlorid	0.6%	Frankreich (79%), Spanien (9%), Belgien (7%), Taiwan (5%)	Frankreich (1.40), Spanien (1.50), Belgien (1.40), Taiwan (1.40)	0.89		
	WA260400	Nickelerze und ihre Konzentrate	1.3%	Malaysia (68%), Thailand (14%), USA (8%), Japan (3%), Singapur (2%)	Malaysia (1.94), Thailand (2.33), USA (1.55), Japan (1.32), Singapur (1.28)	0.95		
	WA282540	Nickeloxide und Nickelhydroxide	0.3%	Tschechien (55%), Italien (28%), Philippinen (6%), Japan (4%), Niederlande (3%)	Tschechien (1.41), Italien (1.52), Philippinen (2.52), Japan (1.32), Niederlande (1.27)	0.56		
	WA750110	Nickelmatte	0.005 %	Vereinigtes Königreich (37%), China (31%), Schweiz (29%), USA (2%)	Vereinigtes Königreich (1.42), China (2.54), Schweiz (1.27), USA (1.55)	0.56		



	WA750400	Pulver und Flitter, aus Nickel (ausg. Nickeloxidsinter)	1.8%	Kanada (26%), Vereinigtes Königreich (24%), USA (20%), Irland (6%), Finnland (5%)	Kanada (1.35), Vereinigtes Königreich (1.42), USA (1.55), Irland (1.25), Finnland (1.22)	0.25		
	WA750220	Nickellegierungen in Rohform	5.0%	Russische Föderation (43%), Slowenien (17%), USA (11%), Kanada (9%), Vereinigtes Königreich (7%)	Russische Föderation (3.30), Slowenien (1.50), USA (1.55), Kanada (1.35), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.70		
<b>Niobium</b>	WA720293	Bearbeitet: Ferro-niob	100.0%	Brasilien (48%), Niederlande (36%), Kanada (15%)	Brasilien (2.23), Niederlande (1.27), Kanada (1.35)	0.72	0.72	0.72
<b>Palladium</b>	WA711021	Palladium, in Rohform oder als Pulver	100.0%	Italien (20%), Russische Föderation (16%), Südafrika (14%), Vereinigtes Königreich (8%), USA (7%)	Italien (1.52), Russische Föderation (3.3), Südafrika (2.05), Vereinigtes Königreich (1.42), USA (1.55)	0.32	0.32	0.32
<b>Phosphor</b>	WA251010	Calciumphosphate u. Aluminiumcalciump., ungemahlen	4.4%	Niederlande (57%), Israel (36%), Algerien (5%), Ägypten (2%)	Niederlande (1.27), Israel (1.74), Algerien (3.01), Ägypten (2.94)	0.64	1.0	1.0
	WA280920	Phosphorsäure und Polyphosphorsäuren	59.7%	Vertrauliche Länder (61%), China (14%), Belgien (8%), Niederlande (4%), Polen (4%)	Vertrauliche Länder (2.48), China (2.54), Belgien (1.40), Niederlande (1.27), Polen (1.65)	1.00		
	WA310530	Diammoniumhydrogenorthosphat	32.5%	Russische Föderation (32%), Polen (28%), Belgien (17%), Litauen (9%), Marokko (6%)	Russische Föderation (3.30), Polen (1.65), Belgien (1.40), Litauen (1.43), Marokko (2.18)	0.53		
	WA251020	Calciumphosphate u. Aluminiumcalciump., gemahlen	0.2%	Frankreich (43%), Italien (33%), Vereinigtes Königreich (8%), Dänemark (5%), Niederlande (4%)	Frankreich (1.40), Italien (1.52), Vereinigtes Königreich (1.42), Dänemark (1.18), Niederlande (1.27)	0.44		
	WA310540	Ammoniumdihydrogenorthosphat u.a.	3.1%	Belgien (42%), Polen (22%), Litauen (12%), Russische Föderation (8%), Marokko (5%)	Belgien (1.40), Polen (1.65), Litauen (1.43), Russische Föderation (3.30), Marokko (2.18)	0.38		
<b>Platinum</b>	WA711011	Platin, in Rohform oder als Pulver	0.5%	Südafrika (46%), Italien (27%), Vereinigtes Königreich (6%), Schweiz (4.5%), USA (3%)	Südafrika (2.05), Italien (1.52), Vereinigtes Königreich (1.42), Schweiz (1.27), USA (1.55)	0.56	0.66	0.16
	WA711292	Abfälle und Schrott von Platin (einschl. Platinplattierungen, und andere Abfälle und Schrott, Platin oder Platinverbindungen enthaltend)	99.5%	Frankreich (27%), USA (12%), Schweden (8%), Polen (4%), Iran (4%)	Frankreich (1.40), USA (1.55), Schweden (1.21), Polen (1.65), Iran (3.84)	0.16		
	WA711510	Katalysatoren in Form von Geweben oder Gittern, aus Platin	0.02%	Brasilien (43%), Vereinigtes Königreich (38%), Frankreich (10%), Russische Föderation (10%),	Brasilien (2.23), Vereinigtes Königreich (1.42), Frankreich (1.40), Russische Föderation (3.30),	0.66		
<b>Rhodium</b>	WA711031	Rhodium, in Rohform oder als Pulver	100.0%	Südafrika (26%), Tschechien (17%), Italien (13%), Vereinigtes Königreich (5%), USA (4%)	Südafrika (2.05), Tschechien (1.41), Italien (1.52), Vereinigtes Königreich (1.42), USA (1.55)	0.47	0.47	0.47
<b>Selen</b>	WA280490	Selen	100.0%	Schweden (41%), Russische Föderation (30%), Spanien (8%), Belgien (6%), Korea (5%)	Schweden (1.31), Russische Föderation (3.30), Spanien (1.50), Belgien (1.40), Südkorea (1.64)	0.52	0.52	0.52

<b>Seltene Erden</b>	WA284690	Unbearbeitet: Verbindungen der Seltenerdmetalle	84.6%	China (73%), Österreich (16%), Argentinien (5%), Frankreich (3%), USA (1%)	China (2.54), Österreich (1.28), Argentinien (2.11), Frankreich (1.40), USA (1.55)	1.40	2.49	1.4
	WA280530	Unbearbeitet: Seltenerdmetalle, Scandium und Yttrium	4.1%	China (99%), Thailand (1%)	China (2.54), Thailand (2.33)	2.49		
	WA284610	Unbearbeitet: Cerverbindungen	11.3%	Estland (40%), Frankreich (22%), China (13%), USA (11%), Österreich (8%)	Estland (1.31), Frankreich (1.40), China (2.54), USA (1.55), Österreich (1.28)	0.35		
<b>Silber</b>	WA261610	Silbererze und ihre Konzentrate	60.5%	Peru (48%), China (35%), Mexiko (15%), Kasachstan (2%)	Peru (2.30), China (2.54), Mexiko (2.48), Kasachstan (2.44)	0.90	1.01	0.9
	WA284321	Silbernitrat	1.1%	Vereinigtes Königreich (72%), Belgien (7%), Frankreich (6%), Tschechien (5%), Nordmazedonien (3%)	Vereinigtes Königreich (1.42), Belgien (1.40), Frankreich (1.40), Tschechien (1.41), Nordmazedonien (2.03)	0.75		
	WA710610	Silber (einschl. vergoldetes oder platinisiertes Silber), als Pulver	0.8%	USA (80%), Kanada (8%), Schweiz (3%), Vereinigtes Königreich (3%), Italien (3%)	USA (1.55), Kanada (1.35), Schweiz (1.27), Vereinigtes Königreich (1.42), Italien (1.52)	1.01		
	WA710691	Silber (einschl. vergoldetes oder platinisiertes Silber), in Rohform (ausg. als Pulver)	37.5%	Vertrauliche Länder (29%), Schweiz (19%), Schweden (10%), Vereinigtes Königreich (9%), Polen (8%)	Vertrauliche Länder (2.48), Schweiz (1.27), Schweden (1.31), Vereinigtes Königreich (1.42), Polen (1.65)	0.31		
<b>Silicium</b>	WA280469	Unbearbeitet: Silicium, Gehalt an Silicium <=99,99GHT	36.2%	Norwegen (49%), Frankreich (19%), Brasilien (13%), Niederlande (4%), China (4%)	Norwegen (1.20), Frankreich (1.40), Brasilien (2.23), Niederlande (1.27), China (2.54)	0.39	1.25	0.39
	WA281122	Unbearbeitet: Siliciumdioxid	15.4%	Frankreich (33%), China (19%), Finnland (8%), Niederlande (6%), Spanien (5%)	Frankreich (1.40), China (2.54), Finnland (1.22), Niederlande (1.27), Spanien (1.50)	0.27		
	WA284920	Unbearbeitet: Siliciumcarbid, auch chemisch nicht einheitlich	18.0%	Niederlande (33%), China (26%), Russische Föderation (6%), Südafrika (5%), Rumänien (5%)	Niederlande (1.27), China (2.54), Russische Föderation (3.30), Südafrika (2.05), Rumänien (1.76)	0.35		
	WA280461	Unbearbeitet: Silicium, Gehalt an Silicium >99,99GHT	0.7%	USA (90%), Singapur (6%), Norwegen (2%), Japan (1%)	USA (1.55), Singapur (1.28), Norwegen (1.20), Japan (1.32)	1.25		
	WA720221	Bearbeitet: Ferrosilicium mit Siliciumgehalt >55GHT	27.1%	Island (14%), Frankreich (13%), Kasachstan (9%), Polen (9%), Norwegen (7%)	Island (1.25), Frankreich (1.40), Kasachstan (2.44), Polen (1.65), Norwegen (1.20)	0.12		
	WA720229	Bearbeitet: Ferrosilicium mit Siliciumgehalt <=55GHT	2.5%	Norwegen (51%), Niederlande (16%), Frankreich (6%), Slowenien (6%), Bosnien und Herzegowina (6%)	Norwegen (1.20), Niederlande (1.27), Frankreich (1.40), Slowenien (1.50), Bosnien und Herzegowina (2.31)	0.37		
<b>Strontium</b>	WA283692	Strontiumcarbonat	100.0%	Italien (60%), Frankreich (40%), USA (0.1%), Schweiz (0.1%)	Italien (1.52), Frankreich (1.40), USA (1.55), Schweiz (1.27)	0.77	0.77	0.77
<b>Tantal</b>	WA810320	Tantal in Rohform, einschl. nur gesinterte Stangen (Stäbe); Pulver aus Tantal	53.9%	USA (74%), Thailand (13%), China (5%), Taiwan (2%), Estland (2%)	USA (1.55), Thailand (2.33), China (2.54), Taiwan (1.40), Estland (1.31)	0.89	0.89	0.89
	WA810330	Abfälle und Schrott, aus Tantal (ausg. Aschen und Rückstände, Tantal enthaltend)	32.3%	Japan (24%), Kirgisistan (12%), Indien (11%), Österreich (10%), USA (9%)	Japan (1.32), Kirgisistan (3.09), Indien (2.36), Österreich (1.28), USA (1.55)	0.20		



	WA810390	Waren aus Tantal (a.n.g.)	13.9%	China (51%), USA (31%), Schweiz (12%), Österreich (3%), Niederlande (1%)	China (2.54), USA (1.55), Schweiz (1.27), Österreich (1.28), Niederlande (1.27)	0.81		
<b>Tellur</b>	WA280450	Bor, Tellur (Tellur)	100.0%	Kanada (46%), China (42%), Philippinen (12%)	Kanada (1.35), China (2.54), Philippinen (2.52)	0.76	0.76	0.76
<b>Titan</b>	WA261400	Unbearbeitet: Titanerze und ihre Konzentrate	91.7%	Norwegen (53%), Südafrika (24%), Sierra Leone (9%), Indien (6%), Kenia (3%)	Norwegen (1.20), Südafrika (2.05), Sierra Leone (2.64), Indien (2.36), Kenia (2.51)	0.49	0.49	0.49
	WA282300	Unbearbeitet: Titanoxide	4.8%	Frankreich (39%), China (21%), Norwegen (10%), Tschechien (8%), Belgien (6%)	Frankreich (1.40), China (2.54), Norwegen (1.20), Tschechien (1.41), Belgien (1.40)	0.36		
	WA810830	Bearbeitet: Abfälle und Schrott aus Titan	1.3%	Frankreich (19%), Schweden (12%), Italien (11%), Schweiz (10%), USA (8%)	Frankreich (1.40), Schweden (1.21), Italien (1.52), Schweiz (1.27), USA (1.55)	0.12		
	WA810820	Bearbeitet: Titan in Rohform, Pulver aus Titan	0.6%	Japan (23%), Russische Föderation (21%), China (18%), Niederlande (14%), Ukraine (9%)	Japan (1.32), Russische Föderation (3.30), China (2.54), Niederlande (1.27), Ukraine (2.79)	0.36		
	WA720291	Bearbeitet: Ferrotitan und Ferrosiliciumtitan	1.6%	Vereinigtes Königreich (18%), Niederlande (17%), Polen (14%), Russische Föderation (13%), Belgien (11%)	Vereinigtes Königreich (1.42), Niederlande (1.27), Polen (1.65), Russische Föderation (3.30), Belgien (1.40)	0.20		
<b>Vanadium</b>	WA720292	Ferrovandium	92.0%	Österreich (46%), China (13%), Südafrika (13%), Korea (9%), Tschechien (8%)	Österreich (1.28), China (2.54), Südafrika (2.05), Korea (1.64), Tschechien (1.41)	0.38	0.85	0.85
	WA811292	Hafnium, Niob (Columbium), Rhenium, Gallium, Indium, Vanadium und Germanium, in Rohform; Pulver sowie Abfälle und Schrott, aus diesen Metallen (ausg. Aschen und Rückstände) (Vanadium)	8.0%	Brasilien (59%), China (13%), Niederlande (7%), Slowakei (5%), Russische Föderation (4%)	Brasilien (2.23), China (2.54), Niederlande (1.27), Slowakei (1.56), Russische Föderation (3.30)	0.85		
<b>Wolfram</b>	WA261100	Wolframerze und ihre Konzentrate	0.1%	Vereinigtes Königreich (100%)	Vereinigtes Königreich (1.42)	1.42	2.4	2.4
	WA282590	Basen, anorganisch sowie Metalloxide, Metallhydroxide und Metallperoxide, a.n.g. (Wolframoxide & -hydroxide)	0.0%			0.00		
	WA284180	Wolframate	16.9%	Vertrauliche Länder (98%), Hongkong (1%), Indien (0.2%), Italien (0.1%), Frankreich (0.1%), Vereinigtes Königreich (0.1%)	Hongkong (1.57), Indien (2.36), Italien (1.52), Frankreich (1.40), Vereinigtes Königreich (1.42)	2.40		
	WA284990	Carbide, auch chemisch uneinheitlich (ausg. des Calciums und des Siliziums) (Wolframcarbid)	0.0%			0.00		
	WA720280	Ferrowolfram und Ferrosiliko Wolfram	6.2%	Niederlande (40%), China (30%), Russische Föderation (23%), Estland (3%), Frankreich (1%)	Niederlande (1.27), China (2.54), Russische Föderation (3.30), Estland (1.31), Frankreich (1.40)	0.60		

	WA810110	Pulver aus Wolfram	7.0%	Österreich (63%), Tschechien (12%), China (11%), Kanada (11%), Dänemark (1%)	Österreich (1.28), Tschechien (1.41), China (2.54), Kanada (1.35), Dänemark (1.18)	0.58		
	WA810194	Wolfram in Rohform, einschl. nur gesinterter Stangen (Stäbe)	0.5%	China (64%), Ungarn (11%), Vereinigtes Königreich (8%), Brasilien (5%), Tschechien (4%)	China (2.54), Ungarn (1.79), Vereinigtes Königreich (1.42), Brasilien (2.23), Tschechien (1.41)	1.08		
	WA810197	Abfälle und Schrott, aus Wolfram (ausg. Aschen und Rückstände, Wolfram enthaltend)	69.4%	Italien (15%), USA (10%), Österreich (10%), Indien (9%), Vereinigtes Königreich (6%)	Italien (1.52), USA (1.55), Österreich (1.28), Indien (2.36), Vereinigtes Königreich (1.42)	0.11		
<b>Zink</b>	WA260800	Zinkerze und ihre Konzentrate	36.1%	Australien (26%), Peru (18%), Schweden (14%), Burkina Faso (12%), Italien (8%)	Australien (1.33), Peru (2.30), Schweden (1.31), Burkina Faso (2.73), Italien (1.52)	0.27	0.89	0.43
	WA262011	Galvanisationsmatte (Hartzink)	0.5%	Schweiz (68%), Belgien (12%), Niederlande (8%), Finnland (6%), Dänemark (4%)	Schweiz (1.27), Belgien (1.40), Niederlande (1.27), Finnland (1.22), Dänemark (1.18)	0.63		
	WA262019	Aschen und Rückstände, überwiegend Zink enthaltend (ausg. Galvanisationsmatte) [Hartzink]	3.5%	Italien (30%), Schweiz (26%), Österreich (9%), Tschechien (6%), USA (5%)	Italien (1.52), Schweiz (1.27), Österreich (1.28), Tschechien (1.41), USA (1.55)	0.26		
	WA281700	Zinkoxid; Zinkperoxid	5.3%	Österreich (19%), Niederlande (17%), Polen (17%), Peru (13%), Belgien (9%)	Österreich (1.28), Niederlande (1.27), Polen (1.65), Peru (2.30), Belgien (1.40)	0.20		
	WA790111	Nicht legiertes Zink, in Rohform, mit einem Zinkgehalt von $\geq 99,99$ GHT	32.4%	Finnland (30%), Spanien (25%), Belgien (14%), Niederlande (8%), Norwegen (6%)	Finnland (1.22), Spanien (1.50), Belgien (1.40), Niederlande (1.27), Norwegen (1.20)	0.26		
	WA790112	Nicht legiertes Zink, in Rohform, mit einem Zinkgehalt von $< 99,99$ GHT	7.6%	Finnland (43%), Polen (34%), Norwegen (9%), Niederlande (6%), Belgien (3%)	Finnland (1.22), Polen (1.65), Norwegen (1.20), Niederlande (1.27), Belgien (1.40)	0.43		
	WA790120	Zinklegierungen	12.5%	Belgien (32%), Niederlande (28%), Norwegen (12%), Luxemburg (11%), Finnland (5%)	Belgien (1.40), Niederlande (1.27), Norwegen (1.20), Luxemburg (1.22), Finnland (1.22)	0.29		
	WA790200	Abfälle und Schrott, aus Zink (ausg. Aschen und Rückstände der Zinkherstellung [Pos. 2620], Rohblöcke [Ingots] und ähnl. Rohformen)	0.9%	Niederlande (34%), Österreich (14%), Dänemark (12%), Frankreich (7%), Schweiz (6%)	Niederlande (1.27), Österreich (1.28), Dänemark (1.18), Frankreich (1.40), Schweiz (1.27)	0.22		
	WA790310	Zinkstaub	1.0%	Belgien (54%), Österreich (28%), Iran (13%), Oman (5%)	Belgien (1.40), Österreich (1.28), Iran (3.84), Oman (2.00)	0.57		
	WA790390	Pulver und Flitter, aus Zink (ausg. Körner [Granalien] aus Zink, zugeschnittener Flitter der Pos. 8308 sowie Zinkstaub)	0.1%	Österreich (83%), Belgien (8%), Schweiz (7%), Polen (2%)	Österreich (1.28), Belgien (1.40), Schweiz (1.27), Polen (1.65)	0.89		
<b>Zinn</b>	WA260900	Zinnerze und ihre Konzentrate	0.0%			0.00	0.49	0.29
	WA800110	Nichtlegiertes Zinn in Rohform	95.0%	Belgien (23%), Indonesien (21%), Brasilien (15%), Peru (11%), Bolivien (10%)	Belgien (1.40), Indonesien (2.30), Brasilien (2.23), Peru (2.30), Bolivien (2.53)	0.29		

	WA800120	Zinnlegierungen	1.4%	Spanien (53%), Polen (18%), Ungarn (7%), Belgien (6%), Italien (4%)	Spanien (1.50), Polen (1.65), Ungarn (1.79), Belgien (1.40), Italien (1.52)	0.49		
	WA800200	Abfälle und Schrott, aus Zinn (ausg. Aschen und Rückstände der Zinnherstellung [Pos. 2620] sowie Rohblöcke [Ingots] und ähnl. Rohformen)	3.6%	Schweiz (17%), Niederlande (17%), Rumänien (12%), Belgien (10%), Italien (9%)	Schweiz (1.27), Niederlande (1.27), Rumänien (1.76), Belgien (1.40), Italien (1.52)	0.15		
<b>Zirkonium</b>	WA261510	Zirkonerze und ihre Konzentrate	0.0%			0.00	0.46	0.46
	WA810920	Zirkon in Rohform; Pulver aus Zirkon	85.5%	Schweden (36%), USA (32%), China (14%), Spanien (14%), Korea (2%)	Schweden (1.21), USA (1.55), China (2.54), Spanien (1.50), Korea (1.64)	0.40		
	WA810930	Abfälle und Schrott, aus Zirkon (ausg. Aschen und Rückstände, Zirkon enthaltend)	14.5%	Vereinigtes Königreich (45%), Frankreich (23%), Russische Föderation (16%), Schweiz (12%), Österreich (1%)	Vereinigtes Königreich (1.42), Frankreich (1.40), Russische Föderation (3.30), Schweiz (1.27), Österreich (1.28)	0.46		

Quelle: M-Five, eigene Berechnungen auf der Grundlage der Handelsdaten von Destatis (<https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/51000/details>).

#### Anmerkung:

\* Einige HS-Codes, die von der DERA (2021) als relevant eingestuft wurden, wurden von der Analyse ausgeschlossen, da für sie in den letzten fünf Jahren keine Handelsdaten gemeldet wurden. Dazu gehören die folgenden: WA810730 („Abfälle und Schrott, aus Cadmium“), und WA282520 („Lithiumoxid und Lithiumhydroxid“), WA282530 („Vanadiumoxide und hydroxide“).

<sup>1</sup>Die entsprechenden HS-Codes für Iridium und Ruthenium sind in der Rohstoffliste der DERA nicht enthalten. Die DERA (2023) analysiert nur die weltweiten Produktionsdaten für die beiden Rohstoffe, wie sie vom USGS angegeben werden. Die Destatis-Datenbank enthält zwei HS-Codes, die für Iridium und Ruthenium identisch sind. Wir haben daher die Rohstoffe zusammengefasst und analysiert.

Tabelle 9.4: Rohstoffe, Produktionsländer und GVRI („Produktionsbasierter Ansatz“)

Rohstoff	Typ	Produktionsländer und ihre Produktions-Anteile	Produktionsländer und ihr politischer Risikoindex	GVRI	Für die Analyse verwendeter GVRI
Aluminium	Erze (Alumina)	China (58%), Australien (14%), Brasilien (7%), Indien (5%), Russland (2%)	China (2.54), Australien (1.33), Brasilien (2.23), Indien (2.36), Russland (3.30)	0.91	0.91
	Erze (Bauxit)	Australien (25%), Guinea (25%), China (22%), Brasilien (7%), Indien (6%)	Australien (1.33), Guinea (3.13), China (2.54), Brasilien (2.23), Indien (2.36)	0.44	
Barium	Erze	Indien (33%), China (24%), Marokko (16%), Kasachstan (6%), Mexiko (4%)	Indien (2.36), China (2.54), Marokko (2.18), Kasachstan (2.43), Mexiko (2.48)	0.49	0.49
Blei	Erze	China (44%), Australien (10%), Mexiko (6%), Vereinigte Staaten von Amerika (6%), Peru (6%)	China (2.54), Australien (1.33), Mexiko (2.48), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Peru (2.30)	0.57	0.57
Bor	Alle Formen	Türkei (65%), Chile (11%), China (6%), Peru (6%), Bolivien (5%)	Türkei (2.75), Chile (1.61), China (2.54), Peru (2.30), Bolivien (2.53)	1.2	1.2
Chrom	Erze	Südafrika (46%), Kasachstan (14%), Türkei (13%), Indien (10%), Frankreich (5%)	Südafrika (2.05), Kasachstan (2.44), Türkei (2.75), Indien (2.36), Frankreich (1.40)	0.59	0.59
Eisen	Erze	Australien (38%), Brasilien (18%), China (11%), Indien (10%), Russland (4%)	Australien (1.33), Brasilien (2.23), China (2.54), Indien (2.36), Russland (3.30)	0.33	1.15
	Roheisen	China (67%), Indien (6%), Japan (5%), Russland (4%), Korea (3%)	China (2.54), Indien (2.36), Japan (1.32), Russland (3.30), Korea (1.64)	1.15	
	Rohstahl	China (54%), Indien (7%), Japan (5%), Vereinigte Staaten von Amerika (4%), Russland (4%)	China (2.54), Indien (2.36), Japan (1.32), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Russland (3.30)	0.80	

Fluor	Erze	China (69%), Mexiko (12%), Mongolei (5%), Südafrika (5%), Vietnam (3%)	China (2.54), Mexiko (2.48), Mongolei (2.16), Südafrika (2.05), Vietnam (2.47)	1.24	1.24
Gallium	Raffiniertes Produkt	China (98%), Russland (1%), Japan (0.5%), Korea (0.3%)	China (2.54), Russland (3.30), Japan (1.32), Korea (1.64)	2.45	2.45
Germanium	Raffiniertes Produkt	China (74%), Kanada (16%), Belgien (3%), Russland (3%), Deutschland (2%)	China (2.54), Kanada (1.35), Belgien (1.40), Russland (3.30), Deutschland (1.25)	1.43	1.43
Gold	Erze	China (11%), Russland (10%), Australien (10%), Kanada (7%), Vereinigte Staaten von Amerika (5%)	China (2.53), Russland (3.30), Australien (1.33), Kanada (1.34), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.21	0.21
Graphit	Erze	Chile (72%), Mosambik (10%), Madagaskar (8%), Brasilien (4%), Korea (1%)	Chile (1.61), Mosambik (2.71), Madagaskar (2.87), Brasilien (2.23), Korea (1.64)	0.89	0.89
Indium	Raffiniertes Produkt	China (67%), Korea (18%), Japan (7%), Kanada (4%), Belgien (2%)	China (2.54), Korea (1.64), Japan (1.32), Kanada (1.35), Belgien (1.40)	1.2	1.2
Iridium	Erze	Südafrika (89%), Zimbabwe (8%), Russland (3%)	Südafrika (2.05), Zimbabwe (3.50), Russland (3.30)	1.65	1.65
Kadmium	Raffiniertes Produkt	China (41%), Korea (16%), Japan (8%), Kanada (7%), Mexiko (5%)	China (2.54), Korea (1.64), Japan (1.32), Kanada (1.35), Mexiko (2.48)	0.5	0.5
Kobalt	Erze	Kongo (73%), Indonesian (5%), Russland (5%), other countries (3%), Australien (3%), Philippinen (2%)	Kongo (4.28), Indonesian (2.30), Russland (3.30), other countries (2.39), Australien (1.33), Philippinen (2.52)	2.31	2.31
Kupfer	Erze	Chile (24%), Peru (11%), Kongo (11%), China (9%), Vereinigte Staaten von Amerika (6%)	Chile (1.61), Peru (2.30), Kongo (4.28), China (2.54), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.26	0.55
	Raffiniertes Produkt	China (43%), Chile (8%), Kongo (7%), Japan (6%), Russland (4%)	China (2.54), Chile (1.61), Kongo (4.28), Japan (1.32), Russland (3.30)	0.55	

Lithium	Erze	Australien (51%), Chile (26%), China (15%), Argentinien (4%), Brasilien (2%)	Australien (1.33), Chile (1.61), China (2.54), Argentinien (2.11), Brasilien (2.23)	0.52	0.52
Magnesium	Erze	China (63%), Australien (10%), Türkei (7%), Brasilien (6%), Russland (4%)	China (2.53), Australien (1.33), Türkei (2.75), Brasilien (2.23), Russland (3.30)	1.03	1.98
	Raffiniertes Produkt (Metall)	China (88%), Russland (5%), Brasilien (2%), Israel (2%), Kasachstan (1%)	China (2.53), Russland (3.30), Brasilien (2.23), Israel (1.74), Kasachstan (2.43)	1.98	
Mangan	Erze	Südafrika (36%), Gabun (23%), Australien (15%), Ghana (4%), Kanada (4%)	Südafrika (2.05), Gabun (2.42), Australien (1.33), Ghana (1.92), Kanada (1.35)	0.45	0.45
Molybdän	Erze	China (42%), Chile (18%), Vereinigte Staaten von Amerika (14%), Peru (12%), Mexiko (6%)	China (2.54), Chile (1.61), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Peru (2.30), Mexiko (2.48)	0.57	0.57
Nickel	Erze	Indonesien (48%), Philippinen (11%), Russland (7%), Neukaledonien (6%), Australien (5%)	Indonesien (2.30), Philippinen (2.52), Russland (3.30), Neukaledonien (1.82), Australien (1.33)	0.63	0.63
Niobium	Erze	Brasilien (90%), Kanada (8%), Kongo (1%), Russland (0.5%), Ruanda (0.2%)	Brasilien (2.23), Kanada (1.35), Kongo (4.28), Russland (3.30), Ruanda (2.01)	1.83	1.83
Palladium	Erze	Russland (42%), Südafrika (38%), Kanada (7%), Zimbabwe (6%), Vereinigte Staaten von Amerika (5%)	Russland (3.30), Südafrika (2.05), Kanada (1.35), Zimbabwe (3.50), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.9	0.9
Phosphor	Erze	China (41%), Marokko (17%), Vereinigte Staaten von Amerika (9%), Russland (6%), Jordanien (5%)	China (2.54), Marokko (2.18), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Russland (3.30), Jordanien (2.23)	0.53	0.53
Platin	Erze	Südafrika (74%), Russland (10%), Zimbabwe (8%), Kanada (3%), Vereinigte Staaten von Amerika (2%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.50), Kanada (1.35), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	1.17	1.17
Rhodium	Erze	Südafrika (85%), Russland (7%), Zimbabwe (5%), Kanada (2%), Vereinigte Staaten von Amerika (0.4%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.50), Kanada (1.34), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	1.51	1.51



Ruthenium	Erze	Südafrika (93%), Zimbabwe (3.8%), Russland (3%)	Südafrika (2.05), Zimbabwe (3.50), Russland (3.30)	1.79	1.79
Selen	Raffiniertes Produkt	China (39%), Japan (21%), Russland (10%), Deutschland (9%), Belgien (6%)	China (2.54), Japan (1.32), Russland (3.3), Deutschland (1.25), Belgien (1.4)	0.5	0.5
Seltene Erden	Erze	China (70%), Vereinigte Staaten von Amerika (14%), Australien (6%), Myanmar (4%), Thailand (2%)	China (2.54), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Australien (1.33), Myanmar (5.95), Thailand (2.33)	1.29	1.29
Silber	Erze	Mexiko (24%), China (14%), Peru (12%), Polen (5%), Russland (5%)	Mexiko (2.48), China (2.54), Peru (2.30), Polen (1.65), Russland (3.30)	0.29	0.29
Silicium	Erze (Kieselsäure)	China (27%), Vereinigte Staaten von Amerika (23%), Italien (8%), Frankreich (4%), Indien (4%)	China (2.54), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Italien (1.52), Frankreich (1.40), Indien (2.36)	0.42	1.59
	Raffiniertes Produkt (Ferro-Silicium)	China (69%), Russland (11%), Norwegen (4%), Brasilien (3%), Kasachstan (2%)	China (2.54), Russland (3.30), Norwegen (1.20), Brasilien (2.23), Kasachstan (2.44)	1.26	
	Raffiniertes Produkt (Metall)	China (79%), Brasilien (5%), Norwegen (4%), Finnland (3%), Deutschland (2%)	China (2.54), Brasilien (2.23), Norwegen (1.20), Finnland (1.22), Deutschland (1.25)	1.59	
Strontium	Erze	Spanien (38%), Iran (32%), China (23%), Mexiko (6%), Argentinien (0.2%)	Spanien (1.50), Iran (3.84), China (2.54), Mexiko (2.48), Argentinien (2.11)	0.76	0.76
Tantal	Erze	Kongo (43%), Brasilien (18%), Ruanda (17%), Nigeria (5.5%), China (3.9%)	Kongo (4.28), Brasilien (2.23), Ruanda (2.01), Nigeria (3.55), China (2.53)	0.95	0.95
Tellur	Raffiniertes Produkt	China (65%), Russland (12%), Japan (12%), Schweden (6%), Kanada (4%)	China (2.54), Russland (3.30), Japan (1.32), Schweden (1.21), Kanada (1.35)	1.14	1.14
Titan	Ilmenite	China (36%), Mosambik (16%), Südafrika (13%), Kanada (6%), Senegal (5%)	China (2.54), Mosambik (2.71), Südafrika (2.05), Kanada (1.35), Senegal (2.15)	0.45	1.17



	Rutile	Australien (31%), Sierra Leone (20%), Südafrika (16%), Ukraine (15%), Kenia (11%)	Australien (1.33), Sierra Leone (2.64), Südafrika (2.05), Ukraine (2.79), Kenia (2.51)	0.39	
	Raffiniertes Produkt (Titan-schwamm-metall)	China (66%), Japan (17%), Russland (7%), Kasachstan (5%), Saudi-Arabien (4%)	China (2.54), Japan (1.32), Russland (3.30), Kasachstan (2.44), Saudi-Arabien (2.23)	1.17	
Vanadium	Erze	China (68%), Russland (17%), Südafrika (9%), Brasilien (6%)	China (2.53), Russland (3.30), Südafrika (2.05), Brasilien (2.23)	1.3	1.3
Wolfram	Erze	China (84%), Vietnam (6%), Russland (3%), Bolivien (2%), Ruanda (1%)	China (2.54), Vietnam (2.47), Russland (3.30), Bolivien (2.53), Ruanda (2.01)	1.82	1.82
Zink	Erze	China (32%), Peru (11%), Australien (10%), Indien (7%), Vereinigte Staaten von Amerika (6%)	China (2.54), Peru (2.30), Australien (1.33), Indien (2.36), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.4	0.4
Zinn	Erze	China (23%), Indonesien (23%), Myanmar (15%), Peru (9%), Kongo (6%)	China (2.54), Indonesien (2.30), Myanmar (5.95), Peru (2.30), Kongo (4.28)	0.45	0.45
Zirkonium	Erze	Australien (34%), Südafrika (22%), China (10%), Mosambik (7%), Vereinigte Staaten von Amerika (7%)	Australien (1.33), Südafrika (2.05), China (2.54), Mosambik (2.71), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.34	0.34

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten von USGS (2023) und RMIS (<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>)

Tabelle 9.5: Rohstoffe, wichtigste Länder und GVRI („Reservenbasierter Ansatz)

Rohstoff	Wichtigste Länder und ihre Reserven-Anteile	Wichtigste Länder und ihr politischer Risikoin-dex	GVRI	Für die Analyse verwendeter GVRI
Aluminium (Bauxit)	Guinea (25%), Vietnam (19%), Australien (12%), Brasilien (9%), Jamaika (7%)	Guinea (3.13), Vietnam (2.47), Australien (1.33), Brasilien (2.23), Jamaika (1.81)	0.4	0.4
Barium	Iran (26%), Kasachstan (22%), Indien (13%), China (9%), Türkei (9%)	Iran (3.84), Kasachstan (2.43), Indien (2.35), China (2.53), Türkei (2.75)	0.53	0.53
Blei	Australien (37%), China (21%), Russland (9%), Mexiko (6%), Peru (5%)	Australien (1.33), China (2.54), Russland (3.30), Mexiko (2.48), Peru (2.30)	0.35	0.35
Bor	Türkei (87%), Vereinigte Staaten von Amerika (4%), Russland (4%), Chile (3%), China (2%)	Türkei (2.75), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Russland (3.30), Chile (1.61), China (2.54)	2.07	2.07
Chrom	Kasachstan (41%), Südafrika (36%), Indien (14%), Türkei (5%), Finnland (1%)	Kasachstan (2.44), Südafrika (2.05), Indien (2.36), Türkei (2.75), Finnland (1.22)	0.73	0.73
Eisen	Australien (30%), Brasilien (18%), Russland (15%), China (10%), Ukraine (3%)	Australien (1.33), Brasilien (2.23), Russland (3.30), China (2.54), Ukraine (2.79)	0.33	0.33
Fluor	Mexiko (24%), China (24%), Südafrika (14%), Mongolei (12%), Spanien (5%)	Mexiko (2.48), China (2.54), Südafrika (2.05), Mongolei (2.16), Spanien (1.5)	0.44	0.44
Gallium	<i>Nebenprodukt</i>			
Germanium	<i>Nebenprodukt</i>			
Gold	Australien (16%), Russland (13%), Südafrika (10%), Vereinigte Staaten von Amerika (6%), Peru (5%)	Australien (1.32), Russland (3.30), Südafrika (2.05), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Peru (2.30)	0.22	0.22

Rohstoff	Wichtigste Länder und ihre Reserven-Anteile	Wichtigste Länder und ihr politischer Risikoindex	GVRI	Für die Analyse verwendeter GVRI
Graphit	Chile (28%), Brasilien(26%), Mosambik (9%), Madagaskar (9%), Tansania (6%)	Chile (1.61), Brasilien (2.23), Mosambik (2.71), Madagaskar (2.87), Tansania (2.43)	0.35	0.35
Indium	<i>Nebenprodukt</i>			
Iridium	Südafrika (88%), Russland (8%), Zimbabwe (4%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.5)	1.61	1.61
Kadmium	<i>Nebenprodukt</i>			
Kobalt	Kongo (55%), Australien (15%), Indonesien (5%), Cuba (5%), Philippinen (2%)	Kongo (4.28), Australien (1.33), Indonesien (2.30), Cuba (2.41), Philippinen (2.52)	1.33	1.33
Kupfer	Chile (19%), Peru (12%), Australien (10%), Kongo (8%), Russland (8%)	Chile (1.61), Peru (2.30), Australien (1.33), Kongo (4.28), Russland (3.30)	0.25	0.25
Lithium	Chile (33%), Australien (22%), Argentinien (13%), China (11%), Vereinigte Staaten von Amerika (4%)	Chile (1.61), Australien (1.33), Argentinien (2.11), China (2.54), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.34	0.34
Magnesium	Russland (34%), China (8%), Slowakei (5%), Australien (4%), Griechenland (4%)	Russland (3.30), China (2.53), Slowakei (1.56), Australien (1.33), Griechenland (1.76)	0.73	0.73
Mangan	Südafrika (31%), Australien (26%), Kanada (15%), Brasilien (14%), Ukraine (7%)	Südafrika (2.05), Australien (1.33), Kanada (1.35), Brasilien (2.23), Ukraine (2.79)	0.39	0.39
Molybdän	China (39%), Vereinigte Staaten von Amerika (23%), Peru (10%), Chile (9%), Russland (7%)	China (2.54), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Peru (2.30), Chile (1.61), Russland (3.30)	0.52	0.52
Nickel	Indonesien (42%), Australien (18%), Brasilien (12%), Russland (6%), Neukaledonien (5%)	Indonesien (2.30), Australien (1.33), Brasilien (2.23), Russland (3.30), Neukaledonien (1.82)	0.52	0.52

Rohstoff	Wichtigste Länder und ihre Reserven-Anteile	Wichtigste Länder und ihr politischer Risikoin-dex	GVRI	Für die Analyse verwendeter GVRI
Niobium	Brasilien (90%), Kanada (9%), Vereinigte Staaten von Amerika (1%)	Brasilien (2.23), Kanada (1.35), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	1.81	1.81
Platinmetallgruppe	Südafrika (89%), Russland (8%), Zimbabwe (2%), Vereinigte Staaten von Amerika (1%), Kanada (0.4%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.5), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Kanada (1.34)	3.28	3.28
Phosphor	Marokko (67%), China (5%), Ägypten (4%), Tunesien (3%), Russland (3%)	Marokko (2.18), China (2.54), Ägypten (2.94), Tunesien (2.43), Russland (3.30)	1.01	1.01
Rhodium	Südafrika (55%), Russland (27%), Zimbabwe (18%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.5)	0.97	0.97
Ruthenium	Südafrika (95%), Russland (3%), Zimbabwe (2%)	Südafrika (2.05), Russland (3.30), Zimbabwe (3.5)	1.85	1.85
Selen	Russland (27%), Peru (20%), Vereinigte Staaten von Amerika (12%), Kanada (6%), China (5%)	Russland (3.30), Peru (2.30), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), Kanada (1.35), China (2.54)	0.52	0.52
Seltene Erden	China (38%), Vietnam (19%), Bolivien (18%), Russland (9%), Indien (6%)	China (2.54), Vietnam (2.47), Bolivien (2.53), Russland (3.3), Indien (2.36)	0.58	0.58
Silber	Peru (18%), Australien (15%), Russland (15%), China (12%), Polen (10%)	Peru (2.30), Australien (1.33), Russland (3.3), China (2.54), Polen (1.65)	0.27	0.27
Silicium	<i>Quantitative Schätzungen der länderspezifischen Reserven nicht verfügbar*</i>			
Strontium	China (100%)	China (2.53)	2.53	2.53
Tantal	China (56%), Australien (31%), Brasilien (12%)	China (2.53), Australien (1.33), Brasilien (2.23)	0.97	0.97
Tellur	Russland (16%), Vereinigte Staaten von Amerika (11%), China (9%), Südafrika (2%), Kanada (2%)	Russland (3.30), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55), China (2.54), Südafrika (2.05), Kanada (1.35)	0.93	0.93

Rohstoff	Wichtigste Länder und ihre Reserven-Anteile	Wichtigste Länder und ihr politischer Risikoin-dex	GVRI	Für die Analyse verwendeter GVRI
Titan (Ilmenit)	China (30%), Australien (26%), Indien (12%), Kanada (7%), Brasilien (6%)	China (2.54), Australien (1.33), Indien (2.36), Kanada (1.35), Brasilien (2.23)	0.39	
Titan (Rutil)	Australien (63%), Indien (13%), Südafrika (11%), Sierra Leone (5%), Ukraine (5%)	Australien (1.33), Indien (2.36), Südafrika (2.05), Sierra Leone (2.64), Ukraine (2.79)	0.61	0.61
Vanadium	China (36%), Australien (28%), Russland (19%), Südafrika (13%), Brasilien (4%)	China (2.53), Australien (1.33), Russland (3.30), Südafrika (2.04), Brasilien (2.23)	0.6	0.6
Wolfram	China (47%), Russland (11%), Vietnam (3%), Spanien (1%), Österreich (0.3%)	China (2.53), Russland (3.30), Vietnam (2.47), Spanien (1.50), Österreich (1.28)	0.93	0.93
Zink	Australien (29%), China (20%), Russland (11%), Peru (9%), Mexiko (6%)	Australien (1.33), China (2.54), Russland (3.30), Peru (2.30), Mexiko (2.48)	0.32	0.32
Zinn	China (26%), Myanmar (16%), Australien (14%), Russland (11%), Brasilien (10%)	China (2.54), Myanmar (5.95), Australien (1.33), Russland (3.30), Brasilien (2.23)	0.45	0.45
Zirconium	Australien (70%), Südafrika (9%), Senegal (4%), Mosambik (3%), Vereinigte Staaten von Amerika (0.7%)	Australien (1.33), Südafrika (2.05), Senegal (2.15), Mosambik (2.71), Vereinigte Staaten von Amerika (1.55)	0.72	0.72

Quelle: M-Five, Eigene Berechnung auf Basis der Daten von USGS (2023) und RMIS (<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>)

\*Silizium wird aus Kieselsäure in verschiedenen natürlichen Formen wie Quarzit gewonnen. Die Reserven in den meisten wichtigen Produktionsländern sind im Verhältnis zum Bedarf groß. Quantitative Schätzungen liegen nicht vor (USGS 2023).

### **9.3 Sektoren zur Abbildung der ökonomischen Effekte**

Das ökonomische Modul von ASTRA-DE geht ursprünglich auf die sektorale Struktur der Klassifikation der Wirtschaftszweige aus 2003 (WZ-2003) zurück, In Teilen können die Sektoren in die Struktur der heute gültigen Klassifikation aus 2008 (WZ-2008) überführt werden. Zur Darstellung in Tabellen oder Abbildungen werden die in Tabelle 9.6 dargestellten Sektor-Kürzel verwendet.

Tabelle 9.6: Sektoren im ökonomischen Modul von ASTRA-DE

Sektor-Kürzel	Beschreibung
Landwirtschaft	Landwirtschaft und Jagd
Forstwirtschaft	Forstwirtschaft
Fischerei	Fischerei und Fischzucht
Kohle	Kohlenbergbau, Torfgewinnung
Öl, Gas	Gewinnung von Erdöl und Erdgas, Erbringung damit verbundener DL
Metalle und Mineralien	Erzbergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau
Nahrung	Ernährungsgewerbe
Tabak	Tabakverarbeitung
Textilien	Textilgewerbe
Bekleidung	Bekleidungsgewerbe
Leder	Ledergewerbe
Holz	Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)
Papier	Papiergewerbe
Verlagserzeugnisse	Verlagsgewerbe, Druckgewerbe, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern
Kokerei, Mineralöl-Produkte	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
Chemie	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
Plastik	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
Glas, Keramik	Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
Metallherstellung	Metallerzeugung und -bearbeitung
Metallprodukte	Herstellung von Metallerzeugnissen
Maschinen	Maschinenbau
Computer	Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen
Elektrizität	Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.Ä.
Kommunikation	Rundfunk- und Nachrichtentechnik
Elektronik	Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Optik, Uhren
Kraftwagen	Herstellung von Kraftwagen (Straßenverkehr) und Kraftwagenteilen
Sonstige Fahrzeuge	Sonstiger Fahrzeugbau
Andere Produkte	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen

Sektor-Kürzel	Beschreibung
Recycling	Recycling
Energie	Energieversorgung
Wasser	Wasserversorgung
Bausektor	Baugewerbe
Handel Kfz	Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen
Großhandel	Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)
Einzelhandel	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern
Gastronomie	Gastgewerbe
Landverkehr	Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen
Schifffahrt	Schifffahrt
Luftfahrt	Luftfahrt
DL Verkehr	Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung
Nachrichten	Nachrichtenübermittlung
DL Banken	Kreditgewerbe
DL Versicherung	Versicherungsgewerbe
Kredit und Versicherung	Mit dem Kredit- und Versicherungsgewerbe verbundene Tätigkeiten
Immobilien	Grundstücks- und Wohnungswesen
DL Vermietung	Vermietung beweglicher Sachen ohne Bedienungspersonal
DL Datenverarbeitung	Datenverarbeitung und Datenbanken
Forschung	Forschung und Entwicklung
Unternehmensbezogene DL	Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen, anderweitig nicht genannt
Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers.	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
Erziehung	Erziehung und Unterricht
Gesundheit, Soziales	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
Abwasser, Entsorgung	Abwasser- und Abfallbeseitigung und sonstige Entsorgung
DL Interessenvertretungen	Interessenvertretungen sowie kirchliche und sonstige Vereinigungen (ohne Sozialwesen, Kultur und Sport)
Kultur	Kultur, Sport und Unterhaltung
Sonstige DL	Erbringung von sonstigen Dienstleistungen
DL Haushalte	Private Haushalte mit Hauspersonal

Quelle: M-Five