

## Steigende Metallpreise als mögliches Hindernis der Energiewende

Von Lukas Boer

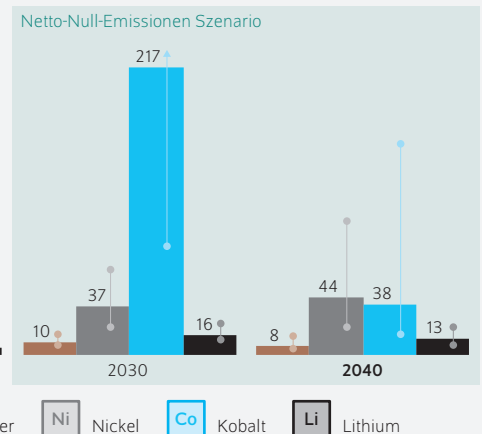
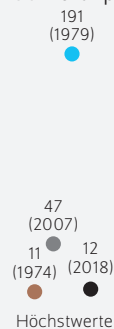
- Schätzung der Auswirkung von steigender Nachfrage nach Metallen auf deren Preise im Netto-Null-Emissionen Szenario der Internationalen Energieagentur
- Metalle können sich in der globalen Energiewende aufgrund steigender Nachfrage als Engpassfaktor erweisen
- Im Netto-Null-Emissionen Szenario können Preise von wichtigen Metallen für die Energiewende auf historische Höhepunkte steigen
- Einnahmen von Metallproduzenten sind im Szenario ähnlich hoch wie Einnahmen von Ölproduzenten
- Um die Preisanstiege zu begrenzen, ist eine entschiedene, global koordinierte Klimapolitik erforderlich, die mehr Planungssicherheit für Metallproduzenten schafft

### Massiver Anstieg der Metallnachfrage im Netto-Null-Emissionen Szenario könnte Preise auf historische Höhepunkte treiben

Anstieg der Metallproduktion 2040 im Netto-Null-Emissionen Szenario im Vergleich zu 2020

Kupfer 171%  
 Nickel 325%  
 Kobalt 643%  
 Lithium 2325%

Preise in Tausend US-Dollar pro Tonne



Quellen: International Energy Agency; Schwerhoff und Stuermer (2020); US Geological Survey; IMF; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

### ZITAT

*Am Ende aber kommt es entscheidend darauf an, technologischen Fortschritt zu fördern, Markttransparenz zu steigern und Metallproduzenten Planungssicherheit zu geben, damit Preissteigerungen abgeschwächt werden können und ein begrenztes Metallangebot die Energiewende nicht schwerwiegend bremst.*

— Lukas Boer —

### MEDIATHEK



Audio-Interview mit Lukas Boer  
[www.diw.de/mediathek](http://www.diw.de/mediathek)

# Steigende Metallpreise als mögliches Hindernis der Energiewende

Von Lukas Boer

## ABSTRACT

Die Begrenzung der globalen Klimaerwärmung erfordert eine Transformation des Energiesektors hin zu Technologien mit geringen Treibhausgasemissionen. Dies beinhaltet eine Abkehr von fossilen Brennstoffen, dafür aber einen substantiellen Anstieg der Nachfrage nach speziellen Nichteisenmetallen. Kobalt, Kupfer, Lithium und Nickel sind Hauptbestandteile von Technologien zur Erzeugung oder Speicherung von erneuerbaren Energien. Diese Metalle stellen potenziell einen Engpass für die Energiewende dar. Um den Effekt abzuschätzen, wurden aus historischen Daten Angebotselastizitäten ermittelt und in ein Szenario mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien und Emissionsneutralität eingespeist. Dieses Szenario zeigt, dass die Preise der betrachteten Metalle über die nächsten zwanzig Jahre auf historische Höhepunkte steigen und dort für eine noch nie dagewesene Dauer von mehreren Jahren verweilen könnten. Der Wert der globalen Produktion der Metalle könnte ein ähnliches Niveau wie das der künftigen globalen Ölproduktion erreichen. Eine erfolgreiche Energiewende erfordert daher eine entschiedene, global koordinierte Klimapolitik mit Emissionszielen, die Planungssicherheit für Metallproduzenten schaffen und dadurch starke Preisanstiege abschwächen können.

Der Weltklimarat stellt fest, dass die Erdoberflächentemperatur um 1,1 Grad Celsius im Zeitraum von 2011 bis 2020 im Vergleich zur Periode von 1850 bis 1900 gestiegen ist.<sup>1</sup> Um den globalen Klimawandel zu begrenzen, verpflichteten sich Länder und Unternehmen vermehrt dazu, Treibhausgasemissionen innerhalb der nächsten Jahrzehnte auf „netto null“ zu senken, so zuletzt auf der Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Glasgow im November 2021. Unter „netto null“ wird verstanden, dass die Summe der Treibhausgasemissionen aus allen wirtschaftlichen Aktivitäten abzüglich potenzieller Emissionsabscheidungen null beträgt.<sup>2</sup>

Um das Ziel der Emissionsneutralität zu erreichen, ist eine grundlegende Transformation des Energiesektors notwendig, weg von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien und deren Speicherung. Windräder, Photovoltaikanlagen, Batterien und Elektroautos verbrauchen kein Öl und keine Kohle, erfordern dafür aber einen sehr hohen Einsatz an Metallen, vor allem Kobalt, Kupfer, Lithium und Nickel.<sup>3</sup> In einem Elektroauto ist beispielsweise die fünffache Menge dieser Metalle verbaut verglichen mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Für den Bau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen werden große Mengen an Kupfer verbraucht, während Batterien aktuell aus Kobalt, Lithium und Nickel hergestellt werden.<sup>4</sup> Der hohe Bedarf könnte zu einem Engpass im Angebot von für die Energiewende bedeutsamen Metallen führen. Wenn das Angebot nicht mit der zu erwartenden starken Nachfragesteigerung mithält, könnte es zu Knappheiten und somit starken

<sup>1</sup> IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, in press (online verfügbar am 13. Januar 2022). Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen des Berichts, sofern nicht anders vermerkt.

<sup>2</sup> „Netto null“ oder Emissionsneutralität kann auf unterschiedlichem Weg erreicht werden, insbesondere durch einen hohen Anteil erneuerbarer Energien. Dabei wird oft die Nutzung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung angenommen. Diese Technik steht jedoch noch nicht zur Verfügung.

<sup>3</sup> International Energy Agency (IEA) (2021a): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency, Paris, France (online verfügbar) und World Bank (2020): Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. World Bank, Washington D.C. (online verfügbar).

<sup>4</sup> Graphit und Mangan sind weitere wichtige Bestandteile, werden hier aber nicht im Detail betrachtet. Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach Mangan weniger stark ansteigt, während Graphit aktuell einen relativ niedrigen Produktionswert hat.

Preissteigerungen kommen. Dies würde eine schnelle und erfolgreiche Energiewende behindern.

Der vorliegende Beitrag untersucht, wie stark Metallpreise in einem Netto-Null-Emissionen Szenario<sup>5</sup> steigen und so ein Hindernis für die Energiewende darstellen könnten.<sup>6</sup> Das betrachtete Szenario wurde von der Internationalen Energieagentur (IEA) ausgearbeitet und geht von globaler Emissionsneutralität im Jahr 2050 aus.<sup>7</sup> Während andere Studien sich darauf konzentrieren den Bedarf an Metallen zu ermitteln, wird im Folgenden der Bedarf als exogen gegeben angenommen. Hieraus werden Effekte auf Metallpreise anhand von strukturellen Metallmarktmodellen, die mit historischen Daten geschätzt werden, ermittelt.

### Die Nachfrage nach für die Energiewende bedeutsamen Metallen steigt stark

Mit der Energiewende rückt eine breite Anzahl unterschiedlicher Metalle in den Fokus. Einige werden seit langer Zeit auf Metallbörsen gehandelt, darunter Kupfer und Nickel, während andere wie Kobalt und Lithium erst durch ihren Einsatz in Batterien an Bedeutung gewonnen haben und erst seit wenigen Jahren börslich gehandelt werden. Kupfer, Nickel, Kobalt und Lithium werden von der IEA als die wichtigsten Metalle für die Energiewende erachtet und daher im Folgenden näher betrachtet.

Der Anteil von erneuerbaren Energieerzeugungs- und -speichertechnologien an der Nachfrage nach diesen Metallen wächst nach Angaben der IEA innerhalb der nächsten 20 Jahre im Schnitt von rund 20 Prozent im Jahr 2020 für alle vier Metalle auf rund 40 Prozent für Kupfer, auf 40 bis 60 Prozent für Kobalt und Nickel und sogar auf über 80 Prozent für Lithium.<sup>8</sup> Die Nachfrage nach diesen vier Metallen wächst bedeutend schneller als die von anderen für die Energiewende bedeutsamen Metallen.<sup>9</sup> Im Netto-Null-Emissionen Szenario der IEA steigt der gesamte Verbrauch von Lithium auf das mehr als Zwanzigfache im Jahr 2040 im

Vergleich zum Jahr 2020. Der Kobaltverbrauch steigt auf mehr als das Sechsfache. Der Verbrauch von Kupfer und Nickel erhöht sich zwar weniger stark; für Kupfer verdoppelt er sich nahezu und für Nickel nimmt er sogar um mehr als das Dreifache zu (Abbildung 1). In einem zweiten Szenario der IEA, dem Status-Quo-Politik Szenario, folgt der Anstieg eher dem Trend der letzten zehn Jahre. Dieses moderate Szenario beruht auf den bis Anfang 2021 weltweit beschlossenen Klimapolitiken, wobei nicht von einer vollständigen Implementierung in allen Bereichen ausgegangen wird.<sup>10</sup>

### Angebot an Metallen kurzfristig unelastisch

Während die Nachfrage nach den vier betrachteten Metallen in den nächsten Jahren stark steigen könnte, reagiert das Angebot typischerweise langsamer auf Preissignale. Die Angebotselastizität (das Verhältnis der Veränderung des Angebots zu einer exogenen Veränderung im Preis) hängt teilweise von der jeweiligen Produktionsmethode ab. Kupfer, Nickel und Kobalt werden in Minen abgebaut, wobei Kobalt zu 98 Prozent als Nebenprodukt von Kupfer oder Nickel entsteht.<sup>11</sup> Die Erschließung und Eröffnung neuer Minen kann bis zu zwei Jahrzehnte dauern.<sup>12</sup> Lithiumkarbonat hingegen wird sowohl aus im Bergbau gewonnenen Erzen (Spodumen) hergestellt, als auch aus Solen; hierbei wird lithiumhaltiges Salzwasser an die Erdoberfläche gepumpt. Für den Soleabbau liegt die Vorlaufzeit bei wenigen Jahren und ist damit bedeutend kürzer.

Die berechneten Elastizitäten, die auf historischen Erfahrungen beruhen, zeigen, dass das Angebot in der kurzen Frist sehr unelastisch ist, aber mit der Zeit immer stärker auf den Anstieg des Preises reagiert (Abbildung 2). Ein nachfragebedingter positiver Preisschock von 10 Prozent führt zu einem Anstieg des Angebots im selben Jahr an Kupfer von 3,5 Prozent, an Nickel von 7,1 Prozent, an Kobalt von 3,2 Prozent und an Lithium von 16,9 Prozent. Dies resultiert hauptsächlich aus einer intensiveren Nutzung vorhandener Kapazitäten. Innerhalb von zwanzig Jahren können die Kapazitäten erweitert werden, so dass derselbe Preisschock das Angebot im langfristigen Durchschnitt an Kupfer um 7,5 Prozent, Nickel um 13 Prozent, Kobalt um 8,6 Prozent und Lithium um 25,5 Prozent steigen lässt.

<sup>5</sup> Ein Erreichen von einer globalen Neutralität der Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 würde eine hohe Wahrscheinlichkeit bieten das 1,5 Grad Ziel zu erreichen. IPCC (2018): Special Report: Global Warming of 1.5 Grad Celsius (online verfügbar).

<sup>6</sup> Lukas Boer, Andrea Pescatori und Martin Stürmer (2021): Energy Transition Metals. DIW Discussion Papers 1976 (online verfügbar) und Lukas Boer, Andrea Pescatori und Martin Stürmer (2021): Energy Transition Metals, International Monetary Fund, Working Paper No. 2021/243 (online verfügbar). Das Papier liefert Hintergründe zu Teilen der Analyse in International Monetary Fund: World Economic Outlook, October 2021, Chapter 1, Commodity Special Feature, 32–36 (online verfügbar).

<sup>7</sup> „Net Zero Emissions by 2050 Szenario (NZE) in der Terminologie der IEA (online verfügbar). IEA (2021b): Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, International Energy Agency (online verfügbar). Die IEA führt das Szenario mit „Net-Zero-Emissions“ (NZE) im Detail aus. Es handelt sich hierbei nur um eines von mehreren möglichen Szenarien, um global Netto-Null Emissionen zu erreichen. Dabei wird angenommen, dass knapp 70 Prozent der globalen Energiegewinnung im Jahr 2050 durch Solar- und Windenergie entsteht und dass 60 Prozent der globalen Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2030 Elektroautos sind. Bis zum Jahr 2030 basiert das Szenario auf Technologien, die heute bereits verwendet werden. Im Jahr 2050 stammt knapp die Hälfte der Emissionsreduktionen aus Technologien, die sich heute noch in der Demonstrations- oder Prototypenphase befinden.

<sup>8</sup> IEA (2021a), a. a. O.

<sup>9</sup> Die Nachfrage nach Graphit stellt hier eine Ausnahme dar. Sie würde im Netto-Null Szenario von einem relativ geringen Wert auf etwa das Siebenfache steigen. International Monetary Fund (2021), a. a. O.

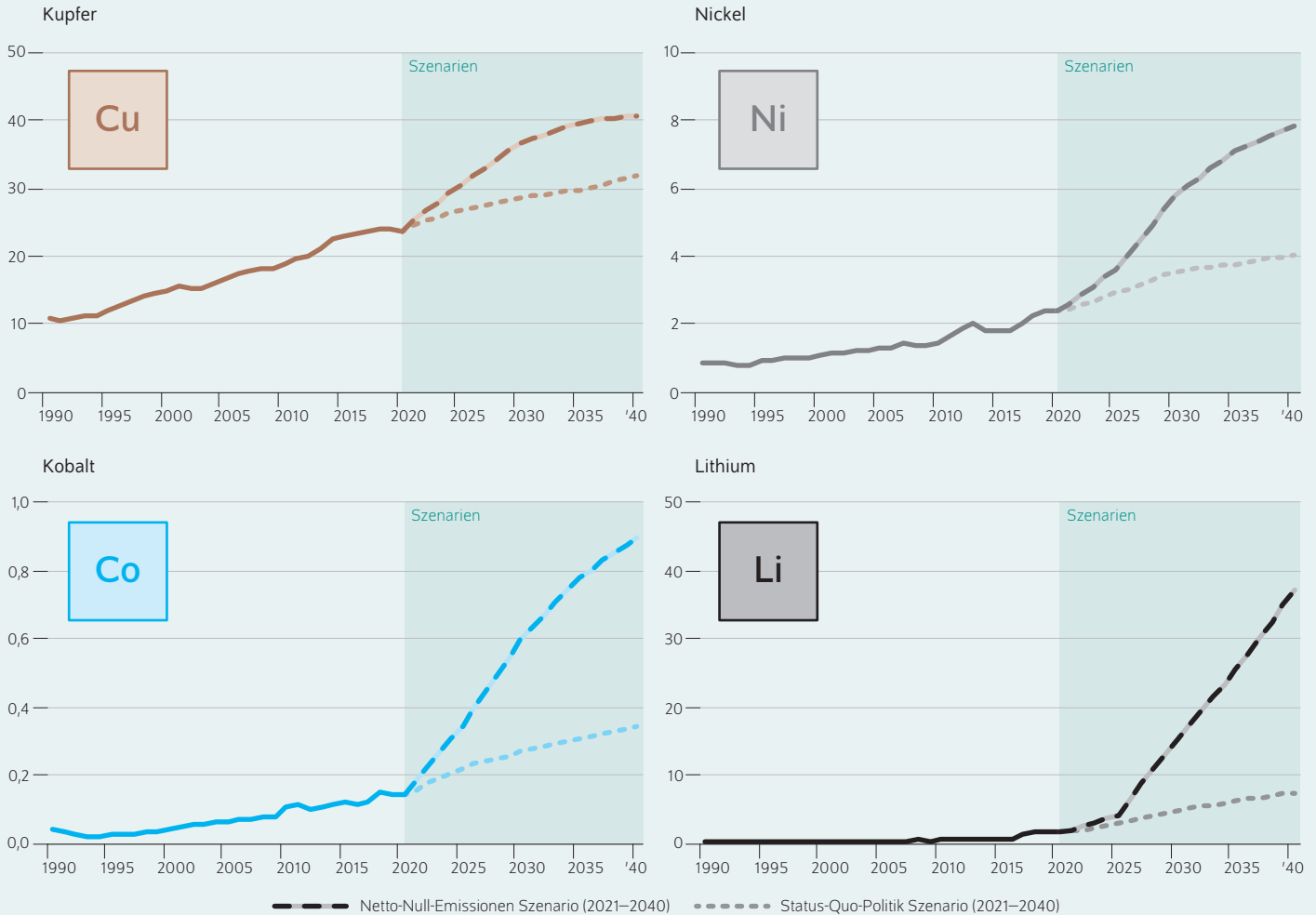
<sup>10</sup> Es handelt sich hier um das „Stated Policies Scenario (STEPS)“ der IEA (online verfügbar). In diesem Szenario wird angenommen, dass politische Entscheidungsträger keine weiteren Impulse für ein Energiesystem mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien geben. Ein Emissionsergebnis ist nicht vorgegeben.

<sup>11</sup> Global Energy Metals Corp: Cobalt (online verfügbar).

<sup>12</sup> IEA (2021a), a. a. O.

Abbildung 1

**Historische Metallproduktion und Energiewendeszenarien**  
In Million Tonnen



Anmerkungen: Kupfer- und Nickelproduktion beinhalten Recycling.

Quelle: International Energy Agency.

© DIW Berlin 2022

Im Netto-Null-Emissionen Szenario steigt die Metallproduktion künftig stark.

**Metallpreise könnten für beispiellose Dauer historische Höchststände erreichen**

Die Metallmarktmodelle und die berechneten Elastizitäten ermöglichen die Schätzung von potenziellen Preisentwicklungen in den beiden betrachteten IEA-Szenarien, Netto-Null-Emissionen und Status-Quo-Politik. Hierzu wird eine strukturelle Szenario-Analyse<sup>13</sup> durchgeführt, eine auf Zeit-

**13** Bei der auf die lange Frist angelegten Szenarioanalyse handelt es sich um keine Prognose. Im Unterschied zur Prognose wird bei der Szenarioanalyse ein bestimmtes Szenario angenommen und nicht der wahrscheinlichste Verlauf der Metallnachfrage skizziert. Es ist höchst unsicher, ob das Netto-Null Szenario der IEA tatsächlich eintritt. Der Verlauf der Energiewende hängt maßgeblich von künftigen politischen Entscheidungen und technologischem Fortschritt ab. Eine Übersicht zu kurzfristigen Preisprognosen für Lithium bis zum Jahr 2030 stellt die German Lithium Participation zur Verfügung (online verfügbar). Preisprognosen für Kupfer (online verfügbar) und Nickel (online verfügbar) stellt beispielsweise der Datenprovider Knoema zur Verfügung.

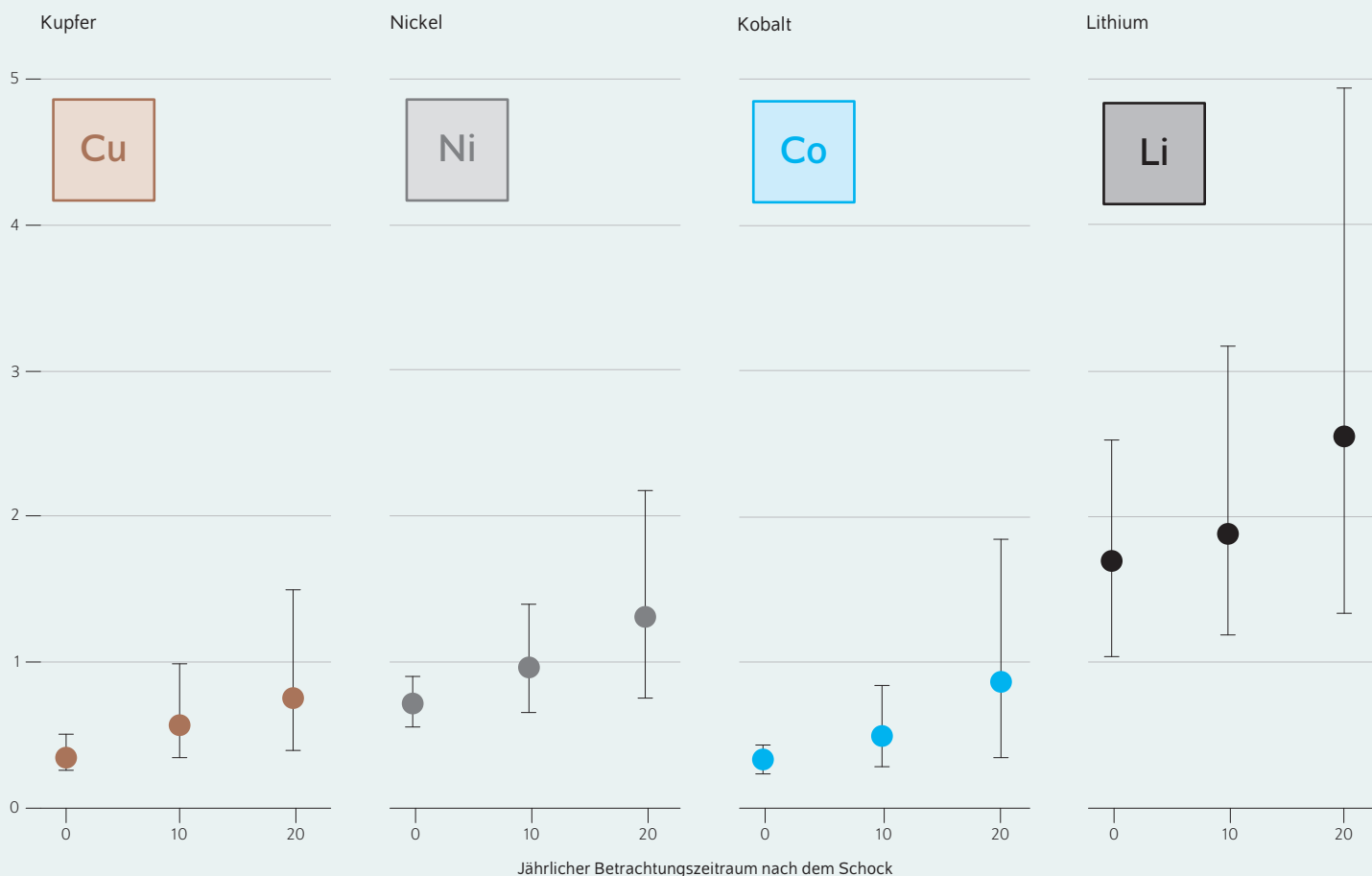
reihenmodellen beruhende Was-wäre-wenn-Analyse (Kasten).<sup>14</sup> Über den Zeitraum von 2021 bis 2040 werden jährliche Nachfrageschocks modelliert, die die Metallnachfrage aus den IEA-Szenarien abbilden (Abbildung 1). Die höhere Nachfrage ergibt sich aus den Bedürfnissen der Energiewende und ermöglicht eine Schätzung eines Preispfads für jedes der vier betrachteten Metalle.

Im Netto-Null-Emissionen Szenario steigen inflationsbereinigte Preise auf historische Höchststände oder übertreffen diese und verweilen dort für mehrere Jahre (siehe Punktschätzer in Abbildung 3); dies wäre eine historisch

**14** Die Methode wurde formalisiert in Juan Antolin-Díaz, Ivan Petrella und Juan Rubio-Ramírez (2021): Structural Scenario Analysis with SVARs, Journal of Monetary Economics 117(C), 798–815 (online verfügbar).

Abbildung 2

Angebotselastizitäten



Anmerkungen: Angebotselastizitäten geben das Verhältnis der Produktionsveränderung zur Preisveränderung an und beruhen auf einem sektorspezifischen Nachfrageschock. Die Konfidenzbänder zeigen 16 und 84er Perzentile.

Quellen: Schwerhoff und Stuermer (2020); US Geological Survey; IMF; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

Das Angebot reagiert in der längeren Frist besonders bei Lithium stark auf den Preis.

beispielslose Preisentwicklung. Die Preise erreichen in diesem Szenario ihren Höhepunkt um das Jahr 2030. Der anfängliche Nachfrageboom führt zu einer Angebotsausweitung, wie die längerfristigen Elastizitäten zeigen (Abbildung 2). Im Status-Quo Szenario hingegen kommt es aufgrund des geringeren Tempos der Energiewende und der relativ niedrigeren Nachfrage nach den vier Metallen kaum zu Preissteigerungen, so dass die Preise in etwa auf den jeweiligen Niveaus des Jahres 2020 verweilen.

Die Konfidenzbänder um die Punktschätzer sind sehr breit, so dass die Netto-Null Szenariopreise im Jahr 2040 auch wieder unter den Preisen im Jahr 2020 liegen könnten. Die Unsicherheit stammt sowohl aus der Schätzung struktureller Parameter und eventueller Messfehler in den historischen Daten als auch aus dem möglichen Auftreten weiterer ökonomischer Schocks, die die zukünftigen Preisentwicklungen beeinflussen. Zudem ist zu beachten, dass die IEA in ihren Szenarien nicht den Effekt von potenziellen höheren

Metallpreisen auf deren Nachfrage einfließen lässt, was beispielsweise Anreize für eine stärkere Nutzung von Substituten setzen würde.

Im Netto-Null-Emissionen Szenario könnte die Energiewende zu einem vierfachen Anstieg im Wert der Metallproduktion führen. Der Produktionswert der vier betrachteten Metalle steigt auf rund 13 Billionen US-Dollar (11,5 Billionen Euro) für den Zeitraum von 2021 bis 2040 (Tabelle 1).<sup>15</sup> Dies entspricht dem geschätzten Produktionswert für Rohöl über den gleichen Zeitraum im Netto-Null Szenario.<sup>16</sup> Damit

<sup>15</sup> Der Produktionswert ergibt sich aus der Multiplikation des Produktionsniveaus, das von den IEA-Szenarien abgeleitet wurde, mit dem jeweiligen Preis, der mit dem strukturellen Schätzmodell geschätzt wurde.

<sup>16</sup> Der Preis von Rohöl beruht hierbei nicht auf einer strukturellen Szenario-Analyse, sondern stammt aus IEA (2021b), a. a. O. Es wird ein durchschnittlicher zukünftiger Preis von 30 US-Dollar angenommen. Dieser liegt am unteren Rand der Preise während der letzten 20 Jahre, übertrifft aber stark die Produktionskosten großer Ölexporteure wie Saudi-Arabien oder Russland. Die Preise für Erdgas und Kohle liegen im IEA Netto-Null Szenario auch weit unterhalb aktueller Preise.

Tabelle 1

**Geschätzte kumulierte Produktionswerte**  
In Billionen US-Dollar

	Historisch (1999–2018)	Status-Quo-Szenario (2020–2040)	Netto-Null-Szenario (2020–2040)
Betrachtete Metalle	3 043	4 974	13 007
Kupfer	2 382	3 456	6 135
Nickel	563	1 225	4 147
Kobalt	80	152	1 556
Lithium	18	18	1 170
Fossile Brennstoffe	70 090	–	19 101
Rohöl	41 819	–	12 906
Erdgas	17 587	–	3 297
Kohle	10 684	–	2 898

Anmerkungen: Preisannahmen sind 30 US-Dollar für ein Fass Rohöl, 1,50 US-Dollar für eine Million British Thermal Units Erdgas und 40 US-Dollar für eine Tonne Kohle. Die Ergebnisse beziehen sich auf den jeweiligen Median-Punktschätzer in Abbildung 3. Das IEA Netto-Null Szenario nimmt an, dass der globale Verbrauch von Rohöl bis zum Jahr 2040 um 54 Prozent fällt, Erdgas um 45 Prozent und Kohle um 80 Prozent.

Quellen: International Energy Agency; IMF; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

Tabelle 2

**Geographische Konzentration der Produktion und Reserven**  
In Prozent

	Kupfer		Nickel		Kobalt		Lithium	
	Produktion	Reserven	Produktion	Reserven	Produktion	Reserven	Produktion	Reserven
Argentinien							8	9
Australien	4	10	7	22	4	20	49	22
Brasilien			3	17			2	<1
Chile	29	23					22	44
China	9	3	5	3	2	1	17	7
Indonesien			30	21	1			
Peru	11	11						
Philippinen			13	5	4	4		
Kongo	7	2			69	51		
Kuba			2	6	3	7		
Russland	4	7	11	7	4	4		
Top-3-Anteil	49	44	54	60	77	78	88	75

Quelle: US Geological Survey.

© DIW Berlin 2022

würden die vier betrachteten Metalle zu Rohstoffen, die maßgeblich Inflation, Handel und die globale Wirtschaftsleistung beeinflussen. Metallpreise würden dann eine wichtige Rolle für Inflationserwartungen spielen. Für Ölexporteur wie Saudi-Arabien oder Russland ist derzeit der Ölpreis von hoher Bedeutung für den Staatshaushalt. Gleiches würde dann für Metallproduzenten gelten, die von erheblichen Mehreinnahmen durch steigende Preise profitieren könnten. Gleichzeitig würden geopolitische Aspekte, wie Handelsstrukturen und die Marktmacht einzelner Länder, Angebot und Preise zu beeinflussen, durch die ungleiche Verteilung der Metalle in den Fokus rücken.

**Produktion und Reserven sind geographisch stark konzentriert**

Das Angebot der vier für die Energiewende kritischen Metalle konzentriert sich stark auf wenige Länder (Tabelle 2). Einzelne Länder könnten als größte Produzenten enorm von Nachfragesteigerungen profitieren. In den meisten Fällen haben die Länder mit der derzeit höchsten Produktion auch den höchsten Anteil an den Metallreserven. Als Reserven wird die bereits erkundete Menge eines Rohstoffes bezeichnet, die mit heutigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gefördert werden kann. Die Demokratische Republik Kongo produziert etwa 70 Prozent der globalen jährlichen Fördermenge an Kobalt und verfügt gleichzeitig über die Hälfte der globalen Kobaltreserven. Chile hat die größte Kupferproduktion und die größten Reserven von Kupfer und Lithium. Australien ist größter Lithiumproduzent und verfügt gleichzeitig über große Reserven an allen vier Metallen. Indonesien produziert weltweit am meisten Nickel. Die jeweiligen Top drei Länder vereinen knapp 90 Prozent der globalen Lithiumproduktion auf sich, knapp 80 Prozent der globalen Kobaltproduktion und jeweils rund 50 Prozent der globalen Kupfer- und Nickelproduktion.

Durch die ungleiche Verteilung der Metallreserven werden Länder sehr unterschiedlich von der steigenden Nachfrage und den damit einhergehenden Preisänderungen profitieren. Es wäre wünschenswert, wenn durch transparente Geldflüsse und gute Governance die breite Bevölkerung in Ländern mit großen Metallfördermengen profitiert. Staatsfonds, beispielsweise nach dem Vorbild Norwegens, könnten aufgesetzt werden, um die Abhängigkeit von Rohstoffeinnahmen in diesen Ländern nicht zu groß werden zu lassen. Importeure wie die Europäische Union täten gut daran, über Initiativen wie die Extractive Industries Transparency Initiative auf die exportierenden Länder einzuwirken, so dass der Metallreichtum dort tatsächlich wohlfördernde Effekte hätte.

**Fazit: Entschiedene Klimapolitik kann Metallangebot stützen**

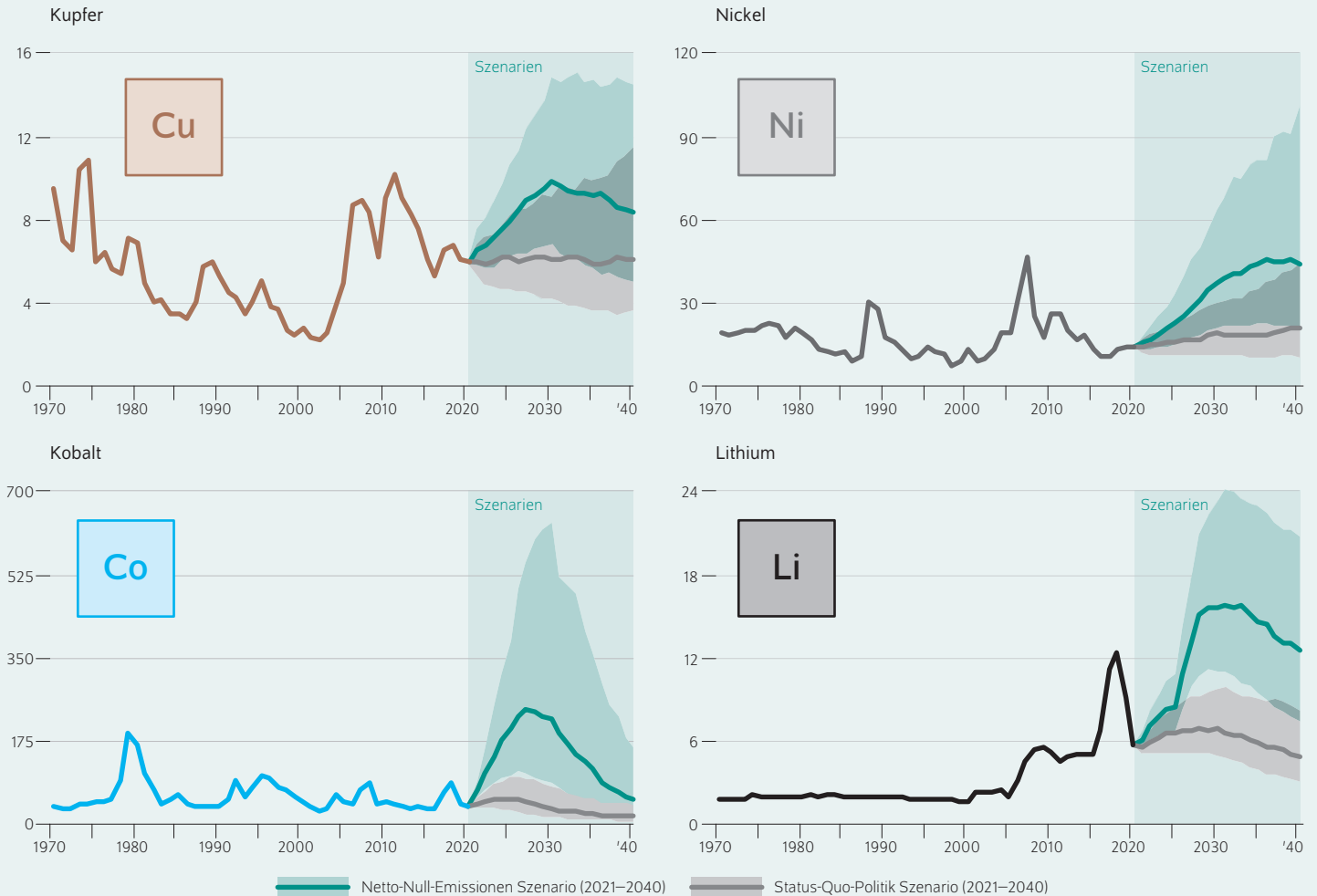
In dem betrachteten Netto-Null-Emissionen Szenario, das eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Begrenzung des Klimawandels auf 1,5 Grad gibt, könnte der Nachfrageboom nach Metallen zu starken Preisanstiegen führen. Dies wiederum könnte die Umsetzung der Energiewende verzögern.

Die betrachteten Szenarien und deren Ergebnisse sind mit hoher Unsicherheit verbunden. Erstens ist technologischer Fortschritt schwer vorhersehbar. So könnte die Nachfrage nach für die Energiewende wichtigen Metallen geringer ausfallen, wenn die aktuell erwarteten Innovationen übertroffen oder alternative Materialien (Substitute) gefunden werden. Dies würde potenzielle Preisanstiege dämpfen und damit die Kosten der Energiewende verringern.

Abbildung 3

Preisszenarien für das Netto-Null-Emissionen Szenario und das Status-Quo Szenario

In Tausend US-Dollar pro Tonne



Anmerkungen: 40-Prozent-Konfidenzbänder. Preise sind inflationsbereinigt auf Basis des Jahres 2020.

Quellen: International Energy Agency; Schwerhoff und Stuermer (2020); US Geological Survey; IMF; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

Der Preis der Metalle steigt im Netto-Null-Emissionen Szenario in den 20er Jahren rasch an.

Substitute sind bisher noch mit geringerer Leistung oder sehr hohen Kosten verbunden.<sup>17</sup> In Zukunft könnten beispielsweise für Batterien Lithium-Eisenphosphat-Kathoden den Bedarf an Nickel substituieren, was jedoch die Energieintensität verringern würde. Für Lithium gibt es bisher nur sehr begrenzte Substitutionsmöglichkeiten. Aluminium könnte Kupfer in Stromleitungen teilweise ersetzen.

Zweitens hängen Geschwindigkeit und Richtung der Energiewende maßgeblich von Politikentscheidungen ab. Hohe politische Unsicherheit, und die daraus resultierende Unsicherheit über den künftigen Stellenwert von erneuerbaren

Energien oder Elektroautos, hält Investitionen in die Metallförderung zurück, sodass das Angebot nicht zügig genug auf die steigende Nachfrage reagiert. Eine entschiedene, global koordinierte Klimapolitik, die mehr Planungssicherheit für Produzenten (oftmals multinationale Konzerne) schafft, könnte daher eine entscheidende Rolle spielen, um die Kosten für die Energiewende zu minimieren.

Gleichzeitig kann eine substanzielle Ausweitung von Bergbauaktivitäten negative Effekte für die Umwelt haben. Stringente Standards für Umwelt, Soziales und Unternehmensführung sollten eingehalten werden, damit Umweltbelastungen nicht unnötig erhöht werden. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen empfiehlt zum Beispiel, dass Deutschland im Rahmen von internationalen Vereinbarungen gezielt

<sup>17</sup> Vgl. Dolf Gielen (2021): Critical Materials for the Energy Transition, International Renewable Energy Agency, Technical Papers 5/2021 (online verfügbar).

Kasten

## Die empirischen Metallmarktmodelle und strukturelle Szenario-Analyse

Für jeden der vier Metallmärkte wird ein strukturelles vektor-autoregressives (SVAR) Modell geschätzt.<sup>1</sup> Diese Art von Modellen stellt eine oft verwendete Methode dar, um Rohstoffmärkte empirisch zu modellieren.<sup>2</sup> Die Modelle werden anhand von historischen Metallpreisen und -fördermengen sowie eines Maßes für globale wirtschaftliche Aktivität geschätzt. Historische jährliche Daten für inflationsbereinigte Kupferpreise und Mengen reichen bis 1879 zurück, während die Stichprobe für Nickel im Jahr 1900 beginnt, für Kobalt im Jahr 1925 und für Lithium im Jahr 1955.<sup>3</sup> Um strukturelle Brüche in den Weltkriegsperioden zu berücksichtigen, werden Dummy-Variablen genutzt. Ein Frachtratenindex, der die Preise für das Versenden von trockenem Schüttgut wie Kohle oder Weizen misst, bildet die globale Wirtschaftstätigkeit ab und spezifisch die Komponente, welche die Nachfrage nach Industrierohstoffen, wie Metallen, maßgeblich mitbestimmt.<sup>4</sup>

Jedes Modell bildet die ökonomischen Relationen zwischen den Variablen ab, während der Verlauf der Variablen von verschiedenen ökonomischen Schocks beeinflusst werden kann. In diesem Ansatz werden drei Schocks analysiert:

<sup>1</sup> Boer et al. (2021), a. a. O.

<sup>2</sup> Vgl. Lutz Kilian (2009): Not all Oil Price Shocks are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market. *American Economic Review* 99(3), 1053–1069 (online verfügbar), Christiane Baumeister und James D. Hamilton (2019): Structural Interpretation of Vector Autoregressions with Incomplete Identification: Revisiting the Role of Oil Supply and Demand Shocks, *American Economic Review* 109(5), 1873–910 (online verfügbar) sowie David Jacks und Martin Stuermer (2020): What Drives Commodity Booms and Busts? *Energy Economics* 85, 104035 (online verfügbar).

<sup>3</sup> In einer Sensitivitätsanalyse lassen Boer et al. (2021), a. a. O. die Stichprobe für alle Metalle im Jahr 1955 beginnen.

<sup>4</sup> Daten für den Frachtratenindex stammen aus David Jacks und Martin Stuermer (2021): Dry Bulk Shipping and the Evolution of Maritime Transport Costs, 1850–2020, *Australian Economic History Review* 61(2), 204–227 (online verfügbar). Als Sensitivitätsanalyse nutzen Boer et al. (2021), a. a. O. das globale Bruttoinlandsprodukt (BIP) anstatt des Frachtratenindex. Nachteile des globalen BIP sind aber, dass es Dienstleistungen enthält und dass die Daten für den frühen Teil der Stichprobe nur für einige wenige Länder verlässlich sind.

- Erstens ein Metallangebotschock, der das Angebot an Metallen erhöht und den Preis sinken lässt (beispielsweise durch den Fund neuer Metallvorkommnisse),
- zweitens ein allgemeiner Rohstoffnachfrageschock, der die globale makroökonomische Nachfrage steigen lässt und damit auch die wirtschaftliche Aktivität erhöht (beispielsweise durch staatliche Konjunkturpakete) und
- drittens ein metallspezifischer Nachfrageschock, der die Nachfrage und den Preis des jeweiligen Metalls steigen lässt, nicht aber die Nachfrage nach anderen Rohstoffen und Gütern. Ein Beispiel hierfür ist die Verdoppelung des Lithiumpreises im Jahr 2017, die durch positive Erwartungen zur Energiewende und die damit verbundene Nachfrage nach Elektroautos bedingt war.<sup>5</sup>

Die Modelle werden dann genutzt, um historische Angebotselastizitäten zu berechnen. Die Elastizitäten fließen in die Analyse der Szenarien ein (Netto-Null Emissionen und Status-Quo Politik). Die strukturelle Szenarioanalyse schätzt den künftigen Metallpreis, während die jährliche Szenario-Metallproduktion, die den IEA Szenarien entnommen ist, durch eine Sequenz an exogenen metallspezifischen Nachfrageschocks bestimmt wird. Der metallspezifische Nachfrageschock wird also im Szenario genutzt, um die durch die Energiewende bedingte Metallnachfrage zu treiben. In Abhängigkeit der jährlichen Sequenz an exogenen Nachfrageschocks lässt sich ein Preispfad für die Metalle bestimmen.

Es ist zu beachten, dass das hier verwendete lineare Modell auf historischen Erfahrungen beruht, um Schlüsse über eine mögliche Zukunft in Form von Szenarien zu treffen. Verändert sich zum Beispiel der technologische Fortschritt bei Metallen und deren Anwendungen über die nächsten Jahre grundlegend, sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden.

<sup>5</sup> US Geological Survey (2018): 2017 Minerals Yearbook Lithium. Survey, Reston, VA. (online verfügbar).

darauf drängen sollte, dass Vereinbarungen zu Umwelt- und Sozialstandards in den ressourcenabbauenden Ländern befolgt werden.<sup>18</sup> Feste Recyclingquoten für Batterien und Vorgaben zur Wiederverwendung innerhalb des deutschen Ressourceneffizienzprogramms sollten vorangetrieben werden, um die Fördermengen an Metallen langfristig zu reduzieren.

Der Klimawandel ist ein globales Problem. Deshalb sollten Staaten davon absehen, einseitige Handelsbeschränkungen wie Exportrestriktionen einzusetzen, damit Märkte effizient Investitionen zuweisen können und die Kosten einer globalen Energiewende nicht unnötig weiter steigen.

Schließlich könnte die Gründung einer neuen internationalen Organisation für Metalle – analog zur Internationalen Energieagentur oder der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen – eine entscheidende Rolle spielen für das Sammeln, Aufbereiten und Analysieren von Marktdaten, das Vermeiden von Angebotsknappheiten, das Setzen von Industriestandards und die Förderung internationaler Kooperation.

Am Ende aber kommt es entscheidend darauf an, technologischen Fortschritt zu fördern, Markttransparenz zu steigern und Metallproduzenten Planungssicherheit zu geben, damit Preissteigerungen abgeschwächt werden können und ein begrenztes Metallangebot die Energiewende nicht schwerwiegend bremst.

<sup>18</sup> Sachverständigenrat für Umweltfragen (2017): Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor, Sondergutachten (online verfügbar).



## METALLPREISE

---

**Lukas Boer** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Weltwirtschaft am DIW Berlin | [lboer@diw.de](mailto:lboer@diw.de)

**JEL:** C32, C53, Q3, Q4, Q54

**Keywords:** Strukturelle Szenarioanalyse, Energiewende, Metalle, Preisentwicklung, Klimawandel

## IMPRESSUM

---



DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin

[www.diw.de](http://www.diw.de)

Telefon: +49 30 897 89-0 Fax: -200

89. Jahrgang 26. Januar 2022

### Herausgeberinnen und Herausgeber

Prof. Dr. Tomaso Duso; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.; Prof. Dr. Peter Haan;  
Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander S. Kritikos; Prof. Dr. Alexander  
Kriwoluzky; Prof. Dr. Stefan Liebig; Prof. Dr. Lukas Menkhoff; Prof. Karsten  
Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Carsten Schröder; Prof. Dr. Katharina Wrohlich

### Chefredaktion

Sabine Fiedler

### Lektorat

Prof. Dr. Franziska Holz

### Redaktion

Prof. Dr. Pio Baake; Marten Brehmer; Rebecca Buhner; Claudia Cohnen-Beck;  
Dr. Hella Engerer; Petra Jasper; Sebastian Kollmann; Sandra Tubik;  
Kristina van Deuverden

### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg

[leserservice@diw.de](mailto:leserservice@diw.de)

Telefon: +49 1806 14 00 50 25 (20 Cent pro Anruf)

### Gestaltung

Roman Wilhelm, Stefanie Reeg, DIW Berlin

### Umschlagmotiv

© imageBROKER / Steffen Diemer

### Satz

Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

### Druck

USE gGmbH, Berlin

ISSN 0012-1304; ISSN 1860-8787 (online)

Nachdruck und sonstige Verbreitung – auch auszugsweise – nur mit  
Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an den  
Kundenservice des DIW Berlin zulässig ([kundenservice@diw.de](mailto:kundenservice@diw.de)).

Abonnieren Sie auch unseren DIW- und/oder Wochenbericht-Newsletter  
unter [www.diw.de/newsletter](http://www.diw.de/newsletter)