

Local availability of raw materials and increasing global demand – aspects of resilient resource strategies

Lokale Verfügbarkeit von Rohstoffen bei steigender globaler Nachfrage – Aspekte zu resilienten Ressourcenstrategien

CHRISTOPH HILGERS, IVY BECKER, Germany

The growing world population with increasing prosperity results in an increasing demand for organic, mineral and metallic raw materials, which cannot be met by recycling alone. Demand will also increase due to the energy- and mobility transition. Germany does not host any major globally operating company in metal mining, and the number of companies in the mining, smelting and refining sectors is steadily decreasing. Without entrepreneurial activities and geostrategic and political support, resilient supply chains are at risk in an increasingly competitive and protectionist environment.

Keywords:

Exploration – Smelting – Recycling – Energy transition

1 Introduction

New insights into processes and technical innovation in exploration, mining, smelting and refining deliver the organic, mineral and metallic raw materials mined from the subsurface that provide the supply of the technosphere. Primary raw materials extracted from the geosphere are and will be required in the long term for an industrialized country such as Germany and the rest of the world, since recycling and circular economy alone do not cover global demand [1].

Like other industrialized countries, Germany, with its mining and metallurgy skills that it has developed over time, needs strategies to ensure the resilient availability of raw materials. The development of new products in shorter cycles, digitalization, the energy transition and the mobility transition require internationally resilient

Die wachsende Weltbevölkerung mit zunehmendem Wohlstand hat einen steigenden Bedarf an organischen, mineralischen und metallischen Rohstoffen zur Folge, der allein durch Recycling nicht zu decken ist. Der Bedarf wird durch die Energie- und Mobilitätswende zusätzlich steigen. Deutschland hat keine global agierenden Großunternehmen im Bereich Metallrohstoffe, die Anzahl an Unternehmen im Bereich Bergbau, Verhüttung und Raffination nimmt kontinuierlich ab. Ohne unternehmerische Tätigkeiten und geostrategisch-politische Begleitung sind resiliente Lieferketten in einem zunehmend kompetitiven und protektionistischen Umfeld gefährdet.

Schlüsselwörter:

Exploration – Verhüttung – Recycling – Energiewende

1 Einleitung

Neue Erkenntnisse zu Prozessen und technische Innovation bei Exploration, Bergbau, Verhüttung und Raffination liefern die organischen, mineralischen und metallischen Rohstoffe aus dem Untergrund, um den Bedarf der Technosphäre zu decken. Dabei sind und werden aus der Geosphäre gewonnene Primärrohstoffe für ein Industrieland wie Deutschland und die übrige Welt auf lange Zeit notwendig sein, da Recycling und Kreislaufführung den globalen Bedarf allein nicht decken [1].

Deutschland mit seinen über historische Zeiten entwickelten Kompetenzen in Bergbau und Metallurgie benötigt wie andere Industrieländer Strategien, die eine resiliente Verfügbarkeit von Rohstoffen sicherstellen. Die Entwicklung von neuen Produkten in kürzeren Zyklen, Digitalisierung, Energiewende und Mobilitätswende erfordern in einem wachsenden, globalen Markt international resiliente Lieferketten von Rohstoffen. Der Zugang zu Rohstoffen wird kompetitiver, da rohstoffreichen Ländern von aufstrebenden Schwellen- und Industrieländern auch alternative soziale, ethische und wirtschaftliche Modelle angeboten werden, um Lieferketten zu sichern.

In diesem Beitrag werden unterschiedliche Aspekte der Energie- und metallischen Rohstoffversorgung aufgezeigt, die sich im Hinblick auf die erneuerbaren Energien ergeben. Die Frage der Rohstoffstrategien wird vor dem Hintergrund der Wohlstandswende betrachtet, die erst seit Beginn der Industrialisierung den Zugang breiter Bevölkerungsschichten zu Waren und Dienstleistungen ermöglicht.

Univ.-Prof. Dr. CHRISTOPH HILGERS^{1,2,3}

Dr. IVY BECKER^{2,4}

¹Karlsruhe Institut für Technologie – KIT, Angewandte Geowissenschaften, Adenauerring 20a, 76131 Karlsruhe, Germany
Tel. +49 (0) 721-608-42139
e-mail: christoph.hilgers@kit.edu

²Think Tank Innovative Ressourcenstrategien, angesiedelt am Karlsruhe Institut für Technologie KIT

³RohstoffWissen! e.V., Lessenicher Str. 1, 53123 Bonn, Germany

⁴Equinor ASA, Sandsliveien 90, Sandsli, Norway
Tel. +47 94170838

e-mail: ivb@equinor.com

supply chains of raw materials in a growing, global market. Access to raw materials is becoming more competitive, since emerging and industrialized countries offer resource-rich countries alternative social, ethical and economic models to secure supply chains.

In this article different aspects of the energy- and metallic raw material supply are discussed, which arise with renewable energies. The question of raw material strategies is viewed against the background of the increasing prosperity, which has enabled broad parts of the population to access goods and services only since the beginning of industrialization.

2 Demand

2.1 Rising demand of raw materials due to population growth and prosperity

The demand for raw materials is growing due to an increasing world population with an annual increase equivalent to the total population of Germany. Since 2000, the global growing proportion of older people drives global population growth (Figure 1a). The already declining population growth rate of currently around +1 % should lead to a stabilization of the world population in the second part of this century (Figure 1a). The logistical trend of population growth will level off at around 10 billion people due to higher population density and increasing prosperity (Figure 1a). At the same time, global GDP per capita is increasing and will triple by 2060, driven by the economic development of China and India, while growth in Germany and Europe remains limited [2] (Figure 1b).

2.2 Rising demand for raw materials due to the energy transition

Political measures, increases in efficiency and cost reduction lead to an increase of solar and wind energy, whereby the national energy mix and the associated CO₂ emissions in Europe, the BRICS countries (Brazil, Russia, India, Indonesia, China and South Africa) and other industrialized countries vary significantly (Figure 2). In Germany, the share of renewable energies solar and wind in primary energy is low at 1.3 % and 3 % respectively [5] (Figure 3). With the exit from coal and nuclear power generation, 28 % and with the exit from oil and natural gas a further 57 % of the country's primary energy need to be replaced (Figure 3). Global photovoltaics is predicted to increase from 0.63 TW in 2019 to 10.6 TW capacity with an electricity production of 18.7 PWh/a in 2050, while global wind energy may increase from a

2 Nachfrage

2.1 Steigende Rohstoffnachfrage durch Bevölkerungswachstum und Wohlstand

Die Nachfrage nach Rohstoffen wächst durch eine steigende Weltbevölkerung mit einem jährlichen Zuwachs äquivalent zur Gesamtbevölkerung Deutschlands. Dabei nimmt die globale Bevölkerung durch den bereits seit 2000 stark steigenden Anteil älterer Gruppen zu (Abbildung 1a). Die bereits sinkende Wachstumsrate von derzeit etwa +1 % sollte im zweiten Teil dieses Jahrhunderts zu einer Stabilisierung der Weltbevölkerung führen (Abbildung 1a). Der logistische Trend der Bevölkerungszunahme wird sich aufgrund von höherer Bevölkerungsdichte und steigendem Wohlstand bei etwa 10 Mrd. Menschen einpendeln (Abbildung 1a). Gleichzeitig steigt das globale BIP pro Kopf und wird sich bis 2060 verdreifachen, angetrieben durch die wirtschaftliche Entwicklung Chinas und Indiens, während das Wachstum in Deutschland und Europa beschränkt bleibt [2] (Abbildung 1b).

2.2 Steigende Rohstoffnachfrage durch die Energiewende

Politische Maßnahmen, Effizienzsteigerungen und Kostenreduktion führen zu einem Ausbau von Solar- und Windenergie, wobei der nationale Energiemix und der damit assoziierte CO₂-Ausstoß in Europa, den BRICS-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China und Südafrika) und anderen Industrieländern sehr heterogen ist (Abbildung 2). In Deutschland ist der Anteil der erneuerbaren Energien Solar und Wind an der Primärenergie mit 1,3 % bzw. 3 % gering [5] (Abbildung 3). Mit dem Ausstieg aus Kohle- und Atomverstromung fallen 28 % und mit dem Ausstieg aus Erdöl und Erdgas weitere 57 % der Primärenergie des Landes weg (Abbildung 3). Der globale Ausbau von Photovoltaik wird mit einem Anstieg von 0,63 TW im Jahr 2019 auf 10,6 TW Kapazität mit einer Stromproduktion von 18,7 PWh/a im Jahr 2050, der globale Ausbau von Windenergie von einer derzeitigen Leistung von 0,73 TW auf 6,2 TW in 2050 mit einer Stromproduktion von 18,5 PWh/a (derzeit 1,3 PWh/a, 2017) prognostiziert [6].

Globales Wachstum von Bevölkerung und Wohlstand, neue Technologien und politische Maßnahmen zur Energiewende führen zu einer steigenden Nachfrage von Rohstoffen bei steigendem pro Kopf-Verbrauch. Entsprechend wird sich die globale Förderung metallischer Erze von 9 Gt (2017) auf 20 Gt im Jahr 2060 mehr als verdoppeln [2]. Der globale Anteil an Erdgas wird auch im Jahr

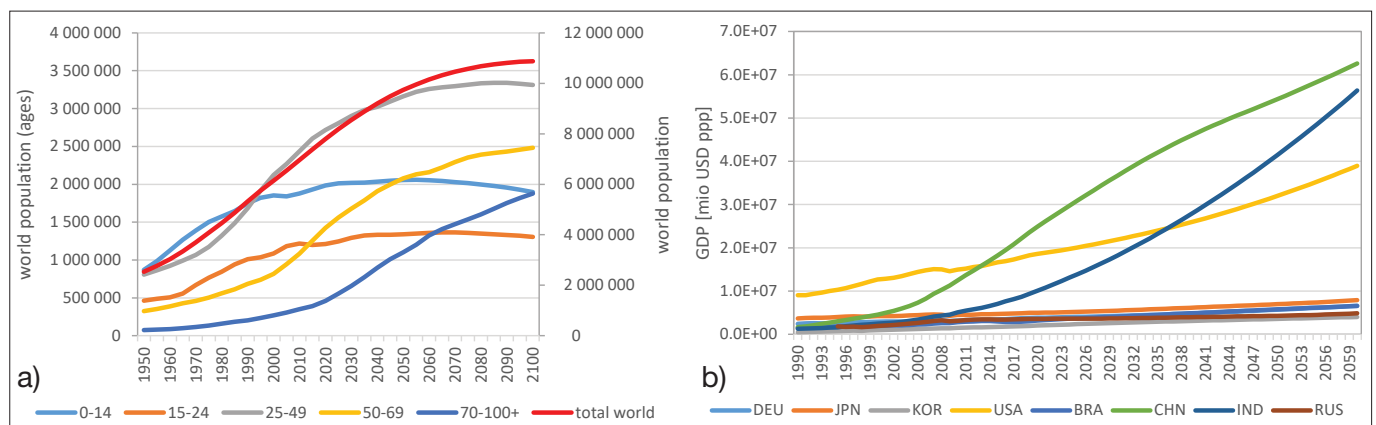


Fig. 1: a) The world population growth rate decreased from +2 % in the 1970s to <0.5 % in 2060 and mimics a logistic trend (red line) [3]; colored – proportion of age groups; b) the GDP forecast highlights the significant increase of the expected economic growth of China and India (in mill. US\$ purchasing power parity) [4]

Abb. 1: a) Die seit den 1970er-Jahren von +2 % bis 2060 auf <0,5 % abnehmende Wachstumsrate der Weltbevölkerung führt zu einer logistischen Kurve (rote Linie) [3]; farbig – Anteil der Altersgruppen; b) die BIP-Prognose zeigt den starken Anstieg des erwarteten Wirtschaftswachstums von China und Indien (in Mio. US\$ Kaufkraftparität) [4]

Fig. 2: Primary energy consumption of selected countries of the EU, BRICS, as well as Australia, Canada, Japan and USA in 2018 as percentage; CO₂ emissions in metric tons per capita and percentage on global CO₂ emissions in brackets (in 2018) (energy data from [7], CO₂ data per capita from [8])

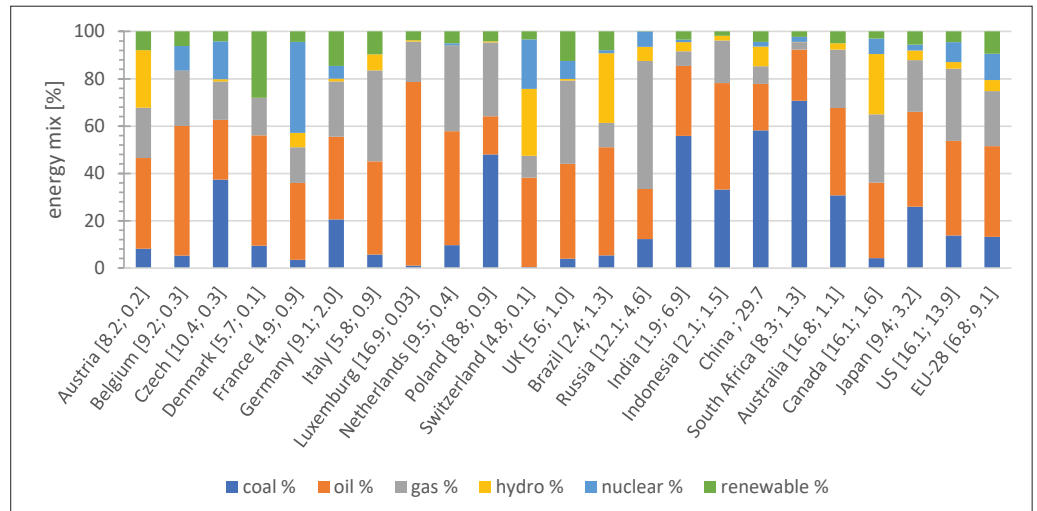


Abb. 2: Prozentualer Anteil des Primärenergieverbrauchs ausgewählter Länder der EU, BRICS, sowie von Australien, Kanada, Japan und den USA nach Primärenergieverbrauch im Jahr 2018; in Klammern der CO₂-Ausstoß in metrischen Tonnen pro Kopf und der prozentuale Anteil am globalen CO₂-Ausstoß (Stand 2018) (Energiedaten aus [7], CO₂-Daten pro Kopf aus [8])

Table 1: Raw material consumption of wind- and photovoltaic energy plants providing renewable energies (raw materials from [11], *from [12]). DD-EESG – direct drive electrically excited synchronous generator, DD-PMSG – direct drive permanent magnet synchronous generator, GB-DFIG – gear box with doubly fed induction generator, PV – photovoltaic, c-Si – monocrystalline silicon cell, a-Si – amorphous silicon cell, CdTe – cadmium tellur solar cell, CIGS – copper indium gallium diselenid solar cell.

kg/MW	Wind			Solar				
	DD-EESG	DD-PMSG	GB-DFIG	PV-all	c-Si	a-Si	CdTe	CIGS
concrete	369,000	243,000	355,000	60,700				
steel	132,000	119,500	113,000	67,900				
polymers/plastic	4,600	4,600	4,600	8,600				
glass/carbon composites	8,100	8,100	7,700	46,400				
aluminum	700	500	1,400	7,500				
boron		6						
cadmium							50	
chromium	525	525	470					
copper	5,000	3,000	1,400	4,600	884*			22
dysprosium	6	17	2					
gallium								4
germanium						48		
indium								15
iron (cast)	20,100	20,100	18,000					
manganese	790	790	780					
molybdenum	109	109	99					
neodymium	28	180	12					
nickel	340	240	430					
praesodymium	9	35						
selen								35
silicon					4,000	150		
silver					20			
tellurium							52	
terbium	1	7						
zinc	5,500	5,500	5,500					
total	546,808	406,209	508,393	195,700	4,020	198	102	76

current output of 0.73 TW is forecast to 6.2 TW in 2050 with an electricity production of 18.5 PWh/a (currently 1.3 PWh/a, 2017) [6].

Global growth in population and prosperity, new technologies and political measures for the energy transition are leading to an increasing demand of raw materials with increasing per capita

2050 etwa 30 % der Primärenergie decken, während durch die Energiewende der Anteil an Wind- und Solarenergie bis 2050 um den Faktor 14 bzw. 30 ansteigen wird [6].

Um den Rohstoffbedarf der Windkraft- und Solarenergieanlagen mit einer Lebensdauer von etwa 20 bis 30 Jahren zu decken, sind unterschiedlichste organische, mineralische und metallische

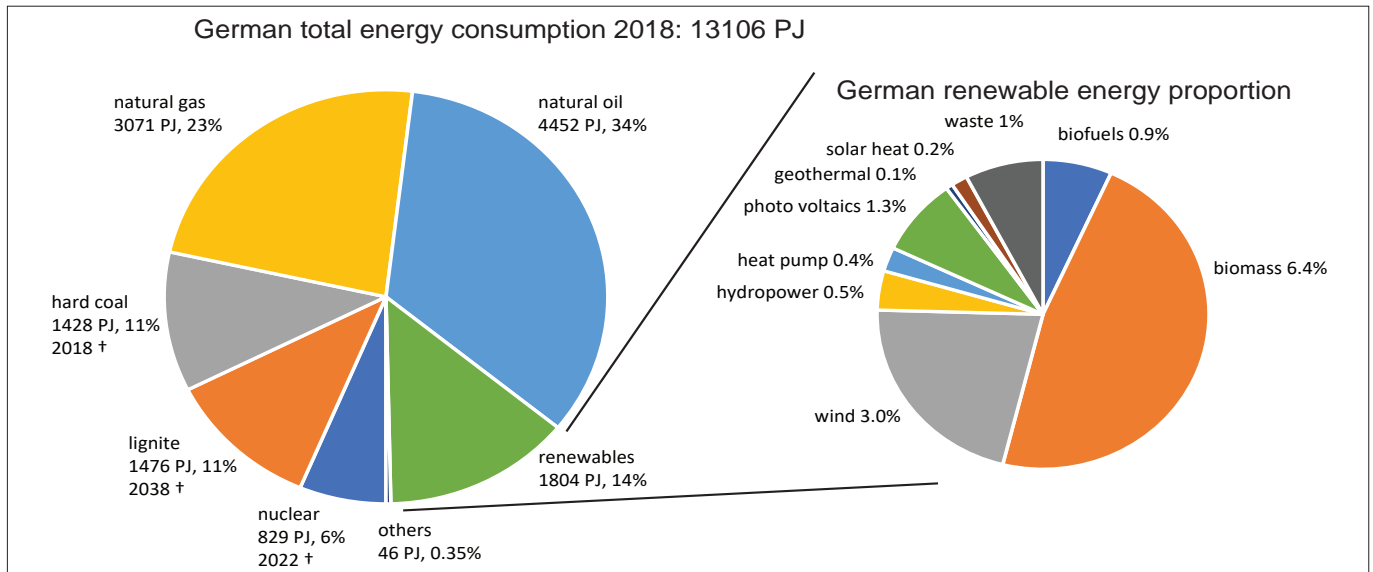


Fig. 3: German primary energy raw materials in peta-joule (10^{15} J) with a contribution of 1.3 % PV and 3 % wind energy [5]

Abb. 3: Energierohstoffe des deutschen Primärenergieverbrauchs in Petajoule (10^{15} J) mit einem Anteil von 1,3 % Photovoltaik und 3 % Windenergie [5]

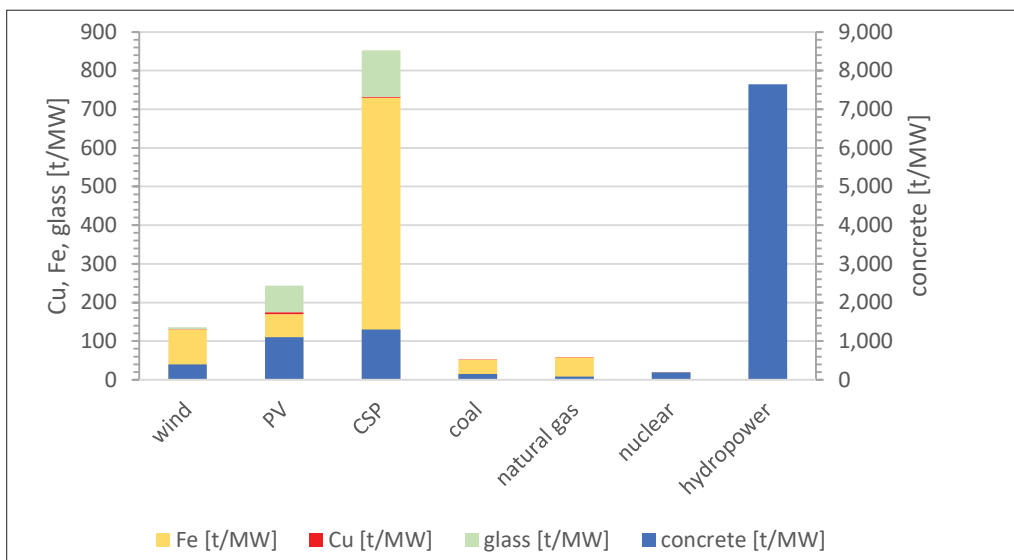


Fig. 4: Raw material volume in tons of copper, iron, glass and concrete per generated energy in megawatts after [9]; CSP – concentrated solar power

Abb. 4: Rohstoffmenge in Tonnen von Kupfer, Eisen, Glas und Beton pro erzeugte Energie in Megawatt nach [9]; CSP – concentrated solar power

consumption. Accordingly, the global extraction of metallic ores will more than double from 9 Gt (2017) to 20 Gt in 2060 [2]. While the global proportion of natural gas will cover around 30% of primary energy in 2050, the proportion of wind and solar energy will increase by a factor of 14 and 30 respectively by 2050 [6].

A wide variety of organic, mineral and metallic raw materials are required for wind power and solar energy systems with an end-of-life of around 20 to 30 years (Table 1). The amount of raw materials per megawatt (mineral intensity) is significantly higher and the end-of-life shorter for the less energy-dense, renewable solar and wind energies, compared to energy generated by hydrocarbons and nuclear power [9] (Figure 4). Thus, DREXHAGE et al. [10] assumes an increase in metal demand from renewable energies of +250 to 300 % if the +2 °C target is met.

3 Supply

3.1 Supply by exploration and mining

Several national and international studies regularly show the criticality of raw materials, geological shortages are not yet foreseeable [13]. Despite numerous raw materials listed as critical, the market

Rohstoffe notwendig (Tabelle 1). Dabei ist die Rohstoffmenge pro Megawatt (Mineralintensität) bei den wenig energiedichten, erneuerbaren Solar- und Windenergien wesentlich höher und die Lebensdauer kürzer als die Energiegewinnung durch Kohlenwasserstoffe und Atomkraft [9] (Abbildung 4). Daher geht DREXHAGE et al. [10] bei Einhaltung des +2-°C-Ziels von einem Anstieg des Metallbedarfs durch erneuerbare Energien von 250 bis 300 % aus.

3 Verfügbarkeit

3.1 Verfügbarkeit durch Exploration und Bergbau

Zahlreiche nationale und internationale Studien zeigen regelmäßig die Kritikalität von Rohstoffen auf, geologische Engpässe sind dabei nicht abzusehen [13]. Trotz zahlreicher, kritisch gelisteter Rohstoffe zeigen die Marktdaten bisher auf einen Käufermarkt ohne langfristige Lieferengpässe, selbst bei einer Konzentration von Rohstoffen auf wenige Lieferländer mit hohem Länderrisiko [14]. Oft wird das schwindende Angebot an metallischen Rohstoffen mit der Verringerung des Erzgehaltes erklärt. Dabei wird häufig nicht die Entwicklung neuer Technologien berücksichtigt, die einen ökonomischeren Abbau von weniger angereicherten Erzen aus

data so far indicate a buyer's market without long-term supply bottlenecks, even with a concentration of raw materials in a few supplier countries with a high country risk [14].

The dwindling supply of metallic raw materials is often explained by the reduction in ore content. In doing so, the development of new technologies that prefer a more economical mining of less enriched ores for technical reasons is often not considered. This includes the mining of large tonnages or the increased extraction of potential joint products from the deposit and tailings [15].

Some studies show that the known copper reserves would be exhausted by 2050 due to the increased copper demand, a large part of it for the energy transition with an estimated 550 million tons (e.g. [16]). This would be around 80 % of the copper produced so far in human history of around 700 million tons [17]. However, several studies do not consider the dynamic mechanisms due to new discoveries and new technology [18]. In contrast, KESLER & WILKINSON [19] determine copper reserves for the next 5500 years when the technically possible underground mining is expanded from 1 km to 3.3 km.

Exploration and production involve high risks, long lead times and large investments. The success rates are 1 to 5 % (brown field exploration in the vicinity of a known deposit) and 0.03 to 5 % (green field exploration in an unknown area). The deposit will then be developed over 5 to 15 years to mining with an investment in mining and processing of several hundred million to one billion US dollars with long-term capital.

There is currently no metal mining in Germany, however metal deposits could also produce economically under suitable political and legal conditions. Globally operating large German companies in metal mining and raw materials trading were sold before the turn of the millennium and the company's core businesses were restructured. With respect to bulk and energy raw materials, internationally operating mining companies are still based in Germany and successfully implement technically demanding large-scale mining. In addition, numerous small and medium-sized companies ensure the supply of domestic raw materials for industry.

3.2 Availability through smelting and refining

Smelters (extraction of the metal from the ore) and refineries (increasing the metal concentration) not only allow the extraction of primary metals from mined ore, but also the recycling of scrap in the circular economy. The domestic smelting and refining enables the development of new technologies and products at highest environmental standards and direct access to (critical) metals. This requires the entire range of smelters and refineries of all carrier metals in place, which also allows to recover potential (critical) potential joint elements extracted during processing. Numerous metals for wind power and solar energy systems are extracted as a by-product of zinc (Ga, In), aluminum (Ga) and copper (Se, Te) refining; there is no extraction from deposits. Due to the lack of technical facilities, it is not yet been possible to refine rare earth elements and lithium in Europe, so that Europe is 100 % dependent on imports.

Recycling and the circular economy can only be implemented through a full smelting and refining infrastructure [20]. Currently e.g. only around 0.7 mill. t of the around 2 mill. t of waste electrical and electronic equipment collected annually in Germany are transferred to the recycling process, around 0.4 mill. t are illegally exported each year [21]. An illegal outflow of materials reduces the European recycling capacities and the yield of raw materials (e.g. approx. 25 % extraction of gold from circuit boards in the "backyard" vs. 95 % at an industrial recycler [22]).

Germany hosts plants for the smelting and refining of copper, iron, steel, nickel, lead, zinc and titanium. However, smelters are being sold or are in insolvency proceedings due to the COVID-19 induced economic crisis (Harz-Metall GmbH Pb-Zn Recycling,

technischen Gründen ermöglichen. Hierzu gehört der Großtonnageabbau, oder auch die vermehrte Gewinnung von möglichen Nebenprodukten aus der Lagerstätte und dem Abraum [15].

Einige Studien zeigen auf, dass die bekannten Kupferreserven durch den erhöhten Kupferbedarf, davon ein Großteil für die Energiewende mit geschätzten 550 Mio. t, bis 2050 erschöpft sein würden (z.B. [16]). Dies wären rund 80 % des bisher in der Menschheitsgeschichte produzierten Kupfers von etwa 700 Mio. t [17]. Dabei werden aber häufig die dynamischen Mechanismen durch neue Funde und neue Technologie nicht berücksichtigt [18]. KESLER & WILKINSON [19] ermitteln, dass bei einer Erweiterung des technisch möglichen Tiefbergbaus von 1 km auf 3,3 km beispielsweise Kupfervorräte für die nächsten 5500 Jahre vorhanden seien.

Die Aufsuchung und Gewinnung gehen mit hohen Risiken, langen Vorlaufzeiten und großen Investitionen einher. Die Erfolgsquoten liegen bei 1 bis 5 % (Braunfeldexploration im Umfeld einer bekannten Lagerstätte) und 0,03 bis 5 % (Grünfeldexploration in unbekanntem Gebiet). Anschließend wird die Mine über 5 bis 15 Jahre bis zum Abbau mit einer Investition für Abbau und Aufbereitung von mehreren hundert Millionen bis zu einer Milliarde USD bei langfristig gebundenem Kapital entwickelt.

In Deutschland wird derzeit kein Metallbergbau betrieben, dennoch sind Metallagerstätten vorhanden, die unter geeigneten politischen und rechtlichen Bedingungen auch wirtschaftlich produzieren könnten. International agierende, große deutsche Unternehmen im Metallbergbau und Rohstoffhandel wurden vor der Jahrtausendwende veräußert und die Kerngeschäfte der Unternehmen umstrukturiert. Im Bereich der Massen- und Energierohstoffe sind international operierende Bergbaufirmen noch in Deutschland ansässig und setzen technisch anspruchsvollen Großbergbau erfolgreich um. Zudem stellen zahlreiche klein- und mittelständische Unternehmen die Versorgung mit heimischen Rohstoffen für die Industrie sicher.

3.2 Verfügbarkeit durch Verhüttung und Raffination

Die Verhüttung (Gewinnung des Metalls aus dem Erz) und Raffination (Erhöhung der Metallkonzentration) beschränkt sich nicht nur auf die Gewinnung von Metallen aus dem Erz, sondern erhöht das Recycling von Schrott und die Kreislaufführung. Das heimische Verhütten und die Raffination ermöglichen die Entwicklung neuer Technologien und Produkte unter höchsten Umweltstandards und direkten Zugang zu (kritischen) Metallen. Dazu ist das gesamte Spektrum an Anlagen für die Verhüttung und Raffination der Trägermetalle notwendig, um gleichzeitig weitere Metalle als Nebenprodukte aus der Schmelze zu gewinnen. Zahlreiche Metalle für Windkraft- und Solarenergieanlagen werden als Nebenprodukt bei der Zink- (Ga, In), Aluminium- (Ga) und Kupferraffination (Se, Te) gewonnen, eine Gewinnung aus Lagerstätten gibt es nicht. Mangels technischer Anlagen kann bislang keine Raffination von Seltenerdelementen und Lithium in Europa erfolgen, sodass eine 100%-ige Importabhängigkeit Europas besteht.

Auch das Recycling und die Kreislaufwirtschaft können nur durch eine vollständige Infrastruktur von Verhüttung und Raffination umgesetzt werden [20]. Derzeit werden z.B. nur etwa 0,7 Mio. t der jährlich etwa 2 Mio. t Elektroaltgeräte in Deutschland gesammelt und in den Recyclingprozess überführt, etwa 0,4 Mio. t werden pro Jahr illegal ausgeführt [21]. Ein illegaler Materialabfluss reduziert die europäischen Recyclingkapazitäten und die Ausbeute an Rohstoffen (z.B. Gewinnung von ca. 25 % des Golds aus Leiterplatten im „Hinterhof“ vs. 95 % bei einem industriellen Recycler [22]).

In Deutschland sind Anlagen zur Verhüttung und Raffination von Kupfer, Eisen, Stahl, Nickel, Blei, Zink und Titan im Betrieb. Jedoch werden Hütten verkauft oder befinden sich durch die COVID-19 induzierte Wirtschaftskrise im Insolvenzverfahren (Harz-Metall GmbH Pb-Zn Recycling, Metallwerke Dinslaken GmbH als Zn-Recycler,

Metallwerke Dinslaken GmbH as Zn-Recycler, Norzinco GmbH, PPM Pure Metals GmbH for Ga, Ge, In, Nordenhamer Bleihütte (Weser-Metall GmbH) Pb smelter and recycler).

4 Strategies of selected emerging and industrialized countries

4.1 China

China invests globally in the raw materials sector, and ensures its economic development through access to energy and metals raw materials (Figure 5). China is a national and international leader in mining, smelting and refining such as of rare earth metals, or buys internationally in mining and refining. According to AEI [23], China has invested around USD 340 bn abroad in the sectors of metals, oil/natural gas and coal in the last 14 years (Figure 5). Chinese raw material companies such as Zijin Mining (world # 6, USD 16.3 bn revenue), China Shenshuan Energy (world # 4, coal, USD 37.6 bn revenue) and China National Petroleum CNPC (world # 3, USD 392 bn revenue), Sinopec (world # 1, USD 414 bn revenue) and others are among the largest companies in the world and operate globally. Investments in mining are also in Europe, where Zijin Mining acquired 63 % of the RTB Bor copper deposit and smelting and 100 % of the Timok mine in Serbia for almost USD 2.5 bn in 2018/2019).

China stocks raw materials through numerous mines, smelters and refiners at home and abroad. The Belt and Road Initiative develops military secured global trading routes. The “Made in China 2025”

Norzinco GmbH, PPM Pure Metals GmbH für Ga, Ge, In, Nordenhamer Bleihütte (Weser-Metall GmbH) Pb-Hütte und -Recycler).

4 Strategien ausgewählter Schwellen- und Industrieländer

4.1 China

China investiert global in den Rohstoffsektor und stellt durch den Zugang zu Energie- und Metallrohstoffen seine wirtschaftliche Entwicklung sicher (Abbildung 5). China ist national und international führend bei der Bergbauförderung und der Verhüttung sowie Raffination wie z.B. von Seltenerdmetallen, oder kauft sich international in Bergbau und Raffination ein. Laut AEI [23] investierte China in den letzten 14 Jahren im Ausland im Bereich Metalle, Erdöl/Erdgas und Kohle etwa 340 Mrd. USD (Abbildung 5). Chinesische Rohstofffirmen wie die Zijin Mining (Welt #6, 16,3 Mrd. USD Umsatz), China Shenshuan Energy (Welt #4, Kohle, 37,6 Mrd. USD Umsatz) und China National Petroleum CNPC (Welt #3, 392 Mrd. USD Umsatz), Sinopec (Welt #1, 414 Mrd. USD Umsatz) und andere gehören zu den größten Unternehmen weltweit und sind global tätig. Investitionen in den Bergbau fließen auch nach Europa; so erwarb z.B. die Zijin Mining im Jahr 2018/2019 63 % der RTB Bor Kupferlagerstätte und Verhüttung sowie 100 % der Timok-Mine in Serbien für knapp 2,5 Mrd. USD.

China hält Rohstoffe durch zahlreiche Minen, Hütten und Raffination im In- und Ausland vor. Mit der Belt and Road Initiative werden globale Handelswege ausgebaut und militärisch gesichert.

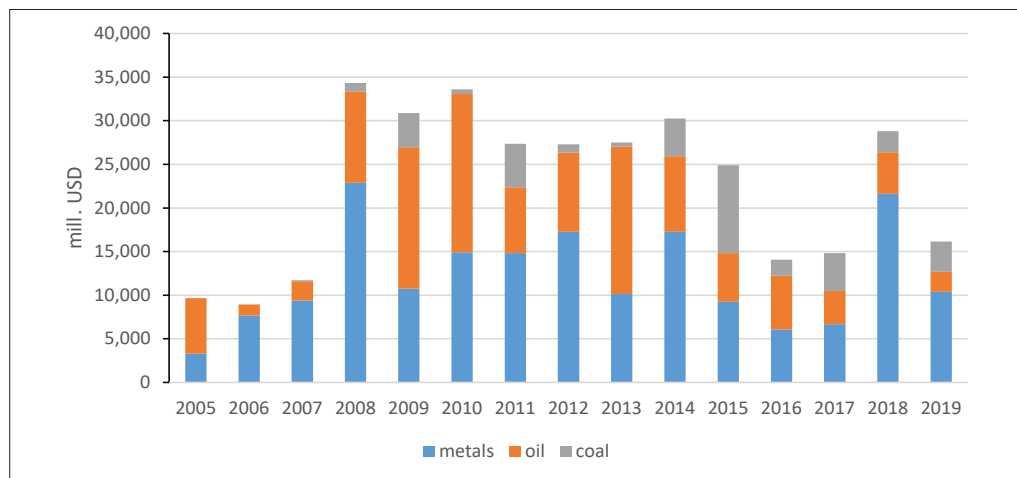


Fig. 5: International purchases of Chinese companies in the sectors of metals, oil/gas and coal (from [23])
Abb. 5: Internationale Zukäufe chinesischer Firmen im Bereich Metalle, Erdöl/Erdgas und Kohle (aus [23])

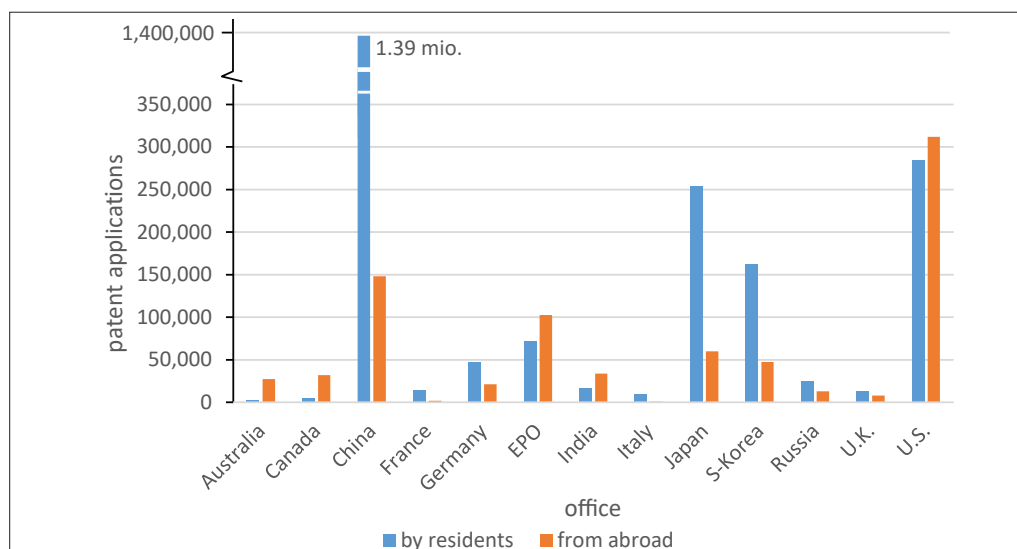


Fig. 6: Patent applications at large patent offices in 2018 (data from [24]) (EPO – European Patent Office)
Abb. 6: Patentanmeldungen der großen Patentämter im Jahr 2018 (Daten aus [24]) (EPO – European Patent Office)

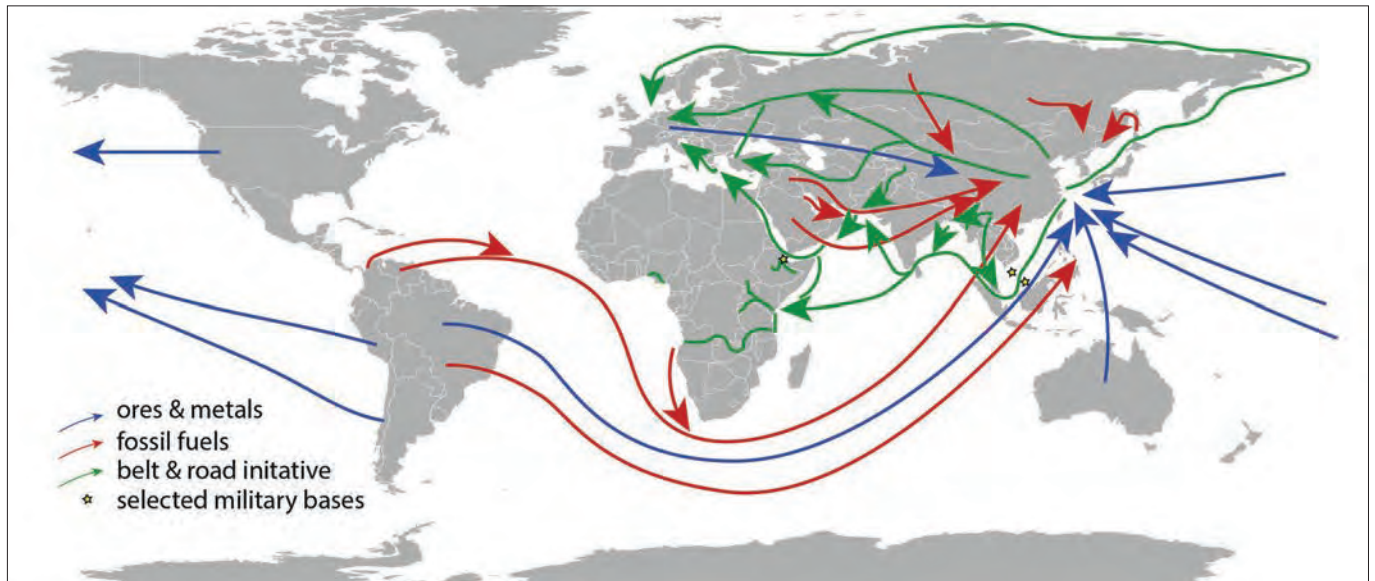


Fig. 7: The Belt & Road Initiative is a diversification of marine and continental trade routes from China to Europe and includes the construction and purchase of harbors and railways (green arrows) – material flow of large suppliers of fossil energy (red arrows), ore and metals (blue arrows) to China

Abb. 7: Belt & Road Initiative als maritime und kontinentale Handelswege Chinas nach Europa mit Bau und Erwerb von Häfen und Eisenbahnen (grüne Pfeile) – Stoffströme der großen Lieferanten fossiler Energie (rote Pfeile) sowie Erze und Metalle (blaue Pfeile) nach China

strategy replaces foreign knowledge with domestic knowledge [24] (Figure 6) and, with the “China 2049” strategy, China aims to become the world’s innovation and market leader in selected high technologies by 2049. With the ice-free Northeast Passage, the distance to the European markets will be reduced from 23,800 km to 15,600 km and transport costs will be reduced (Figure 7). At the same time, China’s access to raw materials and markets in the Russian Arctic will be facilitated both by the Northeast Passage and the EU and US sanctions against Russia.

4.2 Germany

The decrease in domestic production of crude oil and natural gas, triggered by the fracking moratorium, has reduced the revenue generated by domestic mining (Figure 8). In the field of mineral raw materials, there are still large companies based in Germany and operating internationally, such as Knauf AG (€ 10 bn revenue), HeidelbergCement AG (€ 18.8 bn revenue), K + S AG (€ 4 bn revenue). Energy and geo-organic raw materials for the chemical industry are explored nationally and internationally by the last

Die „Made in China 2025“ Strategie ersetzt ausländisches durch inländisches Wissen [24] (Abbildung 6) und mit der Strategie „China 2049“ will China in ausgewählten Hochtechnologien bis zum Jahr 2049 Innovations- und Weltmarktführer werden. Mit der eisfreien Nordostpassage wird die Distanz von China zu den europäischen Märkten von 23 800 km auf 15 600 km verkürzt und die Transportkosten reduziert (Abbildung 7). Gleichzeitig wird China durch die Nordostpassage und die Sanktionen der EU und der USA gegen Russland der Zugang zu Rohstoffen und Märkten der russischen Arktis erleichtert.

4.2 Deutschland

Durch die Abnahme der heimischen Förderung von Erdöl und Erdgas, ausgelöst durch das Fracking-Moratorium, sinkt der Anteil des durch den heimischen Bergbau erwirtschafteten Umsatzes (Abbildung 8). Im Bereich mineralischer Rohstoffe sind noch große, in Deutschland ansässige Unternehmen wie Knauf AG (10 Mrd. € Umsatz), HeidelbergCement AG (18,8 Mrd. € Umsatz), K+S AG (4 Mrd. € Umsatz) u.a. international tätig. Energierohstoffe und

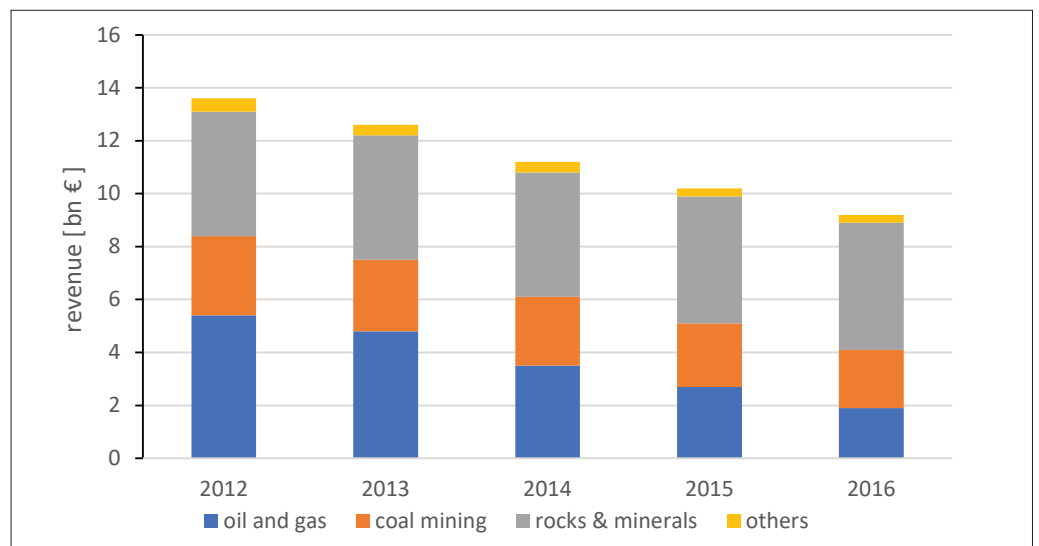


Fig. 8: Revenue of domestic raw materials in Germany (data from [26])

Abb. 8: Umsatz der heimischen Rohstoffe in Deutschland (Daten aus [26])

large German based Wintershall Dea GmbH (€ 5.9 bn revenue). Most of the few international ore deposits held by German-based companies were sold, most recently; e.g. by Lanxess AG (chrome deposit in South Africa) in 2020 and Cronimet Mining GmbH (Armenia and South Africa) in 2019.

The German raw materials agency DERA, established in 2010, and the Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology, established in Freiberg in 2011, were initiated by the German Raw Material Strategy and deliver excellent contributions to market transparency and the development of new technologies. The diversification of supply chains through bilateral raw materials agreements between the federal German government and Chile (2013), Kazakhstan (2012), Mongolia (2013) and Peru (2014) and further contracts with Australia, Canada and Ghana have not yet led to significant investments in international mining [25].

5 Discussion

5.1 Diversification

China, Japan, Korea and the USA stockpile strategic metals. They acquire ore deposits, shares in mines, smelters and refineries, and support national companies in the international acquisition of raw material projects.

Stockpiling in Germany is limited to crude oil, natural gas and petroleum products for national crisis prevention. There are no longer large, internationally active companies in ore mining and raw materials trading based in Germany. The smelting and refining of primary and secondary raw materials in Germany and Europe allows the provision of pure metals. The raw material country Germany is still home to internationally active companies in the field of bulk raw materials and fossil fuels. A growth in a raw materials company in the metals sector is not evident. Accordingly, the resilience of the German raw materials strategy should be critically evaluated in comparison to other industrialized countries.

The EU [27] recognized the lack of resilience in its supply chains and is planning among others in its current strategy: (i) The refining of rare earth metals in Europe, the (ii) procurement of critical raw materials within the EU, the (iii) diversification of the raw material supply with selected countries. A national raw material strategy is not superfluous because manufacturing is high in the industrial country Germany is high and the raw material required for the German energy transition differs from that of other countries (see Figure 2). In the automotive industry, supply contracts are concluded to ensure the supply of raw materials for the mobility transition. Whether further backward integration into other branches of industry promises successful business models may be questioned. The necessary conditions to support entrepreneurial activity in the field of mining, smelting and refining should be identified and adapted.

5.2 Know-how

Access to metallic raw materials through the rebuilding and buildup of globally active companies hosted in Germany has so far not been successful and entrepreneurial activities remain low [25]. In terms of primary energy, fossil fuels still contribute around 80 % to the country's primary energy supply (see Figure 3). In contrast to companies in the field of metallic raw material extraction, a globally operating company with expertise in securing the primary energy supply (i.e. transitional energy carriers natural gas, blue hydrogen and CO₂ storage) is still based in Germany. It remains to be seen whether exploration and production can further evolve.

Some institutes in Germany provide a research spectrum on exploration, mining, smelting and refining. Few German based companies, however, lead to reduced interaction within the knowledge triangle of education, research and business. Accordingly, the young generation's interest in working in the raw materials sector will continue to decline and it will be more difficult to maintain skills.

geoorganische Rohstoffe für die chemische Industrie werden noch von der letzten großen in Deutschland ansässigen Firma Wintershall Dea GmbH (5,9 Mrd. € Umsatz) national und international gewonnen. Die wenigen von in Deutschland ansässigen Firmen betriebenen Metallagerstätten wurden von Lanxess AG (Chromlagerstätte in Südafrika) 2020 und der Cronimet Mining GmbH (Armenien und Südafrika) 2019 verkauft.

Die von der Bundesregierung im Rahmen der deutschen Rohstoffstrategie im Jahr 2010 etablierte Deutsche Rohstoffagentur DERA und das im Jahr 2011 in Freiberg gegründete Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie leisten hervorragende Beiträge zur Markttransparenz und Entwicklung neuer Technologien. Die Diversifizierung von Lieferketten durch bilaterale Rohstoffabkommen des Bundes mit Chile (2013), Kasachstan (2012), der Mongolei (2013) und Peru (2014) sowie weitere Verträge mit Australien, Kanada und Ghana führten bisher nicht zu signifikanten Investitionen in den internationalen Bergbau [25].

5 Diskussion

5.1 Die Diversifizierung

China, Japan, Korea und die USA halten strategische Metalle in Lagerhaltung vor. Sie erwerben global Lagerstätten, Anteile an Minen, Hütten und Raffinationen, und unterstützen nationale Firmen bei der internationalen Akquise von Rohstoffprojekten.

Die Lagerhaltung in Deutschland beschränkt sich auf Erdöl, Erdgas und Erdölzerzeugnisse zur nationalen Krisenvorsorge. Große, international tätige Unternehmen im Erzbergbau und Rohstoffhandel gibt es in Deutschland nicht mehr. Die Verhüttung und Raffination von Primär- und Sekundärrohstoffen in Deutschland und Europa erlaubt die Vorhaltung von Reinmetallen. Das Rohstoffland Deutschland beheimatet noch internationale tätige Unternehmen im Bereich Massenrohstoffe und fossile Energieträger, jedoch ist ein Wachstum eines Rohstoffunternehmens im Bereich Metalle nicht erkennbar. Entsprechend sollte die Resilienz der deutschen Rohstoffstrategie im Vergleich zu anderen Industrieländern kritisch evaluiert werden.

Die EU [27] erkannte die fehlende Resilienz ihrer Lieferketten und plant in ihrer aktuellen Strategie u.a. (i) die Raffination von Seltenmetallen in Europa, die (ii) Beschaffung von kritischen Rohstoffen innerhalb der EU, die (iii) Diversifizierung der Rohstoffversorgung mit ausgewählten Ländern. Eine nationale Rohstoffstrategie erübrigt sich nicht, da der Produktionsanteil des Industriestandorts Deutschland hoch ist und sich der Rohstoffbedarf Deutschlands für die Energiewende von dem anderer Länder unterscheidet (s. Abbildung 2). In der Automobilindustrie werden für die Mobilitätswende Lieferverträge zur Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit geschlossen. Ob eine weiterführende Rückwärtsintegration in andere Industriezweige erfolgreiche Geschäftsmodelle verspricht, kann hinterfragt werden. Die notwendigen Randbedingungen, unternehmerisches Handeln im Bereich Bergbau, Verhüttung und Raffination zu fördern, sollten identifiziert und angepasst werden.

5.2 Die Kompetenz

Ein Zugang zu metallischen Rohstoffen durch den Wiederauf- und Ausbau von global tätigen und in Deutschland ansässigen Unternehmen war bislang nicht erfolgreich und unternehmerische Aktivitäten bleiben gering [25]. Bei der Primärenergie tragen fossile Energieträger noch zu etwa 80 % zur Primärenergieversorgung in Deutschland bei (s. Abbildung 3). Im Gegensatz zu nicht vorhandenen Firmen im Bereich der metallischen Rohstoffgewinnung ist noch ein global operierendes Unternehmen mit Kompetenzen zur Sicherung der Primärenergieversorgung (Übergangenergieträger Erdgas, blauer Wasserstoff und CO₂-Speicherung) in Deutschland beheimatet. Ob sich die negative Entwicklung von Firmen im Bereich Exploration und Produktion weiter fortsetzt bleibt abzuwarten.

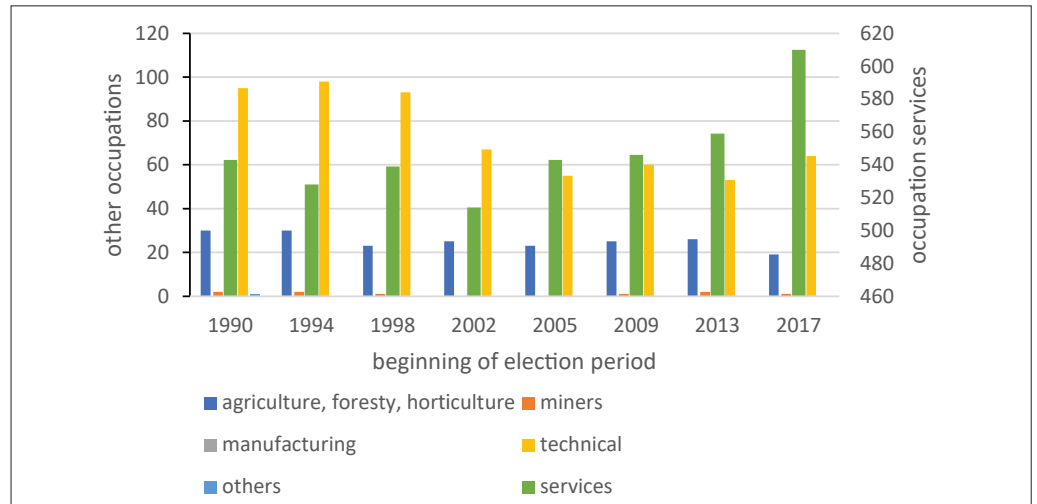


Fig. 9: Occupation of representatives of the German Bundestag [28]

Abb. 9: Zusammensetzung des Deutschen Bundestags nach Berufsgruppen [28]

A limited education of the population on the interrelation of raw materials, recycling and prosperity results in a lack of knowledge. In the German Bundestag, too, the proportion of parliamentarians with a professional background in craft and technical fields has been falling since 1990 from 22 % to currently 14 % [28] (Figure 9). A well-founded, neutral exchange of information, such as through the association RawMaterialKnowledge! e.V. aims to contribute to an objective discussion.

Object-oriented discourses with fact-based solutions become less popular even in Western democracies, the science journalist Ranga Yogeshwar talks about “event management by media companies”. Words like crisis (climate crisis, raw material crisis, energy crisis) and overpopulation in a yet unprecedented time of peace and global prosperity lead to fears that can limit scientifically based discussions and innovation. The Baden State Councilor Carl Friedrich Nebenius (1784-1857), however, had already written about the overpopulation of the Grand Duchy of Baden; the population of the city of Karlsruhe rose from 10,597 in 1810 to 23,484 in 1840, today 313,092 inhabitants – that “only a more skillful use of the production aids is able to avert the unforeseeable consequences of the overpopulation of Baden ”(from [29]: pp. 34-35).

6 Outlook

Resilient supply chains are essential for supplying raw materials to an industrial country like Germany. However, the number of large, internationally operating companies in the mining, smelting and refining sector is continuing to decrease and the applied competence is dwindling.

Recycling technology can only deliver a limited amount of the raw material volume need for an industrial country like Germany. In addition to investments in recycling technologies, innovative technologies for exploration, extraction, smelting and refining of primary raw materials need to be developed in order to provide competitive and environmentally-friendly products and establish resilient supply chains.

Smelting and refining ensure the production of pure metals using primary raw materials and scrap. The production of pure metals also increases the volume of stockpiling. Without smelting and refining, there is no recycling and therefore no expansion of relevant skills.

With increasing protectionism, also in Western countries, the urge to protect free trade is dwindling. Free trade and innovation are the guarantee for a resilient supply of raw materials.

Acknowledgement

C.H. thanks his colleagues from the ThinkTank Industrial Resources Strategies J. Kolb, M. Schmidt and K. Steinmüller as well

Einige Forschungsinstitute halten in Deutschland ein Forschungsspektrum zu Exploration, Bergbau, Verhüttung und Raffination vor. Wenige in Deutschland basierte Unternehmen führen jedoch zur reduzierten Interaktion im Wissensdreieck Bildung, Forschung und Wirtschaft. Entsprechend wird Innovation sowie das Interesse der jungen Generation an einer Tätigkeit im Rohstoffsektor weiter sinken und der Erhalt von Kompetenzen erschwert.

Eine begrenzte Bildung der Bevölkerung zu den Zusammenhängen von Rohstoffe, Recycling und Wohlstand resultiert in mangelnder Kenntnis. Auch im Deutschen Bundestag sinkt der Anteil der Parlamentarier mit einem beruflichen Hintergrund aus handwerklichen und technischen Bereichen seit 1990 von 22 % auf derzeit 14 % [28] (Abbildung 9). Eine fundierte, neutrale Informationsvermittlung wie durch RohstoffWissen! e.V. soll zu einer versachlichten Diskussion beitragen.

Sachorientierte Diskurse mit faktenbasierten Lösungen finden selbst in westlichen Demokratien weniger Zuspruch, der Wissenschaftsjournalist Ranga Yogeshwar redet von einer „Ereignisbewirtschaftung der Medienunternehmen“. So führen Worte wie Krise (Klimakrise, Rohstoffkrise, Energiekrise) und Überbevölkerung in einer bislang nie dagewesenen Zeit des Friedens und globalen Wohlstands zu Ängsten, die wissenschaftlich fundierte Diskussionen und Innovation einschränken können. Dabei hatte schon der badische Staatsrat Carl Friedrich Nebenius (1784-1857) zur Überbevölkerung des Großherzogtums Baden – die Bevölkerung Karlsruhes stieg von 10 597 im Jahr 1810 auf 23 484 in Jahr 1840, heute 313 092 Einwohner – geschrieben, dass „allein ein geschickter Gebrauch der Hilfsmittel der Produktion imstande sei, die unabsehbaren Folgen der Überbevölkerung Badens abzuwenden“ (aus [29]: S. 34-35).

6 Ausblick

Für die Rohstoffversorgung des Industriestandorts Deutschland sind resiliente Lieferketten essentiell. Die Anzahl großer, international agierender Unternehmen im Bereich Bergbau, Verhüttung und Raffination verringert sich jedoch und die angewandte Kompetenz schwindet.

Die Recycling-Technologie kann nur eine begrenzte Menge der Rohstoffe für den Industriestandort Deutschland liefern. Neben Investitionen in Recyclingtechnologien sind innovative Technologien der Aufsuchung, Gewinnung, Verhüttung und Raffination von Primärrohstoffen zu entwickeln, um wettbewerbsfähige und umweltfreundliche Produkte anbieten und resiliente Lieferketten erhalten zu können.

Verhüttung und Raffination sichern die Produktion von Reinformen durch Primärrohstoffe und Schrott. Durch die Gewinnung von Reinformen wird auch die Lagerhaltung erhöht. Ohne Ver-

as his colleagues from RohstoffWissen!, associations and industry for many discussions on raw materials and required strategies. We thank K. Steiger and A. Monsees for technical assistance to complete this manuscript.

References/Literatur

- [1] Weltbank (2020): Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition. – World Bank Publications, Washington.
- [2] OECD (2019): Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. – OECD Publishing, Paris.
- [3] UN (2020): World population prospects 2019. – URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- [4] OECD (2020): GDP long-term forecast. – URL: <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>
- [5] BMWI (2019): Energiedaten: Gesamtausgabe. – URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=34
- [6] DNV-GL (2020): Energy transition outlook 2020 – a global and regional forecast to 2050.
- [7] BP (2019): Statistical review of world energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- [8] CRIPPA, M. et al. (2019): Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries, 2019 report. – EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019. – ISBN 978-92-76-11100-9.
- [9] VIDAL, O., GOFFE, B. & ARNDT, N. (2013): Metals for a low-carbon society. – Nature Geoscience 6: 894-896.
- [10] DREXHAGE, J.R., LA PORTA, D., HUND, K.L., MCCORMICK, M.S. & NINGTHOUJAM, J. (2017): The growing role of minerals and metals for a low carbon future. – World Bank Group, EGPS (Extractives Global Programmatic Support), Washington DC.
- [11] CARRARA, S., ALVES DIAS, P., PLAZZOTTA, B. & PAVEL, C. (2020): Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system. – EUR 30095 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg. – ISBN 978-92-76-16225-4.
- [12] MÄNBERGER, A. & STENQVIST, B. (2018). Global metals flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. – Energy Policy 119: 226-241.
- [13] Acatech (2017): Rohstoffe für die Energiewende, 104 pp. – URL: <https://www.acatech.de/publikation/rohstoffe-fuer-die-energiewende-wege-zu-einer-sicheren-und-nachhaltigen-versorgung/>
- [14] RENNERT, S. & WELLMER, F.W. (2019): Volatility drivers on the metal market and exposure of producing countries. – Mineral Economics – DOI: 10.1007/s13563-019-00200-8
- [15] RÖTZER, N. & SCHMIDT, M. (2018): Decreasing Metal Ore Grades – Is the Fear of Resource Depletion Justified? – Resources 7 – DOI: 10.3390/resources7040088
- [16] ELSKHAKI, A., GRAEDEL, T.E., CIACCI, L. & RECK, B.K. (2016): Copper demand, supply, and associated energy use to 2050. – Global Environmental Change 39: 305-315.
- [17] USGS (2020): How much copper has been found in the world? – URL: [https://www.usgs.gov/faqs/how-](https://www.usgs.gov/faqs/how-huettung-und-raffination-ist-kein-recycling-und-somit-kein-ausbau-entsprechender-kompetenzen-moeglich)

huettung und raffination ist kein recycling und somit kein ausbau entsprechender kompetenzen moeglich.

Mit zunehmendem protektionismus auch westlicher staaten schwindet der drang, den freien handel schuetzend zu begleiten. freier handel und innovation sind der garant fuer eine resiliente rohstoffversorgung.

Danksagung

C.H. dankt den kollegen des thinktank industrielle ressourcenstrategien J. Kolb, M. Schmidt sowie K. Steinmüller, den kollegen von rohstoffwissen!, verbänden und firmen fuer zahlreiche diskussionen zum thema rohstoff und strategien. frau K. Steiger und herrn A. Monsees wird herzlich fuer die technische unterstuetzung bei anfertigung des manuskripts gedankt.

- [18] CASTILLO, E. & EGGERT, R. (2020): Reconciling diverging views on mineral depletion: A modified cumulative availability curve applied to copper resources. – Resources, Conservation and Recycling 161: 104896 – DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104896
- [19] KESLER, S.E. & WILKINSON, B.H. (2008) Earth's copper resources estimated from tectonic diffusion of porphyry copper deposits. – Geology 36: 255-258.
- [20] REUTER, M.A., VAN SCHAİK, A., GUTZMER, J., BARTIE, N. & ABADÍAS-LLAMAS, A. (2019): Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. – Annual Review of Materials Research 49: 253-274.
- [21] Deutsche Umwelthilfe (2020): Illegaler Export von Elektroschrott: Deutsche Umwelthilfe fordert Umsetzung der Rücknahmepflicht durch Handelsunternehmen und mehr Zollkontrollen. – URL: <https://www.presseportal.de/pm/22521/4021055https://www.presseportal.de/pm/22521/4021055>
- [22] HAGELÜKEN, C. (2014): Technologiemetalle – Systemische Voraussetzungen entlang der Recyclingkette. In KAUSCH, P., BERTAU, M., GUTZMER, J., MASCHULLAT, J. (Hrsg.): Strategische Rohstoffe – Risikovorsorge: 161-172; Springer, Berlin, ISBN 978-3-642-39703-5.
- [23] AEI (2020). China global investment tracker. – American Enterprise Institute – URL: <https://www.aei.org/china-global-investment-tracker/>
- [24] WIPO (2019): World intellectual property indicators 2019. – Genf, World Intellectual Property Organization.
- [25] Deutscher Bundestag (2020). Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Marcel Klinge, Olaf in der Beek, Michael Theurer, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP. – Drucksache 19/16562 – Rohstoffpartnerschaften. Drucksache 19/17224
- [26] D-EITE (2018): Bericht für 2016. 2. Auflage. – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, Bonn.
- [27] EU (2020): Critical raw materials resilience: Charting a path towards greater security and sustainability. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>
- [28] DHB (2018): Datenhandbuch des Deutschen Bundestages – Kapitel 3.1.1. Berufsstruktur. <https://www.bundestag.de/datenhandbuch>
- [29] HOEPKE, K.-P. (2007): Geschichte der Fridericiana. – Universitätsverlag Karlsruhe – ISBN 978-3-886644-138-5