

Raw Materials, Future, Environmental Issues

The US investment bank Goldman Sachs and companies such as Bloomberg are optimistic about the further development of the global economy despite the ongoing coronavirus pandemic. According to the annual outlook presented on 12th January 2021 during the "Global Strategy Conference", Goldman Sachs expects global economic output in the current fiscal year to increase by

6.5%. The forecast for economic development from these experts is higher than the average market expectation and the Bloomberg forecast, which expects growth of about 5.2%. It is also conjectured that raw materials are in a super-cycle that will last a decade. JPMorgan Chase & Co. also expects a continued rally in raw material prices.

Rohstoffe, Zukunft, Umweltfragen

Die US-Investmentbank Goldman Sachs und Unternehmen wie Bloomberg blicken trotz der anhaltenden Corona-Pandemie optimistisch auf die weitere Entwicklung der Weltwirtschaft. Für das laufende Jahr rechnet Goldman Sachs mit einer Zunahme der globalen Wirtschaftsleistung um 6,5%, wie aus ihrem Jahresausblick hervorgeht, der am 12. Januar 2021 anlässlich der „Global Strategy

Conference“ vorgestellt wurde. Die Prognose der Experten für die konjunkturelle Entwicklung ist damit höher als die durchschnittliche Markterwartung und die Vorhersage von Bloomberg, die etwa 5,2% Wachstum erwarten. Die Rohstoffe befänden sich in einem Superzyklus, der ein Jahrzehnt anhalten würde. Auch JPMorgan Chase & Co. geht von einer anhaltenden Rallye bei Rohstoffen aus.

1 Lifeblood for the economy and public service

An adequate supply of mineral raw materials available at fair market conditions is an essential pillar for a sustainable and well-functioning economy, which is in turn the indispensable foundation for the creation and maintenance of prosperity and a future that can provide an acceptable quality of life. Germany is particularly dependent on raw materials for its industry, relying as it does on exports. In view of this reliance, the clear lack of interest in this area that is still generally observed in society is all the more incomprehensible.

Although the geological availability of minerals is relatively high around the globe, geopolitical, economic or pandemic factors can cause a shortage of mineral resources leading to parallel price developments as has been seen in the last two years. The ongoing coronavirus pandemic and the war in the Ukraine have mercilessly exposed just how vulnerable a globalised world with its complex interdependencies and highly diversified added-value chains truly is.

Questions about the security of supply for products of daily use and for basic materials and finished products that are urgently needed for the processing industry such as the chemical or automotive industry have suddenly arisen. Key technologies to ensure future viability can be implemented and major challenges in climate and energy, health, nutrition, mobility, digitalisation, security and communications can be mastered solely if there is a sufficient supply of mineral raw materials. The recently experienced disruptions clearly expose the importance of domestic raw material extraction and production.

1 Lebenselixier für Wirtschaft und Daseinsvorsorge

Die ausreichende Versorgung mit mineralischen Rohstoffen zu fairen Marktbedingungen ist ein wesentlicher Teil der Basis für eine nachhaltige und gut funktionierende Wirtschaft, welche die weltweit verbindliche Grundlage zur Schaffung und Erhaltung von Wohlstand und lebenswerter Zukunft ist. Deutschland ist in besonderem Maß auf Rohstoffe für seine exportabhängige Industrie angewiesen. Umso unverständlicher ist ein weitgehend immer noch deutliches gesellschaftliches Desinteresse an dieser Stelle.

Obwohl die geologische Verfügbarkeit von Mineralien global relativ hoch ist, können geopolitische, wirtschaftliche oder pandemisch bedingte Ursachen wie bereits in den letzten zwei Jahren zu einer Verknappung der mineralischen Ressourcen mit entsprechenden Preisentwicklungen führen. Die anhaltende Corona-Pandemie und der Krieg in der Ukraine zeigen unerbittlich die große Verwundbarkeit in einer globalisierten Welt mit komplexen Abhängigkeiten und weit verzweigten Wertschöpfungsketten auf.

Fragen werden daher plötzlich aufgeworfen zur Versorgungssicherheit für Produkte des täglichen Bedarfs sowie für Grundstoffe und Fertigprodukte, die für die weiterverarbeitende Industrie wie die Chemie- oder Automobilindustrie dringend benötigt werden. Schlüsseltechnologien zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit und große Herausforderungen in den Bereichen Klima und Energie, Gesundheit, Ernährung, Mobilität, Digitalisierung, Sicherheit und Kommunikation können nur unter der Voraussetzung einer ausreichenden Versorgung mit mineralischen Rohstoffen erfolgreich umgesetzt werden. Die jüngst erlebten

2 Looking far back into the past

German mining sites in the Harz Mountains and in Saxony stand out today as some of the most important mining monuments in the world. By the 18th century or even earlier, mining was the driver of pre-steam engine industrialisation in these regions and at the same time a modern inventor and pacesetter of what is now understood by sustainability (1). Shafts that were once the deepest in the world (-930 m) in St. Andreasberg, water wheels and reversible water wheels with diameters of up to 12 m and a continuous lift system that is still in operation today are prominent features that have led to the mines in the Harz Mountains being declared a UNESCO World Heritage Site. But mankind owed just about everything that was good to mining thousands of years before that.

The cultural record of human existence is divided into two major periods: the Stone Age and the Metal Ages. The use of metals first appeared in Asia and presumably Egypt around 3500 BCE and in Europe from about 2000 BCE. A distinction is made between the Copper Age and the Iron Age, separated by the Bronze Age. Towards the end of the New Stone Age (Neolithic Period), humans had acquired greater knowledge of the environment and its resources. Using this advanced know-how, humans transitioned to metalworking. At that time, metals were neither easy to find nor was it easy to make tools from them. Although some free copper or meteorite pieces could be found in nature, most metals are embedded in ores. They could not be extracted until the processes of mining and smelting had been developed.

Four primary steps had to be mastered before the metal could be processed (2):

- discovery and collection of the ores containing the metals;
- extraction of pure metal from ore;
- alloying, mixing different metals; and
- forging or casting, techniques for shaping metals.

2.1 The Copper Age

Copper was first used predominantly in Mesopotamia, where some early copper tools have been found among the improved implements from the Late Neolithic period uncovered during archaeological digs in the Euphrates/Tigris valley. The floor of this valley at the tip of the Persian Gulf had just risen above sea level when the first humans arrived with the Ubaid culture from the Persian highlands between 4000 and 3000 BCE.

Copper was possibly first cast in the Nile Valley. However, scholars have also pointed out that the first smelted copper jewellery appeared in Catal Huyuk (Anatolia) as early as the middle of the seventh millennium BCE. Pits with a depth of 20 to 25 metres were discovered in East Yugoslavia. Tools made of smelted copper from western Russia correspond to the earliest open forms recovered from Bulgaria and Russia.

2.2 The Bronze Age

The best bronze production sites were apparently in Cyprus, Hungary and Spain. The largest number of deposits for the components of bronze in Africa are located in Katanga/Congo. It is unknown, however, whether they were mined before the Middle Ages.

disruptiven Ereignisse zeigen in aller Deutlichkeit die Bedeutung einer heimischen Rohstoffförderung und Produktion.

2 Der Blick geht weit zurück

Deutsche Bergbaustandorte im Harz und in Sachsen zählen heute zu bedeutenden Montandenkmälern der Welt. Spätestens im 18. Jahrhundert war der Bergbau hier Treiber der Vordampfmaschinen-Industrialisierung und gleichzeitig moderner Erfinder und Taktgeber dessen, was man heute unter Nachhaltigkeit versteht (1). Ehemals tiefste Schächte der Welt (-930 m) in St. Andreasberg, Wasserräder und Kehräder mit bis zu 12 m Durchmesser und eine heute noch betriebsfähige Fahrkunst haben dazu beigetragen, dass die Gruben im Harz zum UNESCO-Weltkulturerbe gehören. Aber dem Bergbau verdankt die Menschheit schon Tausende Jahre vorher so gut wie alles Gute.

Das kulturelle Zeugnis der Existenz des Menschen ist in zwei große Perioden unterteilt, die Steinzeit und das Zeitalter der Metalle. Letztere wurden erstmals um 3500 v. Chr. in Asien und vermutlich Ägypten eingesetzt, in Europa etwa ab 2000 v. Chr. Man unterscheidet dabei die Kupfer- und die Eisenzeit mit der dazwischen liegenden Bronzezeit. Gegen Ende der Jungsteinzeit (Neolithikum) bereits erlangte der Mensch ein besseres Wissen über die Umwelt und ihre Ressourcen. Mit diesem fortgeschrittenen Know-how ging er zur Metallbearbeitung über. Metalle waren damals weder leicht zu finden, noch war es leicht, Werkzeuge daraus herzustellen. Denn obwohl einige freie Kupfer- oder Meteoritenstücke in der Natur verfügbar waren, sind die meisten Metalle in Erze eingebettet. Bergbau und Schmelzen mussten also erlernt werden.

Bis zur Metallverarbeitung galt es, vier Hauptschritte zu beherrschen (2):

- Entdeckung und Sammlung geeigneter Erze,
- Gewinnung von reinem Metall aus Erz,
- Legieren, Mischen verschiedener Metalle und
- Schmieden oder Gießen, Techniken zum Formen der Metalle.

2.1 Die Kupferzeit

Kupfer wurde zuerst überwiegend in Mesopotamien genutzt, wo einige frühe Kupferwerkzeuge bei den späten, verbesserten neolithischen Geräten im Boden des Euphrat/Tigris-Tals aufgefunden wurden. Der Boden dieses Tals an der Spitze des Persischen Golfs war gerade über den Meeresspiegel gestiegen, als die ersten Menschen zwischen 4000 und 3000 v. Chr. mit der Kultur Ubaid aus dem persischen Hochland kamen.

Der erste Kupferguss wurde möglicherweise im Niltal durchgeführt. Gelehrte haben jedoch auch schon darauf hingewiesen, dass die ersten geschmolzenen Kupferschmuckstücke in Catal Huyuk (Anatolien) bereits Mitte des 7. Jahrtausends v. Chr. aufgetaucht seien. In Ostjugoslawien wurden Gruben mit einer Teufe von 20 bis 25 m gefunden. Werkzeuge aus geschmolzenem Kupfer aus Westrussland entsprechen den frühesten offenen Formen, die aus Bulgarien und Russland gewonnen wurden.

2.2 Die Bronzezeit

Die besten Bronze-Produktionsstätten befanden sich anscheinend in Zypern, Ungarn und Spanien. In Afrika befindet sich die

Small and midsize deposits are found in Armenia, Syria, north-west Persia and Bengal. Large deposits are found solely on the Malay Peninsula, in Southeast Africa and in China. The most important European sources are Bohemia, Spain and the British Isles.

Since the extraction of ores and the working of bronze required special skills, the blacksmith's trade developed alongside the miner's trade, both of which played an important role in society. Miners, and especially bronze casters, developed into a distinct caste with hereditary trade secrets and a spirit of community that has lasted until recent times.

2.3 The Iron Age

Iron is the metal that has achieved the highest industrial importance in history. It was a wonderful material for tools and weapons because of its considerable hardness, greater than that of bronze, and it had the additional advantage that it could be found almost everywhere.

The Earth's surface contains 4 % to 5 % iron. There are iron ores containing metallic iron in the form of iron oxides, haematite, limonite, magnetite and siderites. There are small particles of pure iron in basalt rock, but they cannot be used for practical purposes. Meteorites also contain a large quantity of iron. The nature of these sources indicates that, with the exception of meteorites, iron never appears in pure form. Even meteoric iron contains 5 % to 25 % nickel.

The history of iron began with the Hittites of Anatolia in the Middle East. Around 1000 BCE, its use spread in all directions and it became a metal for general use in western Asia, Egypt and south-eastern and central Europe. At that time, mining began at the Erzberg mine in Eisenerz in Styria/Austria.

Fully molten iron for casting, which requires a higher temperature, was first used in China long after the beginning of the Christian era. In the interim, the process of carburising (steeling) was apparently invented around 1500 BCE in the Caucasus, not far from the area where bronze had probably been invented.

In Europe, the Iron Age culture appeared in 650 BCE; the first phase is known as Hallstadt A, named after the village on Lake Hallstadt in the Austrian Salzkammergut. No inevitable stages have been identified in the sequence of stone, copper, bronze or iron. Black Africa and Japan, e.g., skipped the Bronze Age altogether and went directly from the Stone Age to the Iron Age.

3 Germany's raw materials situation in 2021

Figure 1 shows the production volumes of the raw materials extracted in Germany.

Focusing on innovative solutions along the entire added-value chain is important for strengthening competitiveness and sustainability of industry. The circular economy must in future also contribute more to ensuring a sustainable supply of resources in the long term. The political establishment has the task of heightening public awareness of the importance of raw materials and the raw materials industry. Regrettably, there has been little evidence of this in recent years, so this important task has fallen to organisations such as the German Mineral Resources Agency (DERA) in the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), the VDMA Mining, various networks and parts of the scientific community.

größte Anzahl von Lagerstätten für die Bronzebestandteile im kongolesischen Katanga. Es ist allerdings nicht bekannt, ob diese schon vor dem Mittelalter ausgebeutet wurden.

Kleine und moderate Ablagerungen liegen in Armenien, Syrien, Nordwestpersien und Bengalen. Große Vorkommen gibt es nur auf der malaiischen Halbinsel, in Südafrika und in China. Die wichtigsten europäischen Quellen sind Böhmen, Spanien und die britischen Inseln.

Da die Gewinnung von Erzen und die Bearbeitung von Bronze besondere Fähigkeiten erforderten, entwickelte sich neben dem Bergmanns- auch das Schmiedehandwerk, die beide eine wichtige Rolle in der Gesellschaft einnahmen. Die Bergleute und insbesondere die Bronze gießer entwickelten sich zu einer eigenständigen Kaste mit vererbaren Geschäftsgeheimnissen und einem bis in die jüngste Zeit reichenden Korpsgeist.

2.3 Die Eisenzeit

Eisen ist das Metall, das in der Geschichte die höchste industrielle Bedeutung erlangt hat. Es war wegen seiner beträchtlichen Härte ein wunderbares Material für Werkzeuge und Waffen, besser als Bronze, mit dem Vorteil, dass es fast überall zu finden war.

Die Erdoberfläche enthält 4 bis 5 % Eisen. Es gibt Eisenerze, die metallisches Eisen in Form von Eisenoxiden, Hämatit, Limonit, Magnetit und Sideriten anbieten. Im Basaltgestein befinden sich kleine Partikel aus reinem Eisen, die jedoch nicht für praktische Zwecke verwendet werden können. Meteoriten enthalten ebenfalls eine große Menge Eisen. Die Art dieser Quellen deutet darauf hin, dass Eisen mit Ausnahme von Meteoriten niemals in reinem Zustand verfügbar ist. Selbst das Meteoriteneisen enthält 5 bis 25 % Nickel.

Die Geschichte des Eisens begann mit den Hethitern von Anatolien im Nahen Osten. Um 1000 v. Chr. breitete die Nutzung sich in alle Richtungen aus und es wurde zu einem Metall für den allgemeinen Gebrauch in Westasien, Ägypten, Südost- und Mitteleuropa. Damals begann man, den Erzberg in Eisenerz in der Steiermark/Österreich abzubauen.

Das vollständig geschmolzene Eisen zum Gießen, das eine höhere Temperatur benötigt, wurde erstmals in China lange nach dem Beginn der christlichen Ära eingesetzt. Dazwischen wurde der Prozess des Aufkohlens (Steeling) um 1500 v. Chr. offenbar im Kaukasus erfunden, nicht weit von dem Gebiet entfernt, in dem wohl auch die Erfindung von Bronze stattgefunden hatte.

In Europa erschien die Kultur der Eisenzeit im Jahr 650 v. Chr., wo die erste Phase als Hallstadt A, benannt nach dem Dorf am Hallstätter See im österreichischen Salzkammergut, bekannt ist. In der Abfolge von Stein, Kupfer, Bronze oder Eisen wurden keine zwingenden Stufen identifiziert. So haben beispielsweise Schwarzafrika und Japan die Bronzezeit völlig übersprungen und sind direkt von der Steinzeit in die Eisenzeit übergegangen

3 Deutschlands Rohstoffsituation 2021

Bild 1 zeigt die Fördermengen der in Deutschland gewonnenen Rohstoffe.

Zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Industrie ist der Fokus auf innovative Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette wichtig. Die Kreislaufwirtschaft muss darüber hinaus zukünftig mehr dazu beitragen, eine nach-

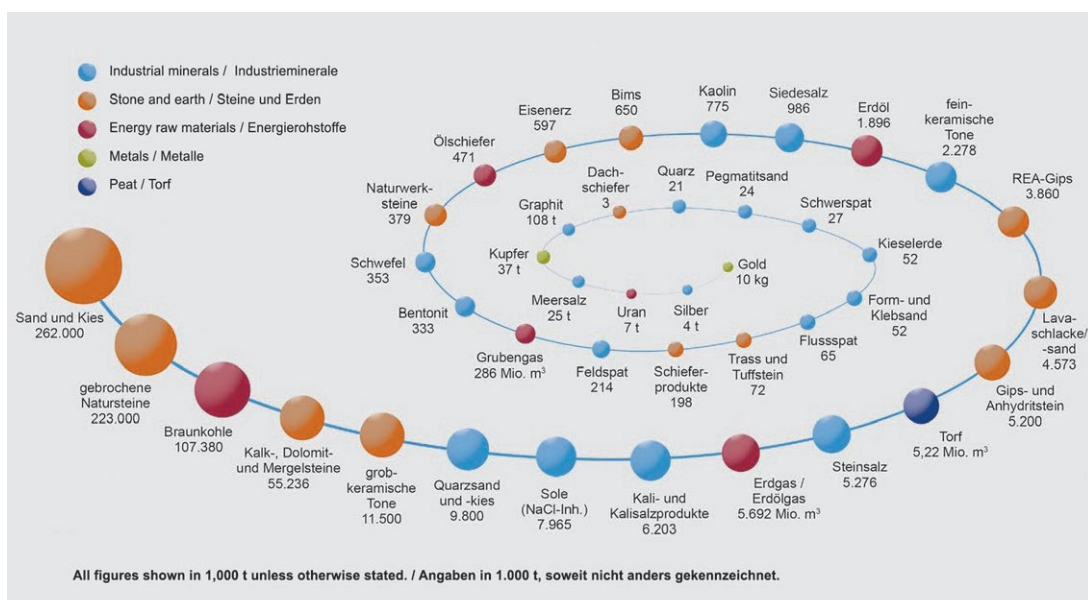


Fig. 1. Raw materials galaxy 2020 (3). // Bild 1. Rohstoffgalaxie 2020 (3).

In December 2021, average prices for cathode materials such as electrolytic cobalt ($\geq 99,8\%$ Co) and electrolytic nickel ($\geq 99,8\%$ Ni) were 69,285 US\$/t and 21,250 US\$/t, respectively. The average prices for battery-grade lithium carbonate and lithium hydroxide were 35,714 US\$/t and 28,214 US\$/t, respectively. The average prices for the ternary precursors NCM523, NCM622 and NCM811 were over 19,000 US\$/t, 20,000 US\$/t and 20,642 US\$/t, respectively. The average price for lithium iron phosphate (LFP) material in December was 13,142 US\$/t. Currently, new LFP production capacities of leading companies continue to increase in response to strong demand, and self-supply of raw materials and external procurement are considered satisfactory at present. The average price for anode material made from artificial graphite was 7,142 US\$/t in December 2021 and the average price for natural graphite was 6,642 US\$/t. Since anode graphitisation is expected to remain in short supply, battery manufacturers are actively seeking to stockpile it. The average price of ternary electrolyte (cylindrical/2600 mAh) in December 2021 was 17,357 US\$/t, the average price of LFP electrolyte was 15,750 US\$/t and the average price of lithium hexafluorophosphate was 80,714 US\$/t. The average price for battery-grade DMC was 1,857 US\$/t and the price for battery-grade EC was 2,758 US\$/t. The current imbalance between supply and demand for lithium hexafluorophosphate continues, and some companies are experiencing difficulties in obtaining it, so the price remains high and the price of electrolyte may still rise.

4 Raw materials 2022

4.1 Global situation

Essentially, all raw materials must be considered scarce resources today. The amount of raw materials that can be economically extracted from reserves at any given time is constantly changing as the exploration and development of new deposits progress or as more efficient extraction is made possible by the use of innovative techniques and processes. Shifts in demand play a role alongside these variable factors on the supply side. Prices for raw materials are therefore permanently volatile and at times subject

haltige Versorgung mit Ressourcen langfristig zu sichern. Die Aufgabe der Politik ist es, die Öffentlichkeit für die Bedeutung der Rohstoffe und der Rohstoffbranche zu sensibilisieren. Leider war davon in den letzten Jahren wenig zu spüren, sodass diese wichtige Aufgabe Organisationen wie der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem VDMA Mining, verschiedenen Netzwerken und Teilen der Wissenschaft zukam.

Im Dezember 2021 lagen die Durchschnittspreise für Kathodenmaterial wie elektrolytisches Kobalt ($\geq 99,8\%$ Co) und elektrolytisches Nickel ($\geq 99,8\%$ Ni) bei 69.285 US-\$/t und 21.250 US-\$/t. Die Durchschnittspreise für Lithiumcarbonat und Lithiumhydroxid in Batteriequalität lagen bei 35.714 US-\$/t bzw. 28.214 US-\$/t. Die Durchschnittspreise für die ternären Vorprodukte NCM523, NCM622 und NCM811 lagen bei über 19.000 US-\$/t, 20.000 US-\$/t bzw. 20.642 US-\$/t. Der Durchschnittspreis für Lithiumeisenphosphat (LFP)-Material lag im Dezember bei 13.142 US-\$/t. Gegenwärtig steigen die neuen LFP-Produktionskapazitäten führender Unternehmen aufgrund der starken Nachfrage weiter an, die Selbstversorgung mit Rohstoffen und die externe Beschaffung gelten derzeit als zufriedenstellend. Der Durchschnittspreis für Anodenmaterial aus künstlichem Grafit lag im Dezember 2021 bei 7.142 US-\$/t und der Durchschnittspreis für NaturGrafit bei 6.642 US-\$/t. Da davon ausgegangen wird, dass die Anoden-Grafitisierung weiterhin knapp bleiben wird, bemühen sich die Batteriehersteller um eine aktive Bevorratung. Der Durchschnittspreis für ternäres Elektrolyt (zylindrisch/2600 mAh) lag im Dezember 2021 bei 17.357 US-\$/t, der Durchschnittspreis für LFP-Elektrolyt bei 15.750 US-\$/t und der Durchschnittspreis von Lithiumhexafluorophosphat bei 80.714 US-\$/t. Der Durchschnittspreis für DMC in Batteriequalität betrug 1.857 US-\$/t, und der Preis für EC in Batteriequalität 2.758 US-\$/t. Das derzeitige Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage bei Lithiumhexafluorophosphat besteht nach wie vor, und es ist für einige Unternehmen schwierig, es zu kaufen, sodass der Preis hoch bleibt und der Preis für Elektrolyt noch steigen kann.

to significant fluctuations as became strikingly apparent in the coal and coke sectors in 2020 and 2021 when huge swings were driven by the People's Republic of China.

Taking into account all materials that are extracted in economic processes, but not actually used to add value, e.g., overburden in opencast mines, the International Resources Panel (IRP) of the UN Environmental Programme UNEP found in 2016 that raw material extraction had more than tripled in the past four decades from 22 bn t/a to over 70 bn t/a (4). The pace of global raw material extraction is now three times what it was 50 years ago, but according to a World Bank report, production of several key minerals will need to increase by more than 350% by 2050 to meet then-prevailing demand (5).

Consumption rose especially rapidly from 2000 onwards when emerging economies such as China once again accelerated their industrial transformation and required large additional quantities of iron, steel, cement, energy and construction materials. If total consumption continues to grow at this rate, around 180 bn t of raw materials will have to be produced in 2050. Owing to the growing world population – from 2.5 bn people in 1950 to 6.12 bn in 2000 to 7.67 bn in 2020 to more than 9.14 bn in 2050 (6) – average resource depletion remains a serious topic of discussion.

4 Rohstoffe 2022

4.1 Globale Lage

Alle Rohstoffe müssen heute bereits grundsätzlich als knappe Ressource betrachtet werden. Die jeweils wirtschaftlich förderbare Menge aus Reserven an Rohstoffen ändert sich stetig infolge von Exploration und Erschließung neuer Lagerstätten oder durch effizientere Gewinnung mit innovativen Techniken und Verfahren. Zu diesen angebotsseitig variablen Faktoren kommen Nachfrageverschiebungen. Rohstoffpreise sind daher permanent volatil und mitunter starken Schwankungen unterworfen wie man dies, getrieben durch die Volksrepublik China, eindrucksvoll in den Bereichen Kohle und Koks in den Jahren 2020 und 2021 beobachten konnte.

Unter Berücksichtigung aller Materialien, die in wirtschaftlichen Prozessen gefördert, aber nicht tatsächlich zur Wertschöpfung verwendet werden, z.B. Deckgebirge in Tagebauen, hatte sich nach Erkenntnissen des International Resources Panel (IRP) des UN-Umweltprogramms UNEP von 2016 die Rohstoffgewinnung in den vergangenen vier Jahrzehnten von 22 Mrd. t auf jährlich über 70 Mrd. t mehr als verdreifacht (4). Das Tempo der weltweiten Rohstoffgewinnung ist heute dreimal so hoch wie vor 50 Jahren, aber laut einem Bericht der Weltbank muss die Produktion verschiedener wichtiger Mineralien bis 2050 um mehr als 350% gesteigert werden, um die dann vorherrschende Nachfrage zu decken (5).

Country / Land	Mining production / Bergbauförderung	Refinery production / Raffinadeproduktion	Reserves / Reserven	Resources / Ressourcen	Total / Summe	Ranking / Rang
China	1	1	2	6	10	1
Brazil / Brasilien	3	7	3	2	15	2
Australia / Australien	2	13	1	1	17	3
Russia / Russland	4	4	5	4	17	3
USA	6	5	6	7	24	5
Canada / Kanada	9	11	7	5	32	6
India / Indien	10	2	10	13	35	7
South Africa / Südafrika	8	14	9	8	39	8
Chile	5	30	4	3	42	9
Indonesia / Indonesien	12	10	12	12	46	10
Mexico / Mexiko	11	17	11	10	49	11
Turkey / Türkei	15	9	15	15	54	12
Peru	7	37	8	9	61	13
Kazakhstan / Kasachstan	13	21	14	14	62	14
Ukraine	18	16	16	16	66	15
Iran	17	12	17	21	67	16
Poland / Polen	28	25	20	19	92	17
Germany / Deutschland	33	8	29	32	102	18
Sweden / Schweden	24	34	22	22	102	18
Philippines / Philippinen	19	49	19	17	104	20
Zambia / Sambia	20	51	18	18	107	21
Congo / Kongo	14	85	13	11	123	22
Belarus	27	56	21	20	124	23
Spain / Spanien	37	19	42	38	136	24
New Caledonia / Neukaledonien	35	36	33	33	137	25

Table 1. Extraction of mineral raw materials in global comparison as per 2019/2020 (7).

Tabelle 1. Gewinnung mineralischer Rohstoffe im weltweiten Vergleich, Stand 2019/2020 (7).

In terms of material intensity, i.e. economic output per mining site of raw material extraction within the EU, Europe is now the most eco-efficient region worldwide, while Africa and its 55 states have the lowest economic output per domestic extraction. However, Europe has long been importing raw materials for its industries from other regions of the world in ever increasing quantities. North America has the highest net regional metal imports (imports minus exports) and receives about 82% of all net regional metal imports, followed by Mexico. Table 1 shows the extraction of mineral raw materials as a global comparison (as of 2019/2020).

Globally speaking, Australia, Brazil, Chile and China have the highest level of mineral extraction. Australia is the largest producer of bauxite, Brazil of industrial diamonds, China of tungsten and South Africa of platinum and gold.

4.2 Germany's tasks

According to the information from the federal government, Germany can cover a significant share – depending on the raw material, as much as 100% – of all materials from the categories of stone, earth and salt from federally owned extraction. This statement is found in the government's answer to a Brief Enquiry submitted by the FDP parliamentary group in August 2021. Based on information regarding primary energy consumption (PEC) and domestic production provided by the Working Group on Energy Balances (AG Energiebilanzen), the answer calculates that domestic production will account for 6% of Germany's natural gas demand in 2019. In addition, lignite demand is completely covered by domestic production (8). The bottom line is that Germany is economically dependent on the extraction of raw materials in other countries (Figure 2) and so simultaneously bears joint responsibility for conditions in the extracting countries. In consequence, the German government, in cooperation with the business community, has developed a strategy to dismantle trade barriers and liberalise the markets for raw materials.

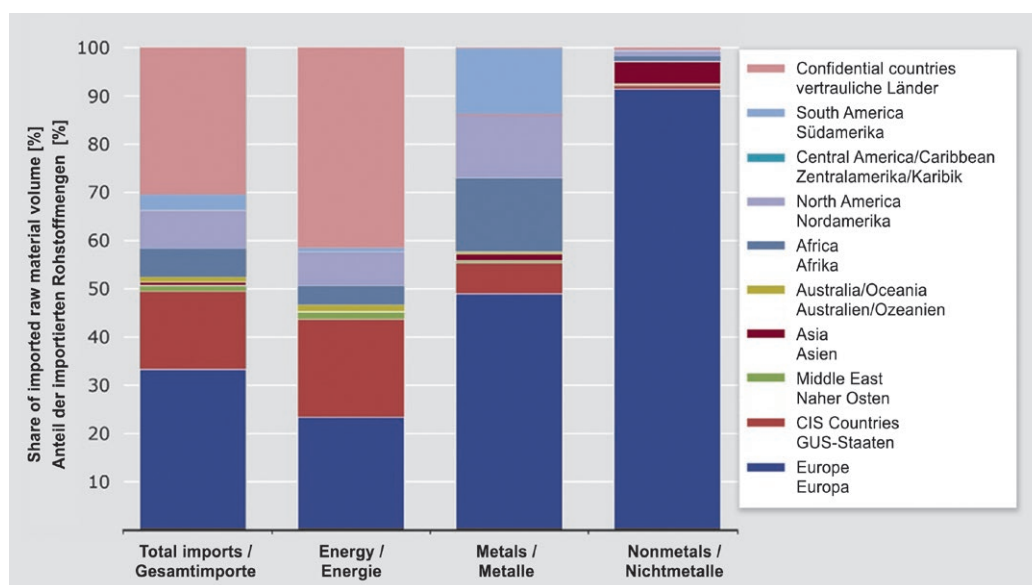


Fig. 2. Raw material situation Germany; imports and quantities by region (3).

Bild 2. Rohstoffsituation Deutschland, Importe und Mengen nach Regionen (3).

Besonders rasant stieg der Verbrauch ab dem Jahr 2000, als Schwellenländer wie China ihren industriellen Wandel nochmals beschleunigten und dafür große zusätzliche Mengen an Eisen, Stahl, Zement, Energie und Baumaterialien notwendig wurden. Sollte der Verbrauch insgesamt weiter so stark wachsen, müssten im Jahr 2050 rd. 180 Mrd. t Rohstoffe produziert werden. Aufgrund der steigenden Weltbevölkerung – von 2,5 Mrd. Menschen im Jahr 1950 auf 6,12 Mrd. im Jahr 2000 auf 7,67 Mrd. im Jahr 2020 auf über 9,14 Mrd. im Jahr 2050 (6) – bleibt der durchschnittliche Ressourcenabbau ein gravierendes Diskussionsthema.

In Bezug auf die Materialintensität, d.h. die Wirtschaftsleistung pro Förderstandort der Rohstoffgewinnung innerhalb der EU, ist Europa heute die ökoeffizienteste Region weltweit, während Afrika mit seinen 55 Staaten die geringste Wirtschaftsleistung je inländischer Gewinnung aufweist. Europa importiert jedoch schon lange und zunehmend Rohstoffe für seine Industrien aus anderen Weltregionen. Nordamerika verzeichnet die höchsten regionalen Nettometallimporte (Importe minus Exporte) und erhält rd. 82% aller regionalen Nettometallimporte, gefolgt von Mexiko. Die Tabelle 1 zeigt die Gewinnung mineralischer Rohstoffe im weltweiten Vergleich (Stand 2019/2020).

Den höchsten Mineralabbau leisten global Australien, Brasilien, Chile und China. Australien ist der größte Produzent von Bauxit, Brasilien von Industriediamanten, China von Wolfram und Südafrika von Platin und Gold.

4.2 Aufgabenstellung Deutschland

Bei allen Materialien aus den Kategorien Steine und Erden sowie Salz kann Deutschland nach Angaben der Bundesregierung einen signifikanten Anteil – je nach Rohstoff bis zu 100% – aus bündeseigener Gewinnung abdecken. Das geht aus der Antwort der Regierung auf eine Kleine Anfrage der FDP-Fraktion vom August 2021 hervor. Entsprechend den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AG Energiebilanzen) zum Primärenergieverbrauch (PEV) und der inländischen Förderung errechnet sich der Antwort zufolge im Jahr 2019 ein Anteil von 6% der inländischen Förderung

am Erdgasbedarf Deutschlands. Außerdem wird der Braunkohlenbedarf vollständig aus heimischer Förderung gedeckt (8). Im Ergebnis ist Deutschland auf den Rohstoffabbau in anderen Ländern wirtschaftlich angewiesen (Bild 2) und dadurch gleichzeitig für die Zustände in den Abbauländern mitverantwortlich. Die Bundesregierung hat daher zusammen mit der Wirtschaft eine Strategie entwickelt, Handelshemmnisse abzubauen und die Rohstoffmärkte zu liberalisieren.

Um eine dauerhafte Rohstoffversorgung zu sichern, hat die Bundesregierung bereits im Oktober 2010 auf Vorlage des damaligen Bundes-

Seeking to secure the sustainable provision of raw materials, the federal government adopted the German Raw Materials Strategy (DRS), based on a proposal from what was then the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), as early as October 2010; it was planned as a bundle of measures to improve the supply of raw materials. Bilateral raw material partnerships with selected raw material exporting countries and simultaneous target markets for the relevant German sector were supposed to form a centralised instrument for implementation. The partnerships aim to improve German industry's access to raw materials

ministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Deutsche Rohstoffstrategie (DRS) verabschiedet, gedacht als ein Maßnahmenbündel zur Verbesserung der Rohstoffversorgung. Bilaterale Rohstoffpartnerschaften mit ausgewählten Rohstoffexportländern und gleichzeitigen Zielmärkten für die deutsche Fachbranche sollten dabei ein zentrales Umsetzungsinstrument bilden. Im Sinn der gemeinsamen Vorteile haben die Partnerschaften die Verbesserung des Zugangs der deutschen Industrie zu Rohstoffen durch den Abbau von Handelshemmnissen sowie die Verbesserung von Investitionsbedingungen für deutsche Rohstoffunter-

Future technologies/Raw materials	Chrome / Chrom	Dysprosium	Gallium	Germanium	Graphite / Grafit	Indium	Cobalt / Kobalt	Lithium	Manganese / Mangan	Neodymium / Neodym	Palladium	Platinum / Platin	Praseodymium / Praseodym	Scandium	Silver / Silber	Tantalum / Tantal	Titanium / Titan	Tungsten / Wolfram	Yttrium	Tin / Zinn
Additive manufacturing (3-D printer) / Additive Fertigung (3D-Drucker)																				
Automatic piloting of road vehicles / Automatisches Pilotieren von Straßenfahrzeugen																				
Lead-free solders / Bleifreie Lote																				
Fuel cells for electric vehicles / Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge																				
Thin-film photovoltaics / Dünnschicht-Photovoltaik																				
Electric traction motors, e.g., for e-cars / Elektrische Traktionsmotoren, z.B. für E-Autos																				
Dye solar cells / Farbstoffsolarzellen																				
Solid-state lasers for industrial manufacturing / Festkörper-Laser für industrielle Fertigung																				
Fibre optic cable / Glasfaserkabel																				
High-performance microchips / Hochleistungs-Mikrochips																				
High-performance permanent magnets / Hochleistungs-Permanentmagnete																				
High-temperature superconductors / Hochtemperatursupraleiter																				
Indium tin oxide in display technology / Indium-Zinn-Oxid in der Displaytechnik																				
Inductive transmission of electrical energy / Induktive Übertragung elektrischer Energie																				
Industry 4.0 / Industrie 4.0																				
Infrared detectors in night vision devices / Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten																				
Lithium-ion high-performance electricity storage / Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher																				
Seawater desalination / Meerwasserentsalzung																				
Micro-energy harvesting from ambient energy / Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie																				
Microelectric capacitors / Mikroelektrische Kondensatoren																				
Nanosilver / Nanosilber																				
Optoelectronics and photonics / Optoelektronik und Photonik																				
Redox flow storage / Redox-Flow-Speicher																				
RFID – Radio Frequency Identification																				
SOFC – Stationary fuel cell / SOFC – Stationäre Brennstoffzelle																				
Solar thermal power plant / Solarthermisches Kraftwerk																				
Lightweight steel construction with tailored blanks / Stahlleichtbau mit Tailored Blanks																				
Supercapacitors for motor vehicles / Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge																				
Superalloys / Superlegierungen																				
Synthetic fuels / Synthetische Kraftstoffe																				
Thermal storage / Thermische Speicher																				
Thermoelectric generators / Thermoelektrische Generatoren																				
Ultra-efficient industrial electric motors / Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren																				
Water electrolysis / Wasser-Elektrolyse																				
White LED / Weiße LED																				
Wind farms / Windkraftanlagen																				

Table 2. Relationship of future technologies to raw materials with high risk (grey shading = raw material is relevant for the future technology) (9).
Tabelle 2. Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit hohem Risiko (Graueinfärbung = Rohstoff ist für die jeweilige Zukunftstechnologie relevant) (9).

by removing trade barriers and improving investment conditions for German raw materials companies while supporting partner countries in raising capacity by supplying machinery and equipment along with professional services and knowledge and technology transfer, all within the sense of mutual benefits for all parties. Tables 2 and 3 show the relationship of future technologies to raw materials with high and medium risk, respectively.

German companies, which can play a leading role in the concrete implementation of the partnerships, would be supported within the raw material partnerships by targeted political ancil-

nehmen zum Ziel, während die Partnerländer beim Kapazitätsaufbau durch die Lieferungen von Maschinen und Anlagen sowie Fachdienstleistungen und durch Wissens- und Technologietransfer unterstützt werden sollen. Den Tabellen 2 und 3 ist die Zuordnung von Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit hohem bzw. mittlerem Risiko zu entnehmen.

Deutsche Unternehmen, denen jeweils eine tragende Rolle in der konkreten Umsetzung der Partnerschaften zukommen kann, würden innerhalb der Rohstoffpartnerschaften durch eine gezielte politische Flankierung durch die Bundesregierung unterstützt,

Future technologies/Raw materials	Aluminium	Antimony / Antimon	Lead / Blei	Cold	Copper / Kupfer	Magnesium	Molybdenum / Molybdän	Nickel	Niobium / Niob	Rhenium	Rhodium	Ruthenium	Silicon / Silizium	Vanadium	Zinc / Zink
Additive manufacturing (3-D printer) / Additive Fertigung (3D-Drucker)															
Automatic piloting of road vehicles / Automatisches Pilotieren von Straßenfahrzeugen															
Lead-free solders / Bleifreie Lote															
Fuel cells for electric vehicles / Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge															
Thin-film photovoltaics / Dünnschicht-Photovoltaik															
Electric traction motors, e.g., for e-cars / Elektrische Traktionsmotoren, z.B. für E-Autos															
Dye solar cells / Farbstoffsolarzellen															
Solid-state lasers for industrial manufacturing / Festkörper-Laser für industrielle Fertigung															
Fibre optic cable / Glasfaserkabel															
High-performance microchips / Hochleistungs-Mikrochips															
High-performance permanent magnets / Hochleistungs-Permanentmagnete															
High-temperature superconductors / Hochtemperatursupraleiter															
Indium tin oxide in display technology / Indium-Zinn-Oxid in der Displaytechnik															
Inductive transmission of electrical energy / Induktive Übertragung elektrischer Energie															
Industry 4.0 / Industrie 4.0															
Infrared detectors in night vision devices / Infrarot-Detektoren in Nachtsichtgeräten															
Lithium-ion high-performance electricity storage / Lithium-Ionen-Hochleistungs-Elektrizitätsspeicher															
Seawater desalination / Meerwasserentsalzung															
Micro-energy harvesting from ambient energy / Micro-Energy Harvesting aus Umgebungsenergie															
Microelectric capacitors / Mikroelektrische Kondensatoren															
Nanosilver / Nanosilber															
Optoelectronics and photonics / Optoelektronik und Photonik															
Redox flow storage / Redox-Flow-Speicher															
RFID – Radio Frequency Identification															
SOFC – Stationary fuel cell / SOFC – Stationäre Brennstoffzelle															
Solar thermal power plant / Solarthermisches Kraftwerk															
Lightweight steel construction with tailored blanks / Stahlleichtbau mit Tailored Blanks															
Supercapacitors for motor vehicles / Superkondensatoren für Kraftfahrzeuge															
Superalloys / Superlegierungen															
Synthetic fuels / Synthetische Kraftstoffe															
Thermal storage / Thermische Speicher															
Thermoelectric generators / Thermoelektrische Generatoren															
Ultra-efficient industrial electric motors / Ultraeffiziente industrielle Elektromotoren															
Water electrolysis / Wasser-Elektrolyse															
White LED / Weiße LED															
Wind farms / Windkraftanlagen															

Table 3. Relationship of future technologies to raw materials with medium risk (grey shading = raw material is relevant for the future technology) (g). // Tabelle 3. Zuordnung der Zukunftstechnologien zu Rohstoffen mit mittlerem Risiko (Graueinfärbung = Rohstoff ist für die jeweilige Zukunftstechnologie relevant) (g).

lary measures from the federal government during the realisation of projects for the exploration, extraction and processing of raw materials in and with the partner countries. The interests of German service providers, the scientific community, mechanical engineers and equipment exporters, including many SMEs, should, or even must, really be reflected somewhere in this promise of support. This is at least the theory as seen at the end of 2021.

In practice, Germany is faced with the following tasks:

- If the country wants to maintain its prosperity and simultaneously achieve its climate protection goals, it must officially promote domestic raw material extraction whenever recycling activities cannot provide adequate supplies and where workable deposits can be found. This will not succeed everywhere.
- Access to deposits must be secured everywhere, however. This requires purposeful creation of a framework for spatial development regardless of the actual need at any given time.
- A forward-looking raw materials policy is indispensable to ensure the continued viability of Germany's industrial society.
- At the same time, the implementation of a forward-looking raw materials policy is the basis for industrial transformation within the setting of the energy and transport transition.

4.3 Raw material partnerships

Germany previously concluded four international raw material partnerships with Mongolia, Kazakhstan, Chile and Peru between 2011 and 2014. The raw material partnerships quickly came under fire because, despite the initially great interest shown by German companies, the realisation results to date have fallen short of initial expectations in the view of companies in the sector.

As of this time, little has actually been achieved through the existing raw material partnerships; this may in part be due to the fact that after the initial euphoria they were no longer professionally managed, fostered and developed. Chile is an exception. Potential can currently be recognised in Mongolia. Current conditions indicate that Kazakhstan is likely to remain a difficult partner.

However, a lot can still be expected from the effectively functioning relationship with Chile – if it is seriously pursued. Experts mention the bilateral and institutionalised exchange facilitated under the umbrella of the partnerships such as the German-Chilean Forum for Mining and Mineral Resources and the Mining Competence Centre at the German-Chilean Chamber of Industry and Commerce (CAMCHAL) in Santiago with its transparent, non-proprietary and concrete work as exemplary aspects of the implementation. There is the opportunity here for an exchange moderated by both sides on mining-related topics as well as on the specific challenges and goals in the partner country with the related possibility of a long-term network. The Mining Industry and Technology Network in North Rhine-Westphalia, the TH Georg Agricola University (THGA) in Bochum and a number of companies have established close links to CAMCHAL, industry associations (AIA, Sonami) and, through these contacts, politicians since 2015. Various companies such as GHH Fahrzeuge, Hippenstiel, RWE and others have their own sites.

The Mining Competence Centre of the German-Peruvian Chamber of Industry and Commerce in Lima is following the

in und mit den jeweiligen Partnerländern Projekte zur Exploration, Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen zu realisieren. Irgendwo in diesem Unterstützungsversprechen dürften bzw. müssten sich eigentlich auch die Interessen deutscher Dienstleister, der Wissenschaft, Maschinenbauer und Anlagenexporteure, darunter viele KMU, wiederfinden. Soweit die Theorie aus der Sicht Ende 2021.

In der Praxis ergeben sich für die Bundesrepublik Deutschland folgende Aufgabenstellungen:

- Wenn das Land seinen Wohlstand halten und dabei die Klimaschutzziele erreichen will, muss es die heimische Rohstoffförderung dort, wo Recycling nicht ausreichend zur Versorgung beitragen kann und wo bauwürdige Lagerstätten vorhanden sind, offiziell gezielt versuchen zu fördern. Das wird nicht überall gelingen.
- Der Zugang zu den Lagerstätten muss jedoch überall gesichert werden. Dazu sind konsequent raumordnerische und unabhängig von einem konkreten zeitlichen Bedarf Rahmenbedingungen zu schaffen.
- Eine vorausschauende Rohstoffpolitik ist für den Fortbestand der Industriegesellschaft Deutschlands unabdingbar.
- Gleichzeitig ist die Umsetzung einer vorausschauenden Rohstoffpolitik die Basis der industriellen Transformation vor dem Hintergrund der Energie- und Verkehrswende.

4.3 Rohstoffpartnerschaften

Bislang hat die Bundesrepublik Deutschland zwischen 2011 und 2014 vier internationale Rohstoffpartnerschaften mit der Mongolei, Kasachstan, Chile und Peru abgeschlossen. Schnell gerieten die Rohstoffpartnerschaften in die Kritik, da trotz anfänglich großem Interesse deutscher Unternehmen die Umsetzungsergebnisse bis heute in den Augen der Branchenunternehmen hinter den anfänglichen Erwartungen zurückblieben.

Die bestehenden Rohstoffpartnerschaften haben also bislang nicht viel erbracht, was auch daran liegen kann, dass sie nach der anfänglichen Euphorie nicht mehr professionell betreut, bearbeitet und entwickelt wurden. Eine Ausnahme ist Chile. Potential kann man aktuell in der Mongolei erkennen. Kasachstan dürfte aus aktueller Sicht ein schwieriger Partner bleiben.

Von der gut funktionierenden Verbindung zu Chile ist jedoch noch einiges zu erwarten – wenn man es auch richtig ernst nimmt. Als beispielgebenden Aspekt bei der Umsetzung erwähnen Experten den unter dem Dach der Partnerschaften ermöglichten bilateralen und institutionalisierten Austausch, wie z.B. das Deutsch-Chilenische Forum für Bergbau und mineralische Rohstoffe und das Kompetenzzentrum Bergbau an der Deutsch-Chilenischen Industrie- und Handelskammer (CAMCHAL) in Santiago mit seiner transparenten, herstelleroffenen und konkreten Arbeit. Hier besteht die Chance eines von beiden Seiten moderierten Austauschs zu bergbaurelevanten Themen sowie zu den spezifischen Herausforderungen und Zielen im Partnerland und somit auch die Möglichkeit einer dauerhaften Vernetzung. Das Netzwerk Bergbauwirtschaft und Technik in Nordrhein-Westfalen, die Technische Hochschule Georg Agricola (THGA) in Bochum und eine Reihe von Unternehmen haben seit 2015 enge Verbindungen zur CAMCHAL, zu Industrieverbänden (AIA, Sonami) und über diese Kontakte auch zur Politik aufgebaut. Diverse Unter-

same path. Latin America as a whole has clearly specialised in the extraction of resource-intensive export products such as metal ores (copper and iron ore, for instance), battery raw materials such as lithium or biomass/sugar cane for ethanol. Countries like Chile, Peru and Brazil stand out in particular.

5 Future resource extraction

5.1 New EU law to curb trade in conflict minerals

The EU adopted a new regulation in May 2017 to stop the following activities:

- export of conflict minerals and metals to the EU;
- use of conflict minerals in global and EU smelters and refineries; and
- mistreatment of mine workers.

The law also supports the development of local communities. It obligates EU companies to ensure that they import these minerals and metals solely from responsible sources. The requirements have been in force since 1st January 2021.

5.2 Global extraction and resource efficiency

The aforementioned replacement of domestic extraction by imported raw materials and materials also affects the countries' eco-efficiency, expressed by a material intensity indicator that reflects the economic output per unit of domestic extraction of a raw material. It is easily determined that the industrialised countries are characterised by the lowest material intensities or the highest eco-efficiency. Undoubtedly, this status is partly the result of the use of innovative technologies that improve material and energy efficiency and of the structural shift of economies towards service sectors characterised by lower material use per economic output.

Scenarios depicting future extraction of natural resources using integrated economic-environment models show that, in a baseline scenario without additional measures to limit resource use, domestic extraction within the EU remained roughly constant until 2020 while unused domestic extraction decreased.

The stabilisation of domestic production was accompanied by growing imports of material-intensive products, however. This also indicates that today and in the future the material needs of the European economy will increasingly be met by imports from other regions of the world, leading to an ongoing shift of environmental pollution related to raw material extraction and processing from Europe to resource-rich countries. Furthermore, as the coronavirus pandemic and the stranding of a Chinese container ship in the Suez Canal at the end of 2020 have made abundantly clear, force majeure can easily rupture international supply chains with a subsequent complete loss of control over manufacturing and delivery schedules.

The Sustainable Europe Research Institute (SERI), Vienna/Austria, has built the world's only comprehensive resource extraction database incorporating data for nearly 200 countries and 270 types of resources as a tool for the quantification of resource consumption (10).

Figure 3 gives some examples illustrating the tensions surrounding raw materials; if the means of controlling them permanently are not found, neither an energy transition nor an en-

nehmen verfügen über eigene Standorte, wie z.B. GHH Fahrzeuge, Hippenstiel, RWE u.a.

Das Bergbau-Kompetenzzentrum der Deutsch-Peruanischen Industrie- und Handelskammer in Lima befindet sich auf dem gleichen Weg. Lateinamerika ist insgesamt deutlich auf die Gewinnung ressourcenintensiver Exportprodukte wie Metallerze, etwa Kupfer und Eisenerz, Batterierohstoffe wie Lithium oder Biomasse/Zuckerrohr für Ethanol spezialisiert. Länder wie Chile, Peru und Brasilien ragen hier insbesondere heraus.

5 Zukünftige Ressourcengewinnung

5.1 Neues EU-Gesetz zur Eindämmung des Handels mit Konfliktmineralien

Die EU hat im Mai 2017 eine neue Verordnung verabschiedet, um Folgendes zu stoppen:

- Ausfuhr von Konfliktmineralien und -metallen in die EU,
- Verwendung von Konfliktmineralien in globalen und EU-Hütten und Raffinerien und
- Misshandlung von Bergleuten.

Das Gesetz unterstützt darüber hinaus auch die Entwicklung lokaler Gemeinschaften. Es verpflichtet EU-Unternehmen, sicherzustellen, dass sie diese Mineralien und Metalle nur aus verantwortungsvollen Quellen importieren. Die Anforderungen gelten ab dem 1. Januar 2021.

5.2 Globale Gewinnung und Ressourceneffizienz

Der bereits erwähnte Austausch der inländischen Förderung gegen importierte Rohstoffe und Materialien wirkt sich auch auf die Ökoeffizienz der Länder aus, ausgedrückt durch einen Materialintensitätsindikator, der die Wirtschaftsleistung pro Einheit einer inländischen Rohstoffgewinnung widerspiegelt. Man stellt leicht fest, dass die Industrieländer durch die geringsten Materialintensitäten bzw. die höchste Ökoeffizienz gekennzeichnet sind. Zweifellos ist dieser Status zum Teil das Ergebnis des Einsatzes innovativer Technologien mit verbesserter Material- und Energieeffizienz und des Strukturwandels von Volkswirtschaften hin zu Dienstleistungssektoren, die durch einen geringeren Materialeinsatz pro Wirtschaftsleistung gekennzeichnet sind.

Szenarien zur künftigen Gewinnung natürlicher Ressourcen unter Anwendung integrierter Wirtschafts-Umwelt-Modelle zeigen, dass in einem Basisszenario ohne zusätzliche Maßnahmen zur Begrenzung des Ressourcenverbrauchs die inländische Gewinnung innerhalb der EU bis 2020 in etwa konstant blieb, während die ungenutzte inländische Gewinnung abnahm.

Die Stabilisierung der inländischen Förderung ging jedoch mit wachsenden Importen materialintensiver Produkte einher. Dies deutet auch heute und für die Zukunft darauf hin, dass der Materialbedarf der europäischen Wirtschaft zunehmend durch Importe aus anderen Weltregionen gedeckt wird, was zu einer andauernden Verlagerung der Umweltbelastungen im Zusammenhang mit der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung von Europa in ressourcenreiche Länder führt. Weiterhin, das wurde durch die Coronapandemie und durch das Festfahren eines chinesischen Containerschiffs im Suezkanal Ende 2020 deutlich, können internationale Lieferketten durch Einfluss höherer Gewalt leicht reißen und Fertigungs- und Lieferplanungen völlig außer Kontrolle geraten.

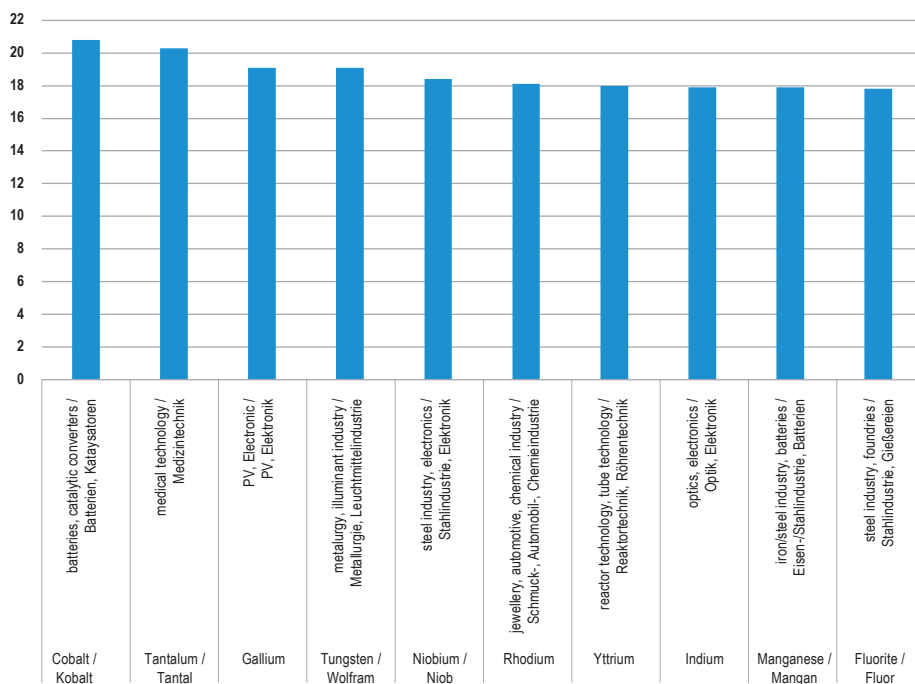


Fig. 3. Raw materials risk index: where shortages threaten (index value for ten raw materials rated as highly critical on a scale from 0 – lowest – to 25 – highest risk). Source: Hartlieb (based on data from IW Consult, 2019)
 Bild 3. Rohstoffrisikoindex: Wo Engpässe drohen (Indexwert für zehn als hoch kritisch bewertete Rohstoffe auf einer Skala von 0 – geringstes – bis 25 – höchstes Risiko). Quelle: Hartlieb (nach Daten von IW Consult, 2019)

environmentally friendly transport turnaround, such as planned in Germany, i.e., will meet with long-term success.

5.2.1 Nickel

The global transition to hybrid and electric vehicles and cleaner energy sources is accelerating, and nickel has become an essential metal as part of the green revolution. Nickel is needed for the production of electric vehicles, wind turbines, and nuclear power plants and is also used mainly to enhance the resistance of stainless steel alloys to corrosion and extreme temperatures. Table 4 shows the top ten companies according to their nickel production and market capitalisation.

Nickel has long been important for battery manufacture, plating and steelmaking, but only recently has it been added to the USGS's proposed list of critical minerals. As countries and indus-

Company / Unternehmen	Market capitalisation / Marktkapitalisierung bn US\$ / Mrd. US-§	Production / Produktion kt
Nornickel	48	236,0
Tal	59	214,7
Glencore	64	110,2
BHP	134	80,0
AngloAmerican	50	44,0
Süd32	12	41,0
Eramet	2	36,0
IGO	5	30,0
Terrafame	n.a. / k.A.	29,0
MCC	5	29,0

Table 4. Top 10 companies according to nickel production and market capitalisation 2020 (11). // Tabelle 4. Top 10-Unternehmen nach Nickelproduktion und Marktkapitalisierung 2020 (11).

Um den Ressourcenverbrauch zu quantifizieren, hat das Sustainable Europe Research Institute (SERI), Wien/Österreich, die weltweit einzige umfassende Datenbank zur Ressourcengewinnung aufgebaut, die Daten für fast 200 Länder und 270 Arten von Ressourcen umfasst (10).

Bild 3 gibt einige Beispiele zur Verdeutlichung des Spannungsfelds bei Rohstoffen, ohne dessen permanente Beherrschung weder eine Energiewende noch eine umweltfreundliche Verkehrswende, wie sie z.B. in Deutschland geplant sind, nachhaltig gelingen können.

5.2.1 Nickel

Die Welt geht vermehrt zu Hybrid- und Elektrofahrzeugen sowie saubereren Energiequellen über und Nickel hat sich im Rahmen der grünen Revolution zu einem wesentlichen Metall entwickelt. Nickel wird für die Herstellung von Elektrofahrzeugen, Windkraftanlagen und Kernkraftwerken benötigt und wird auch hauptsächlich dazu verwendet, Edelstahllegierungen widerstandsfähiger gegen Korrosion und extreme Temperaturen zu machen. Die Tabelle 4 zeigt die Top 10-Unternehmen nach ihrer Nickelproduktion und Marktkapitalisierung.

Nickel ist für die Batterieherstellung, für Beschichtung und Stahlherstellung schon lange von Wichtigkeit, aber erst kürzlich wurde es in die von der USGS vorgeschlagene Liste kritischer Mineralien aufgenommen. Da Länder und Industrien die Bedeutung von Nickel für die Entwicklung nachhaltiger Technologien erkannt haben, werden entsprechende Bergbauunternehmen an vorderster Front stehen, wenn es darum geht, die Welt mit dem Rohstoff zu versorgen, den sie benötigt.

Die 850 kt Nickel, die von den aufgeführten Unternehmen insgesamt abgebaut werden, haben einen Wert von rd. 17,3 Mrd. US-§, wobei erwartet wird, dass sowohl die Produktion als auch der Preis entsprechend der erwarteten Nickelnachfrage steigen werden.

tries recognise the importance of nickel in developing sustainable technologies, the companies that mine the metal will be at the forefront of providing the world with the raw material it needs.

The 850 kt of nickel mined in total by the listed companies are worth about 17.3 bn US\$, and both production and price are forecast to increase in line with expected nickel demand.

Nickel and palladium producer Nor Nickel (mining and smelting) tops the list, producing 236 kt of nickel in 2020, most of the output coming from its Norilsk mine in Russia. Since 46% of Nor Nickel's energy mix comes from renewable sources, the company is driving the development of carbon-neutral nickel, beginning with the reduction of CO₂ emissions by 60,000 to 70,000 t in 2022.

The Brazilian company Vale follows closely behind in production and in its goals for its CO₂ footprint. The Long Harbour processing plant in Newfoundland and the Labrador processing plant produce nickel with a carbon footprint that is approximately one-third of the industry average – 4.4 t CO₂e per tonne of nickel compared to the average of 13 t CO₂e calculated by the Nickel Institute.

As the top two companies produce more than half of the nickel produced by the top 10, their decarbonisation efforts will further blaze the trail and pave the way for the nickel mining industry.

Besides the decarbonisation of the nickel mining process, nickel itself drives many of the technologies that are crucial to the energy transition. The electrification of vehicles is heavily dependent on nickel; a single electric car requires more than 40 kg of nickel, which accounts for almost one-fifth of all the required metals.

While it has long been used in nickel-cadmium and nickel-metal hydride batteries, nickel is now increasingly used in lithium-ion batteries because of its higher energy density and lower cost compared to cobalt. However, not all nickel is suitable for the production of these batteries as they require the rarer form of the metal deposits known as nickel sulphides.

The more common form of the metal, nickel laterite, is still useful for manufacture of the alloys used to make wind turbine frames and gears. Nickel is also essential for nuclear power plants and accounts for almost a quarter of the metals required per generated megawatt.

Given the high demand for nickel for batteries and cleaner energy infrastructure, it is no wonder that global nickel demand is expected to exceed supply by 2024. The scarcity of high-grade nickel sulphide deposits and the carbon intensity for their mining them has also incentivised research into new methods of extracting the metal.

Agromining uses plants known as hyperaccumulators to absorb metals in the soil through their roots, resulting in their leaves containing up to 4% nickel by dry weight. These plants are harvested and burned and their ashes are processed to recover nickel as "bio-ore".

In addition to supplying metals such as nickel, lead and cobalt by means of a less energy-intensive process, agromining also helps to decontaminate polluted soils.

While new processes such as agromining will never replace traditional mining, they can be a helpful step forward in closing the expected nickel supply gap while reducing the CO₂ footprint of the nickel processing industry.

Der Nickel- und Palladiumproduzent Nor Nickel (Bergbau und Schmelze) führt die Liste mit 236 kt Nickel an, die im Jahr 2020 produziert wurden, wobei der Großteil aus seinem Bergwerk Norilsk in Russland stammt. Da 46% des Energiemix von Nor Nickel aus erneuerbaren Energien stammen, treibt das Unternehmen die Entwicklung von kohlenstoffneutralem Nickel voran, beginnend mit der Reduzierung der CO₂-Emissionen um 60.000 bis 70.000 t im Jahr 2022.

Die brasilianische Firma Vale folgt in der Produktion und bei seinen Zielen für den CO₂-Fußabdruck dicht dahinter. Die Verarbeitungsanlagen Long Harbour in Neufundland und in Labrador produzieren Nickel mit einem CO₂-Fußabdruck von etwa einem Drittel des Branchendurchschnitts – 4,4 t CO₂e pro Tonne Nickel im Vergleich zum Durchschnitt von 13 t CO₂e, welche das Nickel Institute ermittelt hat.

Da die beiden führenden Unternehmen mehr als die Hälfte des von den Top 10 produzierten Nickels produzieren, werden ihre Bemühungen um die Dekarbonisierung den Weg für die Nickelbergbauindustrie weiter vorzeichnen und ebnen.

Neben der Dekarbonisierung des Nickelabbauprozesses treibt Nickel selbst viele der für die Energiewende entscheidenden Technologien an. Die Elektrifizierung von Fahrzeugen ist stark von Nickel abhängig, wobei ein einzelnes Elektroauto über 40 kg Nickel benötigt und fast ein Fünftel aller benötigten Metalle ausmacht.

Mit schon lange praktizierter Verwendung in Nickel-Cadmium- und Nickel-Metallhydrid-Batterien wird Nickel wegen seiner höheren Energiedichte und niedrigeren Kosten im Vergleich zu Kobalt inzwischen zunehmend in Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Allerdings ist nicht jedes Nickel für die Produktion solcher Batterien geeignet, da sie die seltenere Form der Metallablagerungen benötigen, die als Nickelsulfide bekannt sind.

Die gebräuchlichere Form des Metalls, Nickel-Laterite, ist immer noch nützlich bei der Bildung von Legierungen, aus denen Rahmen und Zahnräder von Windkraftanlagen gefertigt werden. Nickel ist auch für Kernkraftwerke unerlässlich und macht fast ein Viertel der benötigten Metalle pro erzeugtem Megawatt aus.

Angesichts der hohen Nachfrage nach Nickel für Batterien und eine sauberere Energieinfrastruktur ist es kein Wunder, dass die globale Nickelnachfrage bis 2024 voraussichtlich das Angebot übersteigen wird. Die Knappheit an hochgradigen Nickelsulfidlagerstätten und die Kohlenstoffintensität, um diese abzubauen, hat auch Anreize für die Erforschung neuer Methoden zur Gewinnung des Metalls geschaffen.

Agro-Mining verwendet Pflanzen, die als Hyperakkumulatoren bekannt sind, um Metalle im Boden durch ihre Wurzeln zu absorbieren, was dazu führt, dass ihre Blätter bis zu 4% Nickel im Trockengewicht enthalten. Diese Pflanzen werden dann geerntet und verbrannt, wobei ihre Asche verarbeitet wird, um Nickel als „Bio-Erz“ zurückzugewinnen.

Neben der Versorgung mit Metallen wie Nickel, Blei und Kobalt durch einen weniger energieintensiven Prozess hilft Agro-Mining auch, verschmutzte Böden zu dekontaminieren.

Während neue Prozesse wie Agro-Mining den traditionellen Bergbau niemals ersetzen werden, können sie ein hilfreicher Schritt nach vorn sein, um die zu erwartende Nickelversor-

5.2.2 Graphite

Graphite is one of the critical minerals for lithium-ion batteries. Battery demand is expected to increase tenfold between 2020 and 2030.

Meeting this rising demand will require a greater supply of natural graphite and its synthetic counterpart. The Bavarian Graphit Kropfmühl Group, headquartered in Kropfmühl/Germany in Lower Bavaria and today with sites around the world, has been renowned for its raw materials expertise since 1916. Innovative strength, market proximity and customer centricity have made the company a trend-setting graphite refiner. Graphit Kropfmühl develops special products and custom solutions based on modern and quality-conscious processes. Employing a worldwide workforce of around 500, the company is one of the smaller players, but it operates its own mine to secure the supply of raw materials and has as well holdings in graphite mines in Africa and Asia. Graphit Kropfmühl has been a subsidiary of Advanced Metallurgical Group N.V. (AMG) since 2012. A globally active specialist for critical raw materials, AMG is at the forefront when it comes to technologies and high-quality products for the reduction of CO₂ emissions. Production sites are located in Great Britain, France, the Czech Republic, the USA, China, Mexico, Brazil and Sri Lanka in addition to its German operations. However, the entire graphite supply chain is heavily dependent on China, making it vulnerable to disruption and at the same time creating environmental problems.

China dominates every stage of the graphite supply chain, from the mining of natural graphite to the manufacture of battery anodes. In 2020, 59 % of the world's natural graphite production came from China. Mozambique, the second-largest producer, produced 120,000 t, about one-fifth of China's output.

Table 5 shows the top ten graphite producers by production level and market share.

China's massive production causes the other nine countries leading natural graphite production to appear much smaller. China also dominates the production of synthetic graphite and

Country / Land	2020 H Production / Produktion in t	% v.H
China	650,000	59.1%
Mozambique / Mosambik	120,000	10.9%
Brazil / Brasilien	95,000	8.6%
Madagascar / Madagaskar	47,000	4.3%
India / Indien	34,000	3.1%
Russia / Russland	24,000	2.2%
Ukraine	19,000	1.7%
Norway / Norwegen	15,000	1.4%
Pakistan	13,000	1.2%
Canada / Kanada	10,000	0.9%
Rest of World / Rest der Welt	73,000	6.6%
Total / Gesamt	1,100,000	100%

Table 5. Graphite producers by production level and market share.
Tabelle 5. Grafitproduzenten nach Produktionshöhe und Marktanteil.
Source/Quelle: World Mining Data 2021, S. 181

gungslücke zu schließen und gleichzeitig den CO₂-Fußabdruck der nickelverarbeitenden Industrie zu reduzieren.

5.2.2 Grafit

Grafit ist eines der kritischen Minerale für Lithium-Ionen-Batterien. Es wird erwartet, dass sich die Batterienachfrage von 2020 bis 2030 verzehnfachen wird.

Um dieser steigenden Nachfrage gerecht zu werden, ist ein höheres Angebot an natürlichem Grafit und seinem synthetischen Gegenstück erforderlich. Seit 1916 steht die bayerische Graphit Kropfmühl Gruppe mit Hauptsitz im niederbayerischen Kropfmühl mit ihren heute globalen Standorten für Rohstoffkompetenz. Innovationskraft, Marktnähe und Kundenorientierung haben das Unternehmen zu einem richtungsweisenden Grafit-Veredler gemacht. Auf Basis moderner und qualitätsbewusster Prozesse entwickelt Graphit Kropfmühl Spezialprodukte und Sonderlösungen. Mit rd. 500 Mitarbeitern weltweit zählt das Unternehmen zu den kleineren Playern, betreibt jedoch zur Sicherstellung der Rohstoffversorgung ein eigenes Bergwerk und ist außerdem an Grafitbergwerken in Afrika und Asien beteiligt. Seit 2012 ist die Graphit Kropfmühl eine Tochtergesellschaft der Advanced Metallurgical Group N.V. (AMG). Als weltweit tätiger Spezialist für kritische Rohstoffe steht die AMG auf einem vorderen Platz, wenn es um Technologien und Hochwertprodukte zur Reduzierung von CO₂-Emissionen geht. Produktionsstandorte befinden sich außer in Deutschland in Großbritannien, Frankreich, Tschechien, den USA, in China, Mexiko, Brasilien und Sri Lanka. Die gesamte Lieferkette von Grafit ist jedoch stark von China abhängig, was sie anfällig für Störungen macht und gleichzeitig Umweltprobleme schafft.

Vom Abbau von Naturgrafit bis zur Herstellung von Batterieanoden dominiert China jede Stufe der Grafitlieferkette. Im Jahr 2020 stammten 59 % der weltweiten Naturgrafitproduktion aus China. Mosambik, der zweitgrößte Produzent, produzierte mit 120.000 t etwa ein Fünftel der chinesischen Produktion.

Die Tabelle 5 zeigt die zehn wichtigsten Grafitproduzenten nach Produktionshöhe und Marktanteil.

Chinas massive Produktion lässt die anderen neun führenden Länder in Bezug auf die natürliche Grafitproduktion wesentlich kleiner erscheinen. Darüber hinaus dominiert China auch die Herstellung von synthetischem Grafit und die Umwandlung von Grafit in Anodenmaterial für Batterien. Im Jahr 2018 produzierte China fast 80 % des gesamten synthetischen Grafits und im Jahr 2019 war es für 86 % der gesamten Produktion von Batterieanodenmaterial verantwortlich. Diese Abhängigkeit von der Grafitversorgung aus China sowie politische Verwerfungen wie in der Ukraine, in Afghanistan, Belarus und Kasachstan gefährden die Lieferkette und machen sie langfristig unhaltbar.

Der CO₂-Fußabdruck der Fertigung hängt zum Teil von der in der Produktion verwendeten Energiequelle ab. Kohle dominiert Chinas Energiemix aktuell mit einem Anteil von ca. 58 %, gefolgt von Erdöl. Dies erhöht den CO₂-Fußabdruck der gesamten Produktion und insbesondere den von synthetischem Grafit, der eine energieintensive Wärmebehandlung von Petrolkoks beinhaltet.

Eine chinesische Berechnung ergab, dass die Herstellung von einem Kilogramm synthetischem Grafit 4,9 kg CO₂ in die Atmosphäre freisetzt, zusätzlich zu kleineren Mengen an Schwefel-

the conversion of graphite into anode material for batteries. In 2018, China produced nearly 80% of all synthetic graphite, and in 2019, its output comprised 86% of all battery anode material production. This dependence on graphite supply from China as well as political upheavals such as those in Ukraine, Afghanistan, Belarus and Kazakhstan jeopardise the supply chain and make it untenable in the long term.

The CO₂ footprint of manufacturing depends in part on the energy source used in production. Coal currently dominates China's energy mix with a share of about 58%, followed by oil. This increases the CO₂ footprint of the entire production process, especially that of synthetic graphite, which involves energy-intensive heat treatment of petroleum coke.

A Chinese calculation determined that the production of one kilogram of synthetic graphite releases 4.9 kg of CO₂ into the atmosphere as well as smaller amounts of sulphur oxide, nitrogen oxide and particulate matter. While the carbon footprint of natural graphite is significantly smaller, it is likely that China's reliance on coal contributes to emissions from production. Furthermore, the concentration of production in China means that the graphite travels long distances before reaching western markets such as the USA or Germany. These long delivery routes further exacerbate the risk of disruptions in the graphite supply chain.

Since the demand for graphite is rising, the development of a resilient supply chain is extraordinarily crucial for the EU and the US. Both the EU and the US have declared graphite to be a critical mineral. New graphite mines outside China will be key to meeting growing demand and addressing a potential supply deficit.

5.2.3 Aluminium

Aluminium is one of the most abundant elements on earth. It does not occur alone, but is always found in compounds with other minerals. China is the leading country with almost one-third of the world's aluminium production, followed by Russia and Canada. One of the most important raw materials in aluminium production is bauxite, which has an average aluminium oxide content of 41%.

According to figures from the UNEP, aluminium reserves will last about 200 years at current production and consumption levels. Guinea has the largest bauxite reserves (7.4 bn t), followed by Australia (6.2 bn t) and Vietnam, Jamaica and Brazil (around 2.0 bn t each).

One of the most important environmental impacts in the aluminium industry is the greenhouse gas emission caused by the high energy consumption in primary production. Smelting produces an average of 1.6 t CO₂/t AL and an additional amount of perfluorinated hydrocarbons (PFCs) equivalent to one tonne of carbon dioxide. Aluminium production is responsible for 3% of industrial CO₂ emissions. Another gas emitted by aluminium smelters is sulphur dioxide, one of the primary causes of acid rain.

5.2.4 Copper

As a consequence of the intentions of many governments to promote renewable energies and the use of electric vehicles,

oxid, Stickoxid und Feinstaub. Während der CO₂-Fußabdruck von natürlichem Grafit wesentlich kleiner ist, ist es wahrscheinlich, dass Chinas Abhängigkeit von Kohle zu den Emissionen aus der Produktion beiträgt. Darüber hinaus bedeutet die auf China konzentrierte Produktion, dass das Grafit lange Strecken zurücklegt, bevor es westliche Märkte wie die USA oder Deutschland erreicht. Diese langen Lieferwege verschärfen das Risiko von Störungen in der Grafitlieferkette zusätzlich.

Da die Nachfrage nach Grafit steigt, ist die Entwicklung einer widerstandsfähigen Lieferkette für die EU und die USA von sehr großer Bedeutung. Sowohl die EU wie auch die USA haben Grafit zu einem kritischen Mineral erklärt. Neue Grafitbergwerke außerhalb Chinas werden der Schlüssel sein, um die steigende Nachfrage zu decken und ein potentielles Angebotsdefizit zu bekämpfen.

5.2.3 Aluminium

Aluminium ist eines der am häufigsten vorkommenden Elemente auf der Erde. Es kommt nicht allein, sondern in Verbindungen mit anderen Mineralien vor. China ist das führende Land mit fast einem Drittel der weltweiten Aluminiumproduktion, gefolgt von Russland und Kanada. Einer der wichtigsten Rohstoffe in der Aluminiumproduktion ist Bauxit mit einem durchschnittlichen Aluminiumoxidanteil von 41%.

Nach Angaben des UNEP werden die Aluminiumreserven bei derzeitiger Produktion und aktuellem Verbrauch etwa 200 Jahre reichen. Guinea besitzt mit 7.400 Mio. t die größten Bauxitreserven, gefolgt von Australien mit 6.200 Mio. t und Vietnam, Jamaika und Brasilien mit jeweils rd. 2.000 Mio. t.

Eine der wichtigsten Umweltauswirkungen in der Aluminiumindustrie ist die Treibhausgasemission, die durch den hohen Energieverbrauch in der Primärproduktion verursacht wird. Bei der Verhüttung entstehen durchschnittlich 1,6 t CO₂/t Al und zusätzlich eine Menge perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), die einer Tonne Kohlendioxid entspricht. Die Aluminiumproduktion ist für 3% der CO₂-Emissionen in der Industrie verantwortlich. Ein weiteres Gas, das von Aluminiumhütten emittiert wird, ist Schwefeldioxid, das eine der Hauptursachen für den sauren Regen ist.

5.2.4 Kupfer

Infolge der Absichten vieler Regierungen, erneuerbare Energien und die Nutzung von Elektrofahrzeugen zu fördern, erlebt Kupfer seit mehr als einem Jahr einen geradezu unaufhaltsamen Aufschwung. Allein für den durch die Förderung „grüner“ Technologien erforderlichen Ausbau der Stromnetze wurden laut BloombergNEF (BNEF) im Jahr 2020 rd. 1,9 Mio. t Cu benötigt, und der Preis für das Metall ist 2021 um mehr als 90% gestiegen. Die Nutzung wird sich bis 2050 fast verdoppeln, prognostiziert BNEF, während die Nachfrage nach anderen kohlenstoffarmen Technologien wie Elektrofahrzeugen und Sonnenkollektoren ebenfalls steigen wird (12).

5.2.5 Magnesium

Die wichtigste Eigenschaft von Magnesiumlegierungen ist der mit ihnen mögliche Leichtbau. Das feste, silbrig glänzende Leichtmetall ist etwa ein Drittel leichter als Aluminium. Reinformagnesium hat eine geringe Festigkeit und Härte. Sein E-Modul liegt bei etwa 45 GPa.

copper has been experiencing an almost unstoppable upswing for more than a year. According to BloombergNEF (BNEF), around 1.9 mt of copper were needed in 2020 for the expansion of the power grids required by the promotion of “green” technologies alone and the price of the metal rose by more than 90% in 2021. Use will almost double by 2050, BNEF predicts, while demand for other low-carbon technologies such as electric vehicles and solar panels will also increase. (12)

5.2.5 Magnesium

The most important property of magnesium alloys is the light-weight construction that they make possible. The hard light metal with the silvery sheen is about one-third lighter than aluminium. Pure magnesium has low strength and hardness. Its modulus of elasticity is about 45 GPa.

The following list represents only a very small selection of applications. Magnesium powder and wire are used in incendiary devices, bombs and illuminating ammunition and were previously a constituent of flash powder. Magnesium rods often serve as sacrificial anodes that protect parts made of more precious metals from corrosion. Magnesium has many uses in metallurgy, e.g. as a reducing agent in the Kroll process for the extraction of titanium, as a reducing agent for the extraction of uranium, copper, nickel, chromium and zirconium, as a component of aluminium alloys of the AlSiMg and AlMg groups, as magnesium granulate for the desulphurisation of iron and steel or as an additive for nodular graphite castings. Magnesium is the basis of a group of standardised light alloys for the construction of aircraft, motor vehicles and many more products.

5.2.6 Phosphorus

Unlike oil and other non-renewable resources, there is currently no substitute for phosphorus. Phosphorus can be recycled through urban mining, however, which aims to recover phosphorus from human excreta and urine. The process produces an urban fertiliser with a phosphate content of 16% and a significantly lower heavy metal content compared to current fertilisers. These and similar alternatives cannot replace phosphate rock in any significant way, however. Moreover, the creation of the necessary physical and institutional infrastructure would take decades.

Ideally, it will be possible to switch from importing phosphate rock to using renewable phosphate fertilisers such as human excrement and biomass in the future. Although there are ways to recover phosphorus, it is necessary to pursue a more sustainable approach to its use as the growing world population will steadily increase the demand for food in the future. One possibility for a more sustainable approach to phosphorus use is to promote foods that are less phosphorus-intensive. It is estimated that meat-based meals can lead to the future depletion of up to twice as much phosphorus in comparison with a vegetarian diet. Moreover, global phosphate scarcity needs to be addressed in debates on global food security and environmental change with the aim of establishing policies that facilitate responsible global management of phosphorus resources.

Die nachfolgende Aufzählung ist nur eine sehr kleine Anwendungsauswahl. Magnesiumpulver und -draht wird in Brandsätzen, -bomben und Leuchtmunition, früher auch als Blitzlichtpulver verwendet. Häufig dienen Magnesiumstäbe als Opferanoden, die Teile aus edleren Metallen vor Korrosion schützen. In der Metallurgie findet Magnesium vielseitige Verwendung, z. B. als Reduktionsmittel im Kroll-Prozess zur Gewinnung von Titan, als Reduktionsmittel zur Gewinnung von Uran, Kupfer, Nickel, Chrom und Zirkonium, als Bestandteil von Aluminiumlegierungen der Gruppen AlSiMg und AlMg, als Magnesiumgranulat zur Entschwefelung von Eisen und Stahl oder als Zuschlagstoff für Kugel-Grafitguss. Magnesium ist Basis einer Gruppe genormter Leichtlegierungen für den Bau von Luft- und Kraftfahrzeugen u. v. m.

5.2.6 Phosphor

Im Gegensatz zu Öl und anderen nicht erneuerbaren Ressourcen gibt es derzeit keinen Ersatz für Phosphor. Phosphor kann allerdings durch Urban Mining recycelt werden, das darauf abzielt, Phosphor aus menschlichen Ausscheidungen und Urin zurückzugewinnen. Dies kann einen städtischen Dünger ergeben, der einen Phosphatgehalt von 16% und einen deutlich niedrigeren Schwermetallgehalt im Vergleich zu aktuellen Düngemitteln aufweist. Solche Alternativen können jedoch Phosphatgestein nicht in nennenswerter Weise ersetzen. Darüber hinaus würde die Schaffung einer erforderlichen physischen und institutionellen Infrastruktur Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Im Idealfall kann man in Zukunft vom Import von Phosphatgestein auf die Verwendung von erneuerbaren Phosphatdüngern wie menschliche Exkremente und Biomasse umsteigen. Obwohl es Möglichkeiten gibt, Phosphor zurückzugewinnen, ist es notwendig, einen nachhaltigeren Ansatz für die Verwendung von Phosphor zu verfolgen, denn die wachsende Weltbevölkerung wird die Nachfrage nach Nahrungsmitteln in Zukunft stetig weiter steigen lassen. Eine Möglichkeit für einen nachhaltigeren Ansatz für die Verwendung von Phosphor besteht darin, Nahrungsmittel zu fördern, die weniger phosphorintensive Lebensmittel enthalten. Es wird geschätzt, dass fleischierte Mahlzeiten im Vergleich zu einer vegetarischen Ernährung zum zukünftigen Abbau von bis zu doppelt so viel Phosphor führen können. Darüber hinaus muss die globale Phosphatknappheit in den Debatten über die globale Ernährungssicherheit und Umweltveränderungen angesprochen werden, um eine Politik zu schaffen, die einen verantwortungsvollen, globalen Umgang mit Phosphorressourcen erleichtert.

5.2.7 Gold

Die größten Goldproduzenten befinden sich hauptsächlich in aufstrebenden und einigen schnell wachsenden Volkswirtschaften wie China, Russland, Südafrika, Peru, Mexiko, Ghana und Indonesien, in denen schwerwiegende ökologische und sozioökonomische Auswirkungen der Förderaktivitäten registriert werden. Die USA, Kanada und Australien sind ebenfalls relevante Produzenten in der Goldindustrie. China war 2021 das führende Goldförderland mit einer Produktion von 370 t (ca. 13% der weltweiten Goldproduktion) (13). Der Abbau von Gold produziert eine immense Menge an Abraum. Für eine Unze Gold müssen im Schnitt etwa 250 t Erzgestein gewonnen werden.

5.2.7 Gold

The largest gold producers are located mainly in emerging and some fast-growing economies such as China, Russia, South Africa, Peru, Mexico, Ghana and Indonesia, where serious environmental and socio-economic impacts of extraction activities are registered. The USA, Canada and Australia are also significant producers in the gold industry. China was the leading gold-producing country in 2021 with an output of 370 t (approximately 13% of global gold production) (13). Gold mining produces an immense amount of overburden. On average, about 250 t of ore rock must be extracted to obtain one ounce of gold.

According to the USGS, the world's gold reserves amount to 51,000 t. Gold scrap is mined and then remelted, so these reserves could last longer than some other finite mineral resources.

The use of highly toxic cyanide for processing the ore is one of the primary problems in gold production. If there is an incident, the cyanide kills all life in the watercourses, and it is able to spread over a considerable distance. Cyanide can also enter groundwater, posing a threat to human health. Treatment residues that are pumped into the sea for dumping or deposited in tailings represent another environmental issue. UNIDO studies show that even small mines release quite significant amounts of mercury, which negatively affects the health of workers and the surrounding population. Possible substitutes for gold alloys are platinum, palladium and silver.

5.2.8 Silber

Industry is the largest consumer of silver and accounts for a share of almost 50% of global demand. As silver has the highest thermal and electrical conductivity, it is used in many electrical applications, contacts and switches. Two important electrical applications are the production of thick film pastes and multilayer ceramic capacitors. In the industrial sector, silver is also used for the production of digital video and compact discs, mirrors, cellophane and batteries.

The USA is the largest consumer, followed by China, Japan and India. Silver is comparatively rare in nature and there is an average of 0.07 ppm in the earth's crust. Silver is concentrated in small, but scattered deposits. The metal does not often occur in its pure state, but is obtained from the mining of ores. Ores containing native silver and silver sulphides are extracted mainly to obtain the silver. More frequently, however, silver is extracted as a by-product of zinc, lead, gold or copper mining. Mexico, China, Peru, Australia and Chile are the leading silver producers.

Worldwide recoverable reserves are estimated at around 530,000 t. The countries with the largest silver reserves are Peru (120,000 t), Poland (85,000 t), Chile (70,000 t) and Australia (69,000 t). Recent years have seen a steady increase in production from silver mines.

Silver and its associated minerals contain sulphur. During the mining process, this sulphur may be released into water and air, which can lead to acid rain. In addition, the extraction process of gold-silver ores often requires the use of cyanide, which poses a risk of accidental cyanide spills into the environment. Beyond this, the melting process for the separation of silver from other metals may cause the release of heavy metals such as lead, copper and zinc into the atmosphere.

Die weltweiten Goldreserven betragen laut USGS 51.000 t. Goldschrott wird gewonnen und dann wieder eingeschmolzen, daher könnten diese Reserven länger reichen als einige andere endliche Mineralressourcen.

Die Verwendung von hochgiftigem Cyanid für die Erzverarbeitung ist eines der Hauptprobleme in der Goldproduktion. Im Falle eines Ereignisses tötet das Zyanid alles Leben in den Wasserläufen, in die es über eine beträchtliche Entfernung eindringen kann. Zyanid kann auch ins Grundwasser gelangen und damit die menschliche Gesundheit bedrohen. Ein weiteres Umweltproblem sind Aufbereitungsrückstände, die zur Verklappung ins Meer gepumpt oder in Tailings abgelagert werden. UNIDO-Studien zeigen, dass kleine Bergwerke auch durchaus beträchtliche Mengen an Quecksilber freisetzen, was die Gesundheit der Arbeiter und der umliegenden Bevölkerung beeinträchtigt. Möglichkeiten zur Substitution von Goldlegierungen sind Platin, Palladium und Silber.

5.2.8 Silber

Mit einem Anteil von fast 50% an der weltweiten Nachfrage ist die Industrie der größte Verbraucher von Silber. Da Silber die höchste thermische und elektrische Leitfähigkeit aufweist, wird es in vielen elektrischen Anwendungen, Kontakten und Schaltern verwendet. Zwei wichtige elektrische Anwendungen sind die Herstellung von Dickschichtpasten und mehrschichtigen Keramikcondensatoren. Im industriellen Bereich wird Silber auch für die Herstellung von digitalen Video- und Compactdiscs, Spiegeln, Zellophan und Batterien verwendet.

Die USA sind der größte Verbraucher. Darauf folgen China, Japan und Indien. In der Natur ist Silber vergleichsweise selten und hat eine durchschnittliche Häufigkeit von 0,07 ppm in der Erdkruste. Das Vorkommen von Silber konzentriert sich auf kleine, aber verstreute Lagerstätten. Das Metall kommt nicht oft in reinem Zustand vor, sondern wird aus dem Abbau von Erzen gewonnen. Erze, die natives Silber und Silbersulfide enthalten, werden hauptsächlich extrahiert, um das Silber zu erhalten. Silber wird jedoch häufiger als Nebenprodukt des Zink-, Blei-, Gold- oder Kupferbergbaus gewonnen. Mexiko, China, Peru, Australien und Chile sind die führenden Silberproduzenten.

Die weltweiten Silberreserven werden auf rd. 530.000 t geschätzt. Die Länder mit den größten Silberreserven sind Peru (120.000 t), Polen (85.000 t), Chile (70.000 t) und Australien (69.000 t). In den letzten Jahren gab es einen stetigen Anstieg der Produktion aus Silberbergwerken.

Silber und die damit verbundenen Mineralien enthalten Schwefel. Während des Abbauprozesses kann dieser Schwefel an Wasser und Luft abgegeben werden, was zu saurem Regen führen kann. Darüber hinaus erfordert der Abbauprozess von Gold-Silbererzen oft Zyanid, welches ein Risiko für unfallbedingte Zyanidaustritte in die Umwelt darstellt. Darüber hinaus wird beim Schmelzvorgang, um Silber von anderen Metallen zu trennen, unter Umständen eine Freisetzung von Schwermetallen wie Blei, Kupfer und Zink in die Luft verursacht.

In den letzten Jahren ist die Photovoltaikindustrie zu einem bedeutenden Nutzer von Silber geworden. Es wird erwartet, dass der Einsatz von Silber weiter zunehmen wird. Es wird auch erwartet, dass Silber zunehmend in Computersystemen, Batterien und medizinischen Anwendungen verwendet wird.

In recent years, the photovoltaic industry has become a significant user of silver. The use of silver will presumably continue to rise. Silver is also expected to be used more and more frequently in computer systems, batteries and medical applications.

5.2.9 Lead

The primary use of lead is in batteries. Currently, the battery industry still consumes about 50 % of the world's lead. In addition, lead is one of the densest of the common metals, second only to gold, making it an effective sound barrier and protective shield against X-rays. This is why lead is often used in the manufacture of computer and television screens; the addition of lead helps shield users from radiation. Lead is also used as a traditional base metal for organ pipes, in electrodes in the process of electrolysis, as a colour element in ceramic glazes and in projectiles. When lead is mixed with other metals, it can form alloys such as pewter and solder, an important characteristic for rubber production and oil refining.

Lead can be classified as either primary or secondary. Primary lead is produced directly from mined lead ore while secondary lead is recycled from scrap lead products such as automotive batteries. It is rare, however, to find pure lead deposits in nature. Most of the deposits are mixtures of minerals, so lead ore is usually obtained as a by-product of metal mining for zinc, silver or copper.

The estimated global lead reserves total 85 mt. The country with the largest reserves is Australia, followed by the USA, China and Canada. Other countries are Mexico, Peru, Russia and Kazakhstan.

5.2.10 Iron ore/steel

Steel producers in Europe and America suffered for years from low prices caused by global overcapacity. Mills struggled to make money, and job security became a growing concern. More than 85,000 steel jobs were lost within the EU between 2008 and 2019, according to the industry association Eurofer. This has changed dramatically because of booming steel prices in 2020/2021. Futures in China, by far the largest producer, had broken records and even surpassed gains in the principal component, iron ore, when the government took action to curb production. There were boosted rallies in benchmark prices in Europe and America where mills were already running at maximum capacity as they tried to meet unexpectedly high demand. Comments in January 2022 reflect forecasts by the government-backed China Metallurgical Industry Planning and Research Institute (CICC), which currently indicate that steel consumption will fall by 4.7% in 2022. Nevertheless, if real estate investment recovers more strongly than expected or if steel production curtailment is weaker than expected, iron ore prices could remain above 100 US\$/t.

5.2.11 Water

A total of about 1.4 bn km³ of water can be found on Earth. Most of it is in oceans and seas, an astonishing 97%, while only 3% is freshwater. Most of the freshwater – 60 to 70% – is locked in glaciers and ice caps and about 20% in Lake Baikal. The remaining shares are groundwater, rivers and lakes.

5.2.9 Blei

Die Hauptanwendung von Blei erfolgt in Batterien. Derzeit verbraucht die Batterieindustrie noch ca. 50% des weltweiten Bleis. Darüber hinaus ist Blei das zweitdichteste gebräuchliche Metall nach Gold, was es zu einer wirksamen Schallschutzwand und einem Schutzschild gegen Röntgenstrahlen macht. Daher wird Blei häufig bei der Herstellung von Computer- und Fernsehbildschirmen verwendet – die Zugabe von Blei hilft, den Benutzer vor Strahlung abzuschirmen. Blei wird auch als traditionelles Grundmetall für Orgelpfeifen, in Elektroden im Prozess der Elektrolyse, als Farbelement in keramischen Glasuren und in Projektilen verwendet. Wenn Blei mit anderen Metallen gemischt wird, kann es Legierungen wie Zinn und Lot bilden, was für die Gummiproduktion und Ölraffination wichtig ist.

Blei kann entweder als primär oder sekundär klassifiziert werden. Primärblei wird direkt aus abgebautem Bleierz hergestellt, während sekundäres Blei aus Bleischrottprodukten wie Autobatterien recycelt wird. Es ist jedoch selten, reine Bleivorkommen in der Natur zu finden. Die Mehrheit der Ablagerungen sind Mischungen von Mineralien. Daher wird Bleierz in der Regel als Nebenprodukt des Metallbergbaus auf Zink, Silber oder Kupfer gewonnen.

Die geschätzten globalen Bleireserven betragen insgesamt 85 Mio. t. Das Land mit den meisten Reserven ist Australien, gefolgt von den USA, China und Kanada. Andere Länder sind Mexiko, Peru, Russland und Kasachstan.

5.2.10 Eisenerz/Stahl

Die Stahlproduzenten in Europa und Amerika leiden seit Jahren unter niedrigen Preisen, die durch globale Überkapazitäten verursacht werden. Standorte kämpfen darum, Geld zu verdienen, und die Arbeitsplatzsicherheit wurde zu einer wachsenden Sorge. Über 85.000 Stahlarbeitsplätze gingen innerhalb der EU zwischen 2008 und 2019 verloren, so der Branchenverband Eurofer. Das hat sich infolge der boomenden Stahlpreise 2020/2021 dramatisch verändert. Die Futures in China, dem bei weitem größten Produzenten, hatten Rekorde gebrochen und sogar die Zuwächse beim Hauptbestandteil Eisenerz übertroffen, als die Regierung Maßnahmen zur Drosselung der Produktion ergriffen hat. Das waren aufgeladene Rallyes der Benchmark-Preise in Europa und Amerika, wo die Mühlen bereits mit maximaler Kapazität liefen, als sie versuchten, die unerwartet hohe Nachfrage zu befriedigen. Die Kommentare im Januar 2022 spiegeln Prognosen des von der Regierung unterstützten China Metallurgical Industry Planning and Research Institute (CICC) wider, die derzeit darauf hindeuten, dass der Stahlverbrauch im Jahr 2022 um 4,7% sinken würde. Dennoch, wenn sich die Immobilieninvestitionen stärker als erwartet erholen oder die Einschränkung der Stahlproduktion schwächer als erwartet ist, könnten die Eisenerzpreise über 100 US-\$/t bleiben.

5.2.11 Wasser

Eine Gesamtmenge von ca. 1,4 Mrd. km³ Wasser existiert auf der Erde. Der größte Teil davon befindet sich in Ozeanen und Meeren, erstaunliche 97%, während nur 3% Süßwasser sind. Der größte Teil des Süßwassers – 60 bis 70% – wird in Gletschern und Eiskappen gehalten und rd. 20% im Baikalsee. Die restlichen Anteile sind Grundwasser, Flüsse und Seen.

Since most of Earth's water is found in oceans and most freshwater is not easily accessible, only about 200,000 km³ of freshwater are accessible to ecosystems and humans, less than 0.01% of the total water on the planet. The quantity of water on Earth does not change, but its quality does, and we humans have a responsibility not to pollute it to such an extent that it eventually becomes unusable.

Agriculture, oil run-off from machinery and vehicles, wastewater, mainly from urban areas, and atmospheric precipitation are the main polluters of water. Plants or corals are very sensitive ecosystems on land and in the oceans, so they can suffer from diseases, reduced growth and reduced reproduction because of pollutants. Coral reefs are home to creatures such as sea turtles, jellyfish and shrimp, so any damage to corals has a direct and threatening impact on such organisms and the food chain.

Yet another major problem is marine litter. It is a serious threat to animals that often even die because they either mistake the plastics for food or become entangled in cast-off drifting nets. On average, more than 330,000 pieces of plastic per square kilometre have collected in the Pacific Ocean alone.

In freshwater eutrophication is the most common problem. Almost 90% of the biotopes in the Baltic Sea were threatened by the decline in area and quality resulting from pollution and eutrophication as early as 1998. Another problem in freshwater is the lack of oxygen, but this condition also occurs in coastal areas such as the dead zone in the Gulf of Mexico.

Water quality can have a substantial impact on human health. Every year, an estimated 3 M people die from water-related diseases such as malaria and yellow fever. The problem is found mainly in rural areas where the water infrastructure is inadequate and access to sufficient water supplies is lacking. It is well known that about 1 bn people do not have access to safe drinking water and more than double that – 2.5 bn people – must live without adequate sanitation facilities. Since water is crucial for food production, drought/water shortages can cause severe famines. Shifts in flow, e.g., because of dams, also cause social problems as has been demonstrated by an example in Bangladesh. The livelihoods and diets of as many as 30 M people have deteriorated owing to river modifications. Water can also cause political conflicts in arid areas like the Jordan Basin.

Demographic change is closely linked to the future development of water consumption. World population is expected to reach 9 bn by 2050, and water consumption will increase correspondingly. The simple fact that global food production will have to almost double to meet future demand will significantly increase the need for water. Agriculture uses about 70% of the world's water. It is estimated that 70% of the world's population will live in cities by 2050, so future water management is likely to be key in all areas of development, be it food security, poverty reduction or economic development.

6 Conclusion

In view of the finite nature of important resources and limited regeneration capacities, a reversal of present trends is imperative. The further effect of extraction predominantly for export – taking Chile as an example – is that the added value remaining in the exporting country is very low, which also affects mate-

Da der größte Teil des Wassers der Erde in Ozeanen enthalten und der Großteil des Süßwassers nicht leicht zugänglich ist, sind nur etwa 200.000 km³ Süßwasser für Ökosysteme und Menschen zugänglich, weniger als 0,01% des gesamten Wassers auf dem Planeten. Die Wassermenge auf der Erde ändert sich nicht, aber seine Qualität ändert sich und wir Menschen tragen dafür Verantwortung, das Wasser nicht derart zu verschmutzen, dass es irgendwann unbrauchbar wird.

Landwirtschaft, aus Maschinen und Fahrzeugen ausgelaufenes Mineralöl, Abwässer, hauptsächlich aus städtischen Gebieten, und atmosphärische Ablagerungen sind die Hauptverschmutzer von Wasser. Pflanzen oder Korallen sind sehr empfindliche Ökosysteme an Land und in den Ozeanen, daher können sie aufgrund von Schadstoffen an Krankheiten, vermindertem Wachstum und verminderter Fortpflanzung leiden. Korallenriffe beherbergen Lebewesen wie Meeresschildkröten, Quallen und Garnelen, daher hat jede Schädigung der Korallen eine direkte und bedrohliche Wirkung auf solche Organismen und die Nahrungskette.

Ein weiteres großes Problem ist der Meeresmüll. Tiere sind von ihm bedroht und sterben oft sogar, weil sie entweder die Kunststoffe mit Nahrung verwechseln oder sich in abgeworfenen, treibenden Netzen verfangen. Durchschnittlich über 330.000 Plastikteile pro Quadratkilometer wurden allein im pazifischen Ozean gesammelt.

Im Süßwasser ist die Eutrophierung das häufigste Problem. Fast 90% der Biotope in der Ostsee waren bereits 1998 durch Flächen- und Qualitätsreduktion infolge von Verschmutzung und Eutrophierung bedroht. Ein weiteres Problem im Süßwasser ist der Sauerstoffmangel, der aber auch in Küstengebieten auftritt, z.B. in der toten Zone im Golf von Mexiko.

Die Wasserqualität kann erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Jedes Jahr sterben schätzungsweise 3 Mio. Menschen an wasserbedingten Krankheiten wie Malaria und Gelbfieber. Das Problem tritt hauptsächlich in ländlichen Regionen auf, in denen es an ausreichender Wasserinfrastruktur und Zugang zu einer angemessenen Wasserversorgung mangelt. Es ist bekannt, dass etwa 1 Mrd. Menschen keinen Zugang zu sicheren Trinkwasserquellen haben und mehr als das Doppelte – 2,5 Mrd. Menschen – ohne angemessene sanitäre Einrichtungen leben. Da Wasser für die Nahrungsmittelproduktion von entscheidender Bedeutung ist, kann Dürre/Wassermangel schwere Hungersnöte verursachen. Strömungsverschiebungen, z.B. durch Staudämme, verursachen ebenfalls soziale Probleme, wie ein Beispiel in Bangladesch zeigt. Dort sind die Lebensgrundlagen und die Ernährung von bis zu 30 Mio. Menschen aufgrund von Flussmodifikationen zurückgegangen. Wasser kann auch politische Konflikte verursachen, so in trockenen Gebieten wie dem Jordanbecken.

Der demografische Wandel ist eng mit der zukünftigen Entwicklung des Wasserverbrauchs verbunden. Es wird erwartet, dass die Weltbevölkerung 9 Mrd. bis zum Jahr 2050 erreichen und ein entsprechend angestiegener Wasserverbrauch die Folge sein wird. Allein die Tatsache, dass sich die weltweite Nahrungsmittelproduktion nahezu verdoppeln muss, um die zukünftige Nachfrage zu decken, wird den Wasserbedarf deutlich erhöhen. Die Landwirtschaft entnimmt etwa 70% des weltweiten Wassers. Es wird geschätzt, dass 70% der Weltbevölkerung bis 2050 in Städten leben

rial intensity. So while steadily rising raw material prices lead to huge revenue growth for resource-rich countries, e.g., through taxes), as well as for the extracting companies, the trickle-down effect on the countries' inhabitants is limited and varies according to the local government's policies. Moreover, dependence on raw material exports leads to high vulnerability because price changes or even collapses have especially severe consequences for the local economy.

Many people in industrialised countries, including Germany, still find it difficult to recognise that without mining, without miners, without mining machinery and services, the daily life we have long taken for granted would not be possible. Cobalt, lithium, rare earth metals, copper, coal, gas, hydrogen, and many others are names that are regularly heard in this respect. The trade sees the situation realistically. Society must deal more intensively with the issues of energy, raw materials, sustainability and the environment, especially in times when efforts are being made to counteract climate change. Families and schools have the task of sensitising young people in particular to the importance of this issue.

As is well known, Germany is almost entirely dependent on imports for many metallic and energy raw materials. The dynamic development of emerging markets is only raising demand competition and provoking ever wilder price fluctuations. We are experiencing this right now in the case of technical components for the automotive industry, electronics and environmental technology. Supply bottlenecks for memory chips and certain rare earth metals are weighing on the German economy. Companies must quickly diversify their supply sources, hedge price risks and find substitutes to counter raw material shortages. Additional expenditures result because of obligations such as monitoring and compliance with the Supply Chain Act and other bureaucratic hurdles. In the case of stone and earth and a number of industrial minerals, Germany has sufficient deposits of its own that only need to be mined. However, the potential domestic competition of mining with other land users requires highly elaborate regulation. In addition to agriculture, residential and urban development and infrastructure expansion, the often poorly coordinated and usually strictly implemented European law regulations on area and species protection repeatedly create problems that prevent mining from developing to the extent necessary for the benefit of society.

Seen in the setting of the high relevance that the extraction and use of primary and secondary raw materials and the implementation of the circular economy will have in the future, these topics should be anchored in the school curricula right away. This would be a way to sensitise children and young people to raw material issues, which would contribute to greater social acceptance and awareness for these existential questions. It would also make the education system more future-proof, teaching students, i.e., what and how many raw materials are contained in products such as mobile phones, computers or batteries for electric vehicles.

Support for the German raw materials sector is waiting for measurable momentum and a clear, positive commitment. The EU, the German government and the governments of the fed-

werden, sodass das zukünftige Wassermanagement der Schlüssel in allen Bereichen der Entwicklung sein dürfte, sei es Ernährungssicherheit, Armutsbekämpfung oder wirtschaftliche Entwicklung.

6 Fazit

Die Endlichkeit wichtiger Ressourcen sowie eingeschränkte Regenerationskapazitäten machen eine Trendwende unabdingbar. Der weitere Effekt einer Extraktion überwiegt für den Export – Beispiel Chile – ist, dass die im Exportland verbleibende Wertschöpfung sehr gering ist, was sich auch auf die Materialintensität auswirkt. Während also stetig steigende Rohstoffpreise zu einem enormen Umsatzwachstum für rohstoffreiche Länder, z. B. durch Steuern, sowie für die abbauenden Unternehmen führen, ist der Trickle-Down-Effekt auf die Bevölkerung der Länder je nach den politischen Strategien der lokalen Regierung begrenzt. Darüber hinaus führt die Abhängigkeit von Rohstoffexporten zu einer hohen Anfälligkeit, da Preisänderungen oder sogar Einbrüche besonders schwerwiegende Folgen für die lokale Wirtschaft haben.

Immer noch tun sich viele Menschen in den Industriestaaten, u. a. in Deutschland, schwer, anzuerkennen, dass ohne Bergbau, ohne Bergleute, ohne Bergbaumaschinen und Dienstleistungen das gewohnte tägliche Leben, das man schon lange als gegeben hinnimmt, nicht möglich wäre. Kobalt, Lithium, Seltene Erdenmetalle, Kupfer, Kohle, Gas, Wasserstoff usw. sind in diesem Zusammenhang regelmäßig fallende Namen. Der Handel sieht die Lage realistisch. Gerade in Zeiten, in denen versucht wird, dem Klimawandel entgegenzuwirken, muss sich auch die Gesellschaft mit den Themen Energie, Rohstoffe, Nachhaltigkeit und Umwelt intensiver beschäftigen. Familien und Schulen haben die Aufgabe, gerade junge Menschen für die Wichtigkeit dieses Themas zu sensibilisieren.

Bekanntlich ist Deutschland bei vielen metallischen und Energierohstoffen fast vollständig von Einfuhren abhängig. Mit der dynamischen Entwicklung von Schwellenländern nehmen die Nachfragekonkurrenz und Preisschwankungen zu. Wir erfahren dies soeben bei technischen Komponenten für die Automobilindustrie, Elektronik und Umweltechnik. Versorgungsengpässe bei Speicherchips und bestimmten Metallen der Seltenen Erden belasten die deutsche Wirtschaft. Die Unternehmen müssen zügig ihre Lieferquellen diversifizieren, Preisrisiken absichern und die Rohstoffverknappung substituieren. Zusätzlichen Aufwand verursachen Pflichten wie die Überwachung und Einhaltung des Lieferkettengesetzes und andere bürokratische Hürden. Bei Steinen und Erden und einer Reihe Industriemineralen verfügt Deutschland über ausreichend eigene Vorkommen, die nur abgebaut werden müssten. Jedoch muss die potentielle heimische Konkurrenz des Bergbaus mit anderen Flächennutzern sehr aufwändig geregelt werden. Neben der Landwirtschaft, Siedlungs- und Städteentwicklung sowie dem Infrastrukturausbau schaffen die oft wenig aufeinander abgestimmten und in der Regel stringent umgesetzten europarechtlichen Vorschriften zum Gebiets- und Artenschutz immer wieder Probleme, die dazu führen, dass sich der Bergbau nicht im gebotenen Maß zum Vorteil der Gesellschaft entfalten kann.

Vor dem Hintergrund der hohen Relevanz, die künftig der Gewinnung und dem Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen sowie der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zukommen wird,

eral states can support business by working for free world trade and secure access for companies to raw material markets.

It makes especially good sense to cooperate more closely with the governments of the producing countries to secure the implementation of international mining standards and environmental and social norms in those regions. One measure of this type is the raw materials partnerships that Germany currently maintains with Chile, Peru, Kazakhstan and Mongolia. At the same time, German service providers, machinery and plant manufacturers and the scientific community must not be forgotten as ambassadors of Germany in the export of the mining machinery and big data sector. Another of the government's tasks is the promotion of basic research – among other purposes, with the aim of reducing German companies' dependence on raw materials through the use of new technologies (14).

sollten diese Themen bereits in den Lehrplänen der Schulen verankert werden. Auf diesem Wege könnten Kinder und Jugendliche für Rohstoffthemen sensibilisiert werden, was zu einer größeren gesellschaftlichen Akzeptanz und Bewusstseinsbildung für diese existenziellen Fragen beitrüge. Auch das Bildungssystem würde damit zukunftsfähiger gemacht, indem Schüler z.B. lernen, welche und wieviel Rohstoffe in Produkten wie Handys, Computern oder Batterien für Elektrofahrzeuge enthalten sind.

Die Unterstützung der deutschen Rohstoffbranche wartet auf messbare Dynamik und ein klares, positives Bekenntnis. Die EU, die Bundesregierung sowie die Regierungen der Bundesländer können die Wirtschaft unterstützen, indem sie sich für einen freien Welthandel und den gesicherten Zugang der Unternehmen zu den Rohstoffmärkten einsetzen.

Insbesondere ist es sinnvoll, mit den Regierungen der Förderländer stärker zu kooperieren, um dort internationale Bergbaustandards sowie Umwelt- und Sozialnormen umzusetzen. Eine Maßnahme in diesem Kontext sind die Rohstoffpartnerschaften, die Deutschland derzeit mit Chile, Peru, Kasachstan und der Mongolei unterhält. Dabei dürfen die deutschen Dienstleister, Maschinen- und Anlagenbauer sowie die Wissenschaft als Botschafter Deutschlands im Export des Bereichs Bergbaumaschinen und Big Data nicht vergessen werden. Zu den weiteren Aufgaben des Staats gehört es, die Grundlagenforschung zu fördern – u.a. mit dem Ziel, die Rohstoffabhängigkeit der deutschen Unternehmen durch den Einsatz neuer Technologien zu verringern (14).

References / Quellenverzeichnis

- (1) Von Carlowitz, C. (1713): In: GeoResources 4/2021, S. 11. <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2021.pdf>
- (2) Drei Hauptperioden der Metallzeit: Kupfer-, Bronze- und Eisenzeit. Online unter triangleinnovationhub.com, zuletzt aufgerufen am 24.01.2022.
- (3) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021): Deutschland – Rohstoffsituation 2020. Hannover, 158 S.
- (4) Globaler Rohstoffhunger wächst rasant. Online unter <https://www.recyclingnews.de/rohstoffe/globaler-rohstoffhunger-waechst-rasant/>, zuletzt aufgerufen am 19.02.2022.
- (5) Global Mining Review (September 2021): Resource extraction responsible for half world's carbon emissions. Online unter <https://www.theguardian.com/environment/2019/mar/12/resource-extraction-carbon-emissions-biodiversity-loss>, zuletzt aufgerufen am 24.01.2022.
- (6) UN Population Data Base (2008): Weltbevölkerung 1950 bis 2050 (pdwb.de).
- (7) Studie des RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen: Die künftige Rohstoffversorgung der NRW-Industrie und Schritte auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft unter Nutzung von Quellen der BGR/DERA (2019 ff).
- (8) Deutscher Bundestag: Rohstoffförderung in Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage der FDP-Fraktion, Berlin, 27.8.2021.
- (9) Studie „Die künftige Rohstoffversorgung der NRW-Industrie und Schritte auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft“. Nach Angaben von BGR/DERA (2016 und 2021c).
- (10) www.materialflows.net, zuletzt aufgerufen am 17.02.2022.
- (11) Miningintelligence.com, Yahoo Finance, 2021.
- (12) <https://www.bloombergquint.com/technology/the-price-of-the-stuff-that-makes-everything-is-surging>, zuletzt aufgerufen am 24.01.2022.
- (13) <https://www.ceicdata.com/de/indicator/china/gold-production>, zuletzt aufgerufen am 20.02.2022
- (14) iwd, 12/2019: Weltwirtschaft, Deutschland braucht eine Rohstoffstrategie.

Author / Autor

Peter v. Hartlieb, Düsseldorf