

Minerals for the Energy Transition and their Carbon Footprint

Energy transition involves navigating an exit strategy for use of fossil commodities. But the technologies require other minerals which are getting new applications. Beyond their role in the steel- and metals industries demand now extends into electro-mobility

and regenerative energy supply. Their primary production and refining is energy-intensive, suggesting a need for more climate friendly processes.

Rohstoffe für die Energiewende und ihre CO₂-Emissionen

Die Energiewende beinhaltet den Ausstieg aus der Nutzung fossiler Rohstoffe. Die Techniken erfordern aber den Einsatz anderer mineralischer Rohstoffe, die damit neue Einsatzgebiete erlangen. Neben ihrem Einsatz in der Stahl- und Metallindustrie sind sie jetzt

im Bereich der Elektromobilität und zur Erzeugung regenerativer Energien unerlässlich. Ihre Gewinnung und Weiterverarbeitung ist energieintensiv und ergibt nur Sinn, wenn diese Prozesse möglichst klimaneutral ablaufen.

1 Energy transition creates a new super-cycle for the minerals industry

The last super-cycle of the resources industry was triggered by the Chinese industrial development with the result that roughly half of the global supplies of minerals was consumed in China. A new super-cycle for technology minerals (Figure 1) showing huge growth in demand, has arisen due to the global decarbonization efforts in the wake of energy transition (ET).

1 Die Energiewende bewirkt einen neuen Superzyklus in der Rohstoffwirtschaft

Der letzte Superzyklus in der Rohstoffwirtschaft wurde durch die rasante Industrieentwicklung in China ausgelöst, was bewirkte, dass nahezu die Hälfte der globalen Nachfrage für mineralische Rohstoffe von China ausgeht. Die weltweiten Anstrengungen zur Dekarbonisierung im Rahmen der Energiewende (energy transition – ET) haben einen neuen Superzyklus für Technologierohstoffe mit riesigem Bedarfszuwachs entstehen lassen (Bild 1).

Die Welt verlangt Aluminium, Kobalt, Kupfer, Lithium, Mangan, Nickel, Seltene Erden, Silizium, Vanadium und andere kritische Minerale, um den Übergang zu einem klimaneutralen Wirtschaften zu ermöglichen, während der Anstieg des weltweiten Temperaturniveaus im Vergleich zur vorindustriellen Zeit auf 2 °C begrenzt werden muss. Zur Erreichung dieses Ziels besteht ein weitgehender Konsens darüber, dass in großem Umfang auf Elektromobilität (electric vehicles – EV) und regenerative Energieerzeugung übergegangen werden muss. Steigender Strombedarf führt zur Notwendigkeit nach massivem Ausbau der Stromnetze und der Installation von leistungsfähigen Energiespeichern. Diese ET-Reise wird eine der seltenen bahnbrechenden Neuentwicklungen sein, die einen neuen Superzy-

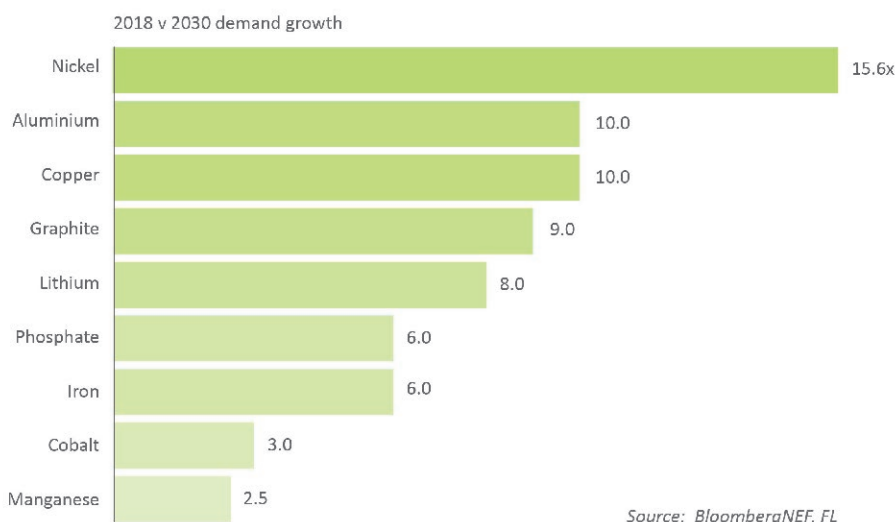


Fig. 1. The change in demand for battery minerals.
Bild 1. Nachfragezuwachs für Batterie-Mineralie.

The world needs aluminium, cobalt, copper, lithium, manganese, nickel, rare earth elements (REE), silicon, vanadium and other critical minerals to guarantee the shift to a low carbon world on the two-degree pathway where the rise in global temperatures since pre-industrial times is limited to 2 °C. To meet the widely agreed international targets large-scale deployment of electric vehicles (EV) in combination with regenerative energy employment is needed. Increasing electric power demand will lead to expansions of power lines and the introduction of high-capacity energy storage facilities. The ET journey will be one of those few technical advances which have the potential to greatly change the intensity of minerals use, causing a new super-cycle based on the consumption of those high-tech minerals. The success of this new development is strongly dictated by the availability of minerals rather than by political wishes or analyst forecasts.

Wood Mackenzie (WoodMac) estimates mining companies need to invest nearly 1.7 trillion US\$ in the next 15 years to help supply those natural resources. But mining firms still wary of making heavy investments after their experience during the last decade when they had invested in new capacity just as demand peaked, leading to a collapse in prices and revenues. They also need to please investors, who unlikely want to see dividends diverted to capital spending.

Besides the need for new supplies rising demand related ESG (environmental social governance) issues further add to the challenge. Australia, Northern-America and Western Europe carry a reasonable ESG risk but some of the best resources are found in high-risk areas of South-America, Asia-Pacific and Africa. One frequently mentioned example is the Democratic Republic of Congo (DRC), which sits on about half the world's cobalt reserves. But supply issues are evident at all stages of the value chain where monopolistic structures have developed. Western governments, lenders, investors and consumers are trying to find comfortable environments to do business in jurisdictions where the complex political and ESG issues are under control. We have allowed China to gain huge power over the supply chain for minerals in the critical technology areas, especially the automobile sector. Some experts say government support was needed to help miners and refiners comply with ESG issues to ensure production from those high-risk areas. Only this way would enable companies to secure sufficient volumes of the raw materials needed to pursue the energy transition in the timescales envisaged.

2 The carbon footprint issue

The carbon footprint (CFP) describes the emissions caused by any action or event and has become the benchmark for climate-friendly behaviour. The world's average footprint of a person was 5 t CO₂ (correctly CO₂e equivalent) in 2014 with an US citizen causing 16 t/a. As a common example the footprint of a smartphone is 105 kg CO₂ when used one year which reduces to 20 kg when used five years.

Global CO₂-emissions have reached 34 Gt in 2020 with an expected increase of 5 % in 2021. The energy related CO₂-emissions are about 31.5 Gt. They are part of the real energy sector (35 %) but also of the industry (21 %) and transportation sectors (14 %). Marine shipping contributes 1 bn t/a of CO₂ emissions.

In total, the world's greenhouse gas (GHG) emissions were about 50 Gt/a CO₂e, including carbon-dioxide from fossil fuel use

klus für Hochtechnik-Rohstoffe auslösen wird. Der Erfolg dieser Revolution wird dabei mehr von der Verfügbarkeit der Rohstoffe als von politischen Wunschvorstellungen und Vorhersagen vieler Wirtschaftsanalysten diktiert.

Wood Mackenzie (WoodMac) schätzt, dass die Bergbauindustrie in den kommenden 15 Jahren rund 1,7 Bio. US-\$ in Versorgungsketten für mineralische Rohstoffe investieren muss. Die aber könnte zögern, da sie mit zu schnellen Großinvestitionen im letzten Jahrzehnt einige schlechte Erfahrungen machen musste. Überangebote an Rohstoffen führten zu Preisverfall und Einkommensverlusten, gerade als ihre neuen Kapazitäten errichtet waren. Die ausbleibenden Dividenden waren dann Gift für die Investoren.

Neben der Notwendigkeit zusätzliches Angebot zu erzeugen, werden die Produzenten mit erhöhten ESG-Anforderungen konfrontiert, deren Kriterien umweltgerechte, soziale und verantwortungsvolle Unternehmensführung sind. Während in Australien, Nordamerika und Westeuropa die ESG-Risiken weitgehend überschaubar sind, sind sie in vielen wichtigen risikobehafteten Rohstoffländern von Südamerika, Asien und Afrika problematisch. Ein immer wieder genanntes kritisches Beispiel dafür ist die Demokratische Republik Kongo (DRC), die auf der Hälfte der weltweiten Kobaltvorräte sitzt. Aufgrund monopolistischer Strukturen sind dort wirtschaftspolitische Einflüsse auf allen Stufen der Versorgungskette gang und gäbe. Deshalb versuchen westliche Nationen, Banken, Investoren und Verbraucher möglichst dort Geschäfte zu machen, wo die komplexen ESG-Probleme noch tragbar sind. Leider wurde insbesondere China die Möglichkeit gegeben, über die Lieferketten von Rohstoffen der wichtigsten Technologiebereiche zu verfügen, was besonders den EV-Bereich betrifft. Experten fordern deshalb mehr politische Unterstützung für die Rohstoffindustrie in den Hochrisikobereichen, denn der Erfolg der Energiewende hängt insbesondere auch von der ungestörten Rohstoffversorgung ab.

2 Problematik des CO₂-Fußabdrucks (Carbon Footprint)

Der Kohlendioxid (CO₂)-Fußabdruck (Carbon Footprint – CFP) beschreibt die klimaschädlichen Emissionen aller wirtschaftlichen Vorgänge und gilt als neue Messlatte für klimafreundliches Verhalten. Der durchschnittliche CFP eines Menschen betrug 2014 rd. 5 t CO₂ (korrekt CO₂e Äquivalent), wobei ein US-Bürger mit 16 t/a CO₂ die Liste der Länder anführt. Als gängiges Beispiel für den CFP gilt der Wert für ein Smartphone von 105 kg CO₂ bei einem Jahr Nutzung, der sich bei fünfjähriger Nutzung auf 20 kg CO₂ reduziert.

Die globalen CO₂-Emissionen haben 2020 einen Wert von 34 Gt erreicht, der schon 2021 um weitere 5 % steigen dürfte, wovon die CO₂-Emissionen aus der Energiewirtschaft 31.5 Gt betragen. Der eigentliche Energiesektor macht davon 35 % aus, wozu aber ebenfalls der industrielle (21 %) und der Verkehrssektor (14 %) gerechnet werden müssen. Der weltweite internationale Schifffahrt transport erzeugt jährlich rd. 1 Mrd. t an CO₂-Emissionen.

Die gesamten Treibhausgas (greenhouse gas – GHG)-Emissionen betragen etwa 50 Gt/a CO₂e (e – equivalent) mit folgenden Anteilen: Kohlendioxid durch fossilen Energieverbrauch 65 %, aus Landwirtschaft und Forsten 11 %, durch Methanemissionen 16 %, aus nitrosen Gasen 6 % und von fluoridierten Gasen 2 %.

(65%), from farming and forestry (11%) plus 16% from methane emissions, 6% from nitrous-oxides and 2% from fluorinated gas emissions.

Governments with ambitious net-zero targets are increasingly focusing on the supply chains and its full lifecycle carbon impact. The EU is leading the way with new regulatory restrictions that seek to force decarbonisation up the battery supply chain. New EU sustainable battery standards are due to become law in 2022. This will require batteries makers to present a carbon footprint declaration from 1st July 2024. Batteries will be classified based on their carbon footprint from 1st January 2026 and, from 1st July 2027, will be subject to a maximum lifecycle carbon footprint declaration based on net greenhouse gas emissions of the contained minerals, up from their sourcing.

3 Scope emissions from the mining and metallurgical industry

Since environmental sustainability is becoming a corporate issue, most of the biggest mining companies are disclosing their greenhouse gas emissions and other energy metrics which are being judged by clients and investors. The latter are now playing a big role in accelerating such activities. The sustainable debt market has already reached 1 trillion US\$ and many asset managers and institutional investors, such as Blackrock are divesting from assets that are not aligned with the low-carbon transition. Meeting the ESG requirements is a must for modern business making and concerning GHG-emissions, especially the manufacturers of EVs have taken the lead in measuring and reporting lifecycle emissions. Meanwhile the majority of the world's top 500 companies are opting to externally audit their environmental impact. The switch to a low carbon economy as agreed by UN member states in the 2015 Paris Climate Agreement is affecting the mining industry both as an emitter of greenhouse gas and as an indispensable provider of raw materials for the global energy transition.

Within the mining industry, there are three scopes of emissions. Scope 1 are the emissions directly accumulated from the operations, such as from the use of diesel fuelled equipment. Scope 2 covers indirect emissions from purchased or acquired energy, such as electric power. They are generated by suppliers inherently contained in consumables and machinery. Scope 3 emissions come from the customers using products sold by the mining company, such as processing ores to steel or metals. These are the emissions in the downstream supply chain including transportation services. Concerning the latter, it is a sustainable failure to mine the minerals needed for the ET, ship them overseas to Asian refiners, and then send them back to customers in Europe and North America. It is also clear that clients try to push their suppliers the way that they want the minerals sourced from a place close to their plants.

According to McKinsey & Co, within the resources industry, scope 1 and 2 emissions account for 4 to 7% of global GHG-emissions. The number increases to almost 30% however when accounting for scope 3. Scope 3 emissions typically account for 80% or even more of a company's total.

It is important to know, that every mining company has a unique GHG emissions footprint, depending on factors includ-

Regierungen mit Ambitionen für Klimaneutralität setzen ihr Augenmerk vermehrt auf Lieferketten und deren CFP über die gesamte Lebensdauer von Produkten. Dabei ist die EU insbesondere an Regelungen zur Verfolgung der Dekarbonisierung in den Lieferketten von Batterierohstoffen interessiert. Es sind neue Standards dazu für 2022 geplant, wobei ab dem 1. Juli 2026 die Batterien nach ihrem CFP klassifiziert werden. Ab dem 1. Juli 2027 wird dann die Offenlegung des gesamten CFP über die Lebensdauer von Batterien von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Nutzung einschließlich der Entsorgung verlangt.

3 "Scope"-Emissionen in der Bergbau- und Metallindustrie

Seitdem Nachhaltigkeit durch Umweltschutzmaßnahmen ein unternehmerisches Ziel für Konzerne geworden ist, werden die GHG-Emissionen und andere energierelevante Daten regelmäßig veröffentlicht. Forderungen von Klienten und Investoren haben zu diesen heutigen Praktiken entscheidend beigetragen. Inzwischen hat der nachhaltige Schuldenmarkt einen Wert von 1 Bio. US-\$ erreicht und viele Vermögensverwalter und institutionelle Investoren wie Blackrock sind bereit zu Desinvestments von Werten, die nicht dem Trend der ET entsprechen. Damit ist die Erfüllung von ESG-Forderungen für die moderne Wirtschaft inzwischen ein Muss geworden. Die EV-Industrie ist mit ihren Messungen und Berichten zu den Emissionen über die Lebensdauer ihrer Produkte am weitesten fortgeschritten und die Mehrzahl der Top 500-Unternehmen in der Welt lassen bereits externe Audits ihres Umwelteinflusses zu. Der mit dem Pariser Klimaabkommen manifestierte Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft betrifft insbesondere die Rohstoffindustrie, die sowohl als Erzeuger von Klimagasen gilt, aber mit ihren Produkten gleichzeitig auch die Energiewende ermöglicht.

Die Bergbauindustrie hat es mit drei Emissionsklassen (Scopes) zu tun. Scope 1 sind die Emissionen, die im laufenden Betrieb, insbesondere durch die Nutzung von dieselbetriebenen Maschinen entstehen. Scope 2 umfasst die indirekten Emissionen, die aus der Herstellung zugekaufter Energie wie Strom stammen. Sie sind beim Energieanbieter entstanden oder inhärent in Verbrauchsgütern und gekauften Maschinen enthalten. Scope 3-Emissionen entstehen bei den Kunden, die bergbauliche Produkte nutzen und weiterverarbeiten. Dazu zählen die Verhüttung von Erzen zu Stahl und Metallen inklusive der anfallenden Transportleistungen. Bei letzterem ist der umweltrelevante Unsinn deutlich, wenn Erze oder Konzentrate über weite Entfernungen zu Hüttenwerken in China transportiert werden, um dann als Stahl oder Metallblöcke zu Verbrauchern in Europa und Nordamerika versandt zu werden. Es sollte deshalb Verbraucherver Wunsch sein, dass die Rohstoffe im Nahbereich erzeugt werden.

Nach McKinsey & Co machen die Scope 1 und 2-Emissionen in der Rohstoffindustrie etwa 4 bis 7% der globalen GHG-Emissionen aus. Dieser Wert erhöht sich auf fast 30%, wenn Scope 3 einbezogen wird. Diese können für ein Unternehmen typischerweise 80% oder mehr am Gesamtwert betragen.

Es ist wichtig zu wissen, dass jedes Bergbauprojekt seinen speziellen CFP hat, der von den jeweiligen Mineralen, den genutzten Technologien und der Geografie abhängt. Bei entsprechend hohem Energieverbrauch von thermischen Prozessen können die

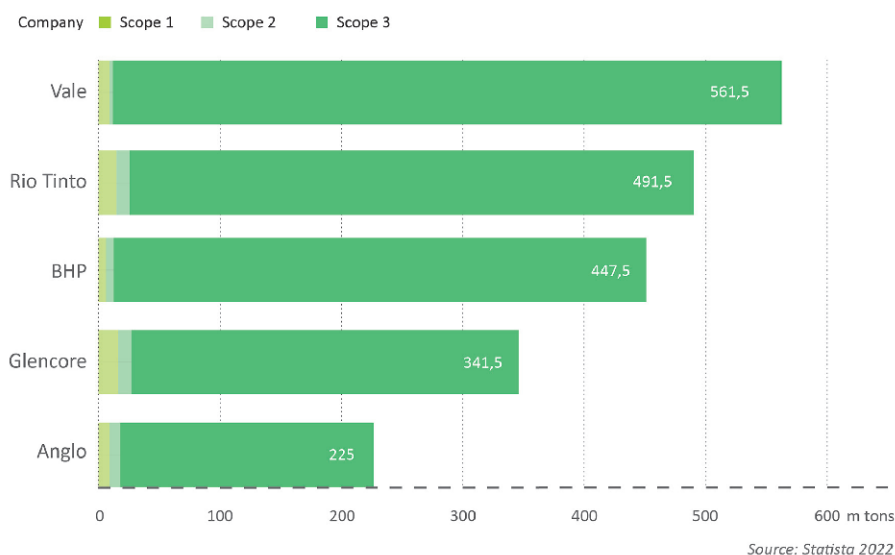


Fig. 2. Scope-emissions of selected mining companies.
Bild 2. Scope-Emissionen ausgewählter Bergbaukonzerne.

ing the commodities mined, technologies used and geography. Scope 2 emissions can often prove as great as scope 1, due to the large energy requirement for processing or smelting. Generally seen, it is very difficult to calculate the CFP of individual resources projects as part of the carbon leakage and carbon taxes discussion.

As an example, it is nearly impossible to keep track of a tonne of Australian iron ore sent to a Chinese steel mill which product then finds its way in a Chinese car. Although steel is not subject of the article, it is interesting to know that the vast majority of scope 3 emissions are linked to processing and consumption of iron ore. For Anglo American it is 115 Mt of CO₂ in 2020 while Rio Tinto's number was 491 Mt and BHP's 402 Mt, all exceeded by Vale with 491 Mt CO₂. Glencore is not relevant here as a sole metal miner. The scope 3 emissions relatively to scope 1 and 2 for the big five were: Anglo x10, Glencore x12, Rio x21, BHP x40 and Vale x47 (Figure 2).

The CFP of the value chain for technology minerals is strongly dependent on the sites involved where especially the energy supply is determining the magnitude of emissions. Canada is an example for low-carbon production besides other ESG advantages such as know-how, safety regime and reliability and responsible mining. Research by London based ESG consultancy Skarn Associates showed Canadian nickel was eight to 15 times less carbon-intensive, on average, than nickel produced in competing jurisdictions.

4 Relevant minerals of the energy transition

Smartphones are containing a long list of minerals, including precious metals such as gold, silver, platinum and palladium. They are all also critical for the ET. Especially the EVs and its lithium-ion batteries are demanding aluminium (Al), cobalt (Co), copper (Cu), graphite (C), lithium (Li) manganese (Mn), nickel (Ni) and REE (Figure 3). Other types of batteries demand silicon (Si) and vanadium (V). Metals, such as manganese, nickel and vanadium traditionally used in the steel industry are now penetrating into new markets as well as aluminium. Sustainable issues related to

Scope 2-Emissionen den Wert von Scope 1 oder mehr erreichen. Meist ist es dann schwierig, den CFP von Betrieben richtig zu erfassen, was für Bewertungen im Rahmen der CO₂-Leakage- und CO₂-Steuerdiskussion Probleme bringen kann.

Es dürfte z.B. nahezu unmöglich sein, den Weg einer Tonne australischen Eisenerzes nach China zu verfolgen, die dann irgendwo in einem Hüttenwerk landet, um schließlich als Stahlteil in einem chinesischen Auto wieder nach Europa zu gelangen. Obwohl Stahl nicht direkt Teil des Themas ist, ergibt es an dieser Stelle Sinn darauf hinzuweisen, dass der überragende Teil der weltweiten Scope 3-Emissionen mit der Aufbereitung und Verarbeitung von Eisenerz in Verbindung steht. Im Jahr 2020 machten sie für Anglo American 115 Mio. t CO₂ aus, während Rio Tinto 491 Mio. t und BHP 402 Mio. t emittierten und alle von Vale mit 491 Mio. t übertroffen wurden. Von den großen Bergbaukonzernen ist Glencore nur im Metallerzbergbau aktiv. Die Scope 3-Emissionen der "Big Five" relativ zu den Scope 1 und 2-Emissionen waren: Anglo x10, Glencore x12, Rio x21, BHP x40 and Vale x47 (Bild 2).

Der CFP in der Wertekette für Technologie-Rohstoffe ist extrem von den Standorten und der dort vorhandenen Energieversorgung abhängig, welche die Höhe der Emissionen insbesondere bestimmt. Kanada ist ein Beispiel für exzellente Standorte mit niedrigem CFP durch weitgehend regenerative Stromerzeugung. Andere ESG-Vorteile sind: Know-how der Bevölkerung, gute Sicherheitsstandards, Zuverlässigkeit und verantwortungsvoller Bergbau. Die in London ansässige ESG-Beratungsfirma Skarn Associates hat festgestellt, dass die kanadische Nickelindustrie im Vergleich zu konkurrierenden Produzenten um den Faktor 15 weniger CO₂-intensiv ist.

4 Die wichtigen Minerale für die Energiewende

Ein Smartphone beinhaltet eine lange Liste von Mineralen, zu denen auch Edelmetalle wie Gold, Silber, Platin und Palladium gehören. Sie alle sind auch unerlässlich für die Energiewende. Insbesondere die EV und ihre LIB benötigen Aluminium (Al), Grafit (C), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Lithium (Li), Mangan (Mn), Nickel (Ni) und

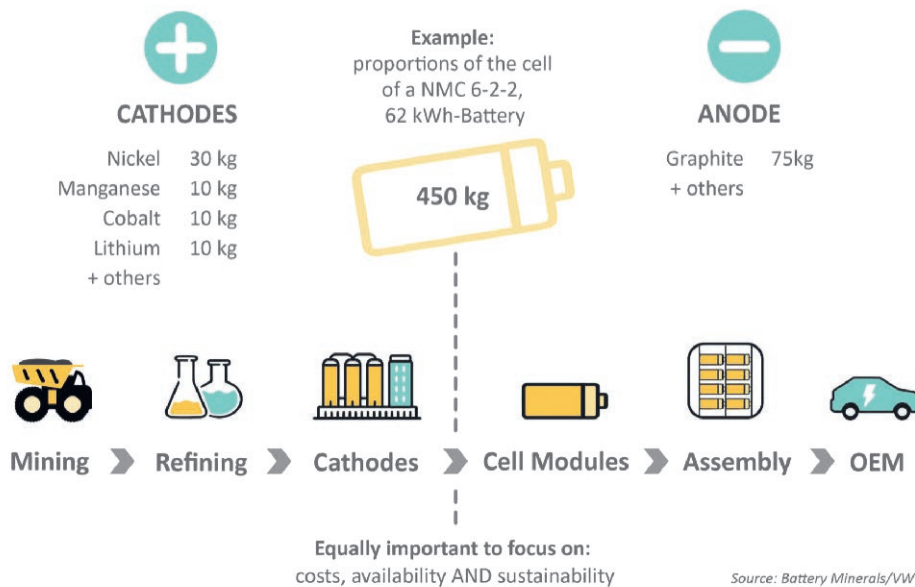


Fig. 3. Electrical vehicles minerals supply chain. // Bild 3. Die Lieferkette für Batterie-Mineralie.

the production of those technology minerals are gaining strong influence. As shown hereinafter what happens in China is now crucial for all aspects of the current supply chains for minerals.

The current standard in the EV industry for high-capacity batteries is nickel rich compounds like NCM (Li Ni Co Mn oxide) and NCA (Li Ni Co Al oxide). While cobalt is not the darling of the automotive industry, because of its ESG issues and the high price, the favourite cathode minerals are nickel and manganese. Although more abundant and cheaper to mine, nickel could suffer at some point from supply constraints given the exponential raise in demand.

Scientists have successfully demonstrated layered cathode materials with mixtures of manganese and nickel in ratios up to 7:3. This type of manganese-rich layered cathode is commonly associated with an excess of lithium in the material (of about 20%), which even allows to further increase the capacity. These materials show energy densities comparable or better than standard NCMs at a considerably lower price. They are also much safer due to the lower chemical reactivity of manganese. The main factors holding back wider adoption of manganese-rich cathodes are poor cycle life and thermal stability. BASF is working successfully on this type of materials, developing additives and coatings that improve the cycle life, energy density and thermal stability of Mn/Li-rich cathodes. They recently showed an NCM-307 (30% Ni, 0% Co, 70% Mn) chemistry with cycle stabilities above 1,000 cycles at room temperature and an energy density at the same level as the popular NCM-622.

5 ESG issues and the minerals supply for the energy transition

GHG-emissions in minerals production (Figure 4) are part of ESG-issues. The CO₂ intensity in tonnes CO₂ per tonne of product (metal content) is strongly connected to the energy input with the highest numbers when directly coal is used or electricity from coal-fired power stations. The lowest carbon footprint is achieved when regenerative energies are used. As base-load hydro-energy has the highest advantages wind- and solar energy systems have

Seltene Erden Elemente (REE) (Bild 3). Andere Batterietypen enthalten Silizium (Si) und Vanadium (V). Metalle wie Mangan, Nickel und Vanadium, die traditionell in der Stahlindustrie genutzt wurden, sowie auch Aluminium drängen nun zusätzlich in die Märkte für Batterierohstoffe. Nachhaltigkeitsaspekte im Zusammenhang mit der Produktion dieser Technologie-Mineralie gewinnen nun besondere Bedeutung. Im Folgenden wird ersichtlich, wie wichtig der Einfluss von China auf die Lieferketten dieser Rohstoffe ist.

Die zurzeit üblichen LIB für hohe Leistungen haben nickelreiche Kathoden, wie NCM (Li Ni Co Mn-Oxide) und NCA (Li Ni Co Al-Oxide). Kobalt ist aus ESG-Gründen und wegen hoher Kosten nicht mehr Favorit der Elektromobilität. Aber obwohl Nickelressourcen weit verbreitet sind und relativ kostengünstig abgebaut werden können, könnte es wegen exponentiell steigender Nachfrage hier zu Versorgungsengpässen kommen.

Inzwischen haben Wissenschaftler nachgewiesen, dass beschichtete Kathoden mit einem Mangan-Nickelverhältnis von 7:3 ebenfalls gut funktionieren. Solche manganreichen Kathoden mit einem Lithiumüberschuss von etwa 20% erlauben sogar signifikante Kapazitätssteigerungen bei niedrigeren Kosten und sie sind wegen der geringeren chemischen Reaktivität von Mangan außerdem deutlich sicherer. Bisher haben geringere Lebensdauer und thermische Stabilität die Verbreitung dieser Batterien verhindert, aber BASF ist es gelungen, mithilfe von Additiven und speziellen Beschichtungen die Probleme von Mn/Li-reichen Kathoden zu lösen. So hat der Konzern kürzlich eine NCM-307 (30% Ni, 0% Co, 70% Mn) Kathodenchemie mit mehr als 1.000 Zyklen bei Raumtemperatur vorgestellt, die Energiedichten wie die üblichen NCM-622 erreichen.

5 ESG Themen und die Versorgung mit Rohstoffen für die Energiewende

Die GHG-Emissionen durch die Produktion der notwendigen Mineralie (Bild 4) für die Energiewende sind ESG-relevant, wobei insbesondere die CO₂-Intensität in Tonnen CO₂ pro Tonne Produkt (Metallgehalt) vom Energieeinsatz abhängt. Die direkte Nutzung

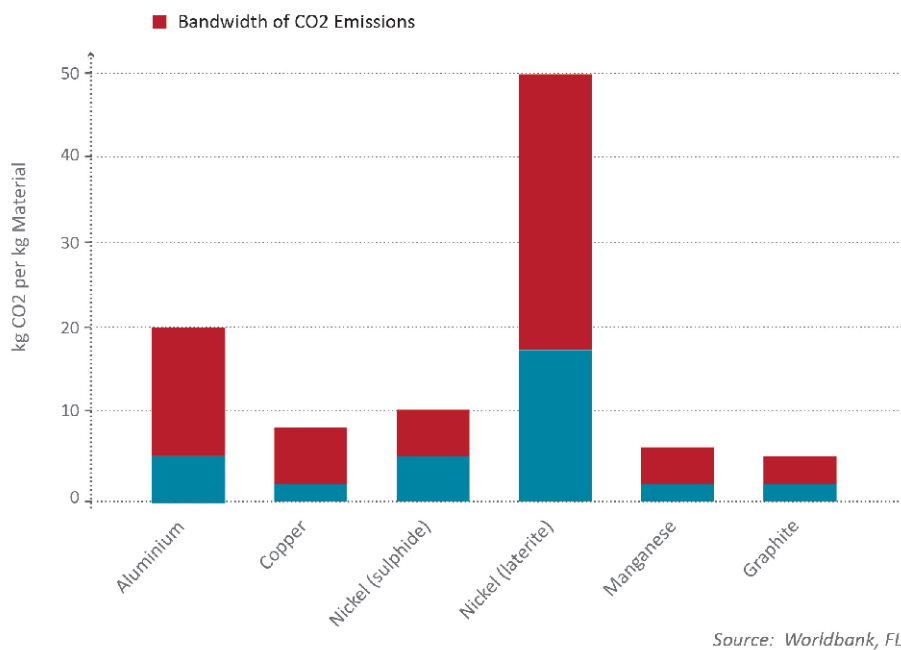


Fig. 4. Carbon footprint of technology minerals.

Bild 4. Der CO₂-Fußabdruck wichtiger Technologie-Mineralien.

to be supported by back-up power from diesel-electric power generators or from the available grid while large-scale power storage is still at the beginning.

Looking at locations, those countries with large resources of water will have comparable (cost) advantages to fossil electric generation when power-consuming smelters or electric-arc processes are used. This applies especially to the aluminium industry but also to the refining of other metals.

5.1 Aluminium

The world's primary aluminium production in 2020 was about 65 Mt from which 37 Mt were produced in China, followed by India, Russia each with 3.6 Mt, then Canada with 3.1 Mt. Global annual production is strongly rising and expected to reach the 70 Mt mark by 2022. The Minerals Council of Australia expects that by 2030 demand will reach 94.7, which is some 46% higher than the 2019 level.

The market for aluminium is driven by growing demand for green technologies, such as solar panels, wind turbines and electrical vehicles. As the light metal is a substitute for copper the aluminium sector could take advantage of the rising price of copper as it may start penetrating wire and cable applications in installations. But the aluminium price has surged more than 30% up to August 2021, second only to tin amongst the six base metals traded on the London Metal Exchange (LME) and there is really no cost-effective alternative.

Aluminium production requires huge amounts of energy, mostly electric power, particularly in the smelting process which transforms the bauxite ore via alumina to aluminium. It is one of the most carbon-intensive metals, emitting an average of 16.5 t of CO₂ per tonne of production and accounts for around 2% of all man-made emissions. In contrast, steel processing, while a much bigger polluter overall, emits just 2.3 t per tonne. The production of aluminium is so carbon intensive that the industry's annual

von Kohle oder von Kohlestrom erzeugt den höchsten CFP. Niedrige Werte sind immer dann möglich, wenn regenerative Energien zum Einsatz kommen. Wenn Grundlaststrom aus Wasserkraftwerken zur Verfügung steht, werden die besten Werte erreicht, während Wind- und Solarstrom meist ein Backup durch diesel-elektrische Aggregate erfordert, wenn kein allgemeines Stromnetz vorhanden ist, da großtechnische Stromspeicherung noch in den Kinderschuhen steckt.

Länder mit großen Wasserkraftreserven werden in Zukunft bedeutende komparative Kostenvorteile im Vergleich zu Regionen haben, die noch auf fossile Stromerzeugung setzen. Schon jetzt werden stromintensive Metallschmelzen und Raffinerien mit Lichtbogenprozessen, wie sie in der Aluminium- und Metallindustrie üblich sind, mehr und mehr in Staaten mit klimaneutraler Stromerzeugung verlagert.

5.1 Aluminium

Die Weltproduktion von Primäraluminium betrug 2020 rd. 65 Mio. t, wovon 37 Mio. t in China hergestellt wurden, gefolgt von Indien, Russland (jeweils 3,6 Mio. t) und Kanada (3,1 Mio. t). Die global stark ansteigende Produktion wird 2022 die 70 Mio. t/a-Marke erreichen und soll nach Aussage des Minerals Council of Australia bis 2030 eine Nachfrage von 94,7 Mio. t befriedigen, die damit das Niveau von 2019 um 46% übersteigen wird.

Der Aluminiummarkt wird besonders auch von der Entwicklung der "grünen" Technologien wie Solarmodulen, Windturbinen und der EV beflügelt, da das Leichtmetall als Substitut für Kupfer gilt und damit bei den stark anziehenden Kupferpreisen vom Bedarf an Elektrokabeln profitiert. Allerdings ist auch der Aluminiumpreis bis August 2021 um mehr als 30% gestiegen, geschlagen nur vom Zinnpreis unter den sechs an der London Metal Exchange (LME) gehandelten Basismetallen.

Die Herstellung von Aluminium ist extrem energieintensiv, wobei der Verbrauch von thermischer Energie und Strom für den Transformationsprozess von Bauxiterzen über das Zwischenprodukt Tonerde zum Aluminium immens ist. Diese beiden Prozesse mit einem durchschnittlichen CFP von 16 t CO₂/t Al sind für rd 2% aller GHG-Emissionen der Welt verantwortlich. Als Vergleich ist anzumerken, dass die weitaus mehr GHG-emittierende Eisen/Stahl-Industrie nur einen CFP von 2,3 t CO₂/t Stahl erreicht. Die CO₂-Emissionen der globalen Aluminiumproduktion entsprechen den zusammengefassten Emissionen von Deutschland und Frankreich. So muss dieser Sektor nun Wege finden, seine CO₂-Emissionen von zurzeit 1.1 Gt erheblich zu senken, die ansonsten bis 2050 ohne Maßnahmen auf 1,6 Gt ansteigen würden.

Solche Fakten bringen insbesondere die Automobilindustrie in Schwierigkeiten, da ein durchschnittlicher PKW schon jetzt etwa 180 kg Al beinhaltet, womit der Transportsektor auch zum größten Aluminiumverbraucher wird. Dieser Umstand wird sich weiter verschärfen, da ein EV für den Elektromotor und die Bat-

CO₂ emissions are equivalent to the combined emissions of Germany and France. The sector must find ways to slash its CO₂ emissions from the current levels of 1.1 Gt CO₂ which would grow to 1.6 Gt by 2050, if nothing is done.

This fact puts the industry, especially the automobile manufacturers in a difficult situation, as an average car contains about 180 kg of aluminium, making transport the major use for the metal. Its use has increased further in electric vehicles, with more of the metal needed for the electric motors and battery casing. This extra usage is likely to be around 70 kg per car. Assuming 28 million EVs sold in 2030, BloombergNEF (BNEF) expects about 20 Mt/a of extra aluminium to be needed. In addition and based on BNEF's New Energy Outlook data, Woodmac assumes that 615 GW of solar and 626 GW of wind installations by 2030 will result in over 4.5 Mt/a of additional consumption. In summary, the greening of the energy systems would require 24.5 Mt/a of extra aluminium – a 30% increase on current demand – representing additional carbon emissions equivalent to the entire GHG emissions of Italy. The production of a tonne of Chinese aluminium currently emits as much as 20 t CO₂. In contrast, aluminium from Iceland, produced by using hydro and geothermal electricity, can be as low as 4 t.

What this all means is that we are going to see huge structural changes in the aluminium industry over the next decade. If China and India will keep their highly carbon intensive production processes, they could lose against Norway, Iceland and Russia with their renewable-powered facilities or against the EU if it manages to produce such energies at competitive costs.

5.2 Cobalt

According to the BNEF, the DRC produced 120 kt cobalt in 2020 (Figure 5) followed at long distance by Russia, Australia and the Philippines. The global annual consumption is about 130 kt. The world cobalt reserves are estimated at 7 Mt from which 3.6 Mt are located in DRC and 1.4 Mt in Australia. China refines almost 90% of the globally produced concentrates, which confronts the western world with an extremely constrained supply chain in centre of

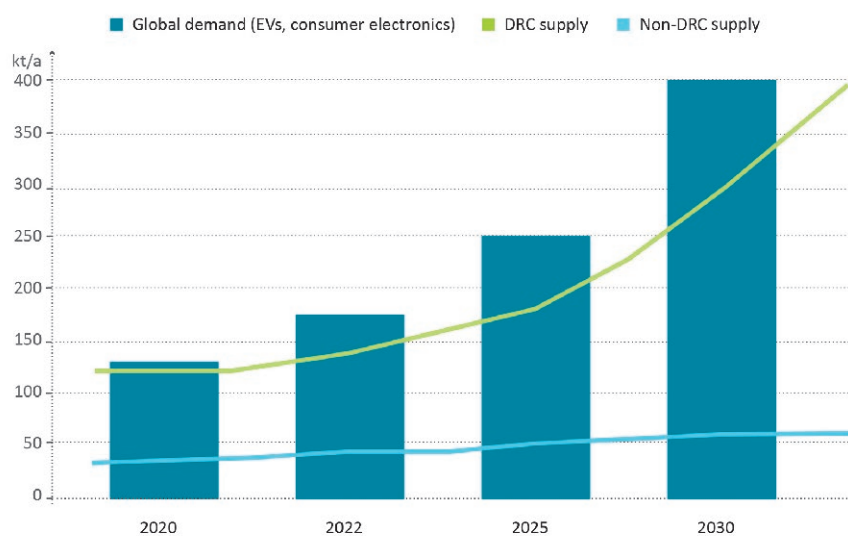
teriumhüllung einen Extrabedarf von 70 kg Al je Fahrzeug erfordert. So nimmt BloombergNEF (BNEF) an, dass die 28 Mio. produzierten EV 2030 rd. 20 Mio. t Al verbrauchen. Werden die im New Energy Outlook enthaltenen Daten von Woodmac von 615 GW Solar- und 626 GW Windanlagen im Jahr 2030 dazugerechnet, ergibt das einen Zusatzbedarf von über 4,5 Mio. t/a Al. Zusammengefasst würde die Energiewende jedes Jahr etwa 24,5 Mio. t zusätzliches Aluminium erfordern, was einem 30%-Anstieg zur momentanen Nachfrage und damit den gesamten GHG-Emissionen von Italien entsprechen würde. Insbesondere China ist hier in der Pflicht, wo ein CFP von über 20 t CO₂/t Al erreicht wird, während der Wert in Island bei 4 t liegt, da dort zur Aluminiumherstellung geothermische und Hydroenergie genutzt werden.

Als Folge dieses Umstands wird es in der Aluminiumindustrie während der nächsten Dekade erhebliche strukturelle Änderungen geben. Wenn China und Indien glauben, ihre klimaschädlichen Prozesse aufrechterhalten zu können, dann werden sie gegenüber Norwegen, Island und Russland verlieren. Diese Länder betreiben ihre Aluminiumproduktion auf der Basis von regenerativen Energien, und auch die EU versucht neben ausgefeiltem Energiemanagement auf sauberen Strom umzustellen und zu konkurrenzfähigen Kosten zu produzieren.

5.2 Kobalt

Nach Angaben von BNEF produzierte die Demokratische Republik Kongo (DRC) 2020 etwa 120 kt Kobalt (Bild 5), mit großem Abstand gefolgt von Russland, Australien und den Philippinen. Der jährliche Kobaltbedarf betrug rd. 130 kt, wobei China fast 90% des weltweiten Aufkommens an Konzentraten raffiniert und damit die freie Welt im Zentrum ihrer Energiewende mit einer extrem eingeschränkten Lieferkette irritiert. Der exponentielle Nachfrageanstieg durch den LIB-Markt birgt die Gefahr von Verknappungen. Neue Bergbauprojekte sind gefragt, aber auch Einsparungen durch Technologieverbesserungen und Recycling. Da sich die Masse der Lagerstättenreserven in der DRC befindet (3,6 Mio. t von 7 Mio. t weltweit), kann z.B. Australien mit seinen 1,4 Mio. t

Most of the world's supply comes from the Democratic Republic of the Congo



Source: Bloomberg, S&P, Cobalt Blue Hds, FL

Fig. 5. The cobalt supply dilemma. // Bild 5. Das Dilemma der Versorgung mit Kobalt.

its energy transition. The exponential demand growth for cobalt is placing pressure on producers to increase supplies to cover the growing supply gap, created by the demand for LIB-batteries. To bridge this supply gap new secure production sources, improved processing technologies and recycling within a circular economy of stable countries is needed. This is not an easy way, because the DRC can produce cobalt at the bottom of the cost-curve and mine expansions are mostly happening there. Many new engagements are manifesting the dominance of China, which also applies to laterite Ni-Co projects in Indonesia where more cobalt will be produced in the coming years.

A life cycle assessment of cobalt production from sulphidic ores resulted in a CFP of 1.6 t CO₂/t Co in Canada and 3.25 t CO₂/t Co in China. Cobalt from laterite ores will have a two-fold number as a by-product of Ni-production through high-pressure acid leaching (HPAL).

5.3 Copper

Chile is the world's largest producer of mined copper at 5.7 Mt in 2020 followed by Peru (2.2 Mt) and China (1.7 Mt). About 9.8 Mt of the globally refined copper (25 Mt) was smelted in China.

Copper is used in high and low voltage transmission cables and thermal solar collectors. Copper consumption is expected to register notable gains from solar power generation, particularly photovoltaic systems. In the WoodMac base-scenario, copper demand from the solar industry will increase from 0.4 Mt in 2020 and to 0.7 Mt by 2040. But other possible scenarios could see annual Cu-consumptions of 1.3 Mt and even to 1.6 Mt by 2040.

Doing the maths using different estimates of decarbonisation efforts, the total annual copper demand by 2050 may reach 100 Mt thanks to the electro-mobility (Figure 6). But for Benchmark Mineral Intelligence (BMI) the numbers just do not work, as they see a 9 Mt supply-demand imbalance in the copper market for 2030. Since new copper projects will only reach about half of the planned 8 Mt/a capacities only massive recycling of Cu-scrap and the substitution of copper by aluminium could help.

Vorräten kaum gehalten, da die DRC-Produktion im untersten Bereich der Angebotskosten liegt und damit das zukünftige Angebot weiter bestimmen wird. Neue Kobalt-Bergwerksprojekte befinden sich weitestgehend in der Hand von chinesischen Firmen, was auch die Bergwerke und Aufbereitungsanlagen auf lateritischen Ni-Co-Lagerstätten in Indonesien zutrifft, die gerade entwickelt werden.

Eine Lebensdaueruntersuchung bei sulfidischen Erzen ergab einen CFP in Kanada von 1,6 t CO₂/t Co und in China von 3,5 t CO₂/t Co, während Co als Nebenprodukt der Hochdrucklaugung (HPAL) von Nickelerzen, gewonnen aus lateritischen Erzen, den doppelten Wert erreichen könnte.

5.3 Kupfer

Chile ist mit Abstand der größte Produzent von bergbaulich gewonnenem Kupfer (5,7 Mio. t) in der Welt, gefolgt von Peru (2,2 Mio. t) und China (1,7 Mio. t), das 9,8 Mio. t des weltweiten Angebots (25 Mio. t) an raffiniertem Kupfer herstellt.

Kupfer wird in der Energiewirtschaft für Leitungen der Stromübertragung und in thermischen Solaranlagen genutzt. Deutliche Nachfragesteigerungen werden für die wachsende Solarstromerzeugung erwartet. Nach einem Basisszenario von WoodMac soll der Bedarf allein dafür von 0.4 Mio. t (2020) auf 0.7 Mio. t bis 2040 ansteigen, während andere Prognosen jährliche Kupferverbräuche von 1,3 Mio. t bis 1,6 Mio. t sehen.

Insgesamt könnte durch die Maßnahmen der Dekarbonisierung im Rahmen der Energiewende und vor allem durch die Elektromobilität der Kupferverbrauch 100 Mio. t/a gegen 2050 erreichen (Bild 6). Da jedoch nach Benchmark Mineral Intelligence (BMI) schon 2030 ein Angebotsdefizit von 9 Mio. t entstehen wird, weil wohl nur die Hälfte der geplanten neuen Kapazitäten als realistisch angesehen wird, kann die Imbalance nur durch massives Recycling von Kupferabfall oder durch die Substituierung mit Aluminium gelöst werden. Dafür wäre ein Cu:Al Verhältnis von 3,6:1 notwendig. Abhängig von der Energiebereitstellung bewegt sich der CFP im Bereich von 2 bis 8 t CO₂/t Cu.

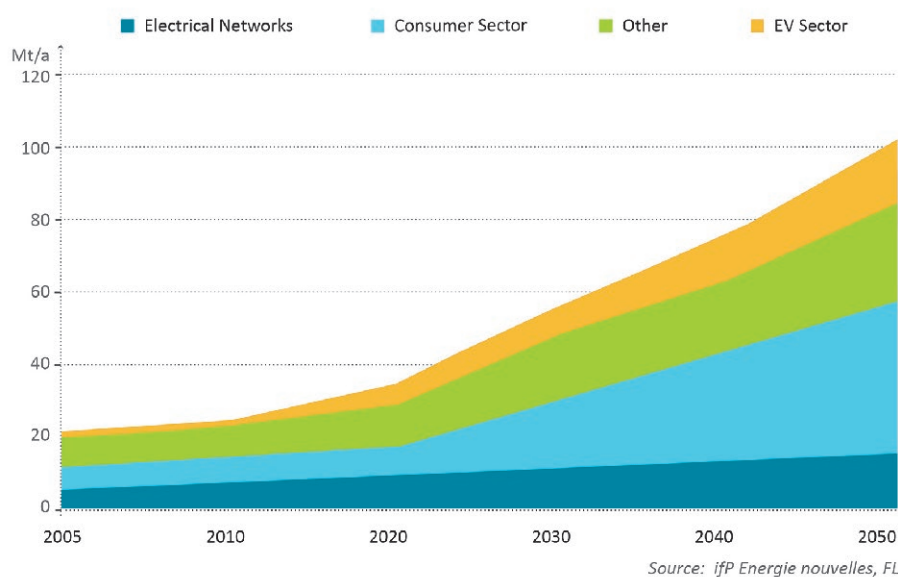


Fig. 6. The copper intensity of renewable energies.

Bild 6. Die Kupfer-Intensität der regenerativen Energieerzeugung.

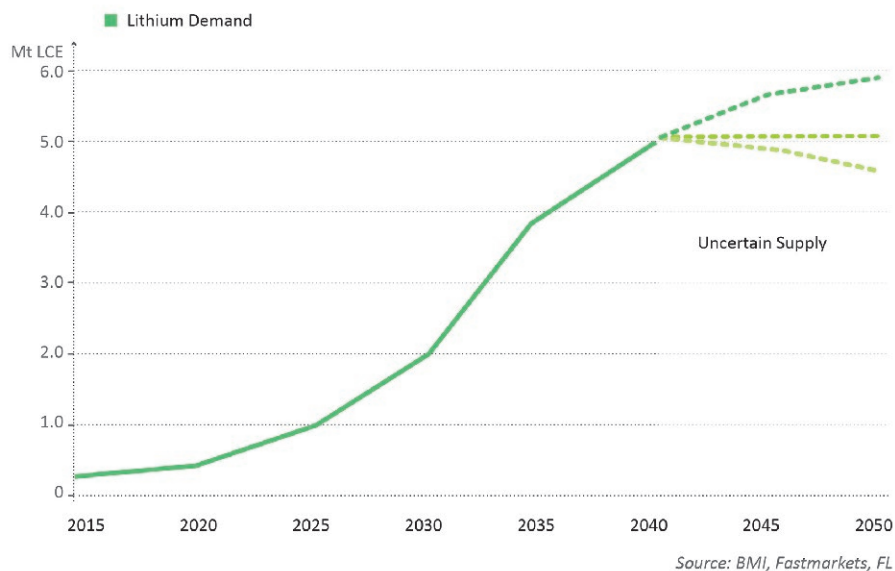


Fig. 7. The lithium supply gap. // Bild 7. Der Lithium Versorgungsengpass.

They anticipate that a copper to aluminium ratio of 3.6:1 may be needed. Dependent of the energy input the CFP is in the range of 2 to 8 t CO₂/t Cu.

5.4 Graphite

According to USGS, China is the dominant producer of natural graphite. The 2020 output of its mines was 650,000 t followed by Mozambique (120 kt) and Brazil (95 kt) related to a global consumption of 1.1 Mt. China also controls the market for synthetic graphite with a volume of more than 3 Mt annually which is valued at about 540 M US\$. World mine production of natural graphite is forecast to increase between 6 and 9%/a over the next few years and should adequately meet increasing global demand. BMI sees the graphite market for batteries grow to nearly 3 Mt in a 4 Mt/a total market by 2030.

Graphitic carbons, such as natural graphite and artificial graphite – made from petrol coke or coal tar – are used as negative electrode material in LIBs. By volume, graphite is the mostly contained mineral in any EV battery, at 40 to 60 kg (up to 85 kg in the Tesla Model S). For this use the natural graphite flakes are bend concentrically and assembled in a spheric shape by use of thermal vapor energy.

China remains the centre of the graphite industry as the biggest producer, consumer and exporter worldwide. ESG concerns have become a huge issue in China where graphite is refined using coal-sourced energy. As these graphite products have a high carbon footprint of more than 5 t CO₂/t of anode material producers outside China are looking to develop environmentally friendly purification methods and product lines in integrated facilities but to ensure this sustainability the consumers will have to pay a premium. Natural graphite is less energy intensive than its synthetic counterpart.

5.5 Lithium

According to USGS, Australia was the world's leading producer of lithium in 2020 at 40 kt from its hard-rock spodumene mines and reserves of 4.7 Mt and yet unscratched huge resources in Western Australia. It is followed by Chile with 18 kt from brine produc-

5.4 Grafit

Nach den Zahlen des USGS dominieren die chinesischen Bergwerke das Angebot von Naturgraphit. Im Jahr 2020 war ihr Output 650 kt, gefolgt von Mosambik (120 kt) und Brasilien (95 kt) bei einer globalen Gesamtproduktion von 1,1 Mio. t. China kontrolliert auch den Markt für synthetisches Grafit, der bei 3 Mio. t/a einen Wert von 540 Mio. US-\$ aufweist. Die weltweite Bergbauproduktion von Grafit wird in den nächsten Jahren jährlich um 6 bis 9% steigen und damit den Bedarf decken können. BMI erwartet allein durch den Batteriesektor einen Bedarf von 3 Mio. t in einem 4 Mio. t/a Gesamtmarkt bis 2030.

Auf der Angebotsseite ist wieder einmal China das Maß der Dinge. Es könnten aber mittelfristig neue Bergwerksprojekte in Afrika potentielle Alternativen werden. Insbesondere exportieren Madagaskar, Mosambik und Tansania bereits verstärkt Naturgraphit zur Weiterverarbeitung nach China. Dieses Land bleibt damit weiterhin das Zentrum der Grafitindustrie mit der weltweit größten Produktion sowie dem größten Verbrauch und Export.

Grafit wird sowohl als Naturgraphit und als synthetischer Grafit – produziert aus Petrolkoks oder Kohleteer – als Elektrodenmaterial in LIB gebraucht. Es ist mit 40 bis 60 kg (85 kg im Tesla Model S) gewichtsmäßig das wichtigste Mineral in einer EV-Batterie. Für die Anode werden die Naturgraphitflocken in Dampf thermisch konzentrisch gebogen und zu einer sphärischen Masse zusammengefügt. Durch diese Art der Verarbeitung entstehen erhebliche Umweltbelastungen, da die notwendige Energie in China praktisch ausschließlich aus Kohle bereitgestellt wird. Der offiziell genannte CFP übersteigt 5 t CO₂/t Anodenmaterial. So versuchen die Produzenten außerhalb Chinas umweltgerechte andere Verfahren in voll integrierten Fabriken zu entwickeln, deren Produkte dann aber nur zu entsprechend höheren Preisen angeboten werden können. Die Verarbeitung von Naturgraphit ist grundsätzlich weniger energieintensiv als beim synthetischen Gegenstück.

5.5 Lithium

Australien gilt gemäß USGS als der weltgrößte Lithiumproduzent mit einer Förderung von 40 kt Li aus seinen Hartgesteinstagebau-

tion out of 9.2 Mt reserves. Meanwhile, China has become the No. 3 with 14 kt from its low-grade resources in front of Argentina (6.2 kt). Global annual production fell from 86 to 82 kt mainly from reduced output in Australia due to significant oversupply. When the lithium price was weak last year because of oversupply the Chinese company Tianqi got into financial trouble with its high investment in Australia but the Australian joint venture partner IGO gave debt-laden Tianqi a lifeline when it agreed to pay 1.4 bn US\$ for a stake in Australian lithium assets, namely the world's biggest lithium mine Greenbushes and the Kwinana processing plant.

Now, after prices are sharply rising things have changed in the market making commodity research Roskill estimate that demand for lithium to make EV batteries will rise above 2 Mt by 2030, a more than 4.5-fold increase from 2020 (Figure 7). There is an increasing frequency of investment announcements to be seen since the beginning of 2021. Automotive OEMs, including German car makers are desperate to secure future supply for their cell supply chains. Even previously marginal projects in Europe are under development, such as in Austria, Czech Republic, Finland, Germany, France, UK, Serbia, Spain, Sweden and Portugal.

China, which depended on imports to meet nearly 80% of its lithium demand last year, with around 60% of feedstock deriving from Australian mines, is desperate trying to reduce this dependence on overseas mines. But demand still requires imports causing the world's leading producer Ganfeng Lithium to go ahead with the takeover of Mexico's Bacanora Lithium project. Gangfeng also holds interests in mines in Australia, Argentina and Canada and around 70,000 t/a LCE conversion capacity in China. It is interesting to note that UK-based Bacanora also holds a 36% share in the German Zinnwald lithium project.

Water consumption at lithium brine facilities is the main environmental concern of the downstream sector, as they operate in some of the driest areas on the planet. These operations use solar, chemical or physical means to produce refined lithium products for the battery sector and take large volumes of water and brine for their process and to run their operations. This consumption has led to concerns of water over-use at the extraction and refining sites, and can cause negative consequences for the local communities, flora and fauna that rely on these limited water supplies.

While the Australian hard-rock lithium projects are widely accepted by the public, Lithium America's Thacker Pass lithium-clay project in Nevada is already experiencing opposition due to environmental concerns. This is also the case in Serbia at the huge lithium-boron project owned by Rio Tinto.

According to Roskill, the CFP of lithium production is 9 t CO₂/t LCE from hard-rock spodumene which is nearly triple the energy intensity of and average tonne of LCE from the brine sector.

5.6 Manganese

According to USGS, South Africa was the largest producer at 5.2 Mt in 2020 despite a significant ongoing lower mine output of 600 kt. Australia followed with 3.3 Mt in front of Gabon with 2.8 Mt in a total market volume of 18.5 Mt. The 2015 spin-off from BHP, South32 is the world's largest producer of manganese ores. Its mines are located in South Africa (Wessels and Mamatwan) and Australia (Groote Eylandt) while China controls the refined output at more than 95%

en auf Spodumen-Erz in Westaustralien auf einer Reservenbasis von 4,7 Mio. t. Dahinter folgen Chile mit 18 kt/a und andere Produzenten in Südamerika, wo, wie bei anderen auch, das Lithium aus Sole gewonnen wird. China, mit seinen niedriggradigen Reserven, ist gerade mit 14 kt/a an die dritte Stelle gerückt, gefolgt von Argentinien mit 6,2 kt/a. Die weltweite Produktion war 2020 um 4 kt auf 82 kt gefallen, da die Auswirkungen eines Überangebots vor allem in Australien zu Betriebsschließungen geführt hatten. Wegen des niedrigen Lithiumpreises ist dort das chinesische Unternehmen Tianqi in Finanznot geraten, nachdem es heftig in die weltgrößte Lithiumgrube Greenbushes und die Kwinana-Aufbereitungsanlage investiert hatte. Es konnte nur von seinem australischen Joint-Venture-Partner IGO vor dem Konkurs gerettet werden, der mit einer Zahlung von 1,4 Mrd. US-\$ seinen Anteil entsprechend erhöhte.

Inzwischen sieht die Lage auf dem Markt wieder rosiger aus, sodass der Rohstoff-Analyst Roskill einen Nachfrageanstieg von 2 Mio. t bis 2030 durch die EV-Batterieproduktion prognostiziert, was zu einer erheblichen Steigerung bis etwa 2040 führen wird (Bild 7). Seit 2021 überschlugen sich die Meldungen über neue Bergbauprojekte, in die nun auch Autoproduzenten – auch deutsche – direkt investieren wollen, da sie Versorgungsunsicherheiten fürchten. Nun werden auch bisher marginale Projekte in Europa verfolgt, wie es sie in Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Portugal, Schweden, Serbien, Spanien und Tschechien gibt.

China, welches zur Deckung des Bedarfs zu etwa 80% auf Importe angewiesen ist, importiert davon 60% aus australischen Bergwerken. Der weltgrößte Lithium-Verarbeiter Ganfeng Lithium mit 70.000 t/a Lithium-Karbonat (LCE)-Kapazität übernimmt gerade den mexikanischen Produzenten Bacanora Lithium und fügt ihn seinen Beteiligungen in Australien, Argentinien und Kanada hinzu. Es ist interessant zu erfahren, dass das in Großbritannien ansässige Unternehmen Bacanora einen Anteil von 36% am deutschen Zinnwald-Lithiumprojekt hält.

Der übermäßige Wasserverbrauch bei der Sole-Gewinnung im südamerikanischen Lithiumdreieck ist für diese Trockengebiete ein riesiges Umweltproblem mit negativen Auswirkungen auf die Wasserversorgung der Kommunen sowie auf Flora und Fauna.

Während die australische Lithiumgewinnung von der Öffentlichkeit weitestgehend akzeptiert wird, führen ESG-Risiken in Südamerika und anderswo zu Protesten der Bevölkerung. In den USA geht es um das Thacker Pass-Lithium-Tonstein-Projekt von Lithium America und in Serbien um das riesige Lithium-Bor-Projekt Jadar von Rio Tinto.

Nach Roskill beträgt der CFP der Lithiumgewinnung von Erzen 9 t CO₂/t LCE, was der dreifachen Energieintensität einer durchschnittlichen Solegewinnung entspricht.

5.6 Mangan

Nach USGS war Südafrika trotz eines signifikanten Einbruchs der Bergwerksproduktion von 600 kt weiterhin weltweit der größte Produzent von Mangan mit 5,2 Mio. t. Es folgten Australien mit 3,3 Mio. t vor Gabun mit 2,8 Mio. t. Das gesamte weltweite Marktvolumen 2020 betrug 18,5 Mio. t.

Mit dem wachsenden Batteriemarkt wird für den Manganverbrauch bis 2030 ein Wachstum von 9%/a erwartet. Einige Marktexperten sprechen für die Folgejahre schon von einem Jahrzehnt

of the global total. Since the own sources are of low quality the country is relying heavily on imported ores, totalling 32 Mt in 2020.

Manganese is used in a variety of Li-ion battery cathode technologies. As a result, the battery segment of the manganese market, demand for manganese in Li-ion batteries is expected to increase at a rate of 13%/a over the decade to 2030. Some market experts are even speculating that the 2030s could be the decade of manganese as the global manganese availability is at least 10x to 100x greater than nickel and cobalt.

High-purity manganese is an essential ingredient in nickel-cobalt-manganese (NCM) precursors and the NCM cathode is expected to be one of the dominant chemistries utilised in Li-ion batteries over the next decade. Especially Volkswagen, in contrast to Tesla, is pushing for cathodes with high-manganese contents in its future EVs to replace expensive cobalt and nickel. No major automaker had previously announced such a large-scale commitment to manganese-based cathode chemistries.

It is also easier to extract manganese as compared to nickel and cobalt. MSM (manganese sulphate monohydrate) can be made directly from ore or from electrolytic manganese metal. Given the energy-intensive nature of the production and transportation (scope 3 emissions) of manganese (similar to chrome) the CO₂ emissions are the key sustainability concerns as we target carbon neutrality. High-purity manganese shows a CFP in the range from 6 to 7 t CO₂/t Mn.

5.7 Nickel

Indonesia has become the dominant producer with 760 kt Ni from laterite ores in a 2020 market of 2.5 Mt. It is followed by the Philippines with 320 kt from laterite ores as well and Russia (280 kt) produced from sulfidic ores. Other important producers are New Caledonia (200 kt from laterites), Australia (170 kt from sulphides and laterites) and Canada (150 kt from sulphides). The largest reserves are identified in Indonesia (21 Mt), Australia (20 Mt) and Canada (16 Mt). Overall, Indonesia and the Philippines will remain as the largest sources of nickel globally. Together with Russia, New Caledonia, Australia and Canada, these six countries account for more than three-quarters of the global total of 94 Mt (all tonnages from USGS).

Nickel is facing a “structural uplift in pricing” thanks to the booming demand from the automotive sector. Demand from EV battery sector is expected to double over the next two decades. That means EV’s will require more than 1 Mt Ni in a 3.5 Mt market by 2030 (Figure 8).

Nickel production is the classical example how mining and refining activities are affecting important ESG issues, including a large carbon footprint. Because of a significant cost advantage and an abundance of resources, Indonesia is likely to be the global driver of almost all this growth. However, the mining and refining of nickel in Indonesia is a carbon-intensive business and there are additional concerns about the impact on biodiversity, air and water pollution, and also governance issues. Pressure is mounting on nickel miners and battery metal suppliers to manage these ESG issues, including lowering carbon emissions. Established

für Mangan, weil dessen Verfügbarkeit die von Nickel und Kobalt um das 10- bis 100-fache übersteigt.

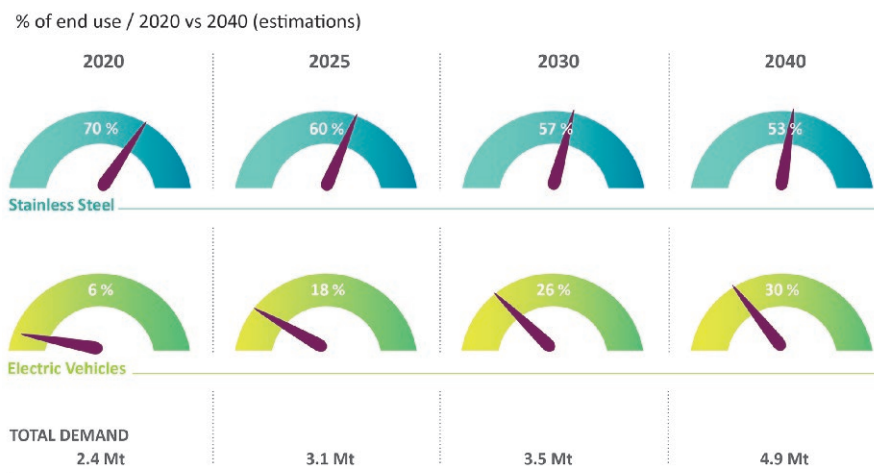
Hochreines Mangan ist wichtiger Bestandteil der Nickel-Kobalt-Mangan (NCM)-Kathoden, welche die Metallzusammensetzung in den LIB der nächsten Dekade bestimmen werden. Insbesondere Volkswagen, ganz im Gegensatz zu Tesla, steht für Batterien mit hohem Mangananteil, um damit den Anteil der teuren Kobalt- und Nickelmetalle zu reduzieren. Kein anderer der bedeutenden EV-Produzenten hat ein derartig großes Bekenntnis zu Mangan abgegeben.

Mangan ist im Vergleich zu Nickel und Kobalt wesentlich leichter zu extrahieren, da MSM (Mangan-Sulfat-Monohydrat) aus Erzen und elektrolytischem Manganmetall direkt gewonnen werden kann. Als weltgrößter Produzent gilt South32, ein Spin-off von BHP, dessen Bergwerke sich in Südafrika (Wessels und Mamatwan) und Australien (Groote Eylandt) befinden. Den 32 Mio. t schweren Markt für raffiniertes Mangan bestimmt wiederum China zu mehr als 95%. Wegen der energieintensiven Gewinnung und der Massenguttransporte (Scope 3) ist der CFP auch bei Mangan ein ESG-Problem. Der CFP für Mangan wird mit 6 bis 7 t CO₂/t Mn in hochreiner Form angegeben.

5.7 Nickel

Indonesien ist mit Abstand der weltweit größte Nickelproduzent in einem Markt mit der Größe von 2,5 Mio. t (2020). Es werden dort etwa 760 kt Ni aus lateritischen Lagerstätten gefördert, gefolgt von den Philippinen (320 kt), ebenfalls Laterite, und Russland (280 kt) mit seinen sulfidischen Lagerstätten. Weitere wichtige Produzenten sind Neu-Kaledonien (220 kt aus Lateriten), Australien (170 kt aus Lateriten und Sulfiden) sowie Kanada (150 kt) aus seinen sulfidischen Ressourcen. Die größten Lagerstättenreserven befinden sich in Indonesien (21 Mio. t), Australien (20 Mio. t) und Kanada (16 Mio. t). Zusammen mit den Philippinen, Russland und Neu-Kaledonien umfassen diese Länder mehr als drei Viertel der Weltreserven in Höhe von 94 Mio. t (alle Tonnenangaben aus USGS).

Dank eines erwarteten Booms im automobilen Sektor steigen die Nickelpreise nun deutlich, denn die Nachfrage soll sich in den



Source: The Nickel Institute, BP, Fastmarkets, Roskill, WoodMac, MMI

Fig. 8. Nickel demand in the steel- and EV-industry.
Bild 8. Entwicklung der Nickel-Nachfrage für die Stahl- und EV-Industrie.

long-term suppliers of nickel from places such as North America and Australia have documented nickel production and refining procedures, but such suppliers are limited in number. Emerging suppliers of nickel in developing countries have lower levels of transparency in their ESG performance including the carbon footprint. EV manufacturers are already setting criteria for their nickel suppliers in terms of monitoring and documenting ESG performance.

A key challenge for suppliers in Indonesia will be lowering the carbon emissions generated by its coal-based nickel production which is not easy because there is a lack of reliable regenerative electric base-load power. The lowest-carbon nickel production is in North America, northern Europe followed by Australia. Despite the challenges faced, Indonesia will likely remain the main source of growth in nickel even after taking into account the additional expenses needed to manage carbon emissions and other ESG issues. A certain advantage for Indonesia will be the evolving market for MHP (mixed hydroxide precipitate) an intermediate nickel product from hydrometallurgical refining as a primary feed for LIB cell manufacturing. LIB-Cathode producers like BASF and Umicore are building their plants adjacent to MHP production sites that saves on shipping costs and their carbon footprint. The same concept is now heavily promoted in Canada, Australia and Indonesia as an integrated supply chain from mine to precursor/cathode.

CO₂ analysis has become an important tool for determining the true environmental impact of a given supply chain or production route. For FeNi and NPI producers, using the rotary kiln electric furnace (RKEF) process, without access to integrated nickel ore supplies, this has a significant impact on the CO₂ intensity of their end-product. Roskill estimates that non-integrated FeNi/NPI is 24% to 34% more carbon-intensive than integrated FeNi/NPI supply. This is because a large proportion of the CO₂ emissions involved in ferroalloys production comes from the shipping of laterite ores. As a result, China, South Korea and Japan demonstrate the highest emitting supply routes. The other major FeNi and NPI producers Indonesia, Brazil and New Caledonia do not have the same associated transport emissions as these production centres have access to domestic feedstocks, negating the need for CO₂ heavy ore imports.

The average CFP for nickel produced from sulphide ores is reported as 5 to 10 t CO₂/t Ni while Ni-production from laterite ores ranges from 18 to 50 t CO₂/t Ni depended on the primary energy used.

Nickel is the mined commodity most exposed to biodiversity risks, mainly due to the fact that some of the largest nickel operations on the planet are located in biodiverse areas such as Indonesia, the Philippines, New Caledonia, Brazil and Guatemala.

5.8 Rare Earth Elements (REE)

According to USGS, the REE mine production was always concentrated on China. The Chinese production in 2020 was 140 kt at a world total of 240 kt. While the US could increase its production by 36% to 38 kt, Australia suffered a 17% reduced output to 17 kt. Myanmar, which is totally controlled by neighbouring China, increased its production from 25 to 30 kt.

REE are soft heavy metals with a vast array of industrial applications. They are used in the electrical and electronic industries, the oil industry, aviation and the manufacture of glass and lasers,

nächsten zwanzig Jahren verdoppeln. Schon bis 2030 dürfte der Nickelbedarf für EV mehr als 1 Mio.t in einem 3,5 Mio.t-Gesamtmarkt ausmachen (Bild 8).

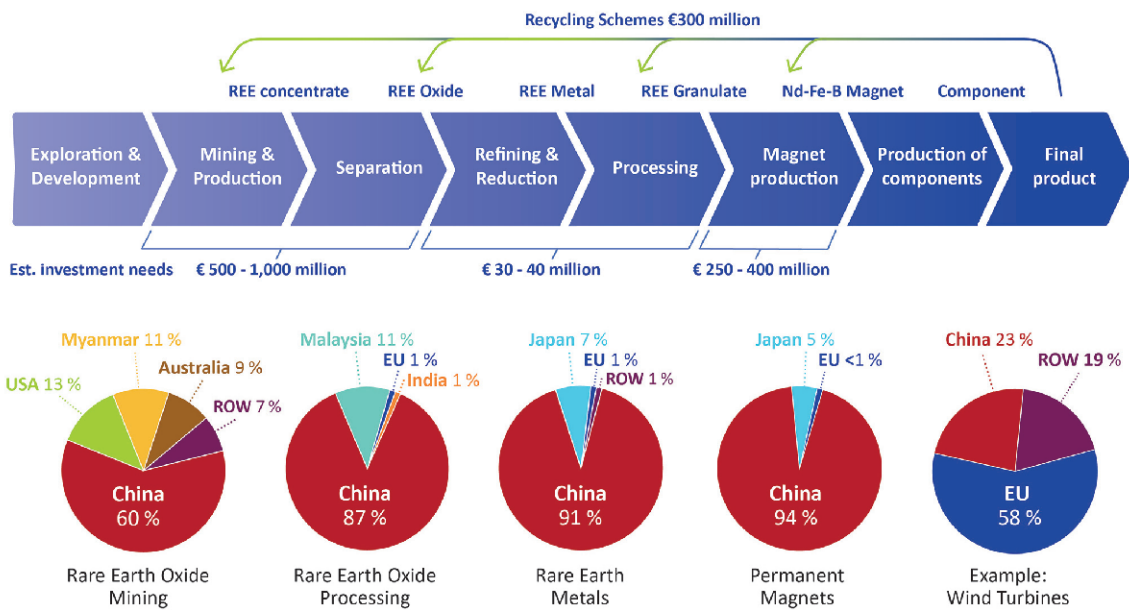
Die Nickelgewinnung ist ein klassisches Beispiel dafür, wie Bergbau und Raffinierung ESG beeinflussen, inklusive eines hohen CFP. Wegen der vergleichsweise niedrigen Gewinnungskosten und seinen immensen Ressourcen wird Indonesien fast den gesamten Zuwachs der Nickelproduktion übernehmen. Die Nickelproduktion dort ist aber CO₂-intensiv, da Kohle in Indonesien der wichtigste Primärenergieträger ist. Weitere bedenkliche ESG-Fakten sind der negative Einfluss auf die Artenvielfalt und die Luft- und Wasserverschmutzungen eines Entwicklungslands, ganz zu schweigen von Rechtssicherheit in Staat und Unternehmen. Internationaler Druck wird nun von den Verbrauchern auf die Rohstoffkonzerne ausgeübt, diese ESG-Probleme zu lösen und insbesondere die GHG-Emissionen zu reduzieren. Während etablierte Firmen in Europa, Nordamerika und Australien schon seit langem ihre Produktionsprozesse in diesem Sinne dokumentieren, besteht in den Entwicklungsländern noch wenig Transparenz.

Das Hauptproblem in Indonesien wird die Verringerung der CO₂-Emissionen in der Metallindustrie sein, die weiterhin auf Kohleinsatz basieren wird, da es keine zuverlässige regenerative Energieversorgung in der Grundlast gibt. Beispiele für Nickelproduktion mit geringem CFP, die es bereits in Europa, Nordamerika und Australien gibt, lassen sich nicht ohne weiteres auf Indonesien übertragen. Ein gewisser Vorteil könnte für Indonesien der sich entwickelnde MHP (mixed hydroxide precipitate)-Markt werden, der Nickelvorprodukte für die LIB-Zellenfertigung aus hydrometallurgischen Prozessen betrifft. Kathodenproduzenten wie BASF und Umicore bauen diese Anlagen nun neben den MHP-Standorten und können damit Transportemissionen zusammen mit Transportkosten einsparen. Dieses Konzept wird auch in Kanada stark verfolgt.

EV-Hersteller führen bereits Kriterien für ihre Nickellieferanten ein, um die ESG-Leistungen zu überwachen und dokumentieren. So wird die CO₂-Analyse ein wichtiges Mittel zur Bestimmung des wahren Einflusses von Produktionsketten auf das Klima sein. Für Ferronickel- und NPI-Produzenten, die Drehrohröfen in Verbindung mit Lichtbogenschmelzen (RKEF) nutzen und keine integrierte Erzversorgung haben, wird das einen erheblichen Einfluss auf den CFP haben. Roskill hat ermittelt, dass nichtintegrierte FeNi/NPI-Produktion etwa 24 bis 34% mehr CO₂ emittiert als integrierte Produktion. Die Differenz ist durch die hohen Emissionen des Erztransports bestimmt. Damit ergibt sich als Ergebnis, dass die Produktionen in China, Südkorea und Japan wegen der Transporte vergleichbar schlechtere CFP-Werte aufweisen als die Konkurrenten in Indonesien, Brasilien und Neu-Kaledonien, wo sich die Erzproduktion am Standort der Hütte befindet.

Generell gesehen beträgt der durchschnittliche CFP aus der Nickelproduktion von sulfidischen Erzen 5 bis 10 t CO₂/t Ni während die Nickelproduktion aus lateritischen Erzen Werte von 18 bis 50 t CO₂/t Ni in Abhängigkeit vom Primärenergieträger erreichen kann.

Bergbau auf lateritisches Nickel verursacht die höchsten Schäden an der biologischen Vielfalt, da sich die größten Tagebaue in den tropischen Gebieten von Indonesien, den Philippinen, Neu-Kaledonien, Brasilien und Guatemala befinden.



Source: ERMA-EIT Raw Materials, FL

Fig. 9. The rare earths industry from mining to magnets (including recycling).
Bild 9. Die Seltene-Erden-Industrie vom Bergbau bis zum Magnet (inkl. Recycling).

among other things. However, their use in magnet technologies, in particular, provide an opportunity to improve the efficiency of critical electronic components. The development of high strength rare earth permanent magnets has proven crucial to the development of certain new energy technologies (Figure 9).

Refined production is heavily centred in China, where domestic production is supported both by domestic mining operations and imports of ores and mineral concentrates. China increased its proportion of global refined supply until 2009 to more than 97% but now (2020) at 87% of global production of refined rare earth products, with other Asian countries (Malaysia, India and Vietnam) and comparatively minor European operations accounting for the remainder. But around 90% of neodymium-iron-boron (NdFeB) magnet manufacturing currently takes place in China, despite efforts to diversify mined and refined supply. This raises geopolitical concerns.

The use of non-rare-earth electric motors is set to jump nearly eightfold by 2030, according to IHS Markit. Some Western automakers are working to cut reliance on magnets made from rare earth metals as well, though that is because China is their largest producer but permanent magnet motors will still dominate, mainly because of their power and efficiency.

Rare-earth mining is notorious for the environmental hazards. REE tend to be dispersed and mixed in with other elements in the ore, making extraction and separation expensive, difficult and fraught with environmental risks. It is challenging to mine and process rare earths without harming the environment. The problems were related to the extraction methods where leaching with ammonium sulphate and ammonium chloride is common. The chemicals used in this separation process can create air pollution, cause erosion, and leach into groundwater. Although the other mining and processing method, in-situ leaching created similar problems through leakages and abandoned mines pose ongoing environmental hazards.

5.8 Selten Erden Elemente (REE)

Nach Angaben des USGS ist die REE-Bergbauproduktion vor allem auf China konzentriert. Sie betrug dort 140 kt bei einer globalen Gesamtproduktion von 240 kt (2020). Mit weitem Abstand folgen die USA, die es wieder geschafft haben, ihre Produktion um 36% auf 38 kt zu steigern, während Australiens Produktion um 17% auf 17 kt sank. Das von China vollständig kontrollierte Myanmar konnte die Produktion dagegen von 25 auf 30 kt erhöhen.

Die REE zählen zu den weichen Schwermetallen und werden in den Industrien des elektrotechnischen und elektronischen Sektors, der Erdölindustrie, der Luftfahrt und in vielen anderen Bereichen genutzt. Für die Energiewende ist der Einsatz in den Elektromagneten besonders wichtig, wo sie die Leistungsfähigkeit von Permanentmagneten in EV-Antrieben und in Generatoren von Windkraftanlagen garantieren (Bild 9).

Die größten Mengen an REE werden bisher in Myanmar and China sowie in Australien gewonnen. Für die Anwendungen in Magneten müssen die meist oxidischen Minerale in Metalle und Legierungen umgewandelt werden. Diese Raffinierung ist noch fast ausschließlich auf China konzentriert, wo neben den eigenen Rohstoffquellen auch Importmengen verarbeitet werden. Der Anteil der chinesischen Raffinade-Produktion hatte bis 2009 ganze 97% erreicht, konnte aber inzwischen durch Kapazitäten in Malaysia, Indien, Vietnam und kleinere europäische Anlagen bis 2020 auf 87% verringert werden. Es ist allerdings festzustellen, dass 90% der wichtigen Neodymium-Eisen-Bor (NdFeB)-Magnete weiterhin in China gefertigt werden, was aus geopolitischer Sicht bedenklich ist.

Einige westliche Autobauer wollen nun dieser Abhängigkeit dadurch begegnen, dass sie weniger effiziente Elektromotoren ohne REE entwickeln, deren Markt sich nach IHS Markit bis 2030 schon um das achtfache vergrößert hat.

Der Bergbau auf REE ist bekannt für extreme Umweltbelastungen. China hat das inzwischen erkannt und ist nun bereit, dies

Chinese officials have attempted to counteract these threats by shutting down a large number of mines, especially the smaller and the illegal ones, but there are still severe, large-scale threats that remain unresolved. From north near the Mongolian border to south in Guangdong, China is now trying to clean up the mess with the ultimate target to make those areas suitable for farming again. But the clean-up process is expensive and time-consuming, and some say it could be 50 to 100 years for the environment to recover. In the meantime, the pollution from existing mines threatens not just the areas in which the mines are located, but major cities that are downstream like Ganzhou with a population of over eight million people.

Such damages have led to a crackdown on illegal and environmentally damaging production in China, causing a number of mines to suspend operations. This, in turn, pushed China to source the majority of its REE feedstocks from deposits in Myanmar. However, this production is outside of Chinese controls on environmental and social impact, and the increase in REE feedstock production flowing into the Chinese market is seen by many as China migrating environmental damaging practices to neighbouring territories.

The current CFP of the Chinese REE production is estimated to be 22,8 to 35,1 t CO₂/t REO (rare earth oxide) while related to preferred REE Neodymium it is 105 t CO₂/t Nd.

5.9 Silicon

According to USGS, China is by far the main silicon producer with 5,4 Mt in front of Russia (540 kt), Brazil (340 kt), Norway (330 kt), USA (290 kt) and France and Malaysia at 130 kt each. The 2020 global annual production was 8 Mt.

Silicon, which makes up 28% of the earth's crust by weight, is the second-most abundant element on earth. It's used in everything from computer chips and concrete, to glass and car parts. It can be purified into the ultra-conductive material that helps convert sunlight into electricity in solar panels. And it is the raw material for silicone – a water- and heat-resistant compound used widely in medical implants, caulks, deodorants, oven mitts and more. Tesla's Model S and Model 3 use a silicon-carbon anode material and companies like Porsche are looking at the benefits of using silicon in its battery technology. Through adding 6 to 10% silicon-based material to synthetic graphite, its battery specific storage capacity reaches more than 550 mAh/g and energy density can reach 300 Wh/kg.

Silicon has become scarce, threatening everything from car parts to computer chips and throwing up another hurdle for the world economy. This shortage in silicon metal, sparked by a production cut in China, has sent prices up 300% in less than two months. It is the latest in a litany of disruptions, from snarled supply chains to a power crunch, that are creating a destructive mix for companies and consumers. Now, with China curbing production of high-purity silicon metal, the unlikely fragility of the silicon supply chain is being exposed to an alarming degree. Silicon metal is made by heating common sand and coke in a furnace. Because of the power shortages producers in Yunnan province were ordered to cut production by 90%. The shortage is already bubbling up in the solar industry, where a refined and purified form is used in photovoltaic panels.

IPCC estimates the CFP of ferrosilicon at 90 to 95% purity to be in the range of 4,8 to 6,3 t CO₂/t FeSi.

zu beenden und bestehende kontaminierte Flächen zu reinigen, um sie wieder landwirtschaftlich nutzen zu können. Weil die REE im Erz sehr verteilt und mit anderen Mineralen stark vermischt sind, ist die Aufbereitung schwierig und umweltbelastend. Die Probleme entstanden insbesondere beim Separationsprozess, wo mit Ammoniumsulfat oder -chlorid gelaugt wurde und diese Lösungen ins Grundwasser gelangten. Auch bei der anderen Gewinnungsmethode, der In-situ-Laugung, haben sich weitgehende Verschmutzungen des Grundwassers ergeben. China nimmt das Problem sehr ernst und ist nun dabei, die vielen Produktionsstandorte vom Norden an der mongolischen Grenze bis nach Süden in der Guangdong-Provinz zu reinigen. Es soll ein langwieriger und teurer Prozess sein, der nach Aussage von Experten auch bis zu 50 oder 100 Jahre dauern könnte.

Die Umweltproblematik hat auch dazu geführt, dass viele der illegalen und besonders umweltschädlichen Produktionen stillgelegt wurden. Deshalb hat China aber zum Ausgleich die Importe von Erzen aus dem befreundeten Myanmar verstärkt, wo die Umweltbelastungen nicht mehr dem Land angelastet werden sollen.

Der momentane CFP der chinesischen REE-Produktion soll zwischen 22,8 und 35,1 t CO₂/t REO (rare earth oxide) liegen, für eine Tonne Neodymium (Nd) aber 105 t CO₂ betragen.

5.9 Silizium

Gemäß USGS ist China mit Abstand der wichtigste Produzent von Silizium in der Welt. Von der globalen Erzeugung im Jahr 2020 in Höhe von 8 Mio. t entfielen 5,4 Mio. t auf China, 540 kt auf Russland, 340 kt auf Brasilien, 330 kt auf Norwegen, 290 kt auf die USA und auf Frankreich und Malaysia jeweils 130 kt.

Silizium, das 28% des Gewichts der Erdkruste ausmacht, wird in reiner Form in der Beton- und Glasindustrie genutzt. In hochreiner Konzentration wird es für Computerchips und als ultra-leitendes Material in Solarzellen gebraucht. Die Tesla-Modelle S und 3 haben Siliziumkarbon-Anoden in ihren Batterien, wie auch Porsche auf Silizium in seinen Batterien setzt. Dort wird etwa 6 bis 10% an Silizium-haltigem Material dem synthetischen Grafit in der Anode beigefügt, womit das spezifische Speichervolumen mehr als 550 mAh/g erreicht und die Energiedichte 300 Wh/kg betragen soll.

Auch Silizium ist gerade verknappt, was bereits in der Computerindustrie und in der Elektromobilität zu Problemen führt. Verantwortlich dafür sind Produktionseinschränkungen in China, wodurch die Preise von Silizium innerhalb von zwei Monaten um 300% gestiegen waren. Metallisches Silizium wird durch Erhitzung von speziellen Sanden zusammen mit Koks in einem Ofen hergestellt. In der Yunnan-Provinz haben Stromabschaltungen zu einer Verknappung des Angebots um 90% geführt, was die Produktionen von Fotosolarzellen bereits empfindlich trifft.

Der CFP von Ferrosilizium nach IPCC beträgt 4,8 bis 6,3 t CO₂/t FeSi mit 90 bis 95% Reinheit.

5.10 Vanadium

Nach Angaben des USGS produzierte China 2020 etwa 53 kt Vanadium in einem 86 kt-Markt. Russland (18 kt), Südafrika (8,2 kt) und Brasilien (6,6 kt) folgen in weitem Abstand. Vanadium wird vorwiegend zur Herstellung von CrV-Stählen mit einem Gehalt von etwa 1% V genutzt. Nun erlangt es neue Bedeutung als Vanadium-Pentoxid (V₂O₅) in den Redox-Flow-Batterien, welche als große

5.10 Vanadium

According to USGS, China produced 53 kt of vanadium in 2020 in an 86 kt market. Russia (18 kt), South Africa (8.2 kt) and Brazil (6.6 kt) rank far behind. Vanadium is mostly used for the production of CrV-steels with vanadium contents of around 1%. It has gained new importance as vanadium pentoxide (V_2O_5) in Redox-Flow-Batteries which are large stationary batteries to support national electric power grids. With its increase of regenerative energy production, especially China is going to use this technology. While the use of those batteries reduces the CFP of energy systems the footprint of the vanadium production is similar to steel at about 2 t CO_2 per t of metal. If feedstock from recycled vanadium is used the footprint reduces to one fifth.

6 Decarbonization in the mining and metallurgical industries

Mining companies have recognized the tide change and are accelerating their carbon-abatement strategies to strengthen their business profiles by making their operations more resilient to future challenges. The main challenge for the companies is to establish an achievable and flexible net-zero roadmap that aligns with the company's unique situation and sustainable goals. There is no one-size-fits-all approach to net-zero and often specific paths to reaching carbon targets where some are more complex than others.

6.1 Anglo American

Anglo American also has set a deadline to become carbon-neutral mining by 2040 with scope 3 emissions to be halved. The company, which divested its thermal coal mines in 2020 after pressure from investors, plans to retain its steelmaking coal portfolio. To achieve the goal of carbon-neutrality it has taken even actions such as installing floating solar panels on a copper mine's waste pond. The company is starting to change its fleet of heavy-duty mine trucks from diesel engines to hydrogen fuel cell powered versions. Additionally, Anglo has adopted "high standards in vessel efficiency" across its chartered fleet and is aiming to achieve carbon neutrality across its controlled ocean freight activities by 2040, with a temporary 30% reduction of scope 3 emissions by 2030.

6.2 BHP

BHP, the world's largest miner, has been taken several steps to get away from thermal coal in its portfolio (now only 3% of turnover) is now focusing more on commodities that are important for the energy transition, such as copper and nickel. BHP fully supports the aim of the Paris Agreement to limit global warming to well below 2 °C above pre-industrial levels, and pursue efforts to limit warming to 1.5 °C. It has established a long-term goal of achieving net zero operational (Scope 1 and 2) emissions by 2050 and has a short-term target of maintaining operational emissions at or below previous years, also using carbon offsets as required and investing in low-carbon technologies. At its flagship projects, the huge copper mining complexes Escondida and Spence in Chile, BHP will move to 100% renewable energy use by the mid-2020s. Part of this will be the electrification of mining equipment, such as the introduction of trolley assisted trucks, in-pit crushing and conveying and bat-

stationäre Batterien die elektrischen Verbundnetze von Staaten absichern sollen. Diese Art der Stromspeicherung in Verbindung mit hohen Anteilen von regenerativer Stromerzeugung wird insbesondere in China angewandt. Während ihre Nutzung nun den CFP von Energiesystemen zu reduzieren hilft, liegt der eigene CFP der Vanadiumproduktion ähnlich wie bei der Stahlerzeugung bei etwa 2 t CO_2 /t V. Wenn recyceltes Vanadium genutzt wird, kann sich der CFP auf ein Fünftel des Wertes reduzieren.

6 Dekarbonisierung im Bergbau und in der Metallerzeugung

Die Rohstoffkonzerne haben die Zeichen der Zeit erkannt und beschleunigen ihre Aktivitäten zur Verringerung der GHG-Emissionen. Es sind große Herausforderungen auf dem Weg zu einem Netto-Null-CFP, wobei die jeweiligen Strategien die spezifischen Umstände der Rohstoffverarbeitung berücksichtigen müssen. Es gibt leider keine einheitlichen Wege dahin, denn manche Verfahren sind komplexer als andere.

6.1 Anglo American

Anglo American hat sich bereits für 2040 eine Frist zur Erreichung von Klimaneutralität gesetzt und will bis dahin auch seine Scope 3-Emissionen halbieren. Der Rohstoffkonzern, der sich auf Druck von Anteilseignern bereits 2020 von seinen Kraftwerkskohlenaktivitäten getrennt hat, will jedoch das lukrative Kokskohlen-geschäft weiterbetreiben. Um die Emissionsziele zu erreichen, hat Anglo sogar Solarkollektoren auf den Schlammteichen einer Kupfergrube errichtet. Außerdem werden bereits Teile der Flotte von Schwerlastkraftwagen (SKW) in den Tagebauen von Dieselantrieben auf Brennstoffzellen mit Nutzung von Wasserstoff umgestellt. Auch die von der Firma kontrollierten Seetransporte sollen durch ein spezielles Programm in Richtung Klimaneutralität gebracht werden, wobei bis 2030 schon 30% dieser Scope 3-Emissionen entfallen könnten.

6.2 BHP

BHP, das weltgrößte Bergbauunternehmen, trennt sich ebenfalls von der Kraftwerkskohle, die schon jetzt nur noch 3% des Gesamtumsatzes ausmacht. Der Konzern wendet sich nun verstärkt den Rohstoffen für die Energiewende zu, insbesondere Kupfer und Nickel. BHP steht voll hinter den Zielvorgaben der Pariser Vereinbarungen zur Begrenzung der globalen Erderwärmung auf weit unter 2 °C. So ist ein entsprechendes Programm zur Reduzierung der betrieblichen Scope 1- und 2-Emissionen aufgelegt worden, um mit klimaneutralen Technologien bis 2050 auf „Net-Zero“ zu kommen. Dabei sollen die großen Kupfer-Komplexe Escondida und Spence in Chile bis Mitte 2020 auf 100% erneuerbare Energien umgestellt werden. Ein Teil der Maßnahmen wird die Umstellung der SKW auf elektrischen Trolley-Betrieb sein oder ihre Ablösung durch Brecher- und Bandanlagen in den Tagebauen. BHP fühlt sich auch als weltweit größte Chartergesellschaft für Massengutfrachter in der Pflicht, da allein diese Scope 3-Emissionen höher sind als von Deutschland oder Kanada.

6.3 Fortescue Metals Group

Fortescue Metals Group, die Nummer drei im australischen Eisenerzbergbau, hat angekündigt, schon bis 2040 klimaneutral zu werden,

tery solutions. BHP is one of the largest dry bulk charterers in the world and if shipping were a country its scope 3 emissions from ocean transportation would be the sixth largest emitter of CO₂ in the world, with more emissions than Germany or Canada.

6.3 Fortescue Metals Group

Fortescue Metals Group, the number three iron ore producer in Australia, has announced to achieve net zero operational emissions by 2040 after reducing scope 1 and 2 emissions by 26% until 2030. FMG is investing more than 1.5 bn AUD in several clean energy projects and is introducing hydrogen and battery electric energy solutions at its own mine sites. FMG founder and mining tycoon Andrew Forrest wants to introduce the world's first ammonia-powered ocean ship before the end of 2022, which is part of an ambitious plan to run all his company's fleet on a carbon-free version of the fuel. Ammonia is considered a cleaner, possible replacement of oil-derived marine fuels that almost exclusively power shipping today.

6.4 Glencore

Glencore, one of the world's largest coal producer, recently announced its ambitious plan to reach net-zero emissions by 2050 through reducing its direct and indirect carbon footprint by 40% until 2030, compared to 2019 levels. Glencore, also a major cobalt and copper miner, highlighted the company's current exposure to those two metals, which are essential in the production of electric vehicles batteries and renewable energy plants.

6.5 Rio Tinto

Rio Tinto is running its own Research Centre for Resources, Energy and Sustainable Development and has a plan to invest 1.5 bn AUD to reach zero scope 1 and 2 emissions by 2050 in its "net zero carbon emission strategy" with a short-term target of 15% reductions by 2025 and 50% reductions by 2030 compared with 2018 levels. As an example, it already has reduced the carbon emissions at Kennecott Copper's Bingham Canyon mine by 65%, which was about 1 Mt/a of CO₂ from a 5 to 6% fuel reduction of the truck fleet. In Africa, Rio Tinto has started work on the solar and wind power plant that will supply the ilmenite mine operations in Fort Dauphin in Southern Madagascar. The first unit, an 8 MW solar energy facility, will be operational in 2022 and a 12 MW wind power facility will follow in 2023. The project includes an 8.25 MW LIB energy storage system.

6.6 Vale

Vale is pushing for Canada to become a key EV player as this country's low-carbon resources, safely and sustainable mining and processing know-how, are the key differentiators. The company had already established a pathway to zero-carbon nickel mining for its then operations in New-Caledonia. Since it sold the asset, the question remains if the new owner Prony Resources will continue or change the strategy which was set for the next two decades.

6.7 Norilsk Nickel

Even Russian Norilsk Nickel (Nornickel), the world's largest producer of refined nickel, has already produced its first batch of certified carbon-neutral nickel. In 2020, the company had announced a comprehensive environmental and climate change strategy aimed at reducing its bad environmental image.

nachdem schon bis 2030 die Scope 1- und 2-Emissionen um 26% gesenkt werden sollen. Das Unternehmen investiert mehr als 1.5 Mrd. AUD in diverse Projekte für saubere Energien und führt bereits die Wasserstoff- und Batterietechnik in den Tagebauen ein. FMG-Gründer und Bergbau-Tycoon Andrew Forrest will bis 2022 auch das erste mit Ammoniak betriebene Frachtschiff einsetzen mit dem langfristigen Ziel, seine gesamte Ozeanflotte CO₂-frei zu machen.

6.4 Glencore

Glencore, einer der weltgrößten Kohleproduzenten, hat das ambitionierte Ziel, bis 2050 klimaneutral zu werden und seine direkten und indirekten Emissionen bis 2030 schon um 40% zu senken. Als bedeutender Kobalt- und Kupferproduzent fühlt sich Glencore als besonderes Schlüsselunternehmen für die EV-Revolution und für regenerative Energieerzeugung.

6.5 Rio Tinto

Rio Tinto betreibt ein eigenes Forschungszentrum für Ressourcen, Energie und nachhaltige Entwicklung mit dem Plan, bis 2050 etwa 1,5 Mrd. AUD in Maßnahmen zur Eliminierung der Scope 1- und 2-Emissionen zu investieren. Die Übergangsziele sind Reduzierungen von 15% bis 2025 und von 50% bis 2030 bezogen auf 2018. Ein wichtiges Projekt ist, die SKW-Flotte des Bingham Canyon-Tagebaus von Kennecott Copper klimaneutral zu machen. Inzwischen sind die CO₂-Emissionen, die etwa 1 Mio. t/a betragen, durch elektrische Antriebe bereits um 65% gesunken. In afrikanischen Betrieben werden von Rio Tinto, z. B. am Standort des Ilmenit-Bergwerks Fort Dauphin auf Madagaskar, Solar- und Windenergieanlagen gebaut. Eine 8 MW-Solaranlage wird 2022 in Betrieb gehen, gefolgt von einer 12 MW-Windkraftanlage im Jahr 2023. Dieses Projekt wird auch über ein 8,25 MW LIB-Stromspeichersystem verfügen.

6.6 Vale

Vale will mit seinem Know-how in den Rohstoffbetrieben in Kanada eine Vorreiterrolle bei klimaneutralem Bergbau erreichen, nachdem es schon in Neu-Kaledonien den Weg zu CO₂-freier Nickelproduktion eingeschlagen hatte. Da dieses Bergwerk inzwischen mit Prony Resources einen neuen Eigentümer gefunden hat, wird es wichtig sein, dass der neue Betreiber den für die nächsten zwei Jahrzehnte eingeschlagenen Weg weiterverfolgt.

6.7 Norilsk Nickel

Sogar der russische Bergbaukonzern Norilsk Nickel (Nornickel), der weltgrößte Produzent von raffiniertem Nickel, hat bereits das erste CO₂-freie Nickelprodukt zertifiziert bekommen. Mit seiner 2020 offiziell verkündeten Umwelt- und Klimaschutzstrategie will das Unternehmen sein schlechtes ESG-Image aus der Welt schaffen.

6.8 Weitere Aktivitäten

Im Norden von Norwegen, tief innerhalb der Arktis, strebt der Bergbaukonzern Nussir ASA die weltweite emissionsfreie Kupferproduktion an. Es wird ein vollelektrifiziertes Untertagebergwerk sein, dank des immensen Wasserkraftangebots, und mit einer Flotte von batteriebetriebenen LHD-Betriebsmitteln.

Ähnliches planen auch einige Nickelgruben in Kanada. Ein Beispiel ist Canada Nickel mit seinem Crawford-Tagebau. Dieses Projekt könnte CO₂-Emissionen von 2,05 t/t Ni erreichen, was 93% un-

6.8 Further activities

In northern Norway, deep inside the Arctic circle, Nussir ASA aims to become the world's first zero-carbon copper mining operation. The project is to become a fully electrified mine centred on its use of Norway's abundant hydroelectric power, as well as a fleet of battery-powered heavy machinery.

Several Canadian nickel mines are aiming to have a net zero carbon footprint in their operations. As an example, Canada Nickel is aiming to have a net zero carbon footprint in its Crawford operations. This project could reach CO₂-emissions of 2.05 t/t Ni, 93% below the industry average of 29 t CO₂/t Ni. This does not include the carbon offsets from spontaneous mineral carbonation. The number reflects the low strip ratio and the utilization of hydroelectricity as well as the use of trolley trucks and electric shovels to reduce diesel fuel consumption. The tailings and waste rock at its Crawford project are spontaneously and permanently capturing CO₂ when exposed to the atmosphere for a certain time. Serpentine, olivine and brucite (as the most reactive mineral) are responsible for the reaction. The future aim for Canada Nickel is to declare Crawford as a carbon neutral mine by offsetting its emissions.

Like Crawford, other projects in the area are targeting similar schemes to permanently sequester CO₂ such as Giga Metals at its Turnagain project in British-Columbia. This mine claims to become the world's first carbon-free nickel producer. The operations will be powered by hydroelectricity and will employ passive carbon sequestration in the tailings to balance emissions generated from mining equipment. The silicate tailings minerals will be converted to carbonate minerals, locking away the CO₂ for geological time periods. The operation shall have a CFP of 2.24 t CO₂/t Ni using the diesel trucks but even less than 0.75 t CO₂/t Ni by using an electric haul fleet. After sequestration the resulting carbon footprint is -0.03 t CO₂/t Ni.

Mining projects with access to hydro-electric energy are in the best position to reduce CFP. They are mostly located in the northern regions of America, Europe and Asia but also in the water-rich tropical areas of Africa and South-America.

7 Recycling

Recycling will be critical for a sustainable future supply with technology minerals, especially in the automotive sector. Current recycling methods for lithium-ion batteries involve shredding or burning the batteries, then using acid to leach out the valuable materials from a "black mass". Again, most of the battery recycling capacities are located in China because the processes are energyintensive. And normally it is a dirty business as well, but there are cleaner solutions available which are expensive and only economic if the market is sustainable.

The US federal government plans to build out domestic recycling capacities while the European Commission has proposed each new battery in 2030 should source 4% of its lithium, 12% of its cobalt, and 4% of its nickel from recycled sources. Those figures are linked to proposed requirements to recycle 70% of the lithium and 95% each of the cobalt, nickel and copper at the end of the battery's lifetime (Figure 10).

However, there are still some uncertainties about setting targets ten years in the future. Battery technology changes frequently, and in 2030, the recycled materials from 1.5 Mt of then

ter dem Durchschnittswert der globalen Nickelproduktion von 29 t CO₂/t Ni läge. Der gute Wert reflektiert auch hier den Einsatz von hydraulisch erzeugtem Strom und den elektrisch betriebenen Baggern und SKW, aber auch einen niedrigen Abraumanteil. Es kommt aber noch besser, denn die "carbon offsets", also CO₂-Ausgleiche durch natürliche Karbonisierung von Grubenschlämmen, sind in dem Emissionswert nicht berücksichtigt. Die Tailings und der Abraum reagieren spontan und permanent mit dem CO₂ in der Atmosphäre und bilden stabile feste Verbindungen, wobei Serpentine, Olivine und das Brucit (als reaktivstes Material) für diese chemische Reaktion verantwortlich sind. Canada Nickel will deshalb mit Recht den Crawford-Betrieb als emissionslos deklarieren.

Neben Crawford gibt es in Kanada weitere ähnliche Nickelprojekte, die nachhaltige Sequestrierung (über geologische Zeiträume) von CO₂ anstreben. Eines dieser Bergwerke ist Turnagain von Giga Metals in British-Columbia. Dieses Bergwerk wurde bereits als erstes karbonfreies Nickelbergwerk deklariert. Nachdem mit dem Gebrauch von Diesel angetriebenen SKW ein CFP von 2,24 t CO₂/t Ni üblich war, verringerte sich der Wert auf weniger als 0,75 t CO₂/t Ni durch den Einsatz einer elektrischen SKW-Flotte. Unter Einbezug der Sequestrierung ergab sich schließlich ein negativer CFP-Wert von -0,03 t CO₂/t Ni.

Generell gesehen sind damit Bergbau- und Hüttenbetriebe mit ganzjährigem Zugriff auf in jeder Hinsicht saubere Wasserenergie in der besten Position, den CFP zu reduzieren oder sogar zu eliminieren. Solche Gewinner der Energiewende befinden sich in den nördlichen Regionen von Amerika, Europa und Asien, aber auch in wasserreichen tropischen Zonen von Afrika und Südamerika.

7 Recycling

Recycling ist für eine zukünftige und nachhaltige Versorgung mit Technologie-Rohstoffen unerlässlich, was insbesondere für die weitere Entwicklung der Elektromobilität gilt. Heute übliche Recycling-Methoden von LIB bedeuten das Schreddern und Verbrennen von gebrauchten Batterien, bevor die schwarze Masse dann mit Säuren gelaugt wird. Diese Prozesse sind auch sehr energieintensiv und finden deshalb meist in China statt. Es ist also zurzeit noch ein schmutziges Geschäft, aber es gibt in der Zwischenzeit auch saubere Verfahren, die aber teurer und für die Betreiber nur dann wirtschaftlich sein werden, wenn der Recyclingmarkt sich als nachhaltig erweist.

Die US-Regierung plant nun selbst eigene amerikanische Anlagen. Die EU will durchsetzen, dass ab 2030 jede neue Batterie 4% des Lithiums, 12% des Kobalts und 4% des Nickels aus Recycling enthalten muss. Diese Zahlen sind mit den weiteren Vorgaben verbunden, dass nach dem Erreichen der Lebensdauer einer Batterie, 70% des Lithiums und 95% der enthaltenen Kobalt-, Nickel- und Kupfermengen wiederverwendet werden müssen (Bild 10).

Es gibt aber dennoch Unsicherheiten für die Industrie mit solchen Forderungen für längere Zeiträume, da sich die Batterietechnologie ändern wird und neue Kompositionen an Mineralen das Potential zur Wiedernutzung verringern könnte. So wurde zunächst vermehrter Nickeleinsatz anstelle von Kobalt propagiert, nun aber auch Nickel verdrängt. Auch könnte die nächste Batteriegeneration aus Feststoffbatterien bestehen, was wiederum diesen Markt beeinflussen kann.

usual EV-battery-cells at the end of their lifetime may not match the materials needed. Just during the last five years, several different kinds of batteries have held the title of “cutting-edge”. Nickel, e.g., was an important metal to replace cobalt a few years ago, but now companies are already planning to get rid of nickel as well. The recycled content targets for cobalt, which has been rapidly phased out, may be easy to reach, but up-and-coming batteries may struggle to find the recycled materials they need. Next-generation batteries like solid-state i.e., which use more lithium, may hit the market. As a result of this mismatch, there are worries that recycled content requirements may actually work to limit battery production. Some battery recycling research is needed and international regulations to incentivise investments in innovation as well, as the players cannot expect technology to stay static for future years.

The more batteries in circulation, the more efficient current processes will be and batteries for grid storage have the potential to greatly extend the value of materials. Recycling of used batteries can reduce the CFP of battery minerals by a minimum of 25% compared to fresh material input but critical waste has to be disposed. BASF claims to have developed an efficient new process with high yields and low fall off at reduced CO₂ emissions. But there are other processes under development offered by diverse companies worldwide which could help to make the free world independent from China.

8 Conclusion

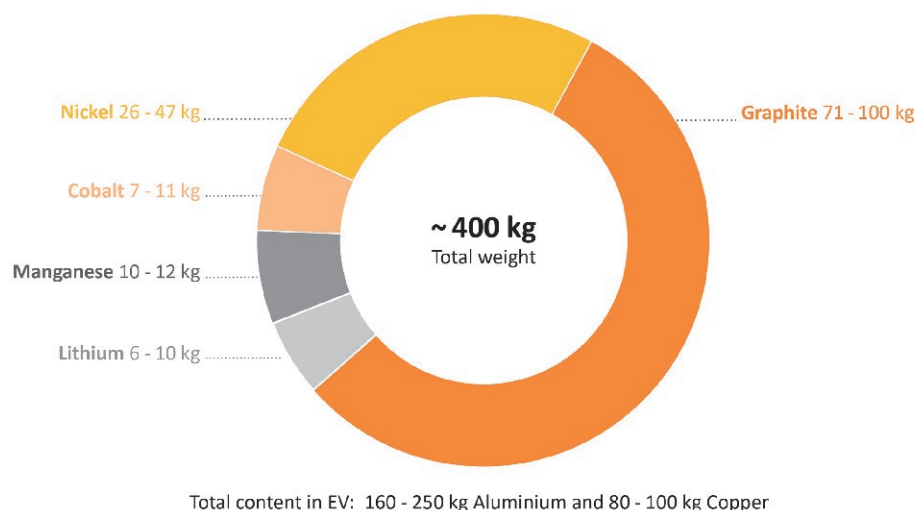
The path to net zero has become the new normal in the resources industry. There is an increased focus on carbon emissions besides other ESG issues which will likely have a long-lasting fundamental impact on the commodity markets. Metals and mining are responsible for 10% of total climate change impacts, according to the UN Environment Program. This industry is still falling short on cutting greenhouse-gas emissions enough to limit global warming, even after stepping up efforts to help combat climate change. The Aluminium producers face the highest risks due to their carbon-intensive operations. They will need to reduce about half of their emissions until 2030, compared to the 20% cutback needed by other diversified and precious metals miners, especially graphite producers and laterite nickel refiners.

All information derived from the author's data archive. Please contact him by email (Munich.Mining@gmail.com).

Author / Autor

Dr.-Ing. Frank Leschhorn, Independent Consultant and Expert in Mining and Resources Industries, Munich Mining International (MMI), Munich/Germany and Brisbane/Australia

A usual LIB with 50-60 kWh capacity contains:



Source: ADAC, Volkswagen, FL

Fig. 10. Minerals recycling from a lithium-ion battery.
Bild 10. Rohstoff-Recycling einer Lithium-ion Battery.

Je mehr Batterien sich in der Kreislaufwirtschaft befinden, umso mehr werden die Prozesse effizient und wirtschaftlich. Auch werden die Batterien für die Stromnetzabsicherung den Wiedernutzungswert der Minerale erhöhen. Recycling verringert den CFP der Batteriemerale mindestens um 25% im Vergleich zur Nutzung frischen Materials und verringert die Abfallmengen bei der Primärproduktion. BASF glaubt einen effizienten Prozess entwickelt zu haben, der ein hohes Ausbringen bei geringer Abfallmenge verspricht und darüber hinaus die CO₂-Emissionen niedrig hält. Viele Firmen weltweit bieten andere Prozesse an, die alle dieser Problemlösung dienen und uns von China unabhängig machen.

8 Zusammenfassung

Der Weg zur Klimaneutralität ist zum neuen “Business” der Rohstoffindustrie geworden. Es besteht ein wachsendes Augenmerk auf die Treibhausgasemissionen neben den anderen ESG-Zielen, die alle einen bedeutenden und anhaltenden Einfluss auf die Rohstoffmärkte haben werden. Der Bergbau und die Verhüttung seiner Produkte ist nach Erkenntnissen des UN-Umweltprogramms für 10% des weltweiten Klimawandels verantwortlich. Diese Industrien stehen noch am Beginn der notwendigen Aktionen zur Reduzierung von GHG-Emissionen, aber sie zeigen schon vielversprechende Ansätze, den Klimawandel aufzuhalten. Die Aluminiumproduzenten tragen dabei das höchste Risiko wegen ihrer CO₂-intensiven Produktionsverfahren und stehen in der Pflicht, ihre Emissionen bis 2030 zu halbieren, wobei die anderen Hersteller von Rohstoffen, insbesondere bei Grafit und lateritischem Nickel, für die Energiewende zumindest um 20% reduzieren müssen.

Alle Informationen entstammen dem Datenarchiv des Autors. Anfragen bitte per E-Mail (Munich.Mining@gmail.com).