

# Nickel

Informationen zur Nachhaltigkeit



29

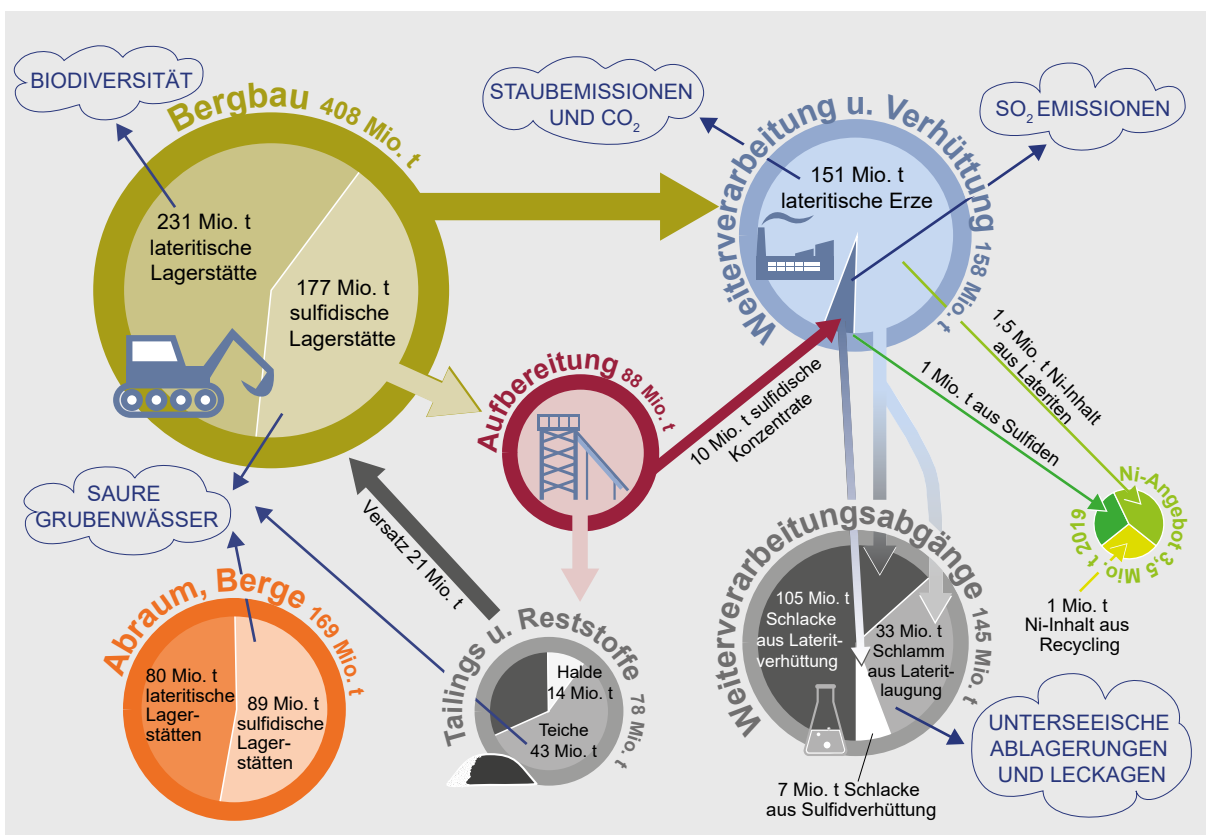
58,693

**Ni**

Nickel



## AUF EINEN BLICK



**Abb. 1:** Abschätzung der Massenströme 2019 sowie damit verbundener Umweltaspekte bei der Gewinnung und Weiterverarbeitung von Nickel (BGR 2021).

- Für Nickel wird eine Zunahme des Bedarfs für die Edelstahlindustrie aber auch vor allem für die Batterieherstellung erwartet, was auch mit zunehmenden Auswirkungen auf die Umwelt verbunden ist. Die Zunahme des Erz-Abraumverhältnisses bei dem Abbau lateritischer Lagerstätten in den letzten 30 Jahren von 1,3 auf derzeit rd. 2 (Abb. 1) zeigt aber auch eine bessere Nutzung der Lagerstätten.
- Wichtigstes Abbauland ist Indonesien gefolgt von den Philippinen, der Russischen Föderation, Neukaledonien, Kanada, Australien und China.
- Rund 70 % der weltweiten Produktion von Primärnickel stammten 2019 aus lateritischen, rund 30 % aus sulfidischen Lagerstätten.
- Lateritische Lagerstätten liegen zum großen Teil in den Tropen und Subtropen, ihr Abbau ist mit einem großen Flächenbedarf und entsprechenden Auswirkungen auf Waldgebiete und Biodiversität verbunden. Auch Konflikte mit der indigenen Bevölkerung sind teilweise dokumentiert. Es wird erwartet, dass der Nickelanteil aus Lateriten zukünftig noch weiter steigen wird.
- Während Schwefelemissionen in den letzten Jahren stark reduziert werden konnten, so ist die pyrometallurgische Weiterverarbeitung noch mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden.
- Bei der Aufbereitung von sulfidischem Erz fallen Flotationsabgänge (Tailings) an. Viele der alten Dämme (industrielle Nickelgewinnung gibt es seit mehr als 100 Jahren) sind aus heutiger Sicht technisch unzulänglich konstruiert und werden als risikobehaftet eingestuft.

### INHALT

1	Relevanz von Nickel	3
2	Von der Lagerstätte zum Metall	3
3	Recycling	9
4	Nachhaltigkeitsaspekte des Bergbaus	9
5	Nachhaltigkeitsaspekte der Weiterverarbeitung	14
6	Quellennachweis	17

## 1 RELEVANZ VON NICKEL

Das Metall Nickel (Ni) wird traditionell für die Stahlveredelung eingesetzt und ist u. a. auch für zahlreiche Hightech-Industrien von besonderer Bedeutung. Mit Nickel legierte Stähle und Nickellegierungen zeichnen sich durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit, Warmfestigkeit und eine gute Verformbarkeit aus. Die Edelstahlproduktion und die Produktion von Legierungen mit hohem Nickelgehalt machten 2019 rund 86 % der Erstanwendungen von Nickel aus. Die Oberflächenveredelung durch galvanische Nickelplattierung, ein weiteres Anwendungsfeld, hatte einen Anteil von rund 6 % an der globalen Nickelnachfrage, gefolgt von der Gussindustrie und sonstigen Verwendungen mit zusammen rund 2 %. Der Einsatz von Nickel in Batterien war mit rund 5 % des Nickelangebots noch relativ gering (SZURLIES 2021). Allerdings werden für dieses Segment zukünftig die mit Abstand stärksten Nachfragesteigerungen erwartet, da sich die Kathoden der Lithium-Ionen-Batterien zuletzt zur Erhöhung der Zellkapazität hin zu nickelreicheren Varianten entwickelt haben. Im Jahr 2030 sollen bereits mehr als 25 % des globalen Nickelbedarfs, der zu diesem Zeitpunkt auf jährlich etwa 4 Mio. t Nickel geschätzt wird, alleine für die Batterieherstellung verwendet werden (FRASER et al. 2021). Dies entspricht fast der Hälfte der primären Nickelproduktion des Jahres 2019.

Bei der Produktion der nichtrostenden Stähle werden neben hochreinem Nickelmetall ( $\geq 99,8$  % Nickelinhalt, sog. Class-I-Nickel) vor allem Ferronickel (20 – 40 % Nickelinhalt) und zunehmend Nickelroheisen (5 – 15 %

Nickelinhalt) als Ausgangsstoffe eingesetzt. Letztere werden auch als Class-II-Nickel bezeichnet. Hochreines Nickelmetall wird neben der Edelstahlindustrie vor allem zur Herstellung von Nickellegierungen und in der Gussindustrie eingesetzt. Nickelchemikalien (vor allem Nickelsulfat) werden für die galvanische Oberflächenveredelung und zunehmend für die Batterieherstellung verwendet.

Zwar ist Nickel mit einem Anteil von rund 1,7 % das fünfthäufigste Element der Erde, es zählt aber an der Erdoberfläche zu den eher seltenen Metallen. Unter Normalbedingungen ist der überwiegende Teil des Nickels im Boden an Eisen- und Manganminerale gebunden. Für Pflanzen und Mikroorganismen ist Nickel ein essenzielles Spurenelement. Nickel besitzt jedoch auch toxische Eigenschaften und kann bei Menschen zu Kontaktallergien führen. Das Einatmen von anorganischen Nickelverbindungen kann zu Lungenkarzinomen führen. Im Tierexperiment wurden außerdem reproduktionstoxische und teratogene (fehlbildende) Wirkungen von Nickelverbindungen nachgewiesen. Nickel und seine Verbindungen sind für aquatische Organismen toxisch, wobei die Toxizität zwischen den einzelnen Arten deutlich schwankt (UMWELTBUNDESAMT 2021).

## 2 VON DER LAGERSTÄTTE ZUM METALL

Die Gewinnung von Nickel erfolgt über unterschiedliche Herstellungswege (Abb. 2). Für die Auswahl der jeweili-

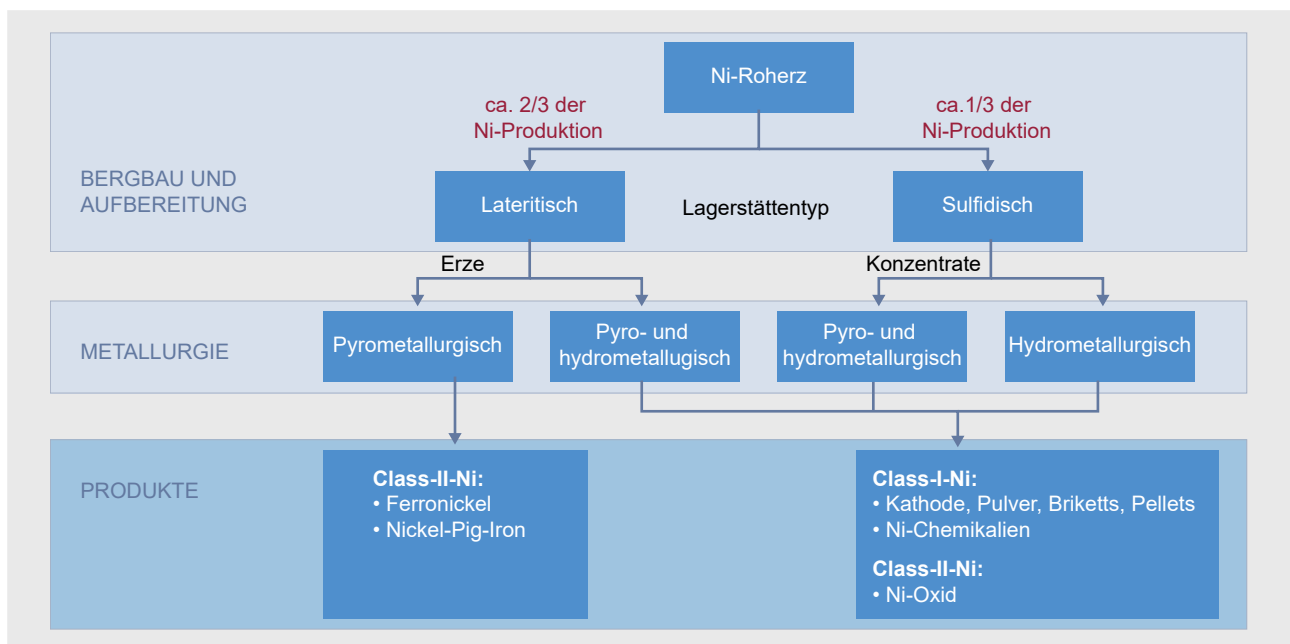


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der Prozesse zur Erzeugung von Nickelprodukten.

gen Route spielen zum einen die Mineralogie der Ausgangserze und zum anderen die Marktanforderungen eine entscheidende Rolle

## 2.1 Geologie

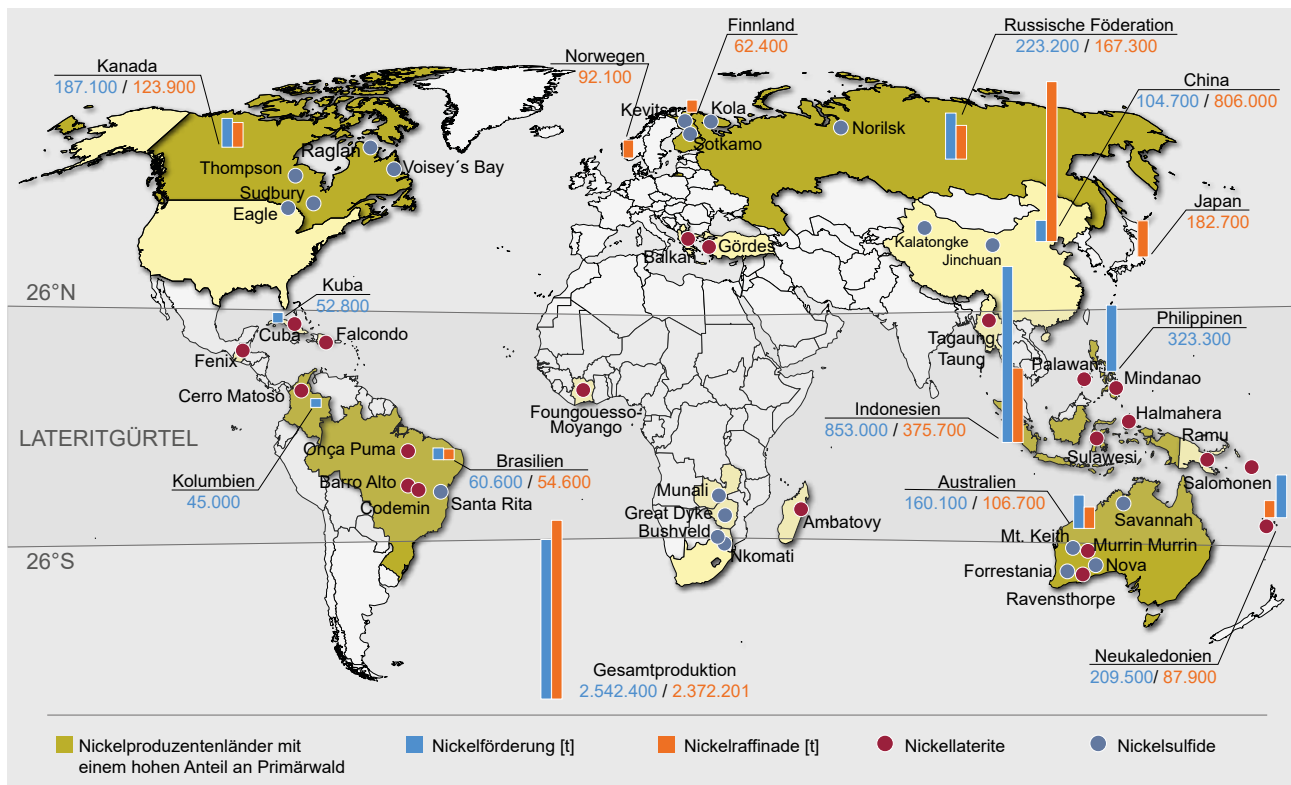
Terrestrische Nickellagerstätten werden entsprechend ihrer Entstehung in zwei Gruppen eingeteilt: a) sulfidische Lagerstätten, die einen magmatischen oder sedimentären Ursprung haben und in ihren Erzen **sulfidische** Nickelminerale enthalten sowie b) **lateritische** Lagerstätten, die aus der Verwitterung von nickelhaltigen Ausgangsgesteinen wie z. B. Peridotit entstanden sind und silikatische sowie oxidische Minerale häufig in Verbindung mit Eisen enthalten. Aufgrund ihrer Entstehung sind die lateritischen Lagerstätten an die tropischen und subtropischen Klimazonen gebunden. Geologisch deutlich ältere Nickellateritlagerstätten sind auch aus höheren Breitengraden bekannt, z. B. aus dem Südrural (Russische Föderation), Albanien und Griechenland (Abb. 3).

Die verschiedenen Erztypen enthalten unterschiedliche Minerale und erfordern daher unterschiedliche Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsverfahren. Die Hauptminerale in sulfidischen Nickelerzen sind Pentlandit ((Fe,Ni)S) und Ni-führender Pyrrhotin (FeS), der

im Erz oft vergesellschaftet mit Kupferkies ( $\text{CuFeS}_2$ ) vorkommt. Bei den Lateriten ist der Hauptteil des Nickels an Ni-Hydrasilikate (z. B. Garnierit und Nontronit) und bei den oxidischen Erzen an hydratisierte Eisenoxide (z. B. Goethit) gebunden.

Vielfach kommen die sulfidischen Lagerstätten als linsenförmige, gangartige oder großvolumig-unregelmäßige Körper in der Erdkruste – häufig auch mit großer Tiefenerstreckung – vor und enthalten zwischen 0,2 % und über 5 % Nickel, im Durchschnitt aber etwa 1,5 % Nickel. Oft ist auch Kupfer enthalten (0,3 – 3 % Cu), das als Beiprodukt der Nickelerzeugung mitgewonnen wird. Außerdem sind diese Ni-Erze häufig reich an Platingruppenmetallen (PGMs), Gold, Silber sowie Kobalt, die zum Wert des Erzes in erheblichem Maß beitragen können. Die sedimentären Nickelsulfide in Sotkamo (Finnland) führen auch Zink und Uran.

Die Nickellaterite bilden großflächige, aber relativ geringmächtige Lagerstätten an oder in der Nähe der Erdoberfläche. Sie haben typischerweise einen geschichteten geologischen Aufbau. Auf eine eisenhaltige Kruste an der Oberfläche folgen Schichten mit unterschiedlichem Nickelgehalt, die, um derzeit wirtschaftlich nutzbar zu sein, mehr als 0,8 % Ni enthalten sollten (Abb. 4).



**Abb. 3:** Die derzeit wichtigsten Lagerstätten und Bergbauländer zur Gewinnung von Nickel, die Produktion der zehn größten Förder- und Produzentenländer sowie Länder mit hohem Anteil am Nickelbergbau (gelb) (nach SZURLIES 2021) und an Primärwäldern (olivfarben) (nach WORLD BANK GROUP: Forest-Smart Mining 2019).

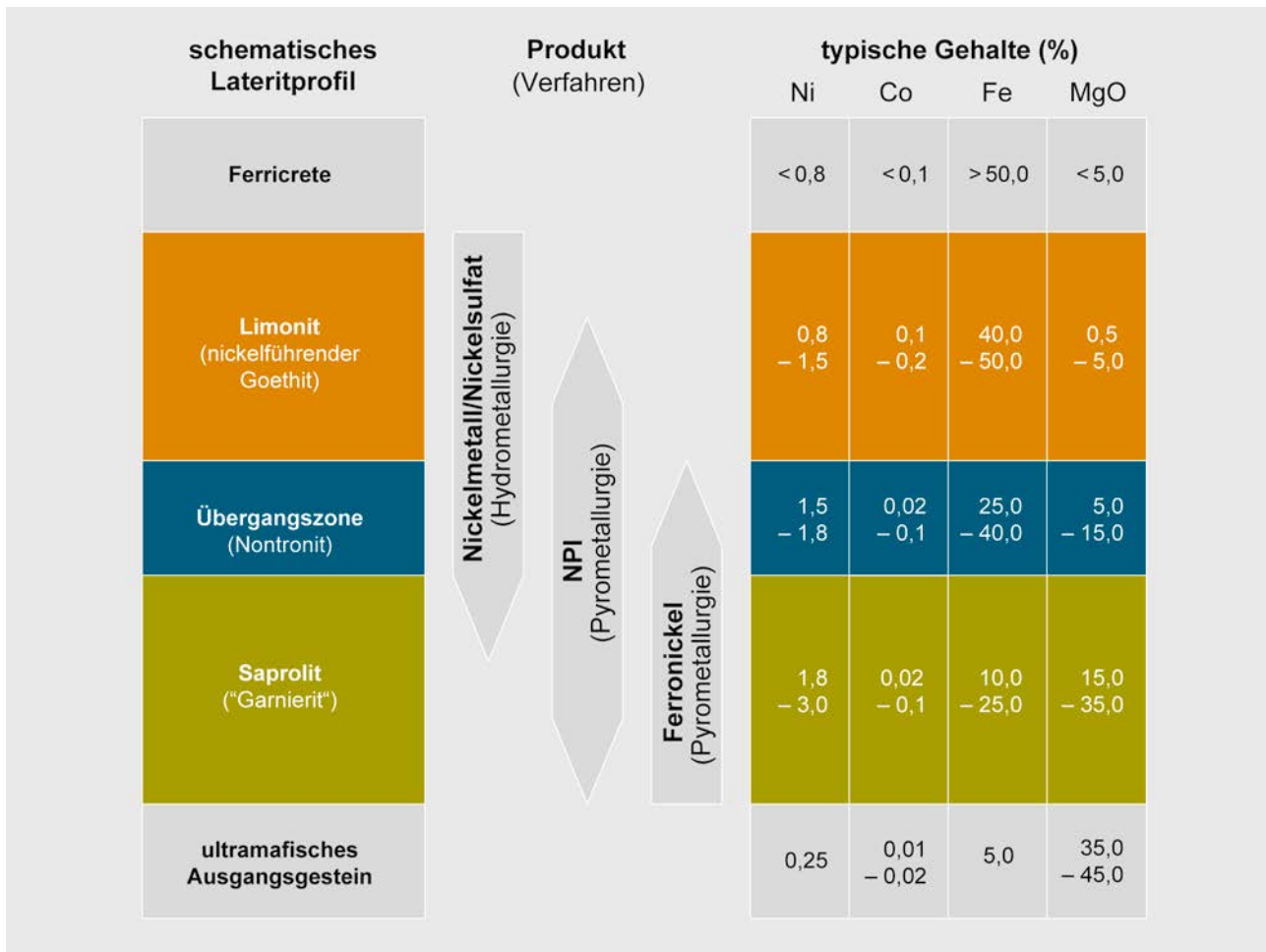


Abb. 4: Typische Schichtenfolge in einer lateritischen Nickellagerstätte, sowie Verwendbarkeit der nickelhaltigen Bereiche (SZURLIES 2021).

Die jeweiligen Schichten des Lateritprofils unterscheiden sich im Normalfall in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und den Metallgehalten sehr stark, wobei der Eisen- und Magnesiumgehalt des Erzes entscheidend ist für das Verfahren der Weiterverarbeitung (hohe Magnesium- und niedrige Eisengehalte eignen sich eher für den pyrometallurgischen Prozess). In Abhängigkeit vom Nickelgehalt und der jeweils vorgesehenen Weiterverarbeitungsrouten wird die Lagerstätte in Abraum und Erz eingeteilt.

Die weltweiten Reserven für Nickel liegen nach Angaben des USGS (2020) bei ca. 89 Mio. t Ni-Inhalt und die Ressourcen bei rund 130 Mio. t. Davon kommen geschätzt rund 60 % des gewinnbaren Nickels in lateritischen und 40 % in sulfidischen Lagerstätten vor (USGS 2021).

Nickelvorkommen, die bisher noch nicht genutzt, aber im Hinblick auf eine zukünftige Gewinnung derzeit untersucht und exploriert werden, sind die Manganknollen und -krusten in der Tiefsee. Diese enthalten neben Nickel auch Kupfer, Kobalt und Mangan. Allein aus den

Manganknollen der bereits in Erkundung stehenden Clarion-Clipperton-Zone sollen rund 274 Mio. t Nickel gewinnbar sein (HAUGAN & LEVIN 2019).

## 2.2 Bergbau und Aufbereitung

Die Weltbergbauproduktion an Nickel betrug 2019 rund 2,54 Mio. t (BGR 2021). In den beiden größten Förderländern Indonesien und den Philippinen sowie in Neukaledonien wird Nickel ausschließlich aus Lateriterzen gewonnen. In Australien erfolgte die Förderung mehrheitlich aus sulfidischen Erzen und in Kanada und der Russischen Föderation wurden nur sulfidische Nickel-erze gefördert (SZURLIES 2021).

### Gewinnung aus lateritischen Nickellagerstätten

Lateritische Nickellagerstätten werden bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Agios Ioannis des Unternehmens LARCO in Griechenland) immer im Tagebau abgebaut. Dabei werden Teufen von bis zu 70 m erreicht. Typische Erz/Abraum-Verhältnisse lagen in den 1990er Jahren bei Werten von 1 : 0,5 bis zu 1 : 3 (durchschnittlich

weniger als 1 : 1) und sind somit im Vergleich mit anderen Metallerzvorkommen, die im Tagebau gewonnen werden, relativ niedrig, d.h. es fällt vergleichsweise wenig Abraum an. Heutzutage hat sich das Erz/-Abraum-Verhältnis wieder erhöht, da die Limonite, die früher als Abraum galten, nun häufig als Erz genutzt werden (HILBRANS & HINRICHS 1999).

Da der Abraum der Lagerstätte und das Erz selbst in der Regel nicht stark verfestigt sind, können diese direkt ohne Auflockerungssprengungen mit Seil- oder Hydraulikbaggern auf Kipplaster geladen werden, die den Weitertransport zur Abraumhalde bzw. zum Erzlager übernehmen. Die wirtschaftlich gewinnbaren Lagerstättenteile sind nicht nur in ihren Mächtigkeiten, sondern auch in den Nickelgehalten sehr variabel, was einen stark selektiven Abbau erforderlich macht. Die Förderung eines lateritischen Nickelbergwerks mit anschließender Weiterverarbeitung kann bei jährlich mehr als 5 Mio. t Erz im Jahr liegen. Das Erz für die zentrale Weiterverarbeitung stammt oft aus mehreren gleichzeitig betriebenen Tagebauen oder Abbaustellen innerhalb eines Bergwerks, wodurch die Homogenität der Anlagenbeschickung gewährleistet wird.

Bei den lateritischen Erzen findet keine wesentliche Aufbereitung statt, da die silikatischen und oxidischen Nickelminerale sich nicht wirtschaftlich von den Gangmineralen trennen lassen bzw. Nickel und Kobalt im Kristallgitter der Eisenminerale eingebaut sind. Es findet daher meistens nur eine Absiebung der nickelarmen Härtlinge aus dem Grubenerz statt, wodurch der Gehalt der Anlagenbeschickung auf max. 2 % Nickel angehoben wird. Reiche Lateriterze haben einen Nickelinhalt von mehr als 2 %. Im Vergleich hierzu beträgt der Nickelgehalt des Konzentrats nach der Anreicherung von sulfidischen Erzen typischer Weise das 5- bis 10-fache des ursprünglichen Nickelgehalts im Grubenerz, also rund 10 %.

### **Gewinnung sulfidischer Nickellagerstätten**

Sulfidische Festgesteinslagerstätten können sowohl im Tagebau als auch im Tiefbau gewonnen werden. Zu ca. 80 % stammt das sulfidische Erz allerdings aus Tiefbaubetrieben. Tiefbaubetriebe gibt es derzeit vor allem in Kanada, in der Russischen Föderation, in China, in den USA sowie im südlichen Afrika. In Australien, im südlichen Afrika, in Finnland und in Kanada werden sulfidische Nickellagerstätten sowohl im Tiefbau als auch im Tagebau gewonnen. Eine Gewinnung im Tagebau erfolgt in Brasilien.

Die übertägig gewonnenen sulfidischen Nickelerze werden in unterschiedlich großen Tagebauen abgebaut.

Der Nickeltagebau Kevitsa in Finnland zum Beispiel besitzt einem Böschungswinkel von 45° und die geplante maximale Teufe beträgt 500 m. Das durchschnittliche Erz zu Abraumverhältnis über die Lebensdauer von Kevitsa wird 1 : 3 betragen und ist in der Regel niedriger als im Lateriterzbergbau. Der Abraum über dem Erzkörper wird getrennt gewonnen und in Halden außerhalb des Tagebaus gelagert. Erze, die im Tagebau gewinnbar sind, haben in der Regel geringere Metallgehalte (zusammen durchschnittlich 0,5 % Ni und Cu) als die bauwürdigen Erze aus Tiefbaubetrieben (zusammen durchschnittlich etwa 2 % Ni und Cu).

Das sulfidische Grubenerz wird zu Konzentraten mit Gehalten zwischen 8 % und 25 % Ni (durchschnittlich etwa 10 % Ni) angereichert. Das übliche Sortierverfahren ist die Flotation, häufig auch in Verbindung mit einem Magnetscheider, der zum Aushalten des nickelarmen Pyrrhotin eingesetzt wird. Die erzielbaren Metallausbringungen von Nickel und Kupfer bei der Aufbereitung der Erze sind abhängig von Faktoren wie Wertstoffgehalt in der Aufgabe, der mineralogischen Zusammensetzung und dem Grad der Verwachsung im Erz sowie der Effizienz des gewählten Aufbereitungsprozesses. Sie variieren zwischen 60 % und 95 % für Nickel und zwischen 74 % und 96 % für das mitproduzierte Kupfer. Die Nickelkonzentrate gehen an eine Nickelhütte und die Kupferkonzentrate an eine Kupferhütte. Häufig enthalten die Konzentrate neben den Hauptelementen noch andere wertvolle Bestandteile, wie zum Beispiel Platingruppenmetalle, Gold, Silber und Kobalt, die im Hüttenprozess mitproduziert werden können. Die Verhüttung und Raffination der Konzentrate bzw. Erze ist nicht an den Ort der Gewinnung gebunden und kann weltweit erfolgen, da der hohe Wert des Konzentrats auch längere Transportwege erlaubt.

## **2.3 Weiterverarbeitung**

Bei der Weiterverarbeitung von Nickelerzen und Konzentraten werden unterschiedliche Nickelprodukte hergestellt. Im Jahr 2019 wurden rund 2,38 Mio. t Nickelraffinate produziert. Ferronickel wird vor allem in Neukaledonien gefolgt von Brasilien und Japan produziert (BGR 2021).

Charakteristisch für die Nickelherstellung ist die Vielzahl der angewandten Verfahren und deren Varianten, die in der Weiterverarbeitung der Erze und Konzentrate eingesetzt werden. Grund dafür sind neben den unterschiedlichen Grundeigenschaften der Erze und Erzkonzentrate auch der lokal verfügbare Energiemix sowie die lokalen Umweltauflagen.

## Sulfidische Erze und Konzentrate

Bei den sulfidischen Erzen und Konzentraten dienen die ersten metallurgischen Verfahrensschritte der stufenweisen Abtrennung des Schwefels und ggf. dessen Nutzung als Industriechemikalie. Falls eine Nutzung der schwefelhaltigen Abgase aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich sein sollte, muss entweder das SO<sub>2</sub> im Abgasstrom in die Atmosphäre emittiert oder chemisch gebunden werden, wobei ein zu deponierender Reststoff anfällt.

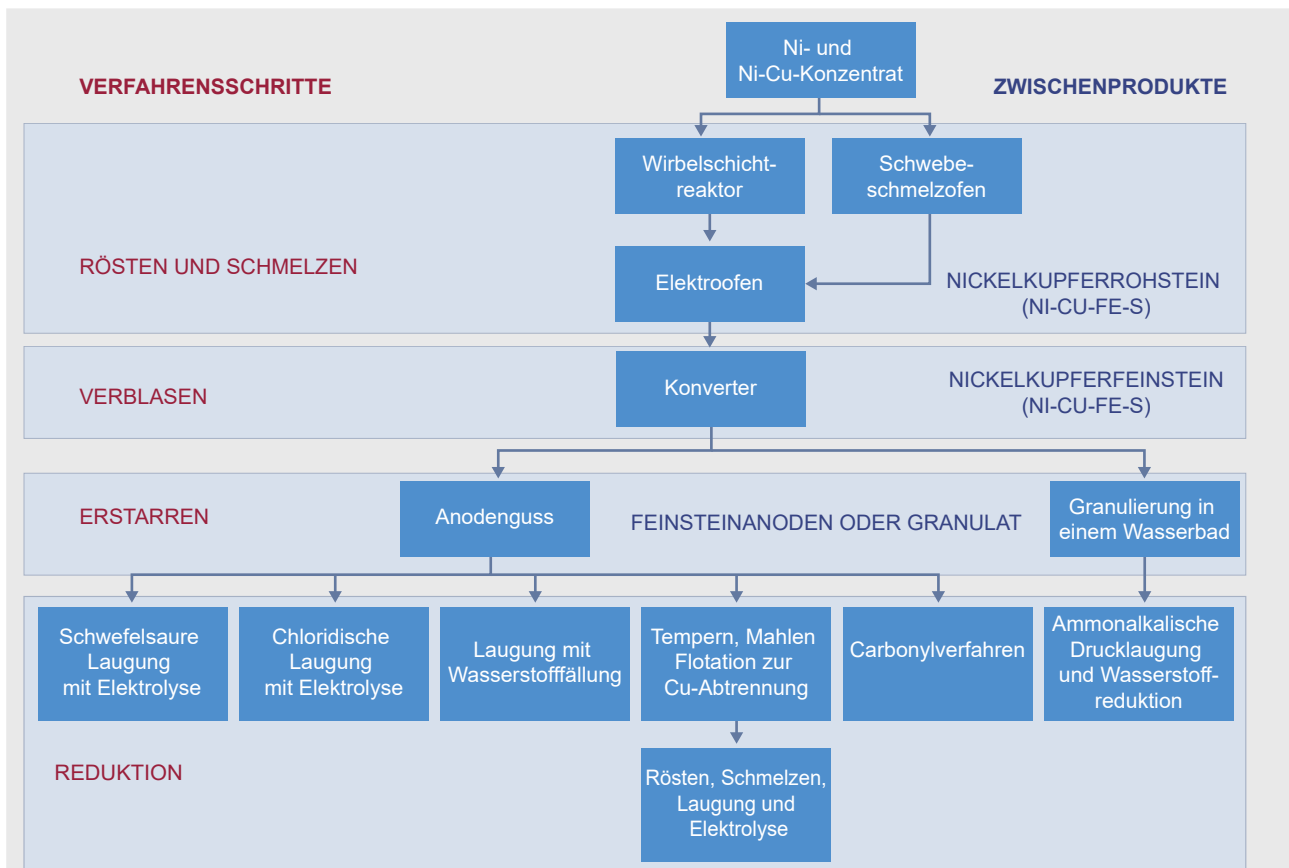
Energiewirtschaftlich vorteilhaft bei sulfidischen Konzentraten ist die Nutzung des Eisens und Schwefels als Energieträger bei der Verhüttung. Typische Verfahrenswege sind in Abbildung 5 dargestellt. Für reines Nickelkonzentrat beginnt er mit dem Rösten des Konzentrats (Best Practice ist in einer Wirbelschicht mit sauerstoffangereicherter Luft) und dem Erschmelzen des Rohsteins (FeNiS) in einem Elektroofen. Der dabei entstandene Rohstein (auch Matte genannt) mit bis zu 45 % Ni (die restlichen Bestandteile sind S, Fe und andere Begleitmetalle) wird danach in einem Konverter mit Sauerstoff zu Feinstein verblasen. Der flüssige Feinstein wird entweder in Anodenformen gegossen oder in einem Wasserbad granuliert. Feinstein hat gegenüber dem

Rohstein höhere Nickel- und niedrigere Schwefel- bzw. Eisengehalte (ca. 75 % Ni und 20 % S). Für die Darstellung von reinem Nickel aus Nickelfeinstein werden im industriellen Maßstab hauptsächlich die Reduktions-elektrolyse in einem sauren Elektrolyten oder die mehrstufige Drucklaugung mit Ammoniumsulfat unter Zusatz von Ammoniak und Fällung mit Wasserstoff eingesetzt.

Jedes der in Abbildung 5 aufgeführten Verfahren kann unter Verwendung von „Bester Technologie“ ohne schädliche Emissionen konzipiert und unter größtmöglicher Rohstoffausnutzung betrieben werden.

## Lateritische Erze

Lateritische Nickelerze werden ohne oder nur mit geringer Voranreicherung verhüttet, was einen hohen Energiebedarf verursacht. Dieser beträgt, bezogen auf den Rohstoffeinsatz etwa das Zwei- bis Dreifache dessen, was zur Verhüttung sulfidischer Erze notwendig ist. Grundsätzlich gibt es den pyrometallurgischen und den hydrometallurgischen Verarbeitungsweg für lateritische Nickelerze (Abb. 6). Diese Wege führen auch zur Herstellung unterschiedlicher Produkte.



**Abb. 5:** Wichtige Verfahrensschemata für die Weiterverarbeitung von Ni-haltigen Konzentraten, nach (HILBRANS & HINRICHS 1999).

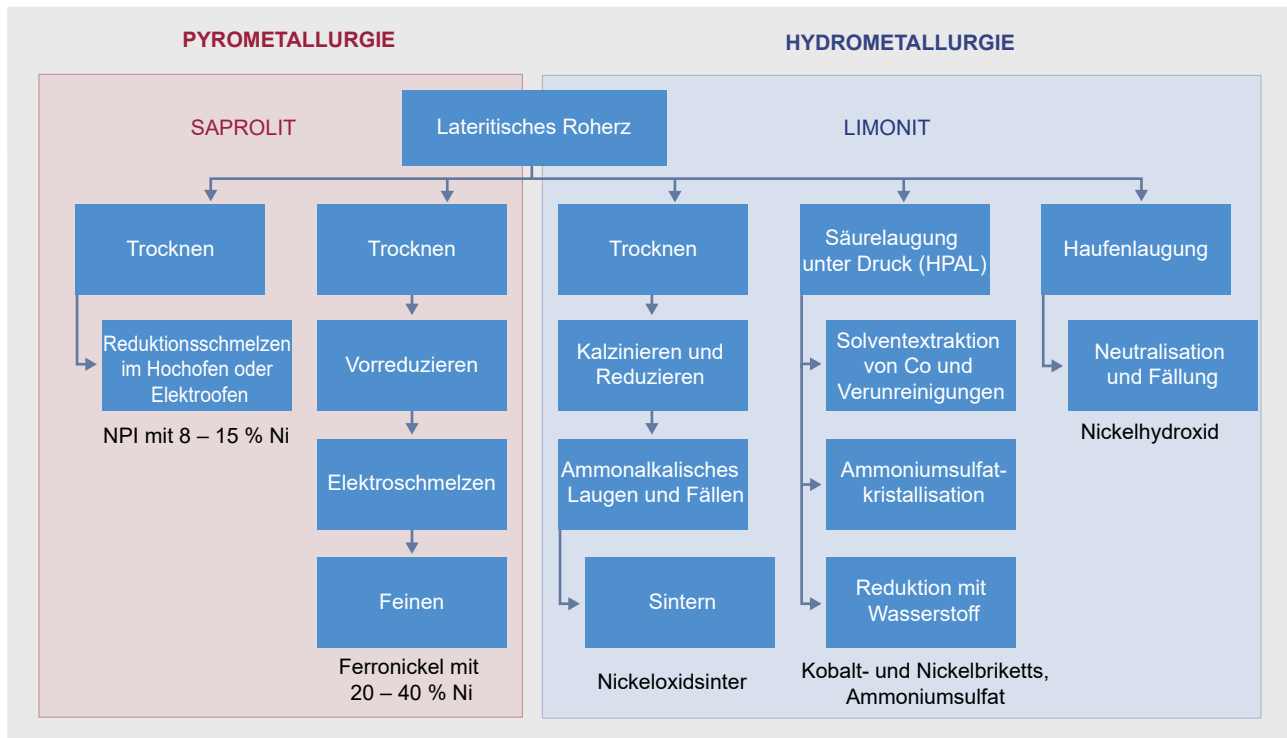


Abb. 6: Wichtige Verfahren zur Weiterverarbeitung von lateritischen Nickelerzen (nach HILBRANS & HINRICHS 1999)

### Pyrometallurgie

Endprodukte der pyrometallurgischen Verarbeitung sind zum einen Ferronickel mit Nickelgehalten zwischen 20 und 40 % sowie sogenanntes Nickelroheisen (NPI, „nickel pig iron“) mit typischen Nickelgehalten von 8 – 12 %. Die Herstellung von NPI hat vor allem in den letzten 15 Jahren stark zugenommen, da NPI vor allem für die Edelstahlherstellung an Bedeutung gewonnen hat.

Für die Reduktion des Nickels und Eisens aus dem oxidischen bzw. silikatischen Erz wird in der Regel ein Elektrofen eingesetzt. Durch reduzierendes Schmelzen im Elektrofen wird Ferronickel produziert, der allerdings noch unerwünschte Beimengungen von Kohlenstoff, Schwefel, Silizium und Phosphor enthält. Beim nachfolgenden sog. „Feinen“ in einem Pfannenofen werde diese Beimengungen weitestgehend entfernt bzw. verschlackt.

### Hydrometallurgie

Generell eignet sich die Laugung wegen der geringen Verfahrenskosten zur Metallgewinnung aus Erzen mit niedrigen Gehalten an Wertmetallen. Das gilt jedoch nur, wenn bereits mit der ersten Laugungsstufe die wirtschaftliche Metallausbeute in der gewonnenen Lösung erreicht wird. Im Fall der limonitischen und nontronitischen Nickellaterite werden Verfahren mit und ohne thermische Vorbehandlung des Erzes eingesetzt. Wegen ihrer ohnehin hohen Grubenfeuchte ist die direkte Laugung dieser Erze attraktiv, da keine Trocknung erfol-

gen muss. Der Prozess, der sich bei der direkten Laugung durchgesetzt hat, ist die schwefelsaure Laugung unter hohem Druck (über 40 bar) und bei hoher Temperatur (>200°C) (HPAL, „high pressure acid leach“). Das metallische Nickel kann aus der Lösung durch eine Solventextraktion mit anschließender Reduktionselektrolyse oder auch mittels Wasserstoffreduktion gewonnen werden, wobei Kathodennickel bzw. Nickelbriketts erzeugt werden (s. Abb. 6). Bei der Laugung ist auch die Gewinnung von Kobalt als Beiprodukt möglich.

Der Vorteil des HPAL-Verfahrens gegenüber anderen Laugungsverfahren besteht darin, dass es hinsichtlich der Schwankungen bei der Erzmineralisation relativ unempfindlich ist und das Ausbringen gleichmäßig hoch bleibt. Der Nachteil ist der hohe Energieaufwand für das Erhitzen und der Materialverschleiß, den heiße Säure an Anlagen und Geräten verursacht. Höhere Energiekosten erfordern zur Kostendeckung höhere Erzgehalte. Höhere Magnesiumgehalte im Erz führen zu einem erhöhten Bedarf an Schwefelsäure.

Ein weiteres Verfahren, das die Pyro- und Hydrometallurgie kombiniert, besteht darin, das Erz vor der eigentlichen Laugung reduzierend thermisch in Drehrohr- oder Etagenöfen vorzubehandeln und danach bei ca. 80°C mit einer Ammoniumcarbonatlösung zu laugen. Das Reduktionsmittel für die thermische Vorbehandlung kann Prozessgas sein. Häufig wird auch Heizöl oder Kohle dem vorgetrockneten Erz beigemischt. Die für den Reduktionsprozess erforderliche Temperatur liegt



bei 700 – 760°C. Als Ergebnis liegen Nickel und Kobalt dann zu rund 85 % metallisch in feiner Verteilung vor und sind daher für die anschließende Laugung zugänglich. Nach der Laugung befinden sich Nickel und Kobalt in der Lösung und der ausgewaschene Rückstand wird letztlich verworfen. Durch Solventextraktion und Fällungsverfahren werden Kobalt und Nickel aus der metallhaltigen Lösung abgetrennt und zu verkaufsfähigen Produkten weiterverarbeitet.

Ein relativ neues hydrometallurgisches Verfahren ist die Haufenlaugung von Nickelerzen. Die Haufenlaugung von Nickellateriten ist hauptsächlich auf tonarme Erze anwendbar, da eine ausreichende Durchlässigkeit im Erzhaufwerk gegeben sein muss. Im Allgemeinen ist dieser Produktionsweg viel kostengünstiger (bis zur Hälfte der Produktionskosten einer HPAL-Laugung), da Erz und Säure nicht erhitzt werden und das Erz nicht unter Druck gelaugt wird. Die Geschwindigkeit der Laugung ist allerdings gegenüber dem HPAL-Verfahren wesentlich langsamer. Sulfidische Erze können auch in Haufen aufgeschüttet und gelaugt werden, wenn das sulfidische Erz mikrobiell vorbehandelt wird. Jedoch ist dieses Verfahren noch nicht weit verbreitet und wird nur in Finnland durch das Unternehmen Terrafame Ltd. angewendet. Das Unternehmen Western Areas Ltd. betreibt in Australien eine Tanklaugungsanlage zur Biolaugung von Rückständen aus der Nickelaufbereitung. Aus technologischer und wirtschaftlicher Sicht sind die Haufenlaugungsprojekte im Vergleich zu den kapitalintensiven Laugungsanlagen weniger riskant, da die erforderlichen Investitionen relativ niedrig gehalten werden können. Aber die Anwendung ist bezüglich des Spektrums der Erztypen, die mit Haufenlaugung behandelt werden können, begrenzt und bei Erzen, die zusätzliche Säureverbraucher enthalten, nicht durchführbar.

## 3 RECYCLING

Produkte aus nickelhaltigen Edelstählen sind für den Langzeitgebrauch ausgelegt. Nickel und nickelhaltige Legierungen können aber auch nach ihrer Nutzung in ihren ursprünglichen metallischen Zustand zurückversetzt oder in eine andere, aber immer noch wertvolle Produktform umgewandelt werden. Beispiele sind nickelhaltiger Edstahlschrott, der in neuen Edelstahl umgewandelt wird, oder Nickel aus recycelten Batterien, das z. B. für nickelhaltigen Edelstahl oder erneut für die Herstellung von Batterien verwendet wird.

Rund 68 % des in den verbrauchten Konsumgütern enthaltenen Nickels wird recycelt und beginnt einen neuen Lebenszyklus (End-of-Life-Recyclingrate im

Referenzjahr 2010, (NICKEL INSTITUTE 2016). Weitere 15 % des Nickelrücklaufs werden in Karbonstählen als Legierungsbestandteile weiterverwendet, allerdings ohne dass dabei das enthaltene Nickel einen funktionellen Nutzen hat (sog. Downcycling). Rund 17 % des Nickels landet jedoch immer noch auf Mülldeponien, hauptsächlich enthalten in ausgedienten metallhaltigen Gütern und Produkten sowie in Elektroaltgeräten. Seit Beginn der Nickelproduktion im 18. Jahrhundert wurden bisher rund 60 Mio. t Nickel produziert. Davon sind noch immer 57 % im produktiven Einsatz (NICKEL INSTITUTE 2016).

Das Nickelangebot aus dem Recycling dient nur untergeordnet der Herstellung neuer Nickelprodukte, wie Nickelmetall und Nickelsulfat. Der weit überwiegende Teil des Sekundärnickels wird direkt als Schrott und Abfall in der Produktion nachgelagerter Produkte (fast ausschließlich nichtrostender Edelstahl) eingesetzt. In den letzten Jahren betrug das Angebot aus Sekundärnickel etwa 1 Mio. t.

## 4 NACHHALTIGKEITSASPEKTE DES BERGBAUS

### 4.1 Umwelt

Die relevanten Umweltaspekte des Nickelbergbaus sind, neben den jeweiligen lokalen Gegebenheiten, vor allem vom Typ des Erzes und von seiner Aufbereitung und Weiterverarbeitung abhängig.

#### *Flächenbedarf und bergbauliche Rückstände*

Sulfidische Lagerstätten werden überwiegend unter Tage abgebaut. Wenn das Vorkommen in der Nähe der Oberfläche liegt, ist auch ein Festgesteinstagebau möglich.

Im untertägigen Nickelbergbau werden in der Regel nur kleinere Bergehalden über Tage angelegt, da zum Teil die untertage anfallenden Auffahrungsberge direkt in die ausgeerzten Abbauräume versetzt werden. Dies spart die Kosten der Hebung zur Tagesoberfläche. Als Versatz unter Tage werden Aufbereitungsabgänge sowie auch Fremdmaterial eingesetzt. Dies entspricht guter Bergbaupraxis, da durch den Versatz der Hohlräume die Stabilität des ganzen Grubengebäudes wesentlich verbessert, die Verdünnung des Erzes bei der Gewinnung sowie die Senkung der Tagesoberfläche über den Gewinnungsräumen reduziert und das Lagerstättenausbringen maximiert wird. Bei Festgesteinstagebauten werden in der Nähe des Tagebaus Abraumhalden an-

gelegt, um wertloses Bergematerial aufzuhalten oder auch wertarmes Erz zwischenzulagern.

Bei den lateritischen Erzen, die im Tagebau gewonnen werden, besteht die größte Herausforderung in der direkten Flächeninanspruchnahme durch die Gewinnung. In der Regel ist eine Rekultivierung oder Renaturierung vorgeschrieben und wird auch, soweit bekannt, durchgeführt. Allerdings sind gerade in tropischen Regionen degradierte und wenig fruchtbare Böden sowie Schadstoffbelastung und Erosion eine Herausforderung für eine Renaturierung. Auch war die fehlende Rekultivierungsverpflichtung in Neukaledonien eine der Ursachen, dass von den Altlastenflächen des historischen Nickelbergbaus, die rd. 20.000 ha ausmachen, bis 2008 weniger als 2 % wieder bepflanzt wurden (FOGLIANI 2014).

Unter der Annahme eines ausbringbaren Nickelgehaltes von 1,5 % und einer mittleren Mächtigkeit der Erzsicht von 10 m werden für die Erzeugung von 1 t Nickelinhalt rund 3 m<sup>2</sup> Landoberfläche zumindest temporär in Anspruch genommen. Bezogen auf den globalen Anteil der Nickelproduktion aus lateritischen Erzen entspräche dies weltweit jährlich einer Gesamtfläche von 4,2 km<sup>2</sup>, in die durch direkte bergbauliche Maßnahmen eingegriffen wird. Durch eine begleitende Wiederverfüllung und Renaturierung der ausgeerzten Bereiche während des Abbaus lässt sich die temporäre Geländeinanspruchnahme durch Abbau und Aufhaltung verringern bzw. kontinuierlich geringhalten.

Ein Vergleich mit der Nickelgewinnung aus sulfidischen Erzen zeigt, dass die Gewinnung von Nickel aus lateritischen Erzen auf den Metallinhalt bezogen mehr als 2,5-mal so flächenintensiv ist.

Die Massenbewegung des gesamten Nickelbergbaus liegt in 2019 bei rund 408 Mio. t (s. Abb. 1). Davon werden 43 % dem Abbau von sulfidischen Erzen und 57 % der Gewinnung von lateritischen Erzen zugeordnet. Das Erz-Abraumverhältnis für sulfidisches Erz beträgt derzeit im Durchschnitt 1 und für lateritisches Erz rund 2. Im Vergleich zu den 1990er Jahren (HILBRANS & HINRICHS 1999) hat sich das Erz-Abraumverhältnis für sulfidisches Erz von 2,1 auf rd. 1 verringert. Ursache für die Verringerung des Erz-Abraumverhältnisses bei den sulfidischen Erzen war die Entwicklung von großen, tiefliegenden Tagebauen mit einer damit verbundenen relativ größeren Abraummenge.

Für lateritisches Erz hat sich das Erz-Abraumverhältnis seit den 1990er Jahren von 1,2 auf 2 erhöht. Ursache ist vermutlich eine bessere Nutzung der Lagerstätten, weil

in der Vergangenheit häufig saprolithische und limonitische Schichten nicht gemeinsam genutzt wurden.

### **Emissionen und Aufbereitungsrückstände**

Der Bergbau der großflächigen und oberflächennahen lateritischen Lagerstätten mit schweren Erdbewegungsgeräten bietet technisch keine großen Herausforderungen für den betrieblichen Umweltschutz hinsichtlich schädlicher Emissionen. Allerdings müssen insbesondere in der Trockenzeit Maßnahmen zur Staubbekämpfung getroffen werden. Eine Aufbereitung der lateritischen Erze findet in der Regel nicht statt oder beschränkt sich auf das Aussieben von Hältlingen, die nur geringe Nickelinhalte aufweisen. Auch hiermit sind keine größeren Emissionen verbunden. Bei der Gewinnung sulfidischer Erze in Tagebauen werden Sprengschwaden produziert sowie Stäube emittiert.

Bei der Aufbereitung von sulfidischem Erz fallen auch Flotationsabgänge (Tailings) an, die ein hohes Säurebildungspotenzial aufweisen können. Es ist mittlerweile gute Aufbereitungspraxis, den Sulfidanteil in den Tailings (meistens Pyrit oder Pyrrhotin) durch eine Sortierung (Magnetscheidung oder Flotation) von dem Strom der sterilen Aufbereitungsabgänge abzutrennen und getrennt unter verschärften Bedingungen abzulagern.

Die Konzentration des Nickelbergbaus auf sulfidische Erze in den großen Lagerstättenregionen (Sudbury und Thompson in Kanada und Norilsk in der Russischen Föderation) hat in den über 80 Jahren der industriellen Gewinnung zu zahlreichen Schlammteichen mit teilweise enormen Dimensionen geführt. Eine von Vale, einem der größten Bergbauunternehmen weltweit, im Zuge des Brumadinho-Schlammteichunglücks durchgeführte Bestandsaufnahme der Schlammteiche, die dem ehemaligen Nickelbergbauunternehmen INCO in Kanada zuzuordnen sind, zeigt, dass derzeit in Kanada alleine rund 350 Mio. m<sup>3</sup> Aufbereitungsabgänge in Teichen abgelagert sind, die um bis zu 45 m die flache Umgebung überragen (VALE S.A. 2019). Viele der alten Dämme sind noch nach der aus heutiger Sicht technisch unzulänglichen „upstream“-Methode konstruiert worden und werden von Experten deshalb als extrem risikobehaftet eingestuft.

Da das lateritische Erz vor der Weiterverarbeitung in der Regel nicht oder nur begrenzt aufbereitet wird, fallen keine größeren Mengen an Aufbereitungsabgänge an, die in Schlammteichen entsorgt werden müssten.

### **Wasser**

Daten aus den 90 Jahren deuten darauf hin, dass im Sulfidbergbau (0,58 m<sup>3</sup>/t Erz) durchschnittlich rd. 60 % mehr Grubenwasser gehoben wird als im La-

teritzerbergbau (0,37 m<sup>3</sup>/t Erz]) (HILBRANS & HINRICHS 1999). Diese Prozentzahl dürfte sich aktuell erhöht haben, da speziell im Lateritzerbergbau sich die Gewinnungseffizienz erhöht hat und aus dem gleichen Tagebau mehr Erz produziert wird.

Aus sulfidischen Lagerstätten anfallendes Grubenwasser, sowohl im Tagebau als auch aus dem Untertagebetrieb, ist in der Regel sauer und enthält gelöste Schwermetalle. In den meisten Fällen wird dieses Grubenwasser in der Aufbereitung als Prozesswasser verwendet. In tieferen Abbaubetrieben im Kristallingestein, z. B. in Kanada, fällt allerdings auf Grund der geringen hydraulischen Leitfähigkeit des Gesteins nur noch relativ wenig Grubenwasser an. Dadurch muss in der Aufbereitung mehr Frischwasser eingesetzt werden, was unter Umständen zur Vermeidung der Schwermetall- und Säurefracht aus dem Grubenwasser beiträgt. Aus den wesentlich flacheren Untertagegruben in Westaustralien wird berichtet, dass es zu einem stärkeren Zustrom von salinarem Grundwasser kommt, das nach der Hebung im Betrieb intern verbraucht wird (WATERHOUSE et al. 2003). Ein hier möglicher Überschuss an Grubenwasser wird in Salzseen eingeleitet, was umstritten ist, da die gelöste Metallfracht des abgeleiteten Wassers erhöht sein kann.

Es ist davon auszugehen, dass die Haldenkörper von Bergwerken auf sulfidischen Lagerstätten durch die in den Bergen enthaltenen Sulfide ein hohes Säurepotenzial aufweisen können, was schon bei der Planung der Halde ein besonderes Wassermanagement der Oberflächengewässer sowie ein Management der Säure produzierenden sowie neutralisierenden Gesteine in der Halde erfordert, um das Grundwasser und Oberflächengewässer vor Versauerung und Schwermetalleinträgen zu schützen.

Beim Bergbau von lateritischen Erzen fällt bei der Entwässerung der Tagebaue auch Abwasser an, das meistens, nachdem die absetzbaren Feststoffe in einem Absetzteich entfernt wurden, ohne weitere Vorbehandlung in den Vorfluter abgelassen werden kann. Eine Senkung des Grundwasserspiegels durch Pumpengalerien im Vorfeld der Tagebaue ist wegen der geringen Tiefe der Tagebaue in der Regel nicht erforderlich. Bedingt durch die Lage der Lateritvorkommen in den Tropen und Subtropen erschweren allerdings häufig Starkregenereignisse die Wasserhaltung in den Bergwerken.

### **Biodiversität**

Es gibt keine direkten Studien, die den Rückgang oder die Schädigung der Biodiversität durch den globalen Nickelbergbau untersuchen. Da allerdings eine bedeutende Anzahl von großen Nickelprojekten in oder in der

Nähe von primären Waldgebieten liegt und der Wald 80 % der kontinentalen Biodiversität enthält (WORLD BANK GROUP 2019), ist davon auszugehen, dass der Nickelbergbau durch die direkte Entwaldung und durch indirekte Einflüsse auch eine negative Auswirkung auf die lokale und regionale Biodiversität ausübt. Nach der Forest-Smart-Studie liegen ca. 60 % der großen Nickelbergwerke in oder in unmittelbarer Nähe von Wäldern. Dies trifft insbesondere auf Bergwerke in Kanada, Neukaledonien, Australien und Brasilien zu. Daher ist besonders hier eine starke Beeinträchtigung der Biodiversität zu befürchten.

## **4.2 Soziale und ökonomische Aspekte**

Auch bezüglich der sozialen und sozioökonomischen Aspekte ist eine Unterteilung nach dem Lagerstättentyp sinnvoll. Die sulfidischen Vorkommen, die auf der Nordhalbkugel abgebaut werden, liegen meistens weit entfernt von den bevölkerungsreichen Ballungszentren. Häufig war es der Fund der Lagerstätte selbst (z. B. Sudbury in Kanada, Norilsk in der Russischen Föderation), der Anlass für eine dichtere Besiedlung und der Entwicklung eines lokalen Wirtschaftszentrums war. Die Sulfid- wie Laterit-Gewinnung kann mit Ansprüchen der indigenen Bevölkerung kollidieren (z. B. aktuelle Konflikte in der Russischen Föderation (STONE 2020), Neukaledonien (ENVIRONMENTAL JUSTICE ATLAS 2019a) und Philippinen (ENVIRONMENTAL JUSTICE ATLAS 2019b)). In anderen Ländern mit einem hohen Anteil an indigener Bevölkerung wie Kanada und Australien minimieren Bergbaukonzerne das Konfliktpotenzial durch das Eingehen von Entwicklungspartnerschaften mit indigenen Stakeholdergruppen.

In Guatemala betreibt die schweizerische Solway Investment Group ein Nickelbergwerk und produziert am Standort Fenix das Produkt Ferronickel in einer Schmelzhütte. Es kommt hier zu einem klassischen Nutzungskonflikt mit der lokalen Bevölkerung, da einerseits dem Unternehmen von der zum großen Teil indigenen Bevölkerung vorgeworfen wird, Wasser und Luft zu verschmutzen sowie für schlechte Ernten verantwortlich zu sein, andererseits das Unternehmen selbst diese Vorwürfe abstreitet und externe Faktoren für die Umweltschäden verantwortlich macht. Auf der einen Seite wurden dort durch die Nickelindustrie ca. 3.000 industrielle Arbeitsplätze geschaffen, was in einem armen Land wie Guatemala mit einer hohen Arbeitslosenquote eine große Relevanz hat. Demgegenüber stehen jedoch Tausende von Bauern und Fischern, die sich in ihrer Existenz bedroht fühlen. Die Regierung in Guatemala hat es bisher noch nicht geschafft, sich als unabhängiger und kompetenter Interessenvermittler

in diesem Konflikt zu positionieren und das Vertrauen der gesamten Bevölkerung zu gewinnen. Ähnliche Interessenkonflikte sind auch aus Indonesien, das in den letzten Jahren zum führenden Produzenten von Nickel aufgestiegen ist (KAMARUDIN 2017), bekannt sowie von den Philippinen, wo neben der Herstellung von Nickel in gemischten Sulfidpräzipitaten (MSP) im Wesentlichen Nickelerz vor allem nach China exportiert wird und somit relativ wenig zur Wertschöpfung im Land beiträgt. Die Umweltauswirkungen der Nickeltagebaue haben auf den Philippinen zu einer Überprüfung der Nickelgewinnungsbetriebe geführt. Es erfolgt zwar kein Exportverbot, sondern die temporäre Schließung zahlreicher Gewinnungsstellen. Die Lagerbestände der Bergwerke durften aber weiterverwendet werden, sodass im Zeitraum 2016 – 2017 sogar ein Anstieg der Exportmengen zu verzeichnen war.

### **Kleinbergbau**

Aufgrund der hohen technischen und finanziellen Anforderungen für die Gewinnung und Weiterverarbeitung von sulfidischen Nickelerzen gibt es in diesem Bereich keinen artisanalen Kleinbergbau. Mechanisierten Kleinbergbau auf Nickel kann es geben, wenn die Lagerstätte hochwertig ist und sich Abnehmer von Erzen und Konzentraten in der Nähe befinden. Bei der Gewinnung von lateritischen Nickelerzen ist ebenfalls kein artisanaler Bergbau bekannt. Formalen, mechanisierten Kleinbergbau oder Bergbau mittlerer Größe auf Nickel kann es in Indonesien und den Philippinen geben, – je nachdem wie dieser Sektor definiert wird –, wobei die relativ geringen erforderlichen Investitionen für die Aus- und Herrichtung sowie für die Gewinnungsausrüstung ein positiver Faktor für die Betriebsentwicklung im kleinen Maßstab sind. Von den formalen Kleinbergbauunternehmen dürften alle entweder größeren lokalen Schmelzen zuliefern oder Direct-Shipping-Ore (DSO) für die Überseeverschiffung nach China produzieren.

### **Einnahmen**

Der globale Wert der Bergbauproduktion an Nickel in Form von Erzen und Konzentraten in 2019 betrug rund 11,7 Mrd. US\$. Der Wert der Erzförderung im Laterit-erzbergbau auf Nickel hat hieran einen geschätzten Anteil von 3,6 Mrd. US\$ und der Wert der im sulfidischen Bergbau erzeugten nickelhaltigen Konzentrate von rund 8,1 Mio. US\$. Damit werden grob geschätzt 26 % der in der Nickelproduktionskette erzeugten Werte in Gesamthöhe von ca. 31 Mrd. US\$ im Bergbau einschließlich der Aufbereitung generiert (BGR 2021).

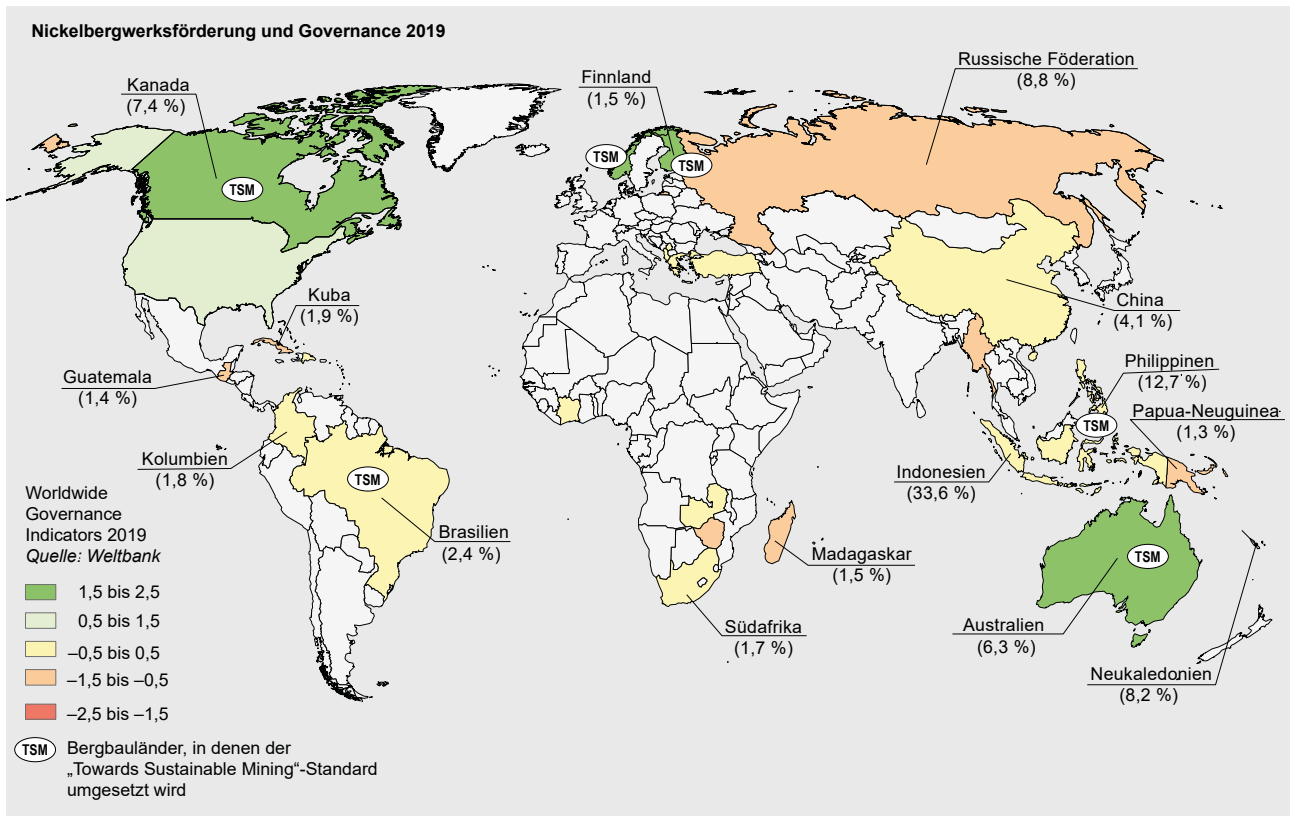
Zu den Einnahmen des Staates aus dem Nickelbergbau bzw. der Weiterverarbeitung des Erzes geben die Daten der Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) einen guten Einblick. In diesen Studien werden

die von den Bergbauunternehmen bezahlten Abgaben an den Staat mit den tatsächlichen Einnahmen des Staates von unabhängigen Gutachtern verglichen. Von den wichtigsten Nickelproduzentenländern sind die Philippinen, Indonesien, Myanmar, Kolumbien und Madagaskar Teilnehmer des EITI-Prozesses. Beispielhaft für die Philippinen untersucht, betrug der addierte Wert der Produktion von „mixed sulphide precipitate“ (MSP) und Nickelerz im Jahr 2017 rund 766 Mio. US\$. Die Nickelproduzenten führten rund 96 Mio. US\$ des Erlöses an Steuern und Abgaben an den Staat ab, was einer Quote von rund 12,5 % entspricht. Rund 50 % der staatlichen Einnahmen aus dem Bergbau werden durch die Einkommensteuer und 25 % durch Förderabgaben und Mineralverbrauchssteuern generiert (PHILIPPINE EXTRACTIVE INDUSTRIES TRANSPARENCY INITIATIVE 2017).

Neben diesen Abgaben, die direkt an den Staat gehen, sind die Nickelproduzenten auch verpflichtet, ein Social Development and Management Program (SDMP) zu finanzieren. Hierfür müssen 1,5 % der jährlichen Betriebskosten bereitgestellt werden, was schätzungsweise rd. 9 Mio. US\$ ausmachen würde. Auch wenn der Anteil des gesamten Bergbausektors mit 0,7 % am BIP und mit 0,6 % an der Beschäftigung vergleichsweise unbedeutend ist, so ist der Nickelbergbau dennoch lokal relevant. Von den insgesamt über 200.000 Arbeitsplätzen im industriellen Bergbau auf den Philippinen dürften rund 20.000 im Nickelbergbau angesiedelt sein. Ein großer Teil der im Nickelbergbau erzielten Gewinne geht an Einheimische, da die Eigentümer der meisten Nickelerzexportunternehmen aus den Philippinen stammen. Die beiden MSP-Produzenten auf den Philippinen gehören allerdings mehrheitlich zum japanischen Unternehmen Sumitomo Metal Mining Corp.

### **4.3 Governance**

Ob das Potenzial des Nickelbergbaus zur nachhaltigen Entwicklung eines Landes beiträgt, wird maßgeblich von der Integrität, Transparenz, Rechtschaffenheit, Kompetenz und Durchsetzungskraft der staatlichen Institutionen sowie den gesetzlichen Rahmenbedingungen, also der Governance eines Landes, beeinflusst. In Abbildung 7 sind die gemittelten WGI (Worldwide Governance Indicators, (WORLD BANK GROUP 2019) der 15 wichtigsten Nickel produzierenden Länder dargestellt. Etwa 76 % der Weltnickelförderung von 2019 stammen aus Ländern mit einer schwachen bis mittleren Governance (WGI < 0,5). Von den 15 größten Produzentenländern sind nur vier (das zu Frankreich gehörende Neukaledonien, Kanada, Australien und Finnland) unter Aspekten der Governance als vorteilhaft bewertet. Allerdings haben die größten Produzen-



**Abb. 7:** Governance der wichtigsten Bergbauländer für die Nickelproduktion mit Anteil an der Weltförderung 2019, (WORLD BANK GROUP 2019, SZURLIES 2021) sowie Beteiligung an der Nachhaltigkeitsinitiative „Towards Sustainable Mining (TSM)“.

tenländer Indonesien und die Philippinen, beide auch Mitglieder der Extractive Industries Transparency Initiative (EITI), in den letzten Jahren Fortschritte bei der Entwicklung des allgemeinen gesetzlichen Rahmens und bei der Berichterstattung gemacht (RESOURCE GOVERNANCE INSTITUTE 2017). Die Bewertung des Resource Governance Index (RGI) für die Philippinen, der sich auf die Analyse des Nickelbergbaus fokussiert, stellt jedoch Defizite insbesondere bei der Governance bezüglich der Auswirkungen des Bergbaus auf lokaler Ebene fest. In Bezug auf Indonesien wird eine im Vergleich zu anderen Ländern besonders große Lücke zwischen den gesetzlichen Regulierungen und der tatsächlichen Implementierung vor Ort attestiert.

Neben der Regierungsführung eines Landes spielt auch die „Governance“ des Abbaunternehmens bei der Frage der Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards eine wichtige Rolle. Sechs der 20 größten Nickelbergbaukonzerne mit einem Anteil von zusammen rund 22 % der globalen Nickelproduktion im Jahr 2019 sind Mitglied der Industrievereinigung International Council on Mining and Metals (ICMM). Diese hat soziale und umweltbezogene Best-Practice-Standards definiert, die durch die ICMM-Mitglieder implementiert und im Rahmen von Audits geprüft werden. Aber auch hier zeigt der Responsible Mining Index, der auch große Nickelproduzenten wie Vale S. A., Anglo American Plc., Glencore

Plc. und die BHP Group bewertet, dass Transparenz und Berichterstattung in den letzten Jahren verbessert wurden, dass aber bei der Umsetzung in verantwortungsvolle Praxis noch Verbesserungsbedarf gesehen wird (RESPONSIBLE MINING FOUNDATION 2020). Der auf den Philippinen produzierende und in 2019 weltweit elftgrößte Nickelproduzent Nickel Asia Corp. ist zwar nicht ICMM Mitglied, gibt jedoch ausführliche Nachhaltigkeitsinformationen zu seinen Abbaubetrieben, die nach eigenen Angaben alle nach ISO 14001 (Umweltmanagement) zertifiziert sind. Demgegenüber sind die Angaben zur Nachhaltigkeitsperformance des drittgrößten Produzenten Jinchuan Group in China vergleichsweise weniger konkret, Hinweise auf Audits nach internationalen Standards fehlen.

Der „Towards Sustainable Mining“ Standard (TSM) der kanadischen Bergbauvereinigung, der eine Nachhaltigkeitsberichterstattung und eine externe Prüfung beinhaltet, wurde inzwischen außerhalb Kanadas auch in den für den Nickelbergbau relevanten Ländern Finnland, den Philippinen und Brasilien eingeführt. Zusammen erbrachten die vier Länder 24 % der Nickelbergbauproduktion des Jahres 2019. Man erhofft sich dadurch aus der Bergbauindustrie eine verbesserte Praxis und Druck auf Unternehmen, die Standards verantwortungsvoller Produktion nicht einhalten. Auf den Philippinen sieht sich beispielsweise die dortige Berg-

bauindustrie dem Protest lokaler Menschenrechts- und Umweltgruppen gegenüber (Alyansa Tigil Mina – Allianz gegen den Bergbau). Mit der Einführung von TSM auf den Philippinen ab 2021 soll die Nachhaltigkeit des Abbaus verbessert werden, ab 2023/2024 sind externe Prüfungen zur Einhaltung des TSM-Standards geplant. Auch wurde eine technische Arbeitsgruppe zur Umsetzung globaler Standards für das Tailings-Management eingerichtet, ein Bereich der derzeit international und auch von Investoren als besonders kritisch bewertet wird.

## 5 NACHHALTIGKEITSASPEKTE DER WEITERVERARBEITUNG

### 5.1 Umwelt

#### *Emissionen*

Bei der pyrometallurgischen Weiterverarbeitung der sulfidischen Nickelkonzentrate wurde in den westlichen Ländern bis in die 1970er Jahre hinein  $\text{SO}_2$  über hohe Schornsteine in die Atmosphäre entlassen. In der Russischen Föderation wurde diese Praxis wesentlich länger fortgesetzt. Auf diese Weise wurden jährlich hunderttausende Tonnen von Schwefel in die Troposphäre emittiert, was letztendlich zu „saurem Regen“ und somit auch zum Waldsterben beigetragen hat. Derzeit werden jährlich noch immer rund 0,7 Mio. t Nickel, die aus sulfidischen Erzen stammen, zum größten Teil pyrometallurgisch produziert. Ein großer Teil des mitproduzierten Schwefeldioxids wird über eine Kontaktkatalyse in Schwefelsäure umgesetzt und vermarktet. Der größte Nickelproduzent der Welt, PJSC MMC Norilsk Nickel, emittierte bis 2015 jährlich noch rund 1,8 Mio. t  $\text{SO}_2$  in seinen russischen Anlagen, hat aber seitdem systematisch begonnen, stark verschmutzende Anlagen zu schließen bzw. neue umweltfreundlichere Technologien einzusetzen. Neben den gasförmigen Emissionen werden aus den pyrometallurgischen Anlagen auch schwermetallhaltige, diffuse Stäube in die Atmosphäre emittiert, trotz der verwendeten Absaug- und Filtereinrichtungen. Diese Stäube setzen sich aufgrund ihrer hohen spezifischen Dichte in der Nähe der Anlagen ab. Beides sind Faktoren, die z. B. dazu geführt haben, dass die Stadt Norilsk und die sensible Tundra im Umland von Norilsk zu den am schwersten verschmutzten Regionen bzw. zu den  $\text{SO}_2$ -Hotspots der Welt zählen (MORGAN 2017). Im Lagerstättendistrikt Sudbury in Kanada hat sich die Umweltsituation seit den 1970er Jahren wesentlich verbessert. Wurden in den 1960er Jahren hier noch jährlich über 2,5 Mio. t  $\text{SO}_2$  emittiert, was rund 4 % der damaligen globalen Emissionen an

$\text{SO}_2$  ausmachten, so sind es derzeit, trotz gesteigerter Nickelproduktion, nur noch rund 0,2 Mio. t  $\text{SO}_2$ . Dies ist vor allem auf die eingesetzte verbesserte Ofentechnologie und die Konzentration auf wenige Hüttenanlagen zurückzuführen, die den Einsatz von hocheffektiven Schwefelsäureanlagen ermöglichen.

Klagen der benachbarten Bevölkerung betreffen bei den Ferronickelschmelzen häufig die beim Trocknen und Kalzinieren anfallenden Staubemissionen, die aufgrund des relativ hohen Erzdurchsatzes anfallen. Besonders betroffene Länder sind hier Kolumbien, Guatemala und Indonesien, wo es häufig Beschwerden aus der Bevölkerung gibt.

#### *Treibhausgase*

Der Herstellung von Class-I-Nickel und Ferronickel kann ein stark unterschiedliches Treibhausgas-Potenzial zugeordnet werden. Für die Erzeugung von 1 kg Nickel im Class-I-Nickel gibt das Nickelinstitut die Emission von 13 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$  an, wobei allein die Verhüttung und Raffination rund 68 % der Emission verursacht (NICKEL INSTITUTE 2020a). Bergbau, Aufbereitung und Transport zusammen haben einen Anteil von 32 % an dem  $\text{CO}_2$ -Footprint.

Für 1 kg Nickel im Ferronickelprodukt, das zu 100 % aus lateritischem Erz stammt, wird ein  $\text{CO}_2$ -Footprint von 45 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$  angegeben (NICKEL INSTITUTE 2020b), also fast die dreifache Menge an Treibhausgas. 87 % der  $\text{CO}_2$ -Emission stammen hier aus der Verhüttung. Bergbau, Aufbereitung und Transport spielen für die  $\text{CO}_2$ -Emissionen eine wesentlich geringere Rolle als bei der Herstellung von Class-I-Nickel.

#### *Rückstände der Weiterverarbeitung*

Beim metallurgischen Schmelzen und der Reduktion des Nickelkonzentrats zu Nickelstein entsteht auch eine silikat-, eisen- und kalziumreiche Absetzschlacke mit einem niedrigen Nickelrestgehalt (ca. 0,15 – 0,25 % Ni). Je produzierter Tonne Nickel fallen ca. 10 t Schlacke an. Weltweit müssen in 2019 geschätzt rund 7 Mio. t Schlacke aus der pyrometallurgischen Nickelsulfidverarbeitung in Halden abgesetzt werden. In vielen Fällen ist diese Schlacke ein gesuchter inerter Baurohstoff, da granuliert Schlacke direkt als Unterbau im Straßenbau eingesetzt werden kann. Daher kommen Schlackenhaldden vor allem noch in den Regionen vor, wo die Nachfrage nach Baurohstoffen nicht besonders hoch ist, z. B. in den Betriebsteilen von PJSC MMC Norilsk Nickel auf der russischen Taimyr-Halbinsel oder im Raum Sudbury in Kanada.

Bei der Herstellung von Ferronickel aus lateritischen Erzen entstehen im Vergleich zur Sulfidprozessroute

produktspezifisch wesentlich mehr Schlacke und Staub in der Hüttenanlage, da mehr Material mit niedrigerem Nickelgehalt durchgesetzt wird. Auf die Tonne Nickel bezogen können bis zu 50 t Schlacke produziert werden, was zu relativ großen Schlackenhalden führt. So macht die Schlackenhalde des kolumbianischen Ferronickel-Produzenten South32 Ltd. im Betrieb Cerro Matoso mit einer Fläche von 0,6 km<sup>2</sup> rund 7,5 % der gesamten Betriebsfläche aus. Im Verlauf der fast 40-jährigen Betriebsgeschichte könnten sich hier rund 75 Mio. t Schlacke in der Halde angesammelt haben.

Wenn lateritische Erze durch Laugung weiterverarbeitet werden, fallen schlammförmige Laugungsrückstände an. Bei einem ausbringbaren Erzgehalt von ca. 1,3 % Ni entstehen rund 85 t (Trockenmasse) feinkörnige Laugungsrückstände. Dies führt dazu, dass große Schlammteiche bzw. Rückhaltebecken für die feinkörnigen nassen Laugungsabgänge angelegt werden müssen. Je nach Typ der Laugung – sauer oder alkalisch – müssen diese Laugungsrückstände vor dem Einleiten in den Schlammteich eventuell noch neutralisiert werden. Die physische Stabilität der Absetzteiche bei der Nickellaugung ist, soweit bekannt, gegeben. Unter rund 140 dokumentierten großen Tailings-Dammbrüchen seit den 1960er Jahren gab es keinen, der mit der Lagerung von Schlämmen aus der Nickelweiterverarbeitung verbunden war. Bei dem Bruch des Neutralisierungsteiches in der Nickelmine Talvivaara in Finnland im Jahr 2012 kam es zu einem größeren Austritt von Laugungsabwässern (WISE URANIUM PROJECT 2021).

Besonders umstritten ist die unterseeische Einleitung von Laugungsabgängen ins Meer, da hier die möglichen Umweltauswirkungen noch nicht genau bekannt sind. Beschwerden über die unterseeische Einleitung von Laugungsabgängen gab es konkret beim Nickelprojekt Ramu in Papua Neuguinea. Das Einleiten von Laugungsabgängen ins Meer wurde als Planungsalternative in indonesischen Nickelprojekten in Betracht gezogen, aber Anfang 2021 verworfen.

## Wasser

Die Laugungsbetriebe stellen eine latente Gefahr für die Umwelt aufgrund von möglichen Leckagen von Laugen und Säuren dar. Auch das bakterielle Haldenlaugungsprojekt für Nickel-Kobalt-Kupfer in Sotkamo, auch bekannt unter dem Namen Talvivara (Finnland), hatte in der Vergangenheit Umweltprobleme verursacht, da man hier die Wasserbilanz für das Laugungsmanagement nicht in den Griff bekommen hat und es nach dem Bruch des Neutralisierungsteiches zu einem Ausfluss von mehreren hunderttausend m<sup>3</sup> kontaminierten Wassers in die Umwelt gekommen ist. Die Nickel- und Zinkkonzentrationen im nahe gelegenen Fluss überstiegen

die Werte, die für Organismen schädlich sind, um das Zehn- bis Hundertfache und die Urankonzentrationen um das Zehnfache.

In Sotkamo werden Nickel, Zink und Kobalt heute durch mikrobielle Haldenlaugung der Erze herausgelöst und als Metallsulfide (MSP, „mixed sulphide precipitate“) ausgefällt.

## 5.2 Soziale und sozioökonomische Aspekte

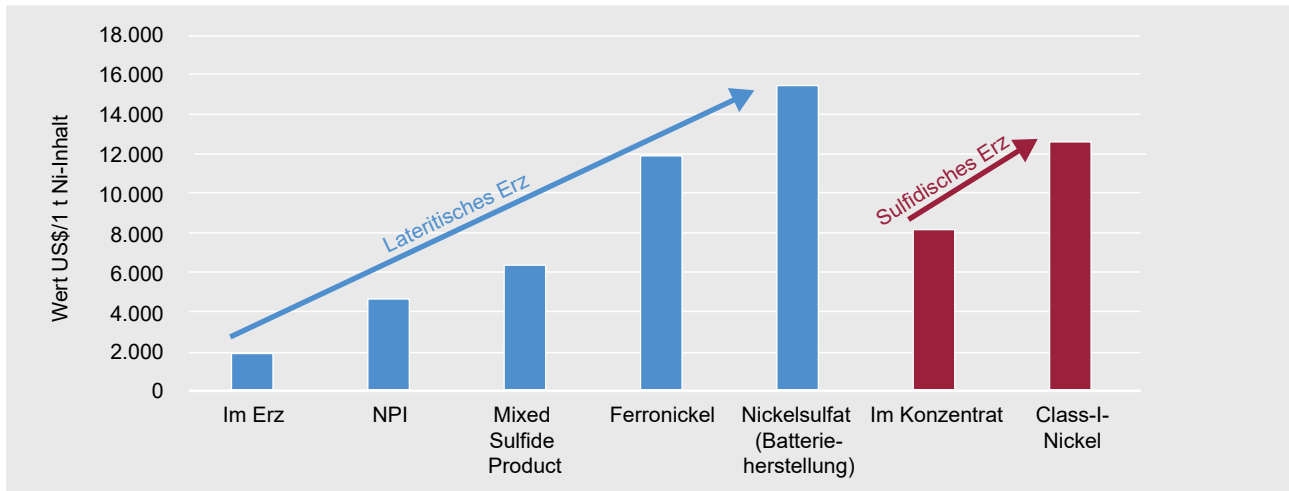
Die Weiterverarbeitung von Nickel hat in der Regel für relativ entwickelte oder große Volkswirtschaften keine größere volkswirtschaftliche Bedeutung. Allerdings können die sozialen und sozioökonomischen Auswirkungen des Nickelbergbaus auf regionaler Ebene sehr bedeutend sein. So hängt die ganze wirtschaftliche Entwicklung auf der Kola-Halbinsel oder der Talnach-Region in Sibirien von den Aktivitäten des Unternehmens PJSC MMC Norilsk Nickel ab. Lange gab es die Kritik, dass die staatliche Umweltaufsicht Kontrollen zu nachlässig durchgeführt hat. Als Beispiel hierfür könnte die verschleppte Aufklärung bei der Umweltkatastrophe angeführt werden, bei der Ende Mai 2020 21.000 t Dieselkraftstoff aus einem Kraftwerkstank, der zum Unternehmen PJSC MMC Norilsk Nickel gehört, ausgelaufen waren.

In Indonesien ist der Nickelbergbau einschließlich der Weiterverarbeitung besonders für die Inseln Sulawesi, Halmahera, Gebe, Gag und Obi von großer Bedeutung und bringt hier zusätzlich zu den traditionellen Arbeitsplätzen in Landwirtschaft und Fischerei industrielle Arbeitsplätze. Umstritten in Entwicklungsländern wie Indonesien und den Philippinen ist die Verteilung der Einkünfte aus der Nickelproduktion, da die Investoren und Fachkräfte häufig nicht aus der Region stammen und die operativen Gewinne nicht in der Bergbauregion bleiben bzw. Steuereinnahmen häufig auch nicht wieder in die Region zurückfließen.

## 5.3 Einnahmen aus der Weiterverarbeitung

Die Wertschöpfung, die aus der Weiterverarbeitung von Nickelerzen und Konzentraten in den jeweiligen Ländern der Weiterverarbeitung generiert wird, ist vom Erztyp und von den erzeugten Endprodukten abhängig (Abb. 8).

Da fast alle der großen Nickelproduzenten vertikal integriert sind kommt, diese Aufteilung bei der Wertschöpfung allerdings nicht immer zum Tragen. Vertikal integriert bedeutet, dass sowohl der Nickelbergbau als auch



**Abb. 8:** Wertschöpfung bei der Nickelherstellung (abgeschätzt aus BGR 2021).

die Weiterverarbeitung (Nickelhütte und Raffinerie) sich in einer unternehmerischen Hand befinden und für die Zwischenprodukte interne Transferpreise bezahlt werden, die z. T. erheblich von den Marktpreisen abweichen können. Damit verbunden ist auch die Gefahr der Gewinnverlagerung, die aus Sicht von Entwicklungsländern besonders relevant ist.

Aus dem Beispiel des aktuellen 5. EITI Berichts der Philippinen (PHILIPPINE EXTRACTIVE INDUSTRIES TRANSPARENCY INITIATIVE 2017) ist ersichtlich, dass die Wertschöpfung bis hin zu einem höherwertigen Nickelprodukt auch für die Produzenteländer ein Mehr an Steuereinnahmen bringt. Die als Direct Shipping Ore (DSO) exportierten 22 Mio. t Nickelerz mit einem Inhalt von 315.000 t Nickel hatten einen Wert von 460 Mio. US\$ und resultierten in rund 38 Mio. US\$ Steuereinnahmen, was einer effektiven Steuerquote von 8,2 % entspricht. Der mögliche Kobaltinhalt des Erzes wurde hier von den Käufern bei der Preisfindung nicht berücksichtigt, da er als Einsatz für die Produktion des NPI nicht wertsteigernd war. Daneben wurde in zwei Anlagen auf den Philippinen MHP produziert und nach Japan exportiert. Die 88.000 t MHP hatten einen geschätzten Inhalt von 51.000 t Nickel und Kobalt. Daraus resultierten Verkaufseinnahmen in Höhe von 393 Mio. US\$ und Steuer- und Abgabeneinnahmen für den Staat in Höhe von 45 Mio. US\$, was einer effektiven Steuerquote von 11,5 % entspricht. Dieses Modell zeigt, dass die gesteigerte Wertschöpfung im Land nicht nur mehr Investitionen und industrielle Arbeitsplätze bringt, sondern bei der Nutzung der Ressourcen höhere Steuereinnahmen insbesondere für Entwicklungsländer ermöglichen kann. Aus diesem Grund hatte Indonesien bereits 2014 einen Exportstopp für Nickelerz ausgesprochen, was, aufgrund der enormen Abhängigkeit Chinas hinsichtlich der indonesischen Erze, die Ausweitung der nickelweiterverarbeitenden Industrie in Indonesien nach sich ge-

zogen hat. Dadurch ist Indonesien innerhalb von zehn Jahren zum derzeit zweitgrößten Nickelproduzenten der Welt aufgestiegen (SZURLIES 2021).

## 5.4 Governance

Prüfung und Nachweis einer verantwortungsvollen Metall-Produktion wird zunehmend von den nachgelagerten Akteuren der Lieferkette sowie auch von Investoren eingefordert. Die Londoner Metallbörse (London Metal Exchange, LME) plant ab 2022 die Einführung der verbindlichen Prüfung von Sorgfaltspflichten und des Nachweises von Zertifizierungen zum Umweltmanagement (ISO14001) und Arbeitsschutz (OHSAS18001 bzw. ISO 45001) für die an der LME gelisteten Marken (Brands), darunter 15 Nickelproduzenten mit Standorten in Australien (2), China (2), Finnland, Frankreich, Großbritannien, Japan, Kanada (2), Madagaskar, Norwegen (1), der Russischen Föderation und Südafrika (2).

Die Europäische Kommission hat im Dezember 2020 den Entwurf einer Batterie-Verordnung vorgelegt, die neben Anforderungen an das Recycling, die Wiederverwertung und die Kennzeichnung von Batterien auch Anforderungen an die Sorgfaltspflicht für die Lieferketten relevanter Rohstoffe wie Kobalt, Lithium, Graphit und auch Nickel vorsieht. Diese soll eine Reihe von Standards im Bereich Umwelt (z. B. Information zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) ebenso umfassen sowie Sozialstandards (z. B. Arbeitsrechte, -sicherheit). Dies zeigt, dass auch für Nickel das Thema der Sorgfaltspflicht in Lieferketten zunehmend an Bedeutung gewinnt. Ein einheitliches weltweites System zur Prüfung der Sorgfaltspflicht von Nickel-Lieferketten bzw. -Hütten, wie es dies z. B. für Kobalt über die Responsible Minerals Initiative gibt (RE-



SPONSIBLE MINERALS INITIATIVE 2021), gibt es bisher jedoch für Nickel nicht.

## 6 QUELLENNACHWEIS

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2021): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover [Stand: 01.12.2020].

ENVIRONMENTAL JUSTICE ATLAS (2019a): Konfliktfall Rhéebù Nùù group and Vale mining, New Caledonia. – URL: <https://ejatlas.org/conflict/rheebu-nuu> [Stand: 4.06.2020].

ENVIRONMENTAL JUSTICE ATLAS (2019b): Konfliktfall Pujada-Hallmark nickel mine on ancestral lands, Oriental Davao, Philippines. – URL: <https://ejatlas.org/conflict/pujada-nickel-mine-on-ancestral-lands-oriental-davao-philippines> [Stand: 4.06.2020].

FOGLIANI, B. (2014): Rehabilitation of nickel laterite mining wastes. – Phytomining workshop 2014 : From discovery to full-scale operations; Brisbane.

FRASER, J., ANDERSON, J., LAZUEN, J., LU, Y., HEATHMAN, O., BREWSTER, N., BEDDER, J. & MASSON, O. (2021): Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries. – Publications Office European Union: 132 S.; Luxemburg.

HAUGAN, P. M. & LEVIN, L. A. (2019): What Role for Ocean-Based Renewable Energy and Deep-Seabed Minerals in a Sustainable Future? – 64 S. – URL: <https://oceanpanel.org/sites/default/files/2020-10/Ocean%20Energy%20and%20Deep-Sea%20Minerals%20Full%20Paper.pdf> [Stand: 16.04.2021].

HILBRANS, H. & HINRICHS, W. (1999): Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe – Teilstudie Nickel. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: 100 S.; Hannover.

KAMARUDIN (2017): Mongabay – Situs Berita Lingkungan, Tambang Nikel Merahkan Laut Konawe Utara, Nelayan Sengsara. – URL: <https://www.mongabay.co.id/2017/11/19/tambang-nikel-merahkan-laut-konawe-utara-nelayan-sengsara/> [Stand: 15.04.2021].

MORGAN, J. (2017): Norilsk Nickel's plan to clean up Russia's most polluted city sparks skepticism. – SNL Blog. – URL: <https://www.snl.com/Cache/>

[snlpdf\\_7cf144bb-beab-4f63-a612-37f5e67d4d48.pdf](snlpdf_7cf144bb-beab-4f63-a612-37f5e67d4d48.pdf) [Stand: 15.04.2021].

NICKEL INSTITUTE (2016): Nickel Recycling – Knowledge for a brighter future. – 1 S. – URL: [https://nickelinstitute.org/media/2273/nickel\\_recycling\\_2709\\_final\\_nobleed.pdf](https://nickelinstitute.org/media/2273/nickel_recycling_2709_final_nobleed.pdf) [Stand: 15.04.2021].

NICKEL INSTITUTE (2020a): Nickel metal – life cycle data. – 2 S. – URL: <https://nickelinstitute.org/media/4809/lca-nickel-metal-final.pdf> [Stand: 15.04.2021].

NICKEL INSTITUTE (2020b): Ferronickel – life cycle data. – 2 S. – URL: <https://nickelinstitute.org/media/4861/lca-ferronickel-final.pdf> [Stand: 15.04.2021].

PHILIPPINE EXTRACTIVE INDUSTRIES TRANSPARENCY INITIATIVE (2017): Forging new frontiers – The fifth PH-EITI Report 2017. – 179 S. – URL: <https://eiti.org/document/philippines-2017-eiti-report-fy-2017> [Stand: 15.04.2021].

RESOURCE GOVERNANCE INSTITUTE (2017): Resource Governance Index. URL: <https://resourcegovernanceindex.org/> [Stand: 23.11.2020].

RESPONSIBLE MINERALS INITIATIVE (2021): Cobalt Refiners List. – URL: <http://www.responsiblemineralsinitiative.org/cobalt-refiners-list/> [Stand: 05.01.2021].

RESPONSIBLE MINING FOUNDATION (2020): RMI Report 2020. – URL: <https://2020.responsibleminingindex.org/en> [Stand: 12.12.2020].

STONE, M. (2020): Russian Indigenous communities are begging Tesla not to get its nickel from this major polluter, GRIST (Great Ideas in Science and Technology) – Artikel auf Webseite. URL: <https://grist.org/justice/russian-indigenous-communities-are-begging-tesla-not-to-get-its-nickel-from-this-major-polluter/> [Stand: 4.06.2020].

SZURLIES, M. (2021): Rohstoffrisikobewertung – Nickel. – DERA Rohstoffinformationen, 48: 110 S.; Berlin.

UMWELTBUNDESAMT (2021): Umweltprobenbank des Bundes. – URL: <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10083> [Stand: 22.09.2020].

USGS-UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2021): National Minerals Information Center, Nickel – Mineral Commodity Summaries: S. 113; Washington. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-nickel.pdf> [Stand: 16.04.2021].

VALE S.A. (2019): An Investor Mining & Tailings Safety Initiative – Annex C. – 27 S. – URL: [http://www.vale.com/EN/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebcastsDocs/Cover%20Letter\\_consolidated\\_i.pdf](http://www.vale.com/EN/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebcastsDocs/Cover%20Letter_consolidated_i.pdf) [Stand: 15.04.2021].

WATERHOUSE J., MURIE A. & THOMSON D. (2003): Groundwater inflows and management at Emily Ann and Maggie Hays underground nickel mines, Western Australia. – 8th International Congress on Mine Water & the Environment, Johannesburg, 2003: 73 – 81; Südafrika.

WISE URANIUM PROJECT (2021): Chronology of major tailings dam failures from 1960. – URL: <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html> [Stand: 15.04.2021].

WORLD BANK GROUP (2019a): Forest-Smart Mining: Large-Scale Mining on Forests (LSM). – URL: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/104271560321150518/forest-smart-mining-identifying-factors-associated-with-the-impacts-of-large-scale-mining-on-forests> [Stand: 15.04.2021].

WORLD BANK GROUP (2019b): Worldwide Governance Indicators. – URL: <https://info.worldbank.org/governance/wgi/> [Stand: 20.11.2020].

**Titelfoto:**

© 70009990 Shutterstock Kristijan Zontar

**Stand:**

Juni 2021

**DOI:**

10.25928/z87e-3k39

## IMPRESSUM

**Herausgeber:**

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
B 1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe  
Arbeitsbereich Bergbau und Nachhaltigkeit  
Stilleweg 2  
30655 Hannover

E-Mail: [mineralische-rohstoffe@bgr.de](mailto:mineralische-rohstoffe@bgr.de)  
[www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de)

**Autor:**

Jürgen Vasters, Gudrun Franken, Michael Szurlies

**Layout:**

Jolante Duba