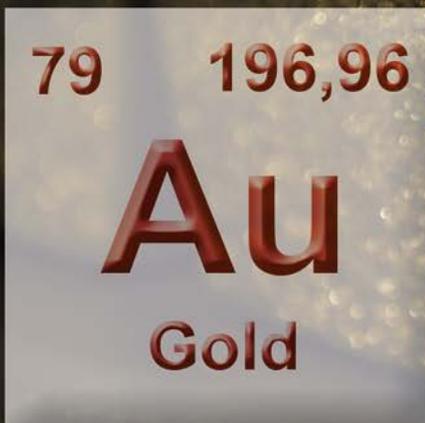


Gold

Informationen zur Nachhaltigkeit



AUF EINEN BLICK

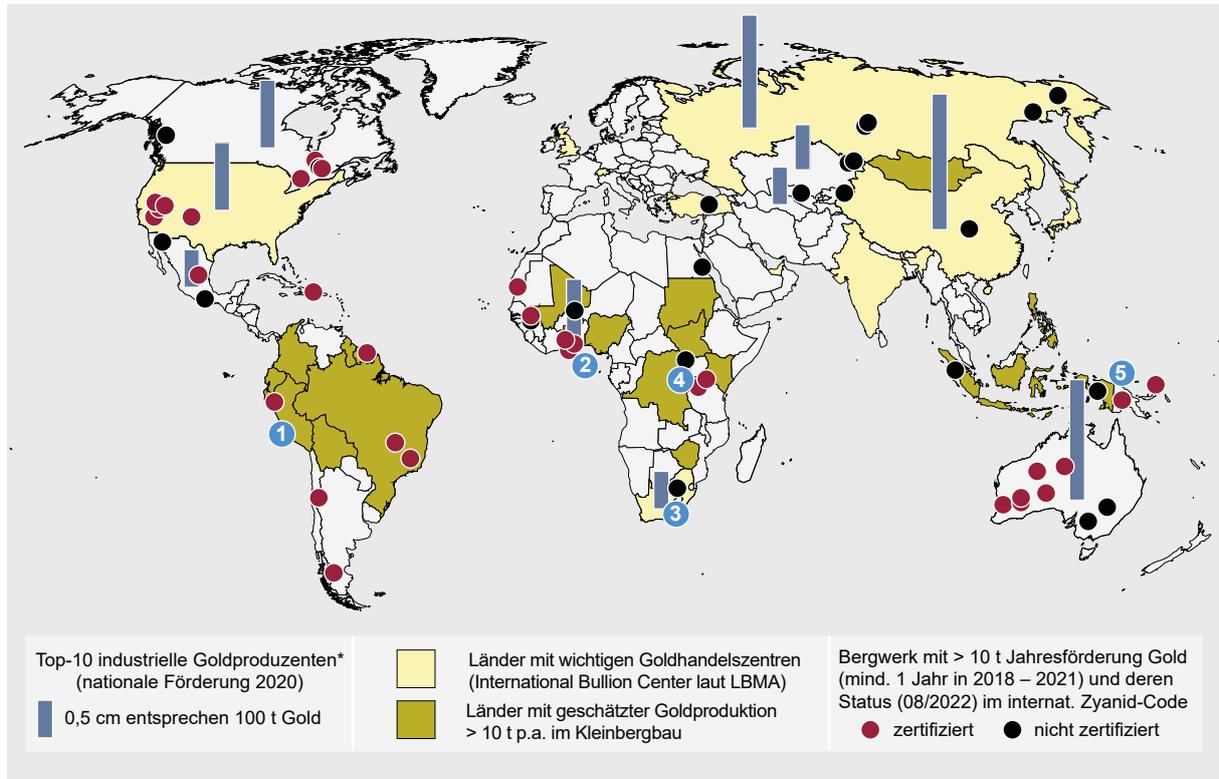


Abb. 1: Verteilung der global wichtigsten Goldproduzenten und -Handelszentren im industriellen Bergbau und Kleinbergbau. Einige der dargestellten industriellen Bergwerke setzen kein Zyanid ein und sind daher nicht im Zyanid-Code zertifiziert. * Dargestellte Angaben der industriellen Goldproduktion für Ghana und die Volksrepublik China beinhalten Produktionsanteile aus dem Kleinbergbau. Global beschäftigt der Kleinbergbau auf Gold 10 – 20 Millionen Menschen und trägt geschätzt 20 % zur Primärgoldproduktion bei.

- 1 Der illegale Kleinbergbau in der peruanischen Madre de Diós Region führt seit Jahrzehnten zu Entwaldung und Quecksilberemissionen. Der Kleinbergbau in anderen Landesteilen wurde hingegen erfolgreich formalisiert, unter anderem mit transparenten Lieferketten in die Schweiz.
- 2 Im ghanaischen Goldsektor bestehen Konflikte zwischen Kleinbergleuten und einigen industriellen Betreibern. Jedoch findet sich im Land auch eines der frühesten Beispiele für eine friedliche Koexistenz zwischen diesen Gruppen.
- 3 Historisch ist Südafrika der größte Goldproduzent, seit Jahren sinkt jedoch die Produktion. In den Goldlagerstätten von Witwatersrand müssen zunehmend tiefere Bereiche erschlossen werden, was die Wirtschaftlichkeit belastet. Alte Bergwerke sind mit sauren Grubenwässern assoziiert.
- 4 Die illegale Besteuerung des Kleinbergbausektors im Ostkongo ist eine Hauptfinanzierungsquelle des Kongo-Konflikts. Seit etwa einem Jahrzehnt ist Gold – nicht etwa Tantal (Coltan) oder Zinn – der davon am meisten betroffene Rohstoff. Die internationale Verbreitung dieses Goldes erfolgt durch Schmuggel in die Anrainerstaaten und Weiterverkauf in den Vereinigten Arabischen Emiraten.
- 5 Die in Südost-Asien praktizierte Ablagerung von Aufbereitungsabgängen in Flüssen oder im Meer belastet die lokalen Ökosysteme. Allerdings wird sie von Betreibern und Regierungen als im Vergleich sicherste Methode dargestellt im Hinblick auf Erdbeben und weitere Standortrisiken.

INHALT

1	Relevanz von Gold	3
2	Von der Lagerstätte zum Metall	4
3	Recycling	11
4	Nachhaltigkeitsaspekte des Bergbaus	12
5	Nachhaltigkeitsaspekte der Weiterverarbeitung	20
6	Quellennachweis	23

1 RELEVANZ VON GOLD

Gold stellt nach Kupfer das zweitälteste von der Menschheit verarbeitete Metall dar. In Form von Goldschmuck ist eine Nutzung seit dem Jahr 4475 v. Chr. nachgewiesen. Nach wie vor hat Gold als Schmuck oder Anlageobjekt in vielen Ländern eine hohe kulturelle oder sozio-ökonomische Bedeutung, sei es als Symbol von Wohlstand oder als Sicherheit in Krisenzeiten. Die Symbolkraft des Metalls zeigt sich beispielsweise darin, dass die Nobelpreismedaillen aus 18-karätigem Gold geprägt werden.

Das Edelmetall ist zugleich ein kontrovers diskutierter Rohstoff. Aufgrund des relativ geringen industriellen Verwendungsanteils sowie der hohen Recyclingquote von Gold kann die gesellschaftliche Notwendigkeit des Goldbergbaus in Frage gestellt werden, zum Beispiel hinsichtlich der Treibhausgasemissionen. Im Zusammenhang mit dem Abbau und Handel von Gold sind zudem eine Vielzahl von Risiken dokumentiert. Dazu zählen beispielsweise Schmuggel, Geldwäsche, Korruption, Konfliktfinanzierung, Kinderarbeit, soziale Missstände, Umweltprobleme sowie Gesundheitsrisiken für Kleinbergleute und Anwohner. Auch wenn der Rohstoff nicht als kritisch im Sinne der Versorgungssicherheit gilt, kann Gold daher aus der sozialen und ökologischen Perspektive heraus durchaus als ein kritischer Rohstoff bewertet werden. Auf der anderen Seite haben sowohl die industrielle als auch die im Kleinbergbau praktizierte Goldgewinnung eine hohe wirtschaftliche Relevanz für die produzierenden Länder und ihre Bevölkerung.

In der gesamten Menschheitsgeschichte wurden (Stand Ende 2021) geschätzt 205.000 Tonnen Gold gewonnen. Dies entspricht einem Würfel mit 22 Metern Kantenlänge. Davon liegen heute 46 % in Form von Schmuck sowie 39 % als Goldbarren oder Münzen bei Zentralbanken, institutionellen und Privatanlegern vor. Diese Verteilung ähnelt dem aktuellen Bedarfsprofil. Im Mittel der Jahre 2010 – 2021 lagen der Goldbedarf aus dem Schmuck- sowie Kapitalanlagebereich bei 50 % beziehungsweise 30 %, Zentralbanken lagerten zudem 11 % der globalen Goldjahresproduktion ein [1].

Im vergangenen Jahrzehnt generierten Indien und die Volksrepublik China zusammen mehr als die Hälfte der globalen Nachfrage nach Gold. Diese beiden Länder stellen die heutigen Hauptabsatzmärkte dar. In Deutschland ist der private Goldbesitz ebenfalls stark verbreitet. Mit 9.089 Tonnen in Form von Barren, Münzen und Schmuck [2] lag dieser im Jahr 2020 deutlich über den Goldreserven der Bundesbank, die mit 3.362 Tonnen die global zweithöchsten offiziellen Goldreserven nach den Vereinigten Staaten hält.

Im Mittel der Jahre 2010 – 2021 entfielen lediglich 8 % der Weltgoldproduktion auf die industrielle Verwendung. Auf den ersten Blick erscheint der Prozentwert gering. Jedoch entspricht allein dieser Anteil einem Rohstoffwert von 16 Milliarden US-Dollar pro Jahr (Mittelwert auf Basis der Goldpreise im jeweiligen Jahr). Der Wert der industriellen Verwendung von Gold korrespondiert damit in etwa mit dem Gesamtwert der jährlichen Produktion aller Platingruppenmetalle. Etwa drei Viertel des industriellen Goldbedarfs entfallen auf den Elektroniksektor. In den letzten fünf Jahren wurde eine Gesamtmenge von circa 260 Tonnen Gold pro Jahr in Elektro(nik)produkten verbaut [1]. Der Einsatz von Gold in derartigen Bauteilen reflektiert, dass es als Material korrosionsbeständig und ein sehr guter Leiter ist. Zudem lässt es sich zu sehr dünnen Drähten ziehen, den sogenannten Goldbonddrähten.

Gold findet aufgrund der zunehmend komplexen Borelektronik von Fahrzeugen im Automobilsektor Verwendung. Eine langjährige Nutzung besteht zudem in der Luft- und Raumfahrt. Weitere Marktsegmente umfassen die Kommunikationstechnik sowie die Energie- und Chemiebranche, zum Beispiel in Katalysatoren. Ein wichtiges Einsatzfeld von Gold ist die Medizintechnik. Dies betrifft vor allem den Dentalbereich, der im Mittel 0,5 % des globalen Goldbedarfs umfasst. Eine relativ neue Entwicklung ist die Anwendung von Gold-Nanopartikeln, beispielsweise für Einsätze in der medizinischen Diagnostik. Dieser Verwendungsbereich benötigt allerdings nur kleine Mengen Gold und ist derzeit nicht großflächig kommerzialisiert.

Der globale Gesamtbedarf an Gold variierte über die vergangenen zehn Jahre, ohne dass sich systematische Trends abzeichneten. Der Ausbruch der Coronavirus-Pandemie führte im Jahr 2020 zu einem Nachfrageeinbruch im Schmucksektor, teilweise kompensiert durch erhöhte Nachfrage nach Anlagegold. Im Folgejahr normalisierte sich die Nachfrage wieder. Der industrielle Goldbedarf sank tendenziell in den letzten Jahren. Dies ist auf preis- und technologiegetriebene Materialeinspar- und Substitutionseffekte zurückzuführen. Beispielsweise verdrängt Kupfer zunehmend Gold als Material für Bonddrähte in Elektronikkomponenten. Im Kapitalanlagebereich erfährt das Edelmetall bei einigen Zielgruppen eine gewisse Konkurrenz durch Kryptowährungen. Gold zeigt allerdings eine deutlich geringere Preisvolatilität als beispielsweise der Bitcoin.

2 VON DER LAGERSTÄTTE ZUM METALL

2.1 Geologie

Gold ist das Metall mit der größten Bandbreite an wirtschaftlich relevanten Lagerstättentypen. Dies reflektiert zwei Faktoren. Einerseits verhält sich Gold geochemisch sehr variabel und kann durch unterschiedliche Prozesse natürlich angereichert werden. Andererseits ist die Gewinnung von Gold aufgrund des hohen Goldpreises bereits ab sehr niedrigen Erzgehalten rentabel und daher global weit verbreitet. In diesem Kapitel und in Tabelle 1 erfolgt eine Kurzdarstellung der fünf wichtigsten Lagerstättentypen nach [3]. Mineralogische Angaben wurden ergänzt aus [4, 5].

Sekundärlagerstätten in Form von Paläoseifen stellen das wichtigste bekannte Goldreservoir in der oberen Erdkruste dar. Erhalten sind diese Lagerstätten heute im Wesentlichen im südafrikanischen Witwatersrand-Becken, aus dem bis zu 40 % der historischen globalen Goldförderung stammt. Neben Gold enthalten die Lagerstätten teils hohe Uran- und Quecksilbergehalte.

Aufgrund der intensiven Goldförderung seit dem Ende des 19. Jahrhunderts sind die südafrikanischen Lagerstätten in den wirtschaftlich zugänglichen Erzpartien bis in 4 Kilometer Tiefe heutzutage zunehmend erschöpft.

Deutlich wichtiger für die heutige Produktion sind vier Typen von Primärlagerstätten: orogene, porphyrische, epithermale sowie die sogenannten Carlin-Typ Goldlagerstätten. Orogene Lagerstätten sind an ehemalige tektonische Kollisionszonen gebunden und bildeten sich in großer Tiefe (5 – 15 km). Sie treten weltweit auf. Die Goldmineralisation in Form von goldreichem Electrum – einer Legierung zwischen Gold und Silber – tritt in relativ sulfidarmen Quarzgängen (mit oder ohne Karbonat) auf, die ursprünglich selektiv abgebaut wurden. Heutzutage wird in vielen Bergwerken das in geringerem Maße mineralisierte Nebengestein der Quarzgänge im Tagebau ebenfalls mit abgebaut.

Die Bildung von porphyrischen und epithermalen Lagerstätten ist tektonisch häufig mit Subduktionszonen assoziiert. Dort bildeten sich die meisten dieser Lagerstätten unter dem Einfluss magmatischer Fluide in geringer Tiefe (<2 km). Porphyrische Lagerstätten enthalten zwar nur niedrige Metallgehalte, sind jedoch

Tabelle 1: Die wichtigsten Typen von Goldlagerstätten, basierend auf der Klassifizierung von [3]. Goldgehalte berücksichtigen Angaben von [6], für Carlin-Typ Lagerstätten basieren sie auf [3]. Ergänzende Angaben von [5, 7].

Lagerstättentyp	Typische Goldgehalte	Assoziierte Metalle	Abbau & Geometrie
Paläoseifen	Aktive Bergwerke im Witwatersrand heute 3-14 g/t, historisch höhere Gehalte	Silber, Uran, Quecksilber	In Südafrika untertage Abbau der Konglomerat-Lagen („reefs“) in bis zu 4 km Tiefe. Tarkwa in Ghana ist der einzige große Tagebau.
Orogenes Gold ¹	<1 – 10 g/t	Silber	Vertikal extensive Erzsadern. Hochgehaltige Lagerstätten bis >2km Tiefe abbauwürdig. Tagebau dominiert für Erzgehalte <3 g/t.
Porphyrisch (goldreicher Subtyp)	0,2 – circa 1 g/t	Kupfer, Silber, selten Molybdän	Tagebau der großvolumigen, fein verteilten Mineralisation. Untertage bis >1 km Tiefe möglich, teils als Übergang vom Tagebau.
Epithermal	<1 – 10 g/t, einzelne Vererzungszonen lokal auch höher (sogenannte Bonanza-Gehalte)	Silber, Kupfer, Blei, Zink	Unterschiedliche Erzkörper je nach Subtyp: geringmächtige Schichten oder großvolumiger und vertikal extensiver, mit niedrigeren Gehalten. Förderung bis ≤4 g/t im Tagebau.
Carlin	Refraktäre Sulfiderze >5 g/t; wenn oxidiert ab 0,4 g/t abbauwürdig	Silber, teils Quecksilber	Höhere Goldgehalte untertage in >500 m Tiefe. Lagerstätten mit oxidierten Erzzonen im Tagebau erschlossen.
Primär- und Sekundär- Lagerstätten im Kleinbergbau	Variabel, je nach Abbaumethode, Goldpreis, Lebensumständen der Bergleute. Daumenregel für minimale Abbauwürdigkeit: 10 g/t für Festgestein, 1 g/m ³ für unkonsolidierte Sedimente.	Teils Silber	Abbau goldreicher Adern und Schichten im Tagebau und untertage. Fördertiefe orientiert sich an Grundwasserpegel und Einsatz von Pumpen. Goldgewinnung aus Flusssseifen mit Flößen (Dredge) möglich.

¹ inkl. Lagerstätten mit unscharfer Abgrenzung zur Klasse der Intrusions-gebundenen Lagerstätten

großvolumig. Sie umfassen ein Spektrum von kupfer- und goldreichen Subtypen. Die weltweit größten porphyrischen Kupferlagerstätten in Südamerika sind arm an Gold. Goldreiche Lagerstätten dieses Typs finden sich stattdessen im südwestlichen Indo-Pazifischen Raum sowie in Nordamerika. Goldreiche epithermale Lagerstätten sind hingegen auch in den südamerikanischen Anden zu finden. Derartige Goldlagerstätten enthalten im Vergleich zu orogenen Lagerstätten einen höheren Silberanteil. Gold tritt als Electrum oder reines Gold auf, in einigen Lagerstätten auch als Tellurid, und ist häufig mit Sulfiden assoziiert.

Carlin-Lagerstätten sind größtenteils im US-Bundesstaat Nevada anzutreffen, der global das größte aktive Goldförderrevier darstellt. Gold tritt in den Lagerstätten unsichtbar auf und ist extrem feinkörnig in Pyrit enthalten. Weitere global wichtige Lagerstättentypen umfassen Seifenlagerstätten (geologisch jünger als Paläoseifen), intrusions-gebundenes Gold, massive Sulfide, Skarne und die sogenannten IOCG- (Iron Oxide-Copper-Gold) Lagerstätten.

Aufgrund des hohen Goldpreises kann die Goldgewinnung aus Festgestein unter bestimmten Voraussetzungen mittlerweile bereits ab Erzgehalten von etwa 0,4 Gramm pro Tonne mit Gold als Hauptprodukt rentabel sein. Die meisten heute im Großbergbau erschlossenen Lagerstätten weisen mittlere Goldgehalte im Bereich von <1 – 15 Gramm pro Tonne auf. Oberflächennahe Oxidationsprozesse wirken sich oft günstig auf die Abbauwürdigkeit von Goldlagerstätten aus. Dadurch werden goldhaltige Sulfidminerale zersetzt, was die Goldgewinnung vereinfachen kann.

Die globalen Goldreserven werden aktuell auf 54.000 Tonnen geschätzt und sind geographisch breit gestreut. Allein 15 Länder weisen Reserven von mehr als 1.000 Tonnen auf. Die größten Anteile entfallen auf Australien, Russland und Südafrika [8]. Die Vorräte einzelner Lagerstätten mit Gold als Hauptprodukt schwanken zwischen einigen hundert bis zu weniger als einer Tonne Goldinhalt [6]. Einzellagerstätten mit mehr als 1.000 Tonnen Goldinhalt kommen vor, sind jedoch selten. Einzelne Kupferlagerstätten wie Olympic Dam (Australien), Grasberg (Indonesien) oder Oyu Tolgoi (Mongolei) enthalten als Nebenprodukt ebenfalls Goldvorräte in dieser Größenordnung.

Gold wird nicht nur industriell, sondern auch im Kleinbergbau gewonnen (siehe Definition in Kapitel 2.2). Goldseifen in Flüssen und Flussterrassen stellen einen wichtigen Lagerstättentyp für derartige Abbauaktivitäten dar. Kleinbergbau findet daneben häufig in oberflächennahen Festgesteinslagerstätten statt, soweit diese

reiche Erzzonen aufweisen. Lagerstättentypen mit fein verteilten niedrigen Goldgehalten (porphyrisch, Carlin) werden nicht im Kleinbergbau erschlossen.

2.2 Bergbau und Aufbereitung

Produktion

Hinter Eisenerz repräsentiert Gold den vom Förderwert her derzeit wichtigsten metallischen Rohstoff. Im Zeitraum von 2016 – 2020 wurden jährlich 3200 – 3500 Tonnen Gold in Bergwerken produziert. Der Wert der Bergwerksförderung lag im Mittel bei 149 Milliarden US-Dollar pro Jahr. Gold ist von besonderer Relevanz in der internationalen Rohstoffexploration. In 2021 entfielen 55 % der globalen Explorationsausgaben für Nichteisenmetalle auf Gold [6]. Die S&P Global-Datenbank enthält aktuell über 5000 aktive oder temporär stillgelegte industrielle Explorations- und Abbauprojekte in 93 Ländern mit Gold als Hauptprodukt. Zum Vergleich: Für Kupfer und Eisen, die neben Gold größten mineralischen Rohstoffsektoren, sind etwa 2.000 beziehungsweise 1.000 derartige Projekte hinterlegt. Dies zeigt die globale Breite und Relevanz des Goldbergbaus.

Die hohe Anzahl an Goldproduzenten führt zu einer niedrigen Länderkonzentration der Bergwerksförderung, sodass Gold nicht als kritisch im Sinne der Versorgungssicherheit eingestuft wird. Die wichtigsten Förderländer im industriellen Goldbergbau sind die Volksrepublik China, Australien, Russland, die USA und Kanada. Während die Goldförderung in den USA und Südafrika seit dem Jahr 2000 zurückging, stieg sie in China und Russland deutlich an. Die Goldproduktion in Afrika (ohne Südafrika) hat sich seit dem Jahr 2000 verdreifacht (Abb. 2).

Der industrielle Goldbergbau zeichnet sich durch eine große Variation der Bergwerksgrößen aus. Relativ wenige Großbergwerke stehen für einen Großteil der Produktion, wohingegen kleine und mittlere Bergwerke einen Großteil der globalen Standorte repräsentieren. Konkret repräsentieren Großbergwerke mit mehr als fünf Tonnen Goldproduktion pro Jahr etwa ein Fünftel aller derzeit 622 bei [6] registrierten Bergwerke mit Gold als Hauptprodukt, für die im Zeitraum 2018 – 2021 Produktionszahlen verfügbar sind. Diese 133 Großbergwerke sind für 65 % der in der Datenbank registrierten Gesamtproduktion aller Bergwerke verantwortlich (Tabelle 2).

Lagerstätten mit Gold als Hauptprodukt können je nach Typ wirtschaftlich relevante Vorräte an Silber, Kupfer, Blei, Zink, Uran, Molybdän, Antimon und Quecksilber enthalten, die auf einigen Bergwerken als

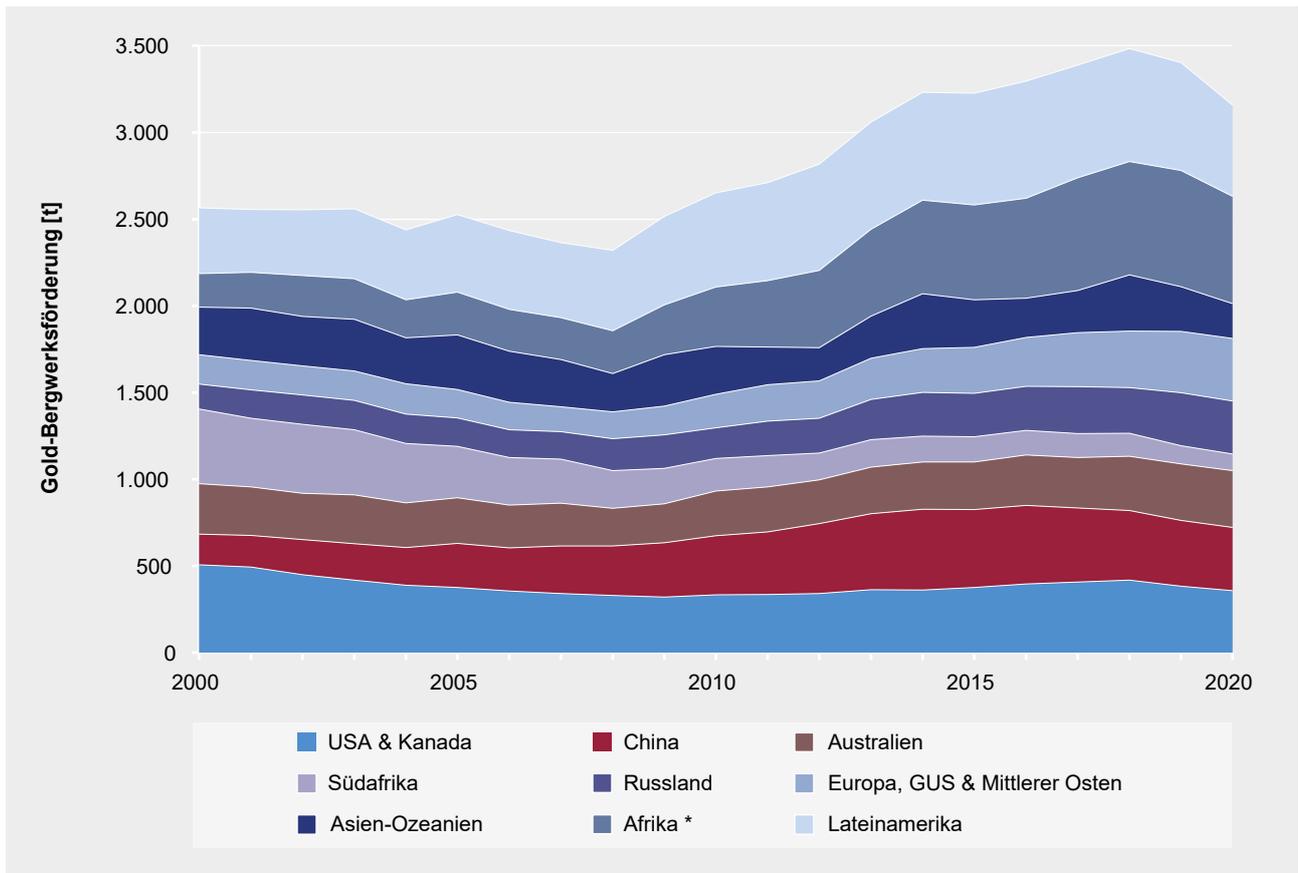


Abb. 2: Entwicklung der Gold-Bergwerksförderung nach Hauptförderregionen. * Afrika ohne Südafrika (als eigene Kategorie erfasst). Datenquelle: BGR-Rohstoffdatenbank

Nebenprodukte gewonnen wurden oder werden. Gold tritt zudem in einer Reihe weiterer Lagerstätten auf (unter anderem in Kupfer-, Nickel- und Platinlagerstätten) und wird dort seinerseits teils als Nebenprodukt gewonnen. Im Mittel der Jahre 2018 – 2021 fanden 87 % der industriellen Goldgewinnung in Bergwerken statt, in denen Gold das Hauptprodukt darstellt (Abb. 3). Knapp 10 % der Goldgewinnung erfolgt als Nebenprodukt in Kupferbergwerken. Die Goldgewinnung als Nebenpro-

dukt von Silber, Zink oder Platingruppenmetallen ist von untergeordneter Bedeutung für die Gesamtproduktion. Mit gut 3.000 Tonnen von als Nebenprodukt gewonnenem Silber trug der Goldbergbau, vor allem in Mexiko, etwa 10 % zur globalen Silberproduktion im oben genannten Zeitraum bei. Zudem wurden in Bergwerken mit Gold als Hauptprodukt jährlich gut 400.000 Tonnen Kupfer als Nebenprodukt gewonnen.

Tabelle 2: Größenverteilung der Produktionsparameter industrieller Bergwerke mit Gold als Hauptprodukt.

Goldproduktion [t pro Jahr]	Anteil an globalen Bergwerks-Standorten	Anteil an erfasster industrieller Goldproduktion	Mittlerer Erzdurchsatz [Millionen t]	Mittlerer Goldgehalt* vor Aufbereitung [g/t]
≥10	7 %	39 %	13,2	3,7
≥5 – <10	14 %	26 %	4,9	3,7
≥ 1 – <5	47 %	31 %	2,2	3,5
<1	32 %	4 %	0,5	3,9

Quelle: Auswertung des Autors auf Basis hinterlegter Daten in [6]. Daten umfassen 622 Bergwerke, die insgesamt 2.242 Tonnen Gold pro Jahr produzieren (Jahresmittel 2018 – 2021). Damit ist nicht der komplette industrielle Goldbergbau erfasst. Bergwerke mit Gold als Nebenprodukt sowie der Kleinbergbau sind ebenfalls nicht erfasst. * Angabe des Goldgehalts für das Jahr 2020.

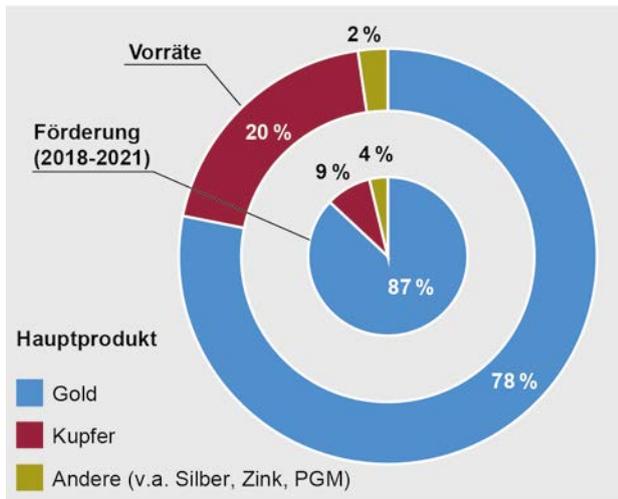


Abb. 3: Verteilung der globalen Goldförderung sowie der Vorräte nach assoziiertem Hauptprodukt. Quelle: Auswertung des Autors auf Basis hinterlegter Daten laut [6]. Diese projektspezifischen Angaben in der Datenbank decken etwa 72 % der globalen Gesamtförderung von Gold ab. Die insgesamt erfasste Goldproduktion entspricht 2576 t, die erfassten Goldvorräte 89.392 t. Vorräte definiert als Summe von Reserven und Ressourcen. PGM = Platingruppenmetalle.

In etwa 70 – 80 Ländern ist eine Goldgewinnung im artisanalen und Kleinbergbau bekannt, im Folgenden nur als Kleinbergbau bezeichnet. Der Kleinbergbau umfasst ein weites Aktivitätenspektrum. In seiner einfachsten Form erfolgt er in Kleingruppen, die Gold mit Pfannen in Flüssen waschen. Diese und weitere artisanale Produktionsmethoden sind arbeitskraftintensiv und niedrigproduktiv. Der Kleinbergbau erfolgt jedoch auch organisierter und wird in diesem Zuge zunehmend mechanisiert, entweder auf Ebene des Abbaus und/oder in der Aufbereitung. Wenn entsprechendes Kapital investiert wird, teils von ausländischen Investoren, kann dies zu einer deutlich höheren Produktivität führen.

Begünstigt durch die hohen Goldpreise hat sich der Kleinbergbau im Verlauf des letzten Jahrzehnts deutlich ausgeweitet. Nach Schätzung der BGR produzieren derzeit 23 Länder mehr als 10 Tonnen Gold pro Jahr im Kleinbergbau (Abb. 1), die Datenlage ist allerdings sehr unsicher. Die aktuell größten Goldproduzenten im Kleinbergbau sind Indonesien, der Sudan, die Volksrepublik China, Ghana und Peru. Pauschal wird derzeit geschätzt, dass 20 % der globalen Primärgoldförderung im Kleinbergbau erfolgt [9]. Dies entspricht etwa 700 Tonnen Gold pro Jahr. Nach Einschätzung der BGR könnte der Wert sogar noch höher liegen. Bei den derzeit hohen Goldpreisen hätte die artisanale Goldproduktion einen Wert von mehr als 30 Milliarden US-Dollar pro Jahr.

Aufbereitungsverfahren im industriellen Bergbau

Eine schematische Übersicht zu einer Auswahl wichtiger Verfahren wird in Abb. 4 dargestellt. Im industriellen Goldbergbau ist die Zyanid-Laugung in Kombination mit der Goldadsorption an aktiven Kohlenstoff als wichtigste Gewinnungsmethode etabliert. Das Verfahren wird entweder direkt auf das Roherz oder auf Konzentrate angewandt, die zunächst mittels Flotation und teils gravimetrischer Schwereretrennung erzeugt werden. Eine Zyanid-Laugung ist nicht erforderlich, wenn die metallurgischen Eigenschaften des Erzes die Gewinnung eines Goldkonzentrats erlauben, das direkt verhüttet werden kann. Ebenso ist die Verhüttung eines sulfidischen Flotationskonzentrats mit Gold als Nebenprodukt möglich. Im Jahr 2004 wurden diese beiden Verfahren im industriellen Sektor für insgesamt etwa 20 % der globalen Primärgoldförderung eingesetzt, während Laugungsverfahren 60 % des Sektors repräsentierten. Für die restlichen 20 % ließ sich das praktizierte Aufbereitungsverfahren nicht genau ermitteln [5]. Die pyrometallurgischen Verfahren und anschließende Gewinnungsmethoden werden hier nicht weiter besprochen. Eine ausführliche Übersicht zu sämtlichen Verfahren findet sich in [5], auf deren Angaben die im Folgenden skizzierten Methoden basieren.

Eine grundlegende Frage für die Auswahl der Aufbereitungsverfahren im Vorfeld der Zyanid-Laugung ist, ob das Gold refraktär vorliegt. Letzteres beschreibt Goldpartikel, die nach dem Brechen und Mahlen des Erzes weiterhin in Sulfidmineralen eingeschlossen sind, sodass sie mittels Zyanid-Laugung nicht effektiv in Lösung gebracht werden können. In derartigen Fällen ist eine oxidierende Vorbehandlung des Erzes zur Zersetzung der Sulfidminerale notwendig (Abb. 4). Eine Vorbehandlung ist des Weiteren dann nötig, wenn das Erz natürlichen Kohlenstoff enthält, der das durch die Zyanid-Laugung freiwerdende Gold adsorbieren würde.

Um diesen Kohlenstoff zu deaktivieren, erfolgt eine Vorbehandlung zur sogenannten Passivierung der Kohlenstoffoberflächen. Außerdem kann die Vorbehandlung dazu dienen, bestimmte im Erz enthaltenen Mineralphasen zu zersetzen oder zu deaktivieren, deren Präsenz zu einem erhöhten Verbrauch an Prozesschemikalien führen würde. Unter anderem umfassen die je nach Erztyp möglichen hydrometallurgischen Verfahren zur oxidierenden Vorbehandlung die Druckoxidierung im sauren Milieu, die Chlorierung und die Biooxidation. Alternativ kann das Erz energieintensiv geröstet werden, was eine Reihe volatiler Schadstoffe freisetzt, die in Gasfiltern abgefangen werden müssen. Dies betrifft insbesondere Schwefeldioxyd und Arsentrioxyd.

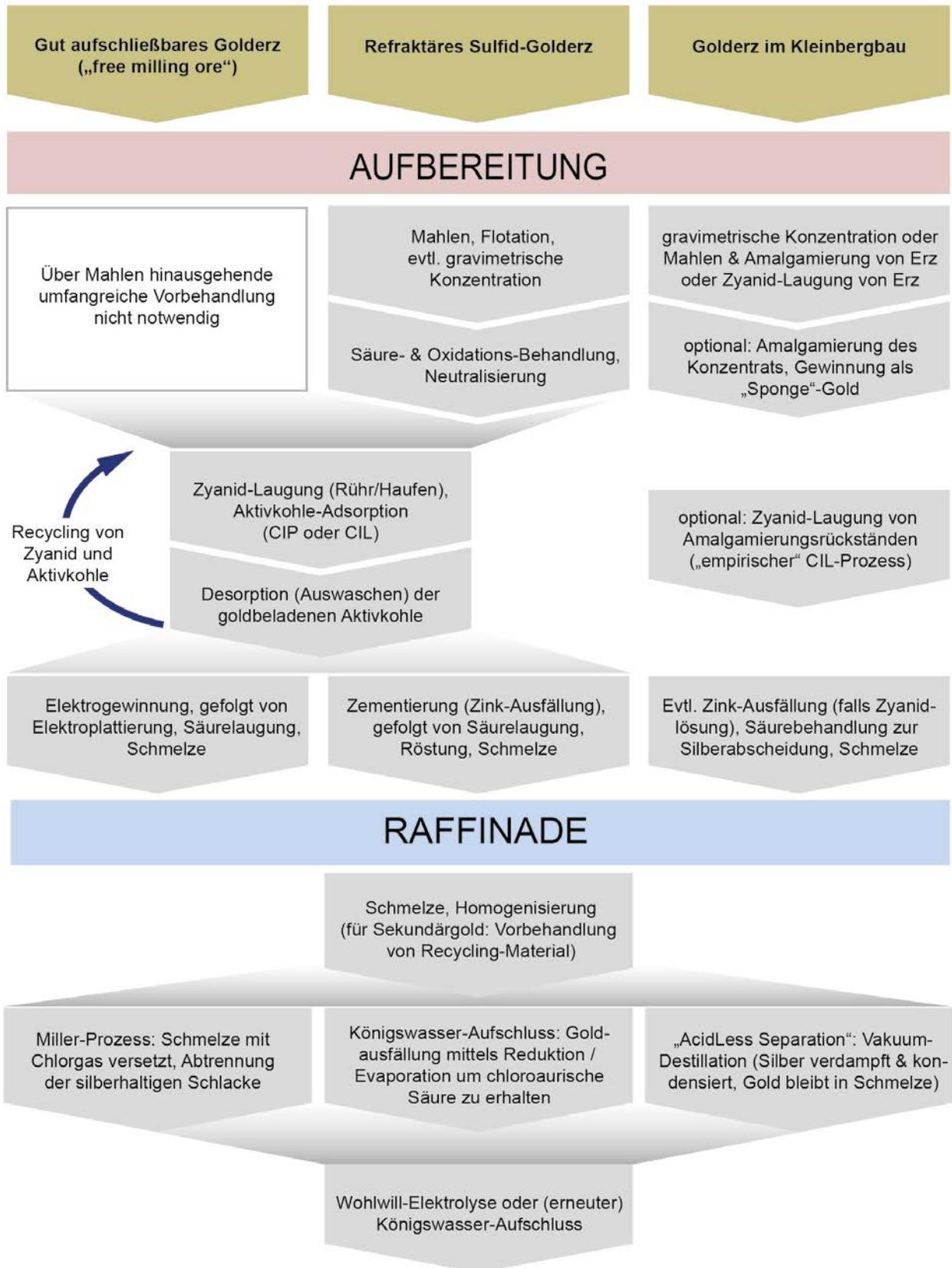


Abb. 4: Auswahl beispielhafter Prozessschritte der Goldgewinnung (vereinfacht), basierend auf Beschreibungen laut [5] (für industrielle Aufbereitung) und verschiedenen im Text zitierten Quellen (Kleinbergbau und Raffinade). CIP = carbon in leach; CIL = carbon in pulp.

Im Anschluss an die optionale Vorbehandlung des Erzes erfolgt die Zyanid-Laugung, oft in Tanks als Rührlaugung von gemahlenem Erzschlamm. Gold geht dort in einem basischen Milieu (pH 10 – 11) als Gold-Zyanid-Komplex innerhalb einiger Stunden bis Tage in Lösung. Alternativ kann eine Haufenlaugung durchgeführt werden. Bei dieser wird das Golderz aufgehaldet und mit einer Zyanid-Lösung besprüht. Die Haufenlaugung ist kostengünstiger und erfordert weniger Energie als eine Laugung in Tanks, da das Erz nicht auf kleine Korngrößen gemahlen werden muss. Allerdings dauert der Prozess länger und bringt ein niedrigeres Ausbringen von Gold mit sich.

Bei der Zyanid-Laugung in Tanks wird typischerweise ein Goldausbringen von >90 % erreicht. Dementsprechend enthalten derartige industrielle Aufbereitungsabgänge nur wenig Restgold. Das Ausbringen bei der Haufenlaugung liegt hingegen nur bei 50 – 80 %. Goldreiche Konzentrate können einer Intensivlaugung bei erhöhtem Druck und Temperatur unterzogen werden, durch die das Ausbringen auf 97 – 99 % gesteigert werden kann. Alternative Laugungsprozesse, die auf Zyanid verzichten, werden zwar seit Jahren erforscht, wie beispielsweise der Einsatz von Thiosulfat. Jedoch sind diese Verfahren nach wie vor nicht so kostengünstig durchführbar wie die Zyanid-Laugung. Vor einigen Jahren sorgte ein in Australien entwickeltes Verfahren für Beachtung, das auf dem Einsatz von Glycin basiert. Dessen Zugabe soll die Verbrauchsmengen an Zyanid signifikant reduzieren können [10].

Bis in die 1980er Jahre hinein wurde das in der Zyanid-Lösung befindliche Gold durch Zugabe von Zink direkt ausgefällt (Merrill-Crowe-Prozess). Heutzutage wird das Gold in der Lösung hingegen zunächst aufkonzentriert. Dies erfolgt mittels Adsorption des Goldes an und anschließender Desorption von Aktivkohle. Letztere wird durch Verkohlung aus verschiedenen organischen Materialien gewonnen, insbesondere der Schale von Kokosnüssen. Als Alternative zur Aktivkohle werden zunehmend synthetische Ionenaustauscher-Harze eingesetzt. Die Adsorptionsprozesse werden entweder in einer separaten Sequenz von Durchflusstanks umgesetzt („Carbon-in-pulp“) oder direkt zusammen mit der Laugung durchgeführt („Carbon-in-leach“). Letzterer Ansatz ist weniger kapitalintensiv, aber mit höheren Betriebskosten verbunden.

Durch den Zwischenschritt der Ad- und nachfolgenden Desorption von Gold an beziehungsweise von Aktivkohle oder Harze(n) lässt sich der Goldgehalt in der Lösung signifikant steigern. Die nachfolgende Goldgewinnung aus derart aufkonzentrierten Lösungen erfolgt entweder per Gewinnungselektrolyse oder mittels Zementie-

rung (Abb. 4). Bei der Gewinnungselektrolyse wird Gold als Schlamm oder an Edelstahlelektroden abgeschieden. Aus letzteren wird dann mittels Säurelaugung, Aufschmelzung oder Elektroplattierung Doré-Gold gewonnen. Alternativ wird das Gold mittels Zementierung aus konzentrierten Lösungen durch Zugabe von Zink ausgefällt und das Produkt filtriert. Auch dort erfolgt im Anschluss eine Säurelaugung und Aufschmelzung. Die in der Goldgewinnung eingesetzten Zyanid-Lösungen werden gereinigt und am Ende in den Prozess zurückgeführt. Die Aktivkohle lässt sich nach Verwendung erneut aktivieren und kann mittels Recyclings in 100 bis 400 Prozesszyklen eingesetzt werden.

Aufbereitungsverfahren im Kleinbergbau

Im Kleinbergbau wird nach wie vor häufig das Verfahren der Gold-Amalgamierung mit Quecksilber eingesetzt. Kleinbergleute amalgamieren entweder das aus der gravimetrischen Aufbereitung gewonnene Konzentrat oder das Roherz (Abb. 4). Bei letzterem Verfahren entstehen höhere Quecksilberverluste in die Umwelt und das Ausbringen von Gold ist je nach Erztyp relativ niedrig (z. B. 30 %). Hingegen kann bei der Amalgamierung von Konzentraten und der kontrollierten Verbrennung des Gold-Quecksilber-Amalgams in einer Retorte ein Großteil des Quecksilbers recycelt werden. Nach der Verbrennung des Amalgams bleibt sogenanntes Schwammgold („Sponge-Gold“) als Produkt zur Weiterverarbeitung zurück. Dieses kann noch bis zu 10 % Quecksilber enthalten [7].

Insbesondere im letzten Jahrzehnt hat sich die Zyanid-Laugung im Kleinbergbau als Verfahren zunehmend global verbreitet. Im Gegensatz zum industriellen Sektor erfolgt im Kleinbergbau keine laufende Kontrolle der Prozessparameter. Stattdessen erfolgt die Anwendung des Verfahrens meist empirisch, das heißt auf Basis der Erfahrungswerte der Anwender [11]. Bei dem Verfahren werden entweder die Aufbereitungsabgänge aus der Amalgamierung oder unbehandeltes Roherz gelaut. Der Einsatz von Aktivkohle zur Goldanreicherung ist möglich. Dies erfolgt in Tanks oder Teichen in einem rudimentären Carbon-in-leach Verfahren. Die im Laugungsprozess beladene Aktivkohle wird im Anschluss verbrannt oder amalgamiert, um das daran adsorbierte Gold zu gewinnen. Viele Aufbereiter verwenden jedoch keine Aktivkohle, sondern fällen das Gold durch Zugabe von Zink direkt aus der Lösung aus, ähnlich wie beim traditionellen Merrill-Crowe-Verfahren [12].

Im Kleinbergbau gewonnenes Gold durchläuft weitere Prozesse der Vorraffinade, bevor es als Doré-Gold an internationale Goldscheideanstalten verkauft wird. Dies beinhaltet die Aufschmelzung des Goldes unter Zugabe eines Flussmittels wie Borax, wodurch volatile Neben-

und Spurenelemente ausgetrieben werden. Falls besonders hochgradige Goldkonzentrate vorliegen, kann die Aufschmelzung auch direkt, ohne vorhergehende chemische Prozesse (Amalgamierung oder Zyanid-Laugung), vorgenommen werden. In vielen Fällen ist ein derartiger direkter Schmelzprozess jedoch nicht effektiv [12]. Neben der Aufschmelzung wird das Doré-Gold häufig mit Salpetersäure zur Lösung des enthaltenen Silbers behandelt. Derartige Prozesse werden, ebenso wie die oben dargestellten Schritte der Zyanid-Laugung, meistens nicht von den Kleinbergleuten selbst, sondern von Goldhändlern oder Aufbereitungsbetrieben durchgeführt.

2.3 Weiterverarbeitung

Produktion

Die Raffinade von Gold erfolgt in weltweit mindestens 175 Standorten [13]. In dieser Anzahl nicht enthalten ist eine Reihe von Standorten in Ländern des Globalen Südens, die in der Vorraffinade von Gold engagiert sind (siehe Kapitel 2.2), jedoch teilweise auch einzelne nachgeschaltete Raffinadeschritte durchführen. International gehandeltes Gold wird in vielen Fällen entsprechend der Qualitätsstandards der London Bullion Market Association (LBMA) kontrolliert. Im Branchenverband LBMA sind 32 Goldscheideanstalten sowie weitere Marktteilnehmer wie Händler und Banken organisiert. Seit dem Jahr 2020 erstattet die LBMA jährlich öffentlich Bericht zu der nach Regionen aggregierten Produktion ihrer Mitglieder. Im Produktionsjahr 2020 wurden demnach 5581 Tonnen Gold von diesen Scheideanstalten raffiniert, im Jahr zuvor 4.938 Tonnen [14, 15]. In dieser Menge ist neben der Verarbeitung von Primär- und Sekundärgold auch die Umschmelzung von Goldbarren enthalten.

Auf Basis der LBMA-Daten hat die Schweiz einen globalen Raffinade-Marktanteil von etwa einem Drittel, die Volksrepublik China von knapp einem Fünftel. Bei dieser Statistik ist zu beachten, dass die LBMA nicht den Gesamtmarkt von Gold abdeckt. Die LBMA-Mitglieder sind für die Raffinade von geschätzt 63 % des global produzierten Primärgoldes verantwortlich [16]. Insbesondere Gold aus dem Kleinbergbau ist bei der LBMA wesentlich unterrepräsentiert. Während die globale Goldproduktion aus dem Kleinbergbau bei geschätzt 700 Tonnen liegt, durchliefen im Zeitraum 2018 – 2020 offiziell lediglich 16 – 26 Tonnen Gold aus dem Kleinbergbau Raffinadeprozesse bei LBMA-Mitgliedern [14, 15]. Diese Problematik wird in Kapitel 5.3 weiterführend erläutert.

Raffinadeverfahren

Für Gold gibt es drei wesentliche Raffinadeprozesse, die häufig miteinander kombiniert werden. Daneben gibt es weitere Verfahren, zum Beispiel die sogenannte AcidLess Separation, die bei einzelnen Scheideanstalten zum Einsatz kommen (Abb. 4). Die Wahl der Raffinadeverfahren für Gold orientiert sich an der Zusammensetzung der auf den Bergwerken erzeugten Vorprodukte beziehungsweise des im Rahmen des Recyclings zugeführten Sekundärgoldes. Häufig wird Primärgold in Form von Doré-Gold bezogen. Dabei handelt es sich um eine Legierung, die hauptsächlich aus Gold mit geringen Anteilen von Silber, Kupfer sowie einer Reihe von Spurenelementen besteht. Typische Goldgehalte von Doré-Gold liegen bei 85 – 95 %.

Den Raffinadeprozessen vorgeschaltet ist ein Schmelzprozess des Goldes, der der Homogenisierung des Materials und der Wertbestimmung dient. Dabei wird eine Reihe volatiler Spurenelemente ausgetrieben, wenn diese nicht bereits im Rahmen der Vorraffinade entfernt wurden. Im Hinblick auf die nachgeschaltete Scheidemethode (Abb. 4) lässt sich Gold aus dem Schmelzvorgang in unterschiedlichen Formen gewinnen [17]. Eine schnell herbeigeführte Abkühlung resultiert in der Bildung von Goldgranulat („Popcorn“) mit hoher Oberfläche, was eine nachfolgende chemische Behandlung mit Säuren beschleunigt.

Historisch ist der Miller-Prozess die weltweit verbreitetste Scheidemethode für Primärgold. Sie beinhaltet die Versetzung der goldhaltigen Schmelze mit Chlorgas in einem Induktionsofen. Die Methode basiert auf dem Prinzip, dass Gold-Chlorid-Verbindungen bei Temperaturen $>400^{\circ}\text{C}$ instabil sind. Dementsprechend verbleibt Gold in der Schmelze, während Silber und weitere Metalle Chlorid-Verbindungen eingehen. Diese lagern sich als Schlackeschicht auf der Schmelze ab und lassen sich durch Zugabe eines Fluxmittels von der Schmelze abtrennen. Mit diesem Verfahren lässt sich Gold mit einem Feingehalt (Reinheit) von bis zu 99,5 % erzeugen, was der Minimumqualität für Goldbarren zu Anlagezwecken („Bullion“) entspricht. Viele Goldscheideanstalten produzieren heutzutage Gold der Qualitätsstufe 4N (99,99 % Feingehalt). Um diese Qualität zu erreichen, ist der Einsatz eines zusätzlichen Raffinadeprozesses erforderlich (Abb. 4).

Eine Alternative zum Miller-Prozess ist der Königswasseraufschluss („Aqua Regia“, eine Mischung aus Salz- und Salpetersäure), der die selektive Lösung von Gold in goldreichen Legierungen ermöglicht. Im Anschluss wird Gold entweder durch Zugabe von Reduktionsmitteln aus der Lösung ausgefällt oder die Lösung evaporiert. Dabei bleibt Goldchlorid (chemisch: tetra-

chloraurische Säure) als Produkt zurück. Durch eine Wiederholung des Lösungs- und Fällungsprozesses lässt sich ein hochreines Goldprodukt erzeugen.

Ein weiterer Raffinadeschritt ist die Wohlwill-Elektrolyse. Bei dieser wird Gold in Form von Anodenplatten in ein Elektrolysebad eingeführt. Der Elektrolyt besteht aus einer Mischung von Salzsäure und Goldchlorid-Lösung. An den Kathodenplatten lagert sich dann reines Gold der Qualitätsstufe 4N ab. Durch eine Wiederholung der Prozesse lässt sich bei Bedarf eine Qualität von 5N (99,999 %) erreichen.

Aufgrund des hohen Produktwertes werden Prozessverluste in der Goldraffinade auf ein Minimum reduziert. Dies erfordert den umfassenden Einsatz von internen Recyclingprozessen innerhalb der Fertigungsstätten. Diese beruhen auf einer genauen Inventarisierung der einzelnen Goldflüsse, Emissionen und Prozessrückstände. Goldverluste können so auf weniger als 0,1 % reduziert werden. Selbst mit ausgefeilter Technologie gelangt jedoch einiges Gold ins Abwasser der Goldscheideanstalten. Derzeit wird der Einsatz von Nanopartikelfiltern getestet, um die Goldverluste weiter zu reduzieren.

Goldscheideanstalten und nachfolgende Verarbeiter vertreiben je nach Verwendungszweck unterschiedliche Gold-Zwischenprodukte. Am verbreitetsten sind Halbzeuge und Granulate für die Schmuckindustrie sowie Goldbarren und untergeordnet Münzen als Kapitalanlage. Für die gewünschten Verarbeitungsmerkmale bezüglich Farbe, Härte und Preis werden für den Schmucksektor unterschiedliche Legierungen angeboten, beispielsweise Rotgold (mit Kupfer) oder Weißgold (mit Nickel oder Palladium), jeweils mit einem Feingehalt von etwa 75 % Gold (18 Karat).

Goldbarren zu Anlagezwecken können entweder gegossen oder geprägt werden. Zudem werden zwei Kategorien unterschieden: „Good Delivery“ Barren laut LBMA-Vorgaben haben einen normierten Gewichtsbereich, der um 400 Feinunzen schwankt (10,9 – 13,4 kg). Sie dienen Anlagezwecken im Finanzsektor und werden in speziellen Tresorräumen gelagert. Private Verbraucher nutzen hingegen Goldbarren in kleinerer Stückelung, meist im Bereich von 1 – 1.000 Gramm. Einige Goldscheideanstalten schmelzen bei entsprechender Nachfrage die größeren „Good Delivery“-Barren in kleinere Barren für den Privatbedarf um.

Für den Einsatz von Gold in Elektronik- und weiteren Produkten sind die Galvanotechnik sowie die Nutzung von Goldbonddraht von hoher Relevanz. Mittels galvanischer Bäder lassen sich einzelne Bauteile zur Verbes-

serung der Leitfähigkeit sowie als Korrosionsschutz vergolden. Für derartige Anwendungen vertreiben einige Goldscheideanstalten goldhaltige Lösungen, beispielsweise Kalium-Dicyanoaurat mit einem Goldgehalt von 68 %. Einige Scheideanstalten bieten auch Zyanid-freie Alternativen an. Goldbonddraht wird als reines Gold sowie als Legierung vertrieben. Mit einem Durchmesser ab etwa zehn Mikrometern können die Drähte deutlich feiner sein als ein menschliches Haar (60 – 80 µm). Sie werden eingesetzt, um elektronische Komponenten wie Halbleiter mit einer Grundfläche zu verbinden.

3 RECYCLING

Das Recycling ist von hoher Relevanz für den internationalen Goldmarkt. Im Zeitraum 2010 – 2021 wurden im Mittel jährlich 1294 Tonnen Gold recycelt, dies entspricht 28 % der Gesamtproduktion aus primären und sekundären Quellen [1]. Gold, das in Form von Anlagegold oder Goldschmuck vorliegt, wird nahezu komplett recycelt, ist allerdings meist für lange Zeit in den Produkten gebunden. Ein differenzierteres Bild ergibt sich in der industriellen Goldnutzung. Das in Elektro(nik)produkten enthaltene Gold, der wichtigsten industriellen Nutzungsform, wird am Ende des Produktlebenszyklus aufgrund der niedrigen Sammelrate zu geschätzt weniger als 40 % zurückgewonnen, obwohl die reine Prozessausbeute in der Metallurgie bei rund 98 % liegt [18]. Genaue Recyclingraten für das in den elektronischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen enthaltene Gold sind nicht bekannt, werden jedoch auf wahrscheinlich weniger als 10 % geschätzt. Gold, das in Katalysatoren in der chemischen Industrie eingesetzt wird, wird hingegen zu mehr als 90 % zurückgewonnen, allerdings sind die dort enthaltenen Goldmengen sehr gering.

Verfahrenstechnisch basiert das Recycling von Gold auf den am Markt etablierten pyro- und hydrometallurgischen Raffinadeprozessen (Kapitel 2.3), deren Auswahl sich im Einzelnen an den Eigenschaften des Eingangsmaterials orientiert. Schmuck sowie bestimmte industrielle Produktionsabfälle haben bereits relativ hohe Goldgehalte, sodass der Aufschluss mit Königswasser ein geeignetes Verfahren darstellt. Vor der Lösung wird das Sekundärgold geschmolzen und granuliert. Das Verfahren ist unter Goldscheideanstalten in Deutschland verbreitet [19].

Sekundärgold aus dem Anlage- und Schmucksektor umfasst hochwertige Goldprodukte, die sich direkt raffinieren lassen, sowie niederwertige Goldabfälle. Letztere sind vor allem die sogenannten Gekrätzte („Sweeps“) von Juwelieren – in der Fertigung eingesetzte Polituren,

Tücher oder am Boden abgelagerter Staub. Dieses goldhaltige Material wird vor der Weiterverarbeitung verascht, um das enthaltene organische Material zu entfernen [19], oder das enthaltene Gold wird direkt über Schmelzverfahren aufkonzentriert und extrahiert.

In Elektro(nik)produkten ist Gold primär in den Leiterplatten konzentriert. Je nach Produkt können diese Leiterplatten eine große Bandbreite von Goldgehalten aufweisen, von <50 bis zu 1.000 Gramm pro Tonne. Ein typischer Gehalt liegt bei 300 Gramm pro Tonne. Insgesamt enthält ein Smartphone circa 0,02 Gramm Gold [20]. Ein PC oder Laptop kann bis zu zehnmal mehr Gold enthalten (bis zu 0,2 Gramm; [21]). Allerdings sind die Goldgehalte in den Produkten aufgrund der eingangs erwähnten Trends der Materialeinsparung und Substitution in den letzten Jahren stark rückläufig.

Das Recycling von Elektro(nik)schrott zur Rückgewinnung von Gold und weiterer Wertstoffe ist aufwändig. Es erfordert mehrere der Raffinade vorgeschaltete Aufbereitungsstufen, in denen eine mechanische oder manuelle Trennung sowie eine Zerkleinerung der Komponenten erfolgt. Goldreiche Produktkomponenten wie Leiterplatten sollten in diesem Prozess für eine optimale Rückgewinnung abgetrennt werden. Wenn die Produkte undifferenziert geschreddert werden, können ansonsten Goldverluste von bis zu 75 % resultieren. Wenn der Prozess optimal durchgeführt wird, kann nahezu der gesamte Goldinhalt der nächsten Verarbeitungsstufe zugeführt werden [18, 22]. Dazu ist beispielsweise eine mechanische oder manuelle Separation der Leiterplatten vor dem Schredder mit direkter Einsteuerung in die metallurgischen Prozesse notwendig. In geeigneten Anlagen werden im anschließenden pyro- und hydro-metallurgischen Raffinadeprozess neben Gold noch eine Reihe weiterer Edel- sowie Technologiemetalle aus Elektro(nik)schrott zurückgewonnen.

4 NACHHALTIGKEITSASPEKTE DES BERGBAUS

4.1 Umwelt

Wasser

Der Wasserbedarf des Goldbergbaus variiert stark aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Lagerstättentypen und Aufbereitungsprozesse. Der mittlere Wasserbedarf des industriellen Goldbergbaus auf das Erz bezogen – 1420 Liter pro Tonne gemahlenem Golderz [23] – ist vergleichbar zu anderen Rohstoffen. Auf den Metallinhalt bezogen liegt der Wasserverbrauch aufgrund der

niedrigen Goldgehalte im Erz jedoch wesentlich höher – für Abbau und Aufbereitung von einem Kilogramm Gold werden knapp 700.000 Liter Wasser benötigt. Dies entspricht in etwa dem Jahresverbrauch von 15 Privatpersonen (1-Personen-Haushalte) in Deutschland. Bei der Wiederverwendung und dem Recycling von Brauchwasser erreichen die beiden größten industriellen Goldproduzenten der Welt, Newmont und Barrick, mittlere Raten von 72 % beziehungsweise 82 %. Diese Recyclingraten ähneln denen des Kupferbergbaus. Die jährlichen Wasserverluste in der Gold-Haufenlaugung durch Evaporation und andere Faktoren liegen im Bereich von 5 – 10 % des Gesamtvolumens der zirkulierenden wässrigen Lösung [24].

Wenn Golderz Sulfidminerale enthält, können sich saure Grubenwässer bilden, wenn Aufbereitungsabgänge, exponierte Abbauf Flächen oder sulfidhaltiger Abraum in Kontakt mit Luft und Wasser kommen. Derartige Risiken können durch geeignete Maßnahmen der Betreiber verringert werden, was jedoch in der Vergangenheit nicht überall umgesetzt wurde. Der weltgrößte Goldförderbezirk Witwatersrand in Südafrika ist ein Beispiel für die daraus resultierenden Probleme.

Das Golderz im Witwatersrand enthält bis zu 3 % Pyrit. In den inaktiven, mittlerweile gefluteten Bergwerken sowie in den großflächigen historischen Aufbereitungsabgängen werden seit über 20 Jahren große Mengen saure Grubenwässer erzeugt. Diese reagieren mit dem in der Umgebung verbreiteten Dolomit- und Kalkgestein. Dies führt zu einer Teilneutralisierung der Wässer, jedoch wird bei der Reaktion Sulfat gebildet, das das Grundwasser kontaminiert. Kontaminierte Wässer, die neben Sulfat (4.500 – 5.000 mg/l) auch signifikante Konzentrationen von gelösten Schwermetallen aufweisen, treten über die Schächte stillgelegter Bergwerke an der Erdoberfläche aus. Für den Witwatersrand-Förderbezirk wird ein tägliches Volumen von 350 Millionen Litern derartig austretender belasteter Grubenwässer abgeschätzt. Dies entspricht etwa dem halben Wasserbedarf von Berlin. Die Qualität von Oberflächengewässern sowie die kommunale Wasserversorgung werden dadurch beeinträchtigt [25].

Auch der Kleinbergbau kann Auswirkungen auf die lokale Wasserqualität haben. Insbesondere betrifft dies die Quecksilber-Emissionen und deren Einfluss auf aquatische Organismen (siehe Unterkapitel Quecksilber). In einigen Regionen wie dem Ostkongo wird der Kleinbergbau teils mit Schwimmbaggern in Flüssen betrieben. In diesen Fällen werden Aufbereitungsabgänge direkt ins Wasser eingeleitet, was ebenfalls erhebliche Auswirkungen auf das lokale Ökosystem hat.

Treibhausgase

Dienstleister geben leicht unterschiedliche Mittelwerte für die Treibhausgasemissionen des Goldbergbaus an. Diese Unterschiede reflektieren unter anderem, dass einige Dienstleister die Emissionen nur auf die Produktion von Gold beziehen, andere hingegen die Nebenprodukte von Gold ebenfalls berücksichtigen, indem sie deren Produktionsanteile in Gold-Äquivalente umrechnen. Zudem gibt es Unterschiede in der Anzahl der für die Berechnung verwendeten Bergwerke, deren Emissionsdaten die Basis für extrapolierte Angaben zum Gesamtsektor darstellen. Aufgrund der global tendenziell sinkenden Goldgehalte im Erz steigen die Emissionen zudem im Lauf der Zeit. Insofern besteht eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der absoluten Emissionen des Gesamtsektors.

Laut Wood MacKenzie [26] erzeugte der industrielle Bergbau im Jahr 2019 auf 339 Bergwerken, auf denen Gold das Hauptprodukt darstellt, 55 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent. Dies entsprach etwa 0,2 % der globalen CO₂-Emissionen dieses Jahres. Der Wert berücksichtigt den Einfluss der Nebenprodukte der Goldbergwerke und bezieht sich auf die Scope-1- und Scope-2-Emissionen, das heißt, die direkten Emissionen der Bergwerke sowie die indirekten Emissionen aus deren eingekaufter Energie. Extrapoliert auf die Summe der globalen Primärgoldproduktion, unter Einbezug von nicht berücksichtigten industriellen Bergwerken, Kleinbergbau sowie der Produktion von Gold als Nebenprodukt (was eigentlich eine angepasste Berechnungsmethode erfordern würde), ergäben sich daraus theoretisch etwa 92 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent. Mit rund 100 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent kommt das World Gold Council [27] für den Zeitraum 2017 – 2018 auf einen etwas höheren Wert, allerdings gibt es in der Berechnung methodische Unterschiede.

Die Aufbereitung einer Tonne Golderz erzeugte im Jahr 2019 im Mittel etwa 29 Kilogramm CO₂-Äquivalent [28]. Dies ist eine vergleichbare Größenordnung wie für Kupfererz. Auf den Metallinhalt bezogen fallen für Gold jedoch wesentlich höhere Emissionen an als für Kupfer oder andere Rohstoffe. Aus der Produktion von 1 Kilogramm Gold (beziehungsweise Gold-Äquivalent) resultieren durchschnittliche Scope-1 und Scope-2-Emissionen im Bereich von 22 – 29 Tonnen CO₂-Äquivalent [26-28]. Dies ist gut doppelt so viel wie der durchschnittliche jährliche CO₂-Fußabdruck eines Menschen in Deutschland, der bei 12,5 Tonnen CO₂ liegt. Auch bei diesen Werten beeinflussen einige methodische Unterschiede die Ergebnisse.

Zudem bestehen wesentliche Unterschiede von Bergwerk zu Bergwerk im Hinblick auf deren Erzgehalte

und Energiemix. In untertage betriebenen Gruben wird meistens Erz mit höheren Goldgehalten abgebaut als im Tagebau, daher sind die CO₂-Emissionen dort meist niedriger. Die Macassa-Grube in Kanada erzeugt aufgrund ihrer hohen Goldgehalte im Erz (16 g/t in den aktuell ausgewiesenen Reserven), einem aus Klimaschutz günstigem Energiemix sowie der Elektrifizierung ihrer Bergbauflotte Emissionen von lediglich 1,7 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Kilogramm produziertem Gold. Der Goldbergbau in Südafrika ist aufgrund des dortigen hohen Kohlestromanteils hingegen mit hohen Scope-2-Emissionen assoziiert [29].

In letzter Zeit steigt der Druck auf die Goldbergwerksbetreiber, ihre CO₂-Emissionen zu senken. Dies äußert sich darin, dass neue Kreditlinien für die Betreiber mit der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen verknüpft werden oder durch Vorgaben, die beispielsweise die Schweizer Goldscheideanstalt MKS Pamp für die Senkung der Emissionen in ihrer Lieferkette gemacht hat. Der Einsatz von erneuerbaren Energien, Energiespeichern und Netzstabilisatoren zur Reduzierung der Laufzeit von Diesel-Generatoren spielt für die Senkung der CO₂-Emissionen auf Bergwerksebene eine Schlüsselrolle.

Abfälle, Flächennutzung und Biodiversität

Der über Satellitenbilder und die S&P Global-Datenbank zuzuordnende industrielle Goldbergbau in 75 Ländern belegte im Zeitraum 2000 – 2017 eine Fläche von mindestens 11.400 Quadratkilometern. Dies entsprach 20 % aller insgesamt erfassten Bergbauaktivitäten [30]. Schätzungen auf Basis der Auswertung von Satellitenbildern ergaben, dass aus der Förderung von 1 Million Tonnen Golderz im Mittel eine Flächennutzung von 6,7 Hektar resultiert. Dies ist niedriger als die Flächennutzung für Bauxiterz, jedoch höher als diejenige für Kupfererz (4,5 Hektar pro 1 Million Tonnen; [31]). Da viele Goldbergwerke Erzdurchsätze von mehr als 1 Million Tonnen pro Jahr aufweisen, Großbergwerke mehr als 10 Millionen Tonnen (Tabelle 2), resultiert ein hoher Flächenbedarf, insbesondere für die Lagerung der Aufbereitungsabgänge und des Abraums.

Im Jahr 2016 wurden durch den Goldbergbau 21 % der im globalen Bergbau anfallenden Aufbereitungsabgänge erzeugt – nur der Kupferbergbau erzeugte einen höheren Anteil (46 %; [32]). Pro Jahr kommen etwa 2 Milliarden Tonnen Aufbereitungsabgänge aus dem Goldbergbau hinzu. Zusätzlich müssen im Tagebau große Volumina an nicht mineralisiertem Gestein – der sogenannte Abraum – abgetragen werden, um das darunter lagernde Golderz für den Abbau zu erschließen. Das resultierende Abraum-Erz-Verhältnis liegt in Kanada und Australien bei etwa 2 – 3 zu 1 [23], das

heißt, um eine bestimmte Menge an Erz abzubauen, muss im Mittel zwei- bis dreimal so viel Gestein bewegt werden. In einigen Gold-Kupferbergwerken in Südostasien werden Aufbereitungsabgänge aufgrund der topographischen, seismischen und meteorologischen Standortgegebenheiten in Flüsse oder in Küstengewässer verklappt. Besonders bekannt und in Indonesien aufgrund der Umweltauswirkungen kontrovers diskutiert wird diese Praktik im Kupfer-Gold-Abbaukomplex Grasberg, einem der weltgrößten Goldproduzenten. Der Betreiber sowie die Regierung gehen davon aus, dass die praktizierte Methode, trotz der Umweltauswirkungen, im Vergleich zu Alternativen die am besten kontrollierbare Methode darstellt [33].

Im Zuge des industriellen Goldbergbaus, insbesondere im Tagebau, kommt es zu einer Rodung von Waldflächen in bestimmten Arealen der Konzession (Abb. 5). Anders als im illegalen Kleinbergbau (siehe Folgeabsatz) erfolgt dies – zumindest in Ländern mit gut reguliertem Bergbausektor – mit behördlicher Genehmigung und unter Auflagen. Aus der Abholzung sowie dem folgenden täglichen Bergbaubetrieb resultieren negative Auswirkungen auf die Biodiversität. Diese Auswirkungen unterscheiden sich je nach Größe der vom Goldbergbau belegten Flächen, aber auch entsprechend des Artenreichtums der jeweiligen Region. Während die größte Flächenbelegung in Russland zu verzeichnen ist, sind die Auswirkungen des industriellen Goldbergbaus auf die Biodiversität in Ländern wie Australien oder Ghana in der Summe größer [30]. Auf einen Quadratkilometer Abbaufäche bezogen sind tropische Länder wie die Dominikanische Republik oder die Philippinen von besonders hohen Biodiversitätsverlusten betroffen. In gut regulierten Bergbauregionen wie Australien wird von den Bergwerksbetreibern ein Management der Biodiversität, inklusive Impact-Minimierung, Rehabilitation sowie Schaffung von Ausgleichsflächen, gesetzlich eingefordert und kontrolliert. Aus der Kombination dieser Maßnahmen sollen negative Auswirkungen auf die Biodiversität so weit wie möglich reduziert beziehungsweise andernorts kompensiert werden.

Illegal betriebener Kleinbergbau auf Gold ist häufig mit großflächiger Abholzung assoziiert, einerseits direkt in den Abbaugebieten, andererseits in deren Nachbarschaft oder entlang von Zugangsstraßen. In Ghana wurden im Zeitraum 2005 – 2019 gut 420 km² Wald im Zuge des Kleinbergbaus gerodet [34]. In der peruanischen Madre de Dios Region umfasst die von 2009 – 2017 abgeholzte Fläche an Amazonas-Regenwald 650 km² [35] – dies entspricht etwa der doppelten Fläche von München. Da der Abbau in diesen Regionen illegal und unkontrolliert stattfindet, erfolgt durch die Verursacher keine Renaturierung oder Sanierung

kontaminierter Flächen, die mit Quecksilber belastet sein können. Dies wirkt sich negativ auf eine natürliche Regeneration der Biodiversität in den betroffenen Gebieten aus.

Zyanid

Zyanid ist die wichtigste Aufbereitungschemikalie im industriellen Goldbergbau. Ihr Einsatz ist in der Regel streng reglementiert. Durch Unfälle kann es jedoch zu einer unkontrollierten Freisetzung kommen. Da Zyanid giftig ist, ist letzteres mit signifikanten Umwelt- und Gesundheitsrisiken verbunden. Für Menschen sind bereits sehr geringe Konzentrationen von Zyanid hochgiftig, da es im Blut ein für die Zellfunktion entscheidendes Enzym bindet und dadurch blockiert. Das Einatmen von Zyanid-Gas mit einer Konzentration von 2000 Gramm pro Tonne Luft ist ab einer Dauer von einer Minute tödlich. Beim Kontakt mit der Haut ist eine Zyanid-Menge von 100 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht für 50 % der Menschen tödlich. Die meisten Fische und weitere aquatische Tiere sterben, wenn die Menge freien Zyanids im Wasser 0,2 Milligramm pro Liter übersteigt [36]. Vögel verenden, wenn sie kontaminiertes Wasser zu sich nehmen. Anders als Tiere, können Pflanzen, zum Beispiel Algen, höhere Zyanid-Gehalte tolerieren. Zyanid tritt in unterschiedlich stabilen Komplexen auf, in Wasser mit neutralem pH-Wert gelöstes Zyanid evaporiert größtenteils. Entlang der Nahrungskette tritt keine Anreicherung (Bioakkumulation) von Zyanid auf.

Regeln für einen verantwortungsvollen Umgang mit Zyanid werden im internationalen Zyanid Management-Code festgeschrieben, der gemeinsam unter der Führung der UN-Umweltbehörde UNEP und der Industrie entwickelt wurde und vom International Cyanide Management Institute verwaltet wird. Der Code wurde entwickelt, nachdem im Jahr 2000 die durch einen Dammbruch verursachte unkontrollierte Zyanid-Freisetzung bei Baia Mare (Rumänien) zu einer großvolumigen Kontamination lokaler Fließgewässer bis hin zur Donau führte. Dadurch kam es zu einem massiven Fischsterben und die Trinkwasserversorgung in Ungarn wurde beeinträchtigt.

Trotz der zunehmenden Verbreitung des Codes sind weiterhin Vorfälle einer unkontrollierten Zyanid-Freisetzung zu verzeichnen. Eine von der Nichtregierungsorganisation Earthworks publizierte Literaturstudie gibt an, dass für etwa die Hälfte der operativen US-amerikanischen Goldbergwerke Zyanid im Oberflächen- oder Grundwasser festzustellen war [37]. Am Goldbergwerk Veladero in Argentinien führten Zyanid-Unfälle in den Jahren 2015 – 2017 zu Protesten der angrenzenden Gemeinden sowie gerichtlich angeordneten Strafzah-



Abb. 5: Beispielhafte Illustration der industriellen Goldförderung in Indonesien und der DR Kongo (oben) und Goldaufbereitung im Kleinbergbau in Ecuador und Ghana (unten). Der industrielle Bergbau führt zu Abholzung und weiteren ökologischen Auswirkungen, die im Rahmen des betrieblichen Umweltmanagements und der Rekultivierung angemessen zu adressieren sind. Im Kleinbergbau ist unter anderem die Amalgamierung beim Mahlen von Roherz (unten links) besonders problematisch anzusehen, während die Amalgamierung von Konzentraten (unten rechts) mit adäquater Ausrüstung sicher durchgeführt werden kann. Fotos: Autor / BGR.

lungen gegen den Betreiber. Zuletzt ereignete sich eine Leckage von verdünnter Zyanid-Lösung im Juni 2022 im Bergwerk Copler in der Türkei. Die Aufsichtsbehörden untersagten daraufhin zunächst den Abbaubetrieb, im September 2022 wurde das Verbot wieder aufgehoben. Nicht alle derartigen Vorfälle führen zwangsläufig zu einer Gewässerkontamination, falls zügig Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden. In der Türkei reagierte der Betreiber beispielsweise umgehend, Bereiche außerhalb der Konzession waren nicht betroffen. Die Vorfälle beeinträchtigen jedoch das Vertrauen der Bevölkerung in das zuständige Bergbauunternehmen, beispielsweise wegen unklarer Auswirkungen auf die Landwirtschaft.

Quecksilber

Quecksilber wird im Kleinbergbau seit langem zur Amalgamierung von Gold eingesetzt (Abb. 5). Der Kleinbergbau stellt die global größte Quelle anthropogener Quecksilber-Emissionen in die Umwelt dar. Für das Jahr 2015 wurden für den Sektor, mit steigender

Tendenz, Quecksilber-Emissionen von 838 Tonnen abgeschätzt. Dies entsprach 38 % der Gesamtemissionen [38].

Im Gegensatz zu Zyanid ist Quecksilber in der Natur bioakkumulierend. Das im Wasser gelöste Methylquecksilber wird zunächst von Algen und Plankton aufgenommen und dann in Fischen entlang der Nahrungskette angereichert, bis hin zur Aufnahme durch den Menschen. Daraus resultiert ein Risiko für Quecksilber-Vergiftungen, insbesondere für schwangere Frauen, deren Föten neurologische Entwicklungsschäden erleiden können. Bei der offenen Verbrennung von Gold-Quecksilber-Amalgam entsteht ein Vergiftungsrisiko durch das Einatmen von Quecksilberdampf. Quecksilber-Vergiftungen führen zu Schädigungen des Nerven-, Verdauungs- oder Immunsystems sowie bestimmter Organe. Im Extremfall können sie tödlich enden. Typische Symptome für eine langfristige Quecksilber-Vergiftung sind Zittern, Schlaflosigkeit, Gedächtnisverlust und Kopfschmerzen [39].

Quecksilber-Emissionen in die Umwelt und Gesundheitsrisiken für Kleinbergleute lassen sich durch den sachgerechten Einsatz von Retorten bei der Verbrennung des Gold-Quecksilber-Amalgams verringern (Abb. 5). Wenn Quecksilber ausschließlich zur Amalgamierung von Konzentraten – anstelle des Roherzes – genutzt und anschließend mittels Retorten fachkundig recycelt wird, ist aus Perspektive der Arbeitssicherheit ein verantwortungsvoller Betrieb möglich. Dieser kann auch im Hinblick auf das Minamata-Übereinkommen (siehe Kapitel 4.3) toleriert werden. Die Quecksilber-Verluste beim Einsatz von Retorten zur Amalgamierung von Konzentraten liegen um mindestens den Faktor 30 – 60 unterhalb der Verluste bei der Amalgamierung von Roherz [12]. International wird der Einsatz von Quecksilber im Kleinbergbau häufig als generell kritisch wahrgenommen, ohne dass zwischen einer kontrollierten und einer unkontrollierten Verwendung differenziert wird. Auch unter Kleinbergleuten selbst wird der Einsatz von Retorten nicht überall angenommen.

In einer wachsenden Anzahl von Ländern ist eine Kombination von artisanalen Aufbereitungsverfahren zu beobachten. Dort werden die aus der Amalgamierung resultierenden Aufbereitungsabgänge anschließend mit Zyanid gelaugt. Durch diesen Prozess entstehen Quecksilber-Zyanid-Komplexe, die besonders hohe Kontaminationsrisiken für aquatische Ökosysteme aufweisen.

4.2 Soziale und ökonomische Aspekte

Beschäftigung, Steuern und Einnahmen

Im Jahr 2020 wurden in den industriellen Goldbergwerken der 31 Mitgliedsunternehmen des World Gold Councils (WGC) 200.000 Menschen beschäftigt. Der Anteil von Frauen unter den Beschäftigten lag bei 17 %. Weitere 1,9 Millionen Menschen wurden bei lokalen Zulieferern sowie bei weiteren Betrieben in den Förderländern beschäftigt, die durch die im Umfeld des Goldbergbaus gestiegene Kaufkraft entstanden. Über die Hälfte der direkten und indirekten Arbeitsplätze im Goldbergbau war in Afrika angesiedelt. Insgesamt wurden 95 % der Arbeitsplätze von nationalen Angestellten aus dem jeweiligen Förderland belegt [40]. Das WGC repräsentierte 39 % der globalen industriellen Goldproduktion des Jahres 2020, die von Nicht-WGC-Mitgliedern betriebenen Goldbergwerke repräsentierten 61 %. Unter Annahme ähnlicher Beschäftigungsraten wie auf Bergwerken der WGC-Mitglieder, würde der industrielle Goldbergbau insgesamt mindestens 500.000 direkte und 5 Millionen indirekte Arbeitsplätze zur Verfügung stellen.

Die Steuerzahlungen aus dem industriellen Goldbergbau der WGC-Mitglieder betragen im Jahr 2020 insgesamt 7,6 Milliarden US-Dollar. Wenn zusätzlich die Steuerzahlungen von Zulieferern berücksichtigt werden, erhöht sich dieser Betrag auf 13,7 Milliarden US-Dollar [40]. Die Verteilung dieser Steuereinnahmen zwischen nationaler und regionaler Regierung ist eine zentrale Frage für die wirtschaftliche Entwicklung der Bergbauregionen. In Peru sollen die Bergbauregionen beispielsweise 50 % der entsprechenden Einnahmen erhalten. In einigen der betroffenen Regionen ist dieser Mechanismus jedoch nicht wirksam, da die Regierung den örtlichen Betreibern hohe Steuererleichterungen einräumt, um weitere Investitionen in den Bergbau zu fördern. Dies betrifft zum Beispiel den Betreiber des Yanacocha-Goldbergwerks in Nordwest-Peru [41]. Der Goldbergbau trägt in einigen strukturschwachen Regionen auch direkt zur regionalen Infrastrukturentwicklung bei. Dies kann zu Binnenmigration und lokalem Bevölkerungswachstum führen, wie es zum Beispiel im Umfeld der Grube Kibali im Nordostkongo zu beobachten ist.

In einigen Förderländern, beispielsweise in Tansania oder in Papua-Neuguinea, kam es in den letzten Jahren zu Konflikten zwischen den industriellen Bergwerksbetreibern und den nationalen Regierungen. Letztere forderten höhere Steuern, Abgaben, anderweitige wirtschaftliche Beteiligungen sowie eine stärkere Kontrolle über die Abbauoperationen ein. Um ihre Forderungen durchzusetzen, ordneten die Behörden die Stilllegung von Bergwerken an oder verweigerten die Verlängerung von Abbaulizenzen, was jeweils massive Unterbrechungen der dortigen Goldproduktion zur Folge hatte.

Unter sozio-ökonomischen Gesichtspunkten ist Gold der wichtigste im Kleinbergbau gewonnene Rohstoff. Die Anzahl der weltweit im Goldsektor arbeitenden artisanalen Kleinbergleute wird auf 10 – 20 Millionen geschätzt [9]. Gold repräsentiert den größten Sektor im Hinblick auf den generierten Umsatz sowie die geographische Breite der Aktivitäten. In den Ländern des Globalen Südens ist die Förderung häufig armutsgetrieben. Vor allem, aber nicht nur in Lateinamerika stellt der Kleinbergbau jedoch auch eine historische Wirtschaftsaktivität dar, die den Menschen in einigen Regionen seit langem eine stabile Lebensgrundlage bietet. Kleinbergbau wird teilweise als saisonale Tätigkeit betrieben, zum Beispiel parallel zur Subsistenzlandwirtschaft in Afrika. An die Betreiber im Kleinbergbau werden typischerweise 83 – 95 % des enthaltenen Goldwerts ihres Doré-Produkts ausbezahlt [42]. Für die Zertifizierungssysteme Fairmined und Fairtrade Gold ist vorgeschrieben, dass die Betreiber mindestens 95 % des Goldwerts erhalten müssen.

Formalisierung im Kleinbergbau

Im Kleinbergbau auf Gold ist zwischen legalen, informellen und illegalen Aktivitäten zu differenzieren. Der illegale Kleinbergbau ist mit einem Gesetzesbruch assoziiert, beispielsweise dem unerlaubten Eindringen auf industrielle Konzessionen oder der Goldförderung in Nationalparks und Schutzgebieten. Zuständige Aufsichtsbehörden streben an, diese Aktivitäten zu unterbinden. Manche Länder definieren rechtliche Rahmenbedingungen für einen legalen Kleinbergbau. Jedoch sind diese Anforderungen aus Perspektive der Kleinbergleute oft sehr hoch, teuer oder langwierig, sodass sie in der Praxis kaum umgesetzt werden können.

Der informelle Kleinbergbau auf Gold erfolgt, ohne dass eine staatliche Abbaulizenz vorliegt. Einige dieser Aktivitäten werden jedoch von staatlichen Stellen oder industriellen Betreibern geduldet, teilweise kontrolliert und können im Sinne der Sorgfaltspflicht als legitimer Kleinbergbau (Definition laut [43]) angesehen werden. In einigen afrikanischen Ländern suchen die Kleinbergleute zudem eine Autorisierung derartiger Aktivitäten durch traditionelle Autoritäten.

Staaten können diese Aktivitäten formalisieren, indem sie diese beispielsweise unter bestimmten Bedingungen für legal erklären, Kooperationsmodelle mit industriellen Konzessionsinhabern ermöglichen und legale Vertriebsmöglichkeiten für das gewonnene Gold bereitstellen. Aktuell werden die Formalisierungsbestrebungen in der artisanalen Goldförderung in Peru, Kolumbien, Nicaragua und Ghana international als gute Beispiele für eine derartige Sektorentwicklung bewertet, selbst wenn es in diesen Ländern weiterhin auch illegalen Kleinbergbau gibt [16].

In den Ländern, in denen der Kleinbergbau größtenteils illegal oder zumindest informell stattfindet (siehe Textbox „Formalisierung im Kleinbergbau“), erfolgt nur eine eingeschränkte direkte Besteuerung des Sektors durch den Staat. Allerdings entrichten die Kleinbergleute in afrikanischen Förderländern teils informelle Abgaben an traditionelle Autoritäten wie beispielsweise Gemeindevorsteher. Kleinbergleute finden sich häufig in einer exponierten Lage, in der sie Korruptions- oder Schutzgeldzahlungen leisten müssen oder ihnen hohe Gebühren für staatliche Dienstleistungen abverlangt werden. Im Osten der DR Kongo findet eine großflächige illegale Besteuerung des dortigen, von mindestens 230.000 Menschen betriebenen Kleinbergbaus und lokalen Handels von Gold statt [44]. Sowohl Milizen als auch Teile der kongolesischen Armee erpressen Abgaben, die mittlerweile zu einer wichtigen Finanzierungsquelle des seit etwa 20 Jahren andauernden Kongokonflikts geworden sind.

Der Technologietransfer und die Finanzierung im Kleinbergbau auf Gold finden teilweise grenzüberschreitend im internationalen Maßstab statt. In Afrika spielen dafür, neben innerafrikanischen Dynamiken, Geschäftsakteure aus der Volksrepublik China eine wichtige Rolle, in die Vorfinanzierung sind auch indische Geschäftsleute involviert. In einigen Gegenden in der DR Kongo kontrollieren chinesische Unternehmen Aktivitäten im artisanalen Goldsektor oder führen diese direkt selbst aus, oft einhergehend mit einer Mechanisierung der Abbauprozesse. Laut nationalem Bergrecht sollte der artisanale Sektor jedoch Menschen mit kongolesischer Nationalität vorbehalten sein. Eine ähnliche Problematik bestand in Ghana, wo im Jahr 2006 ein regelrechter chinesischer Goldrausch einsetzte, gegen den die Regierung schließlich massiv vorging, indem sie im Jahr 2013 tausende Chinesen des Landes verwies.

Arbeitssicherheit

Die Arbeitssicherheit im industriellen Goldbergbau ist abhängig von den Sicherheitsstandards der Betreiber sowie von der staatlichen Kontrolle. Im südafrikanischen Goldbergbau wurden seit der Verabschiedung eines Gesetzes zur Arbeitssicherheit im Jahr 1996 deutliche Fortschritte erzielt. Forderte der Goldbergbau im Jahr 1995 noch etwa 400 Todesopfer, konnte die Opferzahl im Jahr 2013 auf unter 50 reduziert werden [45]. Allerdings ist diese Reduzierung unter anderem auch auf den dortigen Rückgang des Goldbergbaus zurückzuführen. In China ordnete die Regierung im Jahr 2017 eine Konsolidierung des Goldsektors an. Die Anzahl der Betreiber sollte bis Ende 2020 von über 600 auf etwa 450 reduziert werden, um Sicherheitsstandards und Produktivität zu verbessern.

Im Vergleich zum industriellen Bergbau sind die Mängel der Arbeitssicherheit im Kleinbergbau auf Gold, insbesondere im illegalen Sektor, gravierender und in mehrfacher Hinsicht problematisch. Einerseits fallen darunter die in Kapitel 4.1 skizzierten Gesundheitsrisiken der Amalgamierung. Andererseits sind Arbeitsunfälle wie Stürze oder Steinschlag verbreitet. Da die Kleinbergleute nur selten persönliche Schutzausrüstung tragen, sind schwere Verletzungen die Folge. Aufgrund mangelhafter Absicherung und Planung kollabieren Stollen unter Tage, an den Wänden eines Tagebaus erfolgen Hangrutschungen, vor allem in der Regenzeit. Größere Einstürze fordern Dutzende Todesopfer. Aufgrund der Illegalität des Sektors werden Unfälle nur selten gemeldet, sodass keine verlässlichen Statistiken verfügbar sind. Das Unfallmanagement ist, anders als im industriellen Bergbau, meist nur improvisiert, ein Versicherungsschutz besteht fast nie.

Soziale Konflikte

Seit den frühen 2000er Jahren lässt sich eine Zunahme an Konflikten im Umfeld des sich ausweitenden industriellen Goldbergbaus beobachten [46]. Diese entzündeten sich oft an tatsächlichen oder erwarteten negativen Auswirkungen des Bergbaus auf angrenzende Wohngebiete oder landwirtschaftliche Aktivitäten, zum Beispiel durch Emissionen und Wassernutzungskonflikte. Aufgrund seiner globalen Verbreitung sowie der in Kapitel 4.1 dargestellten Umweltfaktoren, beispielsweise der Zyanid-Nutzung, ist der Goldbergbau häufig von derartigen Konflikten betroffen.

Im Extremfall können diese Konflikte zu einem Abbruch der Entwicklung von Bergbauprojekten führen, wie es in Pascua Lama, einem der größten Goldprojekte des vergangenen Jahrzehnts, der Fall war. Im Jahr 2013, dem Jahr, in dem das an der chilenisch-argentinischen Grenze gelegene Projekt gestoppt wurde, musste der Betreiber Barrick daraufhin gut 5 Milliarden US-Dollar abschreiben. Viele Betreiber versuchen mittlerweile sozialen Konflikten präventiv zu begegnen, indem sie Dialogprozesse mit der örtlichen Bevölkerung initiieren und sich um deren Zustimmung bemühen („social license to operate“). So steht das Unternehmen Newmont kontinuierlich im Dialog mit den Gemeinden im Umfeld des Yanacocha-Goldbergwerks in Peru. Trotz dieses Engagements und initiiertes Unterstützungsprogramms ist bei einigen lokalen Akteuren jedoch ein Vertrauensverlust gegenüber dem Betreiber zu beobachten [47].

Häufig liegen industrielle Explorations- und Abbaukonzessionen in Gebieten, wo Gold im Kleinbergbau gewonnen wird. Aus dieser Konstellation heraus resultieren oft Konflikte zwischen diesen Gruppen. Wenn Kleinbergleute illegal innerhalb der industriellen Konzessionen arbeiten und der Betreiber oder staatliche Stellen dies mit ihren Sicherheitskräften zu unterbinden suchen, kann es zu Protesten, gewaltsamen Konfrontationen und Menschenrechtsverletzungen kommen. In der Regel ist der Goldabbau für die Kleinbergleute kurzfristig finanziell attraktiver als andere Wirtschaftsaktivitäten vor Ort, teilweise wird er von ihnen auch als ihr traditionelles Recht angesehen. Daher ist es schwierig, wie von manchen industriellen Betreibern angestrebt, alternative Beschäftigungsmöglichkeiten für Kleinbergleute zu etablieren, die von allen Beteiligten akzeptiert werden.

Aus diesem Grund wird eine regelbasierte Koexistenz zwischen Kleinbergbau und industriellem Bergbau als eine sinnvolle Alternative gesehen. Dabei stehen insbesondere die jeweiligen Regierungen in der Verantwortung, die rechtlichen Rahmenbedingungen für eine derartige Koexistenz zu schaffen (vgl. Textbox „Formali-

sierung im Kleinbergbau“). Ghana ist ein Beispiel für die dargestellte Problematik. Im Land treten seit Jahrzehnten Konfrontationen zwischen Kleinbergbau und industriellem Bergbau auf. Dass als Alternative eine friedliche Koexistenz zwischen diesen Parteien möglich ist, zeigte der Betreiber des Damang Goldbergwerks, der bereits in den 1990er Jahren kontrollierte artisanale Abbauaktivitäten auf Teilen seiner Konzession zuließ [48].

Kinder- und Zwangsarbeit

In mindestens 26 Ländern bestehen Risiken der Kinderarbeit im Zusammenhang mit dem Kleinbergbau auf Gold [49]. In den letzten Jahren stellte Westafrika – in erster Linie Mali und Burkina Faso – eine Hauptregion für Kinderarbeit im artisanalen Goldsektor dar. Unterschiedliche Schätzungen gehen davon aus, dass 10 – 50 % der gesamten dortigen Arbeitskräfte im Kleinbergbau Kinder sind. Allerdings sind Daten zur Kinderarbeit häufig mit einer hohen Unsicherheit verbunden und global schwer vergleichbar. Beispielsweise beziehen sich Angaben zu einzelnen Ländern auf unterschiedliche Zeitpunkte, teils mit Differenzen von mehr als einem Jahrzehnt. Schätzungen zur Anzahl der Kinder und deren genaue Tätigkeit sind aufgrund der Illegalität und mangelnden Kontrolle des Sektors äußerst schwierig. Daher lassen sich kaum belastbare Aussagen zur Gesamtzahl von Kindern treffen, die im artisanalen Goldsektor arbeiten.

Neben der Kinderarbeit stellt die Zwangsarbeit ein Problem in Teilen des artisanalen Goldsektors dar. Zwangsarbeit umfasst einerseits Situationen wie im Ostkongo, wo die Kleinbergleute teilweise von bewaffneten Milizen zur Arbeit oder zu Abgaben gezwungen werden und so zur Konfliktfinanzierung beitragen. Andererseits fallen darunter Situationen, in denen Menschen zunächst freiwillig eine Tätigkeit im Sektor aufnehmen, ihnen dann jedoch eine Beendigung der Tätigkeit verwehrt wird. Beispielsweise betrifft dies familiäre Zwänge, die Verweigerung der in Aussicht gestellten Bezahlung oder Schuldendienste.

4.3 Governance

Industrieller Bergbau

Die im WGC organisierten Bergwerksbetreiber verpflichten sich, nach einer Reihe von Standards zu operieren, deren Einhaltung durch unabhängige Audits kontrolliert wird. Dabei werden Themen abgedeckt, die einerseits angrenzende Gemeinden und weitere lokale Akteure, andererseits die Goldabnehmer in der nachgelagerten Lieferkette ansprechen. Auch unter dem Blickwinkel von Banken und internationalen Investoren erfahren Umwelt, Sozial und Governance („ESG“)

-Faktoren in Teilen der Branche eine zunehmende Relevanz. Beispielsweise integrierte das Unternehmen Barrick im Jahr 2022 ESG-Ziele in die Bedingungen seiner revolvingen Kreditlinie.

Die im Goldsektor zur Anwendung kommenden Bergbaustandards umfassen vorrangig die durch das WGC publizierten Industriestandards zur Sorgfaltspflicht („Conflict-free Gold“) sowie zu verantwortungsvoller Bergbaupraxis („Responsible Gold Mining Principles“). Der Conflict-free Gold Standard nutzt die OECD-Leitlinie zur Sorgfaltspflicht [43] als unterlagernde Referenz. Einige Betreiber richten sich zudem nach den Bergbauprinzipien (Mining Principles) des International Council for Mining and Metals (ICMM). Diese wurden bei der Entwicklung der WGC-Standards berücksichtigt und können gemeinsam abgeprüft werden. Im Hinblick auf die Problematik von Quecksilber und Zyanid (vgl. Kapitel 4.1) sind die Betreiber des Weiteren angehalten, das Minamata-Übereinkommen zu unterstützen und den Internationalen Zyanid-Code umzusetzen. Darüber hinaus fordern die WGC-Bergbauprinzipien die Beachtung weiterer internationaler Standards bezüglich Menschenrechte, Transparenz und Arbeitsnormen ein. Viele Betreiber stellen zusätzlich in ihren Nachhaltigkeitsberichten dar, zu welchen Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (SDGs) sie beitragen.

Etwa 60 % der industriellen Goldproduktion wird von Betreibern gewonnen, die keine Mitglieder im WGC sind. Einerseits umfasst dies viele kleinere und mittlere Produzenten, die auf einzelnen Bergwerken weniger als 5 Tonnen Gold pro Jahr produzieren. Diese Produzenten repräsentieren zwar nur ein Drittel der industriellen Goldproduktion, jedoch fast 80 % aller Bergwerkstandorte (Tabelle 2). Die Anwendung von Standards ist unter diesen industriellen Produzenten deutlich weniger verbreitet als unter Großproduzenten.

Andererseits sind auch die Betreiber einiger der größten Goldbergwerke der Welt keine WGC-Mitglieder. Dies betrifft insbesondere die Betreiber des Muruntau-Tagebaus in Usbekistan, Olimpiada in Russland und Grasberg in Indonesien. Teilweise veröffentlichen diese Bergwerksbetreiber separate Nachhaltigkeitsberichte. Darin bekennt sich beispielsweise Navoi Mining in Usbekistan zu den SDGs, strukturiert den Bericht nach den Vorgaben der Global Reporting Initiative und zeigt Kennzahlen zu seiner Umwelt- und sozio-ökonomischen Performance. Im indonesischen Bergwerk Grasberg wird Gold als Nebenprodukt von Kupfer gewonnen. Der Betreiber FreeportMcMoRan engagiert sich dementsprechend in Initiativen der Kupferindustrie sowie in den rohstoffübergreifenden ICMM-Prinzipien. Der Internationale Zyanid-Code erfährt über die WGC-

Unternehmen hinaus eine breitere Umsetzung. Zu Beginn des Jahres 2022 wurde er von 54 Betreiber in 106 Goldbergwerken umgesetzt. In der Summe entspricht dies mehr als der Hälfte der industriellen Goldförderung, bei der Zyanid zum Einsatz kommt [36].

Kleinbergbau

Das von mittlerweile 137 Parteien unterzeichnete Minamata-Übereinkommen zur Reduzierung der globalen Quecksilber-Emissionen gilt sowohl für den industriellen Goldbergbau als auch für den Kleinbergbau. Der Kleinbergbau steht jedoch aufgrund der hohen Emissionen im besonderen Fokus (siehe Kapitel 4.1). Der hohe Quecksilber-Bedarf des Sektors fördert zudem den informellen Handel mit Quecksilber [50]. Das Minamata-Übereinkommen schreibt vor, dass Unterzeichnerstaaten nationale Aktionspläne für den Kleinbergbau entwickeln müssen. Dies beinhaltet die Erhebung von Daten, die Entwicklung von Formalisierungs- und Managementstrategien sowie das Verbot bestimmter Prozesse wie der Amalgamierung von Roherz oder die offene Verbrennung des Gold-Quecksilber-Amalgams. Stand November 2022 haben 22 Staaten derartige Aktionspläne vorgelegt [51].

Gold wird in einer Reihe von Ländern gewonnen, in denen von der Europäischen Union Konflikt- und Hochrisikogebiete im Sinne der Sorgfaltspflicht in der Lieferkette identifiziert wurden. In einigen dieser Länder wird Gold in industriellen Bergwerken gefördert. Insgesamt ist der Kleinbergbau in diesen Ländern jedoch weiter verbreitet. Der Kleinbergbau in diesen und weiteren Ländern ist in hohem Maße von Risiken der Sorgfaltspflicht betroffen – Konfliktfinanzierung, Kinder- und Zwangsarbeit, Geldwäsche und Korruption stellen allesamt relevante Risiken dar. Das Management dieser Risiken in der Lieferkette wird in der OECD-Leitlinie zur Sorgfaltspflicht adressiert, zu deren Einhaltung sich viele Unternehmen weltweit bekennen. Die Leitlinie erhält einen speziell für Gold entwickelten Anhang, der auch auf die Besonderheiten zum Umgang mit der Sorgfaltspflicht im Kleinbergbau eingeht. Ein Ziel ist dort, das Lieferkettenrisikomanagement so zu gestalten, dass negative soziale und wirtschaftliche Auswirkungen auf den Kleinbergbau vermieden werden [43].

Da die staatliche Aufsicht in einigen Ländern insbesondere im Kleinbergbau Mängel aufweist, wird zuweilen das Instrument der Zertifizierung angewandt, um bestimmte Produktions- und Umweltstandards durch Dritte glaubwürdig zu garantieren. Im Regelfall ist für die Anwendung des Instruments ein legaler Status, zumindest jedoch ein legitimer, das heißt geduldeter informeller Status des Kleinbergbaus eine Mindestvoraussetzung (siehe Textbox). Zwei langjährig im Goldsektor

etablierte Zertifizierungssysteme umfassen den Fairmined Standard der Alliance for Responsible Mining sowie den Fairtrade Gold Standard. Beide Standards definieren über den Abbau hinaus Kriterien für die Nachverfolgung und erlauben so die Vermarktung des produzierten Goldes in der nachgelagerten Lieferkette. Die Swiss Better Gold Association hat ähnliche Kriterien für den Kleinbergbau entwickelt. Den drei Systemen ist gemein, dass Akteure der nachgelagerten Lieferkette bestimmte Prämien entrichten, die einen Anreiz für Kleinbergleute und Gemeinden schaffen, sich an den Initiativen zu beteiligen.

Der Anteil der genannten Systeme an der Gesamtproduktion im Kleinbergbau ist gering. In der Summe werden damit derzeit etwa 0,6 % der globalen artisanalen Goldförderung erfasst. In Lateinamerika, insbesondere in Peru und Kolumbien, ist die Verbreitung am weitesten fortgeschritten, in Asien (mit Ausnahme der Mongolei) und Afrika ist sie deutlich weniger präsent. Die Swiss Better Gold Association erreichte im Jahr 2020 mit 3 Tonnen Gold den höchsten Marktanteil [52]. Fairmined kam im gleichen Jahr auf 0,1 Tonnen, nachdem es im Jahr 2019 mit 0,4 Tonnen Gold seine bislang höchsten Verkäufe realisierte [53]. Im Fairtrade Gold-System wurden im Jahr 2021 0,9 Tonnen zertifiziertes Gold verkauft.

5 NACHHALTIGKEITSASPEKTE DER WEITERVERARBEITUNG

5.1 Umwelt

Doré-Gold aus Bergwerken kann, je nach Lagerstättentyp und Aufbereitungsverfahren, eine Reihe volatiler Spurenelemente wie Blei, Arsen, Selen und Cadmium enthalten. Neben Primärgold kann auch Sekundärgold in Form von altem Schmuck derartige Stoffe enthalten. Diese werden in den Schmelz- und Raffinadeprozessen freigesetzt. Die freigesetzten Verbindungen sind potentiell gesundheitsgefährdend. Entsprechende Emissionen in die Luft müssen daher im Hinblick auf die Arbeitssicherheit im Betrieb selbst sowie in Bezug auf den Umweltschutz kontrolliert und ein Überschreiten der zulässigen Grenzwerte vermieden werden [54]. Goldscheideanstalten nutzen dafür sogenannte Jet-Filter zur Druckluftreinigung. Weitere Emissionen resultieren aus dem Einsatz von Chemikalien, die für die verschiedenen Goldscheideprozesse notwendig sind. Der Einsatz von Salpetersäure erzeugt Stickoxyd-Emissionen, die von einigen Goldscheideanstalten trotz des Einsatzes von Gaswäschern („Scrubber“) nicht

komplett zu vermeiden sind. Beispielsweise berichtet die Schweizer Goldscheideanstalt Argor-Heraeus, dass bei ihr für das Jahr 2020 insgesamt knapp 49 Tonnen Stickoxyd-Emissionen anfielen [55].

Goldscheideverfahren sind besonders wasserintensiv, eine verlässliche Wasserversorgung ist ein wichtiger Betriebsfaktor. Wasser dient einerseits als Kühlmittel, andererseits als Lösungsmittel in chemischen Prozessen. Scheideanstalten in Europa verfügen häufig über eine eigene Abwasseraufbereitung, bevor die Abwässer der kommunalen Abwasserreinigung zugeführt werden. Ziele sind die Erhöhung der betrieblichen Wasserrecycling-Quote, die Reduzierung der Konzentration von Schwermetallen und weiteren Stoffen wie Nitrat unter die behördlichen Grenzwerte sowie die maximale Rückgewinnung der im Abwasser enthaltenen Edelmetalle. Zum Einsatz kommen dafür Gaswäscher und Ionenaustauscher. Bei der Schweizer Scheideanstalt MKS PAMP laufen Tests zum Einsatz von Nanopartikel-Filtern zur Goldrückgewinnung. Für die Neutralisierung saurer Abwässer werden Chemikalien wie Natronlauge eingesetzt.

Da Goldscheideprozesse energieintensiv sind, bemüht sich eine Reihe von Goldscheideanstalten derzeit, den Anteil ihrer regenerativen Energieversorgung zu erhöhen, um ihre CO₂-Emissionsbilanz zu verbessern. Letztere lässt sich zudem durch den Einsatz von Wärmetauschern optimieren, um die Restwärme des Scheideprozesses zu nutzen. Mit etwa 2 Kilogramm CO₂-Äquivalent (Scope-1 und -2) pro Kilogramm Gold [27], liegen die Emissionen in der Raffinade um mehrere Größenordnungen unter den in Kapitel 4.1 dargestellten Emissionen des Goldbergbaus. Eine Studie der Hochschule Pforzheim betrachtet die Emissionsbilanz der Raffinade von Recycling-Gold in Deutschland in Form einer „Cradle-to-Gate“-Analyse. Dort kommen die Autoren und Autorinnen auf einen sogenannten Rucksack von 53 Kilogramm CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Kilogramm Gold, das aus hoch- und niedrigwertigem Schrott mittels Königswasseraufschluss gewonnen wurde [19]. Im Vergleich zu den im Bergbau erzeugten Emissionen, ist der Beitrag aus der Raffinade sowie Verarbeitung in der nachgelagerten Goldlieferkette sehr gering [27].

5.2 Soziale und ökonomische Aspekte

Ein Großteil der Wertschöpfung in der vorgelagerten Goldlieferkette erfolgt auf der Ebene des Bergbaus selbst. Die Wertschöpfung in der Raffinade liegt tendenziell bei weniger als 1 % des Goldwerts. Daher ist die im Rohstoffsektor oft diskutierte Frage einer gesteigerten

gerten Wertschöpfung direkt im Land, wo der Bergbau stattfindet, im Goldsektor weniger relevant als für andere Rohstoffe. Goldscheideanstalten können zusätzliche Einnahmen erzielen, indem sie beispielsweise im Rohgold enthaltene Nebenprodukte vermarkten oder Finanzdienstleistungen im Bereich des Goldhandels anbieten.

Im Schmucksektor fließt der Preis des Goldes und anderer Rohstoffe – zusätzlich zu den laufenden Kosten des Juwelierbetriebs – in den Verkaufspreis der Produkte ein. In den nachgelagerten Wertschöpfungsketten der Elektro(nik)-Industrie entkoppeln sich die Produktionskosten und Verkaufspreise hingegen zunehmend vom Wert des enthaltenen Goldes und weiterer Rohstoffe. In einem modernen Smartphone werden circa 0,02 Gramm Gold verbaut, primär als Kontakte auf der Leiterplatte. Dies ist wesentlich weniger als beispielsweise die Menge des in Smartphones verbauten Kupfers, die sich im Bereich mehrerer Gramm bewegt. Trotz der niedrigen Goldmenge entfallen jedoch knapp drei Viertel des reinen Materialwerts aller im Smartphone (abzüglich des Akkus) verbauten metallischen Rohstoffe auf Gold. Im Jahr 2020 betrug dieser Wert in der Summe etwas mehr als 1 Euro [20]. Die Einkaufskosten der aus diesen Rohstoffen gefertigten Komponenten liegen im Fairphone 2, einem der wenigen Modelle, für das Kostendaten öffentlich aufgeschlüsselt werden, hingegen bei 230 Euro [56]. Dies illustriert, dass nahezu die gesamte Wertschöpfung von Elektro(nik)-Produkten entlang der nachgelagerten Lieferkette stattfindet.

Handel und Transport von Gold beeinflussen maßgeblich die Profit- und Lieferkettendynamik im Kleinbergbau. Da diese Prozesse nicht mehr auf der Abbauebene stattfinden, werden sie im Folgenden hier im Rahmen der Weiterverarbeitung mit dargestellt. Internationale Standards und Initiativen haben oft zum Ziel, Goldlieferketten zu verkürzen und transparenter zu gestalten, indem Zwischenhändler eliminiert werden. Dadurch wird angestrebt, den Gewinnanteil der Kleinbergleute selbst zu erhöhen. Beispielsweise steht im Kleinbergbau im Ostkongo zwischen Produzenten und Goldscheideanstalt eine Sequenz von bis zu drei Zwischenhändlern, die in der Summe 10 – 15 % des Goldwerts für sich in Anspruch nehmen [44].

Jedoch sollte beachtet werden, dass die Zwischenhändler diverse logistische und finanzielle Funktionen in Lieferketten des Kleinbergbaus einnehmen, deren Wegfall kompensiert werden müsste. Zwischenhändler übernehmen die Logistik des Goldtransports von den entlegenen Abbauregionen bis zum internationalen Verkaufsort, in der Regel in den Vereinigten Arabischen Emiraten. Zudem führen einige der beteiligten

Akteure eine Vorraffinade des Goldes durch (vgl. Kapitel 2.2). Daneben leisten die Händler Vorfinanzierungen oder vergeben anderweitig Kredite entlang der vorgelagerten Goldlieferkette, zum Beispiel, damit Kleinbergleute Arbeitsausrüstung erwerben können. In einigen Ländern stellen die Zwischenhändler den Kleinbergleuten kostenlos Quecksilber zur Amalgamierung zur Verfügung. Teils dient Gold zudem als Ersatzwährung für andere geschäftliche Transaktionen und ermöglicht so die Bereitstellung von Produkten in entlegenen Regionen [57].

Dieses Netzwerk an Vorfinanzierungen und Dienstleistungen beruht auf einer langjährigen Zusammenarbeit der Geschäftspartner und erzeugt Abhängigkeiten. Daher sind derartige Netzwerke und Geschäftsverflechtungen entscheidende Faktoren, die den artisanalen Goldhandel beeinflussen. Kleinbergleute werden dabei häufig ausgenutzt, zum Beispiel durch manipulierte Waagen, falsche Bestimmung des Goldgehalts ihrer Produktion oder Schuldendienste zu hohen Zinsen.

5.3 Governance

Die Goldindustrie hat eine Reihe von Standards etabliert, um auf eine verantwortungsvolle Praxis in der Gewinnung und entlang der Lieferketten hinzuwirken. Im Oktober 2022 betonte die Industrie in einer gemeinsamen Erklärung ihre Bereitschaft, sich zu Prinzipien der Verantwortung und Nachhaltigkeit zu verpflichten [58]. Trotz dieser Bemühungen sind mit Blick auf den internationalen Goldhandel und die Lieferketten nach wie vor signifikante Governance-Herausforderungen zu bewältigen, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Geldwäsche, Sanktionen und Schmuggel

Geldwäsche im Zusammenhang mit organisierter Kriminalität stellt ein signifikantes Risiko im internationalen Goldhandel dar, aufgrund dessen die Financial Action Task Force für Marktteilnehmer eine umfangreiche Liste sogenannter „Red Flags“ veröffentlicht hat [59]. Auch Abbaustätten im Kleinbergbau können der Geldwäsche dienen, was sich manchmal darin äußert, dass dort überhöhte Ankaufpreise für das artisanal produzierte Gold bezahlt werden.

Daneben werden mit dem Goldhandel teilweise internationale Sanktionen gegen Staaten, Unternehmen oder einzelne Personen umgangen. In der jüngsten Zeit betraf dies die Aktivitäten der russischen Wagner-Gruppe im sudanesischen Goldsektor oder die Rolle türkischer Banken und Goldscheideanstalten im Hinblick auf von russischen Unternehmen betriebene Goldbergwerke in Afrika. Im Jahr 2013 waren beispielsweise Handel-

stransaktionen zwischen dem Iran und der Türkei betroffen.

Gold aus dem Kleinbergbau kann legal und aus verantwortungsvollen Quellen bezogen werden [57]. Allerdings bestehen in vielen Fällen hohe Risiken hinsichtlich der Sorgfaltspflicht und einer möglichen illegalen Herkunft des Goldes. Laut Statistiken des Branchenverbands LBMA bezogen dessen Mitglieder im Zeitraum 2018 – 2020 zwischen 16 und 26 Tonnen Gold aus dem Kleinbergbau [14, 15]. Dies stellt eine wesentliche Differenz zu der globalen Gesamtproduktion von Gold aus dem Kleinbergbau dar, die bei geschätzt bis zu 700 Tonnen liegt. LBMA-Mitglieder sind damit offiziell lediglich für die Raffinade von 2 – 4 % der globalen Goldproduktion im Kleinbergbau verantwortlich. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass es trotz der etablierten LBMA-Kontrollprozesse teilweise zu falschen Herkunftserklärungen durch Handelspartner kommt, aufgrund derer LBMA-Mitglieder artisanales Gold als vermeintliches Sekundärgold beziehen [16]. Die LBMA strebt daher an, die Transparenz in der Goldlieferkette zu verbessern und artisanales Gold durchgehend auch als solches zu registrieren und mit einem adäquaten Risikomanagement zu verbinden. Zugleich soll der offizielle Anteil von Gold aus dem Kleinbergbau erhöht werden, um der globalen Entwicklungsrelevanz des Sektors gerecht zu werden.

Die Vereinigten Arabischen Emirate sind eines der wichtigsten internationalen Handelszentren für Gold aus dem Kleinbergbau. In der Vergangenheit wurden wiederholt Risiken beschrieben, dass in den Emiraten raffiniertes Gold aus möglichen artisanalen Quellen, oft aus Konflikt- und Hochrisikogebieten, beim lokalen Weiterverkauf als Sekundärgold deklariert wurde [60]. Die Goldherkunft kann dann in den angeschlossenen internationalen Lieferketten nicht mehr zurückverfolgt werden. Die Emirate erfüllen damit die Definition einer sogenannten „Red-Flag“-Lokalität, die hinsichtlich der Anforderungen an die Sorgfaltspflicht teils mit Konflikt- und Hochrisikogebieten gleichzusetzen ist. Derartige Risiken bestehen auch für weitere Länder, die eine Transitfunktion für Gold aus Konfliktgebieten einnehmen. Dies betrifft beispielsweise die Goldexporte Ugandas und Ruandas, die Lieferkettenbezüge zu konfliktbehaftetem Gold aus dem Ostkongo aufweisen, das über die östlichen Nachbarstaaten nachfolgend in den Emiraten verkauft wird. Togo war ebenfalls bereits betroffen: Der Bezug von Gold aus Burkina Faso über das Transitland Togo, mit Risiken von Kinderarbeit in der Lieferkette, rief in der Schweiz große Bedenken hinsichtlich der Integrität des nationalen Goldsektors hervor [61].

Um Lieferkettenrisiken besser kontrollieren zu können, entwickelte die LBMA im Jahr 2020 eine Reihe von Empfehlungen für internationale Goldhandelszentren. Neben den Vereinigten Arabischen Emiraten und der Schweiz werden neun weitere Länder als sogenannte International Bullion Centres definiert (Abb. 1). Im Folgejahr rief die Schweizer Regierung ihre heimischen Goldscheideanstalten dazu auf, Goldeinfuhren aus den Vereinigten Arabischen Emiraten bezüglich deren Herkunft genauer zu kontrollieren. Daneben wurde die Klassifizierung nationaler Goldeinfuhren geändert. Wurde zuvor das importierte Gold ohne weitere Differenzierung deklariert, muss seitdem aufgeschlüsselt werden, ob es sich um Primärgold (sogenanntes Minengold) handelt. Dieses schließt explizit Gold aus dem Kleinbergbau mit ein.

Zertifizierung und Risikomanagement

Gold ist einer der Rohstoffe, für den laut einer im Jahr 2017 verabschiedeten EU-Verordnung zur Sorgfaltspflicht bestimmte Nachweise zu erbringen sind, sobald eine jährliche Einfuhrmenge von 100 Kilogramm Primärgold überschritten wird. Für Akteure der nachgelagerten Lieferkette erfolgt dies bislang häufig durch die Identifizierung der Goldscheideanstalt und die Bestätigung, dass diese in einem der im Folgenden genannten Programme zertifiziert ist. Allerdings sind die genannten Programme bislang (Stand: Oktober 2022) noch nicht offiziell von der EU anerkannt worden. Neben derartigen Maßnahmen zur Stärkung der Sorgfaltspflicht lassen sich viele Goldscheideanstalten nach ISO-Normen zertifizieren. Im Fokus stehen dort das Umweltmanagement sowie teilweise die Arbeitssicherheit und der Laborbetrieb.

Der Marktstandard für international gehandeltes Gold wird von der LBMA durch deren „Good Delivery“-Liste gesetzt. Diese Liste umfasst Goldscheideanstalten, deren Goldbarren bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen. Zugleich sind die Goldscheideanstalten verpflichtet, Maßnahmen der Sorgfaltspflicht umzusetzen, die in der Responsible Gold Guidance der LBMA definiert werden. Über ein OECD-konformes Management von Lieferkettenrisiken wie der Konfliktfinanzierung und der Kinderarbeit hinaus, beinhaltet der LBMA-Standard einige ESG-Anforderungen. Alternative Standards auf Ebene der Goldscheideanstalten werden durch das Responsible Jewellery Council (RJC) sowie die Responsible Minerals Initiative (RMI) definiert [57, 62].

Sämtliche Anforderungen von LBMA, RMI oder RJC werden im Rahmen der jeweiligen Initiative über Audits abgeprüft und stellen die Basis für die Zertifizierung der Raffinadestandorte dar. Im August 2022 verfügten von einhundert global zertifizierten Goldscheideanstalten

etwa 60 % über eine LBMA-, 35 % über eine RMI- und 20 % über eine RJC-Zertifizierung (berechnet aus [13]). Die Zertifizierungsstandards sind nicht deckungsgleich. Mehrfachzertifizierungen eines Standorts sind möglich, teils entfalten diese einen komplementären Charakter. Beispielsweise hat die RMI, anders als die LBMA, bestimmte ESG-Kriterien in einen separaten Standard integriert, der optional neben ihrem auf die Sorgfaltspflicht im engeren Sinne fokussierten Standard zusätzlich abgeprüft werden kann. Ein aktuell im Auftrag der LBMA vorgelegtes Konzept schlägt vor, die den Raffinade-Standorten von LBMA-Mitgliedern vorgeschalteten Standorte der Vorraffinade von Gold aus dem Kleinbergbau nach den RMI-Kriterien der Sorgfaltspflicht zu auditieren [16].

Einige Goldscheideanstalten setzen darüber hinaus analytische Methoden zur Risikobewertung der Goldherkunft ein. Beispielsweise entwickelte die Schweizer Goldscheideanstalt Metalor in Kooperation mit der Universität Lausanne das Verfahren für einen sogenannten „Geoforensic Passport“, der auf den im Doré-Gold enthaltenen Spurenelementen beruht. Das Unternehmen nutzt das Verfahren im Rahmen seines Risikomanagements, um die Integrität bestimmter Lieferungen aus Südamerika zu überprüfen [63].

Neben der Frage der Sorgfaltspflicht stellen Fälschungen und Betrugsfälle mit Goldbarren ein Risiko für die Reputation der Goldscheideanstalten dar. Einerseits können Goldbarren gefälscht werden, zum Beispiel indem ein Wolframkern mit einer dünnen Goldschicht überzogen wird. Andererseits werden die Herkunftangaben von Goldbarren gefälscht, um eine vermeintlich sichere Herkunft von einer gut beleumdeten Goldscheideanstalt zu suggerieren.

Da die Fälschungen mittlerweile äußerst professionell sind, integrieren Goldscheideanstalten unterschiedliche Sicherheitsmerkmale in ihre Goldbarren. Dies umfasst mit der Seriennummer des Barrens verbundene Zertifikate, direkt in den Barren integrierte und über ein Smartphone auslesbare Barcodes, das Einbringen künstlicher DNS sowie „Kinebars“, in die ähnlich wie bei Reisepässen ein Hologramm eingearbeitet wird. Die Industrievereinigungen LBMA und WGC arbeiten gemeinsam an der Entwicklung eines branchenweiten Systems zur Digitalisierung der Goldlieferkette. In einer Datenbank auf Blockchain-Basis sollen für jeden Goldbarren Herkunft und Handelstransaktionen als zusätzliche Sicherheit hinterlegt werden. Damit nimmt der Goldsektor einen Trend auf, der auch für andere Rohstoffe und daraus gefertigte Produkte zunehmende Dynamik entfaltet, beispielsweise in Form des Batteriepasses für Lithium-Ionenbatterien.

6 QUELLENACHWEIS

- [1] WORLD GOLD COUNCIL (2022): Gold demand trends. – <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2021> [Stand: 20.8.2022].
- [2] REISEBANK (2021): Reisebank-Goldstudie 2021. – <https://www.presseportal.de/pm/116526/4904648> [Stand: 20.8.2022].
- [3] SILLITOE, R.H. (2022): Gold deposit types: An overview. In: Sillitoe, R.H. et al. (Hrsg.), *Geology of the world's major gold deposits and provinces*. – <https://doi.org/10.5382/SP.23.01>
- [4] SAUNDERS, J.A., HOFSTRA, A.H., GOLDFARB, R.J., REED, M.H. (2014): *Geochemistry of hydrothermal gold deposits. Treatise on Geochemistry (Second Edition)* 13, 383-424. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01117-7>
- [5] MARSDEN, J. O. & HOUSEM C.I. (2006): *The chemistry of gold extraction*. 2nd Edition. The Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton. ISBN 978-0873352406.
- [6] S&P GLOBAL (2022): *S&P Global Market Intelligence*, New York. – <https://www.spglobal.com/en> [Stand: 20.8.2022].
- [7] HRUSCHKA, F., MELCHER, F., KAIN-BÜCKNER, B. (2016): *Analytical tools to constrain the origin of gold from conflict-affected and high-risk areas*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. ISBN 978-3-943566-35-2.
- [8] USGS (2022): *Gold – Mineral Commodities Summaries*. United States Geological Survey. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-gold.pdf> [Stand: 20.8.2022].
- [9] PLANETGOLD (2022): *Annual progress report 2020/2021*. UNEP. – https://www.thegef.org/sites/default/files/documents/2022-03/planetGOLD_2020_2021_annual_progress_report_2022_03.pdf [Stand: 19.10.2022]
- [10] EKSTEEN, J.J., ORABY, E.A., TANDA, B.C. ET AL. (2017): *Towards industrial implementation of glycine based leach and adsorption technologies for gold-copper ores*. *Canadian Metallurgical Quarterly* 57, 390-398. – <https://doi.org/10.1080/00084433.2017.1391736>
- [11] VERBRUGGE, B., LANZANO, C., LIBASSI, M. (2021): *The cyanide revolution: Efficiency gains and exclu-*

- sion in artisanal and small-scale gold mining. *Geoforum* 126, 267-276. – <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.07.030>
- [12] VEIGA, M.M. & GUNSON, A.J. (2020): Gravity concentration in artisanal gold mining. *Minerals* 2020, 1026. – <https://doi.org/10.3390/min10111026>
- [13] RMI (2022): Gold refiners list. Responsible Minerals Initiative (RMI). – <https://www.responsibleminerals-initiative.org/gold-refiners-list/> [Stand: 20.8.2022].
- [14] LBMA (2021): Responsible sourcing report 2021. London Bullion Market Association (LBMA). – <https://www.lbma.org.uk/publications/responsible-sourcing-report-2021> [Stand: 20.8.2022].
- [15] LBMA (2022): Sustainability and responsible sourcing report 2022. London Bullion Market Association (LBMA). – https://cdn.lbma.org.uk/downloads/Publications/2022/LBMA_Sustainability-and-Responsible-Sourcing-Report_2022_Final.pdf [Stand: 19.10.2022].
- [16] MTHEMBU-SALTER, G. & SALTER, T. (2022): Towards an LBMA good delivery list for artisanal and small-scale responsibly mined gold. Phuzumoya Consulting. – https://cdn.lbma.org.uk/downloads/Publications/2022/Phuzumoya-LBMA-report-FINAL_Branded_option-2.pdf [Stand: 19.10.2022].
- [17] RENNER, H. & JOHNS, M.W. (1997): Gold. In: Habashi, F. (Hrsg.), *Handbook of Extractive Metallurgy*, Volume III. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim. ISBN 3-527-28792-2.
- [18] HAGELÜKEN, C. (2018): Herausforderung Elekttronikschrott-Recycling. 2. Europäische Ressourcenkonferenz, München. – <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18006.75847>
- [19] FRITZ, B., AICHELE, C., SCHMIDT, M. (2020): Environmental impact of high-value gold scrap recycling. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25, 1930-1941. – <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01809-6>
- [20] BOOKHAGEN, B. & BASTIAN, D. (2020): Metalle in Smartphones. *Commodity TopNews* 65, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. – https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/65_smartphones.pdf?blob=publicationFile&v=6 [Stand: 20.8.2022].
- [21] UNEP (2013): Metal recycling: Opportunities, limits, infrastructure. United Nations Environment Programme (UNEP). – <https://www.resourcepanel.org/reports/metal-recycling> [Stand: 20.8.2022].
- [22] CHANCEREL, P., MESKERS, C.E.M., HAGELÜKEN, C., ROTTER, V.S. (2009): Assessment of precious metal flows during preprocessing of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Industrial Ecology* 13, 791-810. – <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00171.x>
- [23] MUDD, G.M. (2007): Global trends in gold mining: Towards quantifying environmental and resource sustainability. *Resources Policy* 32, 42-56. – <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.05.002>
- [24] BLEIWAS, D.I. (2012): Estimated water requirements for gold heap-leach operations. U.S. Geological Survey (USGS). – <http://pubs.usgs.gov/of/2012/1085> [Stand: 24.8.2022].
- [25] DURAND, J.F. (2012): The impact of gold mining on the Witwatersrand on the rivers and karst system of Gauteng and North West Province, South Africa. *Journal of African Earth Sciences* 68, 24-43. – <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.03.013>
- [26] WOOD MACKENZIE (2021): Is gold turning green? A spotlight on gold mining emissions. – <https://www.woodmac.com/news/opinion/is-gold-turning-green/> [Stand: 20.8.2022].
- [27] WORLD GOLD COUNCIL (2019): Gold and climate change: Current and future impacts. – <https://www.gold.org/download/file/14316/gold-and-climate-change-current-and-future-impacts.pdf> [Stand: 20.8.2022].
- [28] S&P GLOBAL (2021): Greenhouse gas and gold mines – Emission intensities unaffected by lockdowns. – <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/greenhouse-gas-and-gold-mines-emissions-intensities-unaffected-by-lockdowns> [Stand: 20.8.2022].
- [29] ULRICH, S., TRENCH, A., HAGEMANN, S. (2022): Gold mining greenhouse gas emissions, abatement measures, and the impact of a carbon price. *Journal of Cleaner Production* 340, 130851. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130851>
- [30] CABERNARD, L. & PFISTER, S. (2022): Hotspots of mining-related biodiversity loss in global supply chains and the potential for reduction by renewable electricity. Preprint. – <https://doi.org/10.31223/X5T064>

- [31] MURGUÍA, D. & BRINGEZU, S. (2016): Measuring the specific land requirements of large-scale metal mines for iron, bauxite, copper, gold and silver. *Progress in Industrial Ecology* 10, 264-285. – <https://doi.org/10.1504/PIE.2016.082142>
- [32] OBERLE, B., BRERETON, D., MIHAYLOVA, A. (2020): Towards zero harm: A compendium of papers prepared for the global tailings review. – <https://globaltailingsreview.org/> [Stand: 14.11.2022].
- [33] PT FREEPORT INDONESIA (2015): Controlled riverine tailings management. PT Freeport Indonesia. – <https://www.fcx.com/sites/fcx/files/documents/sustainability/riverine.pdf> [Stand: 23.10.2022].
- [34] BARENBLITT, A., PAYTON, A., LAGOMASINO, D. ET AL. (2021): The large footprint of small-scale artisanal gold mining in Ghana. *Science of the Total Environment* 781, 146644. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146644>
- [35] CINCIA (2018): Three decades of deforestation from artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. Centro de Innovación Científica Amazónica. – <http://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/CINCIA-Research-Brief-No.-1.pdf> [Stand: 20.8.2022].
- [36] ICMI (2022): The cyanide code. International Cyanide Management Institute (ICMI). – <https://cyanidecode.org/> [Stand: 20.8.2022].
- [37] GESTRING, B. & HADDER, J. (2017): U.S. Gold mines spills & failures report. Earthworks. – https://earthworks.org/resources/us_gold_mines_spills_failures/ [Stand: 23.10.2022].
- [38] UNEP (2019): Technical background report to the global mercury assessment 2018. United Nations Environment Programme (UNEP), Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo & Genf. ISBN 978-82-7971-108-7.
- [39] WHO (2017): Mercury and health. World Health Organization (WHO). – <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health> [Stand: 20.8.2022].
- [40] WORLD GOLD COUNCIL (2021): The social and economic contribution of gold mining. – <https://www.gold.org/goldhub/research/social-and-economic-contribution-gold-mining> [Stand: 20.8.2022].
- [41] VÁSQUEZ, M. (2020): Warum ist Cajamarca arm? Informationsstelle Perú e.V. – <https://www.infostelle-peru.de/wirtschaft-und-bergbau/warum-ist-cajamarca-arm/> [Stand: 23.10.2022].
- [42] HUNTER, M., SIBANDA, M., OPALA, K. ET AL. (2021): Illicit gold markets in east and southern Africa. Global Initiative Against Transnational Organized Crime. – <https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2021/05/Illicit-gold-markets-in-East-and-Southern-Africa-GI-TOC-.pdf> [Stand: 20.8.2022]
- [43] OECD (2016): OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas, Third Edition. OECD Publishing, Paris. – <https://doi.org/10.1787/9789264252479-en>
- [44] NEUMANN, M., BARUME, B., DUCÉLLIER, B. ET AL. (2019): Traceability in artisanal gold supply chains in the Democratic Republic of the Congo. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover. ISBN 978-3-943566-57-4.
- [45] KLEYN, G. & DU PLESSIS, J.J.L. (2016): Sub-standard practices: Effects on safety performance in South African gold mines. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 116, 307-316. – <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n4a2>
- [46] BECHTUM, A. (2021): Transnationaler Bergbau und lokale Politik: Politische Einflussnahme im Kontext des industriellen Goldbergbaus in Argentinien. Transcript Verlag, Bielefeld. – <https://doi.org/10.14361/9783839460450>
- [47] SÍCOLI PÓSLEMAN, C. & SALLAN, J.M. (2019): Social license to operate in the mining industry: the case of Peru. *Impact Assessment and Project Appraisal* 37, 480-490. – <https://doi.org/10.1080/14615517.2019.1585142>
- [48] AUBYNN, A. (2009): Sustainable solution or a marriage of inconvenience? The coexistence of large-scale mining and artisanal and small-scale mining on the Abooso Goldfields concession in Western Ghana. *Resources Policy* 34, 64-70. – <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.04.002>
- [49] SCHIPPER, I. DE HAAN, VAN DORP, M. (2015): Gold from children's hands – Use of child-mined gold by the electronics sector. SOMO, Amsterdam. ISBN 978-94-6207-075-2.
- [50] CHENG, Y., NAKAJIMA, K., NANSAI, K. ET AL. (2022): Examining the inconsistency of mercury flow in post-Minamata Convention global trade concerning artisa-

nal and small-scale gold mining activity. *Resources, Conservation & Recycling* 185, 106461. – <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106461>

[51] MINAMATA CONVENTION ON MERCURY (2022): About us. – <https://www.mercuryconvention.org/en/about> [Stand: 13.11.2022].

[52] SWISS BETTER GOLD ASSOCIATION (2021): Report Better Gold Initiative 2017-2021. – <https://www.swiss-bettergoldassociation.ch/news> [Stand: 20.8.2022].

[53] ALLIANCE FOR RESPONSIBLE MINING (2022): Fairmined – Our impact. – <https://fairmined.org/our-impact/> [Stand: 20.8.2022].

[54] GOYAL, A. (2019): Effect and origin of base metal-deleterious elements in gold refining and melting. LBMA Assaying and Refining Conference 2019. – https://cdn.lbma.org.uk/downloads/Goyal_2022-01-05-161846.pdf [Stand: 20.8.2022].

[55] ARGOR HERAEUS (2021): Sustainability report 2020. – <https://precious.com/en/argorheraeus.html> [Stand: 20.8.2022].

[56] FAIRPHONE (2015): Cost breakdown of the Fairphone 2. – <https://www.fairphone.com/de/2015/09/09/cost-break-down-of-the-fairphone-2/> [Stand: 23.10.2022].

[57] STÄHR, F. & SCHÜTTE, P. (2016): Responsible gold sourcing from artisanal and small-scale mining. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover. ISBN 978-3-943566-93-2.

[58] WORLD GOLD COUNCIL (2022): Gold industry declaration of responsibility and sustainability principles. – <https://www.gold.org/gold-industry-declaration> [Stand: 19.10.2022].

[59] FATF-APG (2015): Money laundering and terrorist financing risks and vulnerabilities associated with gold. Financial Action Task Force (FATF), Paris & Asia/Pacific Group on Money Laundering (APG), Sydney. – <https://www.fatf-gafi.org/documents/documents/ml-tf-risks-and-vulnerabilities-gold.html> [Stand: 15.11.2022].

[60] BLORE, S. & HUNTER, M. (2020): Dubai's problematic gold trade. In: Page, M.T. & Vittori, J. (Hrsg.), Dubai's role in facilitating corruption and global illicit financial flows. Carnegie Endowment for International Peace. – <https://carnegieendowment.org/2020/07/07/dubai-s-role-in-facilitating-corruption-and-global-illicit-financial-flows-pub-82180> [Stand: 20.8.2022]

[61] BERNE DECLARATION (2015): A golden racket – the true source of Switzerland's "Togolese" gold. – https://www.publiceye.ch/fileadmin/doc/Rohstoffe/2015_PublicEye_A_golden_racket_Report.pdf [Stand: 14.10.2022].

[62] ERDMANN, M. & FRANKEN, G. (2022): Sustainability standard systems for mineral resources: A comparative overview. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover. ISBN 978-3-948532-63-5.

[63] BECK, B. & JODRY, J.J. (2021): The origin of gold – geoforensic passport. LBMA Alchemist No. 101. – <https://www.lbma.org.uk/alchemist/issue-101/the-origin-of-gold-geoforensic-passport> [Stand: 20.8.2022].

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
www.bgr.bund.de

Autor:

Philip Schütte

Unter Mitarbeit von:

Alexandra Bechtum, Désirée Ruppen,
Britta Bookhagen, Gudrun Franken

Layout:

Jolante Duba

Titelfoto:

© GettyImages-869481918

Stand:

November 2022

DOI:

10.25928/pnkw-eg91