

Fragen im Rahmen der Veranstaltung „RohstoffRadar – Kupfer unter Druck“ am 30. Januar 2026 auf MS-Teams

Kupferabbau

Frage: Gibt es große Unterschiede in den Förderverfahren insbesondere hinsichtlich geringer ökologischer Schäden und "menschenfreundlichem" Abbau vor Ort und welche Rolle spielen diese zukünftig?

Antwort von Sebastian Stelter (AngloAmerican):

- Grundsätzlicher Unterschied: Lagerstättentyp (Geologie und Lithologie, Geometrie) – z.B.: porphyrische Kupferlagerstätten in Südamerika (geringer Gehalt aber große Tonnagen in magmatischen Stockwerken → oft riesige Tagebaue, oder mehrstöckige unter-Tage Bergbaue) oder flözartige Sedimentlagerstätten (höherer Gehalt, geringmächtig aber lateral kontinuierlich → großflächige unter-Tage Bergbaue)
- Tiefe und Geometrie des Erzkörpers:
 - über-Tage Bergbau/ Tagebau oder unter-Tage Bergbau
 - große lokale Masse, oder großflächig flözartig
- prozentualer Gehalt der Kupferlagerstätte und damit der Aufwand an Aufbereitung und Konzentration des Erzes, sowie schlussendlich die Menge und Verbringung an Abraum (sekundärer Baustoff/ Rückverfüllung oder Deponie)

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Kupfer ist ein Schlüsselrohstoff für die Energiewende und moderne Technologien, doch seine Gewinnung belastet Umwelt und Gesellschaft in unterschiedlichem Ausmaß. Im Folgenden werden konventionelle und innovative mikrobiologische Förderverfahren hinsichtlich ökologischer, sozialer und Governance-Kriterien verglichen.

Konventionelle Kupferförderung: Verfahren und Auswirkungen

Traditioneller Kupferbergbau erfolgt überwiegend im Tagebau. Erze werden in riesigen Minen im Tagebau gewonnen oder seltener unter Tage abgebaut und anschließend vor Ort zu Kupferkonzentrat verarbeitet. Dieses Verfahren ist technisch ausgereift und weltweit verbreitet, jedoch mit erheblichen ökologischen und sozialen Kosten verbunden:

- **Landschaftsverbrauch und Biodiversität:** Tagebaue reißen gewaltige Krater in die Landschaft (z. B. Chuquicamata in Chile mit 1,2 km Durchmesser und 500 m Tiefe). Pro Tonne Kupfer müssen bis zu 200 Tonnen Gestein bewegt werden. Das Entfernen von Erdschichten und Erz führt zur Zerstörung der lokalen Vegetation und Lebensräume. Besonders drastisch zeigt sich dies in sensiblen Regionen: In Chile – dem größten Kupferproduzenten der Welt – liegen die größten Minen in der extrem trock-

nen Atacama-Wüste. Dort entzieht der Bergbau spärliche Wasserquellen den Feuchtgebieten, was zur Austrocknung ganzer Ökosysteme und zum Verlust einzigartiger Arten führte. Weltweit gelten mehrere vormals artenreiche Gebiete durch Kupferminen als ökologisch ruiniert.

- **Wasserverbrauch und Verschmutzung:** Die industrielle Kupferproduktion verschlingt enorme Wassermengen. In großen Tagebauen werden häufig hunderttausende Liter Wasser pro Tag benötigt, etwa um Erzgestein zu zerkleinern und in Schwemmverfahren das Kupfer zu extrahieren. In ariden Zonen führt dies zu Wasserknappheit für Mensch und Natur. Zusätzlich können Schadstoffe aus dem Abraum und den Rückständen in Boden und Grundwasser gelangen. Säurehaltige Grubenabwässer (acid mine drainage) mit Schwermetallen und Schwefelsäure können Flüsse und Böden auf Jahrzehnte belasten, wenn keine aufwändige Wasseraufbereitung erfolgt.
- **Emissionen und CO₂-Fußabdruck:** Konventioneller Bergbau und anschließende Hüttenprozesse sind energieintensiv. Große Dieselmuldenkipper und Maschinen erzeugen Treibhausgase; das Schmelzen von Kupferkonzentrat in Schmelzöfen erfordert hohe Temperaturen und verursacht erhebliche CO₂-Emissionen. Dadurch trägt Kupferabbau in erheblichem Maß zum Klimawandel bei, wenn auch zunehmend Bemühungen stattfinden, die Effizienz zu steigern und Emissionen zu senken (z. B. Abwärmenutzung, Einsatz erneuerbarer Energien in Minen). Trotzdem gilt traditioneller Kupferabbau heute noch als „besonders dreckig“ und emissionsreich.
- **Soziale Folgen und Arbeitsbedingungen:** Die menschlichen Kosten des traditionellen Abbaus sind ebenfalls hoch. Rund um expandierende Minen werden oft Anwohner umgesiedelt, teils in provisorische Siedlungen mit schlechter Versorgung. Nach Schließung einer Mine bleiben Geisterstädte mit kontaminierter Umgebung zurück. Gesundheitsrisiken betreffen sowohl die lokale Bevölkerung – etwa durch Schwermetalle im Trinkwasser oder Feinstaub – als auch die Bergleute direkt: Viele Arbeiter leiden an Hörschäden durch Maschinenlärm und an Staublunge von jahrelanger Quarz- und Metallstaub-Exposition. Zwar arbeiten in den großen Minen meist qualifizierte Kräfte mit Schutzausrüstung, dennoch bleiben Unfälle und Berufskrankheiten (Erdrutsche, Unfälle mit Sprengstoff oder schweren Geräten) ernste Probleme.
- Trotz dieser Nachteile ist der traditionelle Kupferabbau weltweit (noch) der Hauptlieferant des Metalls. **Chile** nimmt dabei eine Sonderstellung ein: Rund **30 % der globalen Kupferproduktion** stammen aus Chile, wo der staatliche Konzern Codelco als größter Einzelproduzent gilt. Weitere bedeutende Förderländer sind **Peru**, die **Demokratische Republik Kongo**, **China** und die **USA**. Die Bedingungen und Vorschriften variieren: In entwickelten Ländern und bei großen Konzernen gibt es strengere Umweltauflagen und Sozialstandards (z.B. Renaturierungspflichten, Tariflöhne), während in ärmeren Regionen schwache Governance zu erheblich schlechteren Standards führen kann. Insgesamt aber wächst weltweit der Druck von Öffentlichkeit und Industrie, den „schmutzigen“ Kupferabbau nachhaltiger zu gestalten – sei es durch Technologie oder durch strengere Regulierung.

Nachhaltige Alternativen: Mikrobieller Kupferabbau (Bioleaching)

Angesichts der genannten Probleme rücken **innovative Gewinnungsmethoden** in den Fokus, die Umweltschäden verringern und menschenwürdige Arbeitsbedingungen fördern sollen. Eine besonders interessante Technologie ist der **mikrobielle Abbau** von Kupfer, auch **Bioleaching** oder **Biomining** genannt. Dabei werden natürlich vorkommende Mikroorganismen eingesetzt, um Kupfer aus Erz zu lösen, anstatt rein auf ein klassisches mechanisch-chemisches Verfahren zu setzen.

Wie funktioniert Bioleaching? Spezielle Bakterien – vor allem säuretolerante Eisen- und Schwefeloxidierer wie *Acidithiobacillus ferrooxidans* – werden gezielt genutzt, um kupferhaltige Sulfidminerale zu oxidieren. In einfachen Worten: Die Mikroben erzeugen durch ihren Stoffwechsel schwache Säuren und Oxidationsmittel, die Kupferminerale auflösen. Das Kupfer geht dabei in Lösung (eine wasserhaltige Kupfersulfat-Lösung), aus der es anschließend durch technische Verfahren (z. B. Lösungsmittel-Extraktion und Elektrogewinnung) als metallisches Kupfer gewonnen wird. Bioleaching kann auf Halden mit niedergradigem Erz stattfinden (Bakterien werden über aufgeschichtete Erzhaufen bewässert) oder in Bioreaktoren/Tanks mit zerkleinertem Material. Es eignet sich besonders für Erze mit geringem Kupfergehalt oder für Rückstände (Tailings), bei denen herkömmlicher Abbau unwirtschaftlich wäre.

Ökologische Vorteile: Mikrobielle Verfahren gelten als „sanfter“ im Vergleich zum pyrometallurgischen Standardprozess. Wichtige Pluspunkte sind:

- **Geringerer Energieverbrauch:** Bioleaching verzichtet auf das großflächige Erhitzen von Erz auf hohe Temperaturen. Die Prozesse laufen meist bei Umgebungstemperatur oder moderat erhöhten Temperaturen ab, angetrieben durch bakterielle Aktivität. Dadurch entfallen viele energieintensive Schritte wie Schmelzprozesse. Untersuchungen zeigen, dass **biologische Laugung deutlich weniger Primärenergie benötigt** als klassische Verhüttung – was den **CO₂-Fußabdruck** der Kupfergewinnung erheblich senken kann. (Zum Vergleich: Beim **Recycling** von Kupfer – ein anderer alternativer Pfad – sinkt der Energiebedarf im Vergleich zum Primärabbau um bis zu 85 %. Bioleaching ist zwar nicht ganz so energiesparend wie Recycling, aber immer noch erheblich klimafreundlicher als Erzschnmelzen.)
- **Weniger Chemikalien:** In konventionellen Hydrometallurgie-Prozessen (Laugung) müssen oft hochkonzentrierte Säuren oder giftige Lösungsmittel eingesetzt werden, um Kupfer aus Erz zu lösen. Bakterien dagegen **produzieren ihre eigene Säure in situ** in nur benötigter Konzentration. Externe Zugabe von starken Säuren oder Cyaniden (für Gold) kann reduziert oder vermieden werden. Bioleaching kommt somit ohne die größten chemischen „Keulen“ aus. Das senkt das **Risiko toxischer Abfälle** beträchtlich. In der Praxis müssen zwar oft anfangs etwas Schwefelsäure und Nährstoffe zugesetzt werden, aber in weit geringerer Menge. Insgesamt gilt Biomining als **umweltschonender und selektiver** als herkömmliche chemische Extraktion.
- **Schonung von Ressourcen und Deponien:** Bioleaching kann **Erzrückstände**

und Abraum nutzbar machen. In vielen Minen liegen Halden mit geringhaltigem Kupfererz, die im konventionellen Abbau ungenutzt bleiben. Durch Aufstellung von *Bioleaching*-Halden (sogenannte **heap leaching**-Anlagen) lässt sich aus diesem Material doch noch Kupfer gewinnen. So wird **mehr Metall aus dem gefördertem Gestein** herausgeholt und der **Abraum reduziert**, was wiederum die Notwendigkeit neuen Landabbruchs mindert. In diesem Sinne erhöht Bioleaching die **Ausbeute** und schont natürliche Ressourcen, da gleicher Bedarf mit weniger frisch abgebautem Erz gedeckt werden kann.

- **Weniger Luftschadstoffe:** Wo Bioleaching die klassische Erzverhüttung ersetzt, entfallen Emissionen wie **Schwefeldioxid** (SO_2), die beim Schmelzen schwefelhaltiger Erze in großen Mengen entstehen und sauren Regen verursachen können. Die Bakterien oxidieren Sulfide kontrolliert zu Sulfat in Lösung, statt dass Schwefel im Ofen zu gasförmigem SO_2 reagiert. Dadurch könnten lokale Luftschadstoffe erheblich verringert werden.

Trotz dieser Vorteile hat **Bioleaching** auch **Herausforderungen**:

- **Langsamere Prozesse:** Die **Reaktionsgeschwindigkeit** ist deutlich geringer als bei hochtemperatürigen Verhüttungsprozessen. Es kann Wochen bis Monate dauern, bis Bakterien eine Erzhalde weitgehend ausgelaugt haben. Bei bestimmten hartnäckigen Mineralien (v.a. Chalkopyrit – Kupferkies, das häufigste Kupfererz) ist die mikrobielle Laugung bei Umgebungstemperatur unvollständig oder extrem langsam. Die Industrie versucht dies durch Temperaturerhöhung (Einsatz thermophiler Bakterien bei $\sim 50\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$) und bessere Prozesssteuerung zu verbessern, doch bleibt die Produktionsrate ein begrenzender Faktor. Im Ergebnis benötigt eine Bioleaching-Anlage oft größere Flächen und mehr Zeit, um die gleiche Kupfermenge zu produzieren wie eine klassische Mine mit Schmelzanlage.
- **Kontrollbedarf und Umweltrisiken:** Auch wenn keine extremen Chemikalien zugesetzt werden, entstehen beim Bioleaching sauerstoffangereicherte, saure Lösungen, in denen gelöste Schwermetalle enthalten sind. Diese sogenannten „*pregnant leach solutions*“ müssen sorgfältig aufgefangen und verarbeitet werden. Ein Austreten solcher saurer Metalllösungen in Boden oder Grundwasser wäre ökologisch schädlich – ähnlich dem gefürchteten sauren Grubenwasser. Daher erfordert Bioleaching *genauso wie herkömmliche Laugung* Abdichtung (z. B. Kunststoffdichtungen unter Halden) und Überwachung. Unkontrolliert könnte auch ein Bioleaching-Haufen Schwermetall-freisetzende „*acid drainage*“ erzeugen. Menschliches Eingreifen bleibt also nötig, um die Umweltvorteile tatsächlich zu realisieren. Die Aussage von Experten: Ganz „unschuldig“ ist auch Bioleaching nicht – es bleibt ein Eingriff in die Natur, der Folgen haben kann, wenn er schlecht gemanagt wird.
- **Begrenzte Anwendbarkeit:** Bioleaching funktioniert hervorragend bei Kupferoxid-Erzen und sekundären Sulfiden (z.B. Covellin, Chalcocin), die leichter löslich sind. Bei den weiter verbreiteten primären Sulfid-Erzen (v. a. Chalkopyrit) ist es schwieriger. Intensive Forschung läuft, um Bakterien/Archaeen und Prozessbedingungen zu finden, die auch diese Erze effizient knacken. Inzwischen gibt es

Pilotanlagen für agitative Bioreaktoren mit erhöhten Temperaturen und Druck, um konzentrierte Chalkopyrit-Erzaufschlüsse biotechnologisch zu verarbeiten. Solche Technologien stehen jedoch erst am Beginn der Kommerzialisierung („*experimental only*“ laut Branchenangaben). Daher wird Bioleaching derzeit oft ergänzend eingesetzt – z.B. für Erzhalde und niedriggradige Reststoffe – während hochwertiges Erz weiterhin konventionell verhüttet wird.

- **Soziale Aspekte und Arbeitsbedingungen:**

Für die Belegschaft kann Bioleaching einige Vorteile bieten. Das Arbeiten in Bioleaching-Anlagen erfordert eher prozess-technische Kontrolle als harte körperliche Arbeit im Stollen oder an der Sprengbohrung. Es **fallen potentiell weniger gefährliche Tätigkeiten** an: Weniger Sprengungen, weniger Fahrten mit riesigen Muldenkippern in steilen Tagebauen – somit reduziert sich das Unfallrisiko in diesen Bereichen. Auch die Staub- und Lärmexposition dürfte geringer sein, da das Erz nicht in gleicher Menge zermahlen und bewegt werden muss, sondern viel in wässrigen Kreisläufen abläuft. Allerdings entstehen neue Jobprofile: Biotechnologen, Verfahreningenieure und Chemikanten sind gefragt, während klassische Bohr- und Schmelz-Fachkräfte weniger benötigt werden. Insgesamt gilt Biomining als High-Tech-Verfahren, das gut ausgebildete Mitarbeiter erfordert und tendenziell in formaleren Arbeitsstrukturen abläuft – was bessere Arbeitsschutz- und Sozialstandards erleichtert (im Gegensatz zu informellem Kleinbergbau).

Für Anwohner und Gemeinden könnten mikrobiell betriebene Anlagen ebenfalls verträglicher sein, sofern sie *geschlossener* arbeiten (weniger Staub und Abgase, kein ständiger Sprenglärm). Wichtig ist jedoch, dass auch bei Biomining alle Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, damit keine Schadstoffe austreten. Dann könnten sie perspektivisch helfen, Konflikte zwischen Minen und Anrainern zu entschärfen.

- **Aktueller Stand und Verbreitung:** Bioleaching ist keine ferne Vision – es wird bereits kommerziell angewandt. **Schätzungsweise rund ein Viertel der weltweiten Kupferproduktion wird heute durch Laugungsverfahren (inkl. Bioleaching) gewonnen.** Besonders Chile hat die Technik stark vorangetrieben. Schon um 2001 stammten etwa 10% der chilenischen Kupferproduktion aus biohydrometallurgischen Verfahren; heute ist der Anteil dank großflächiger *Heap Leaching*-Anlagen (mit Bakterienunterstützung) noch deutlich gestiegen. Viele große Minenkonzerne betreiben Bioleaching-Halden, z.B. in Escondida (Chile) und Morenci (USA), um zusätzliche Kupfermengen aus niedriggradigem Erz kostengünstig zu gewinnen. Auch in Peru, Australien, den USA und China sind Biomining-Projekte in Betrieb oder Entwicklung. Die Technologie gilt als immer wichtiger, da leicht abbaubare Erzvorkommen schwinden und der Druck zur *Dekarbonisierung* der Bergbauindustrie wächst.

Kurzum: Mikrobieller Abbau von Kupfer ist ein vielversprechender Weg, ökologische Schäden zu reduzieren und die Menschenfreundlichkeit des Bergbaus zu erhöhen. Er ergänzt bislang den konventionellen Abbau und könnte in Zukunft noch größere Bedeutung erlangen, wenn technische Hürden überwunden werden.

Vergleich der Verfahren – konventionell vs. mikrobiell

Nachfolgende Tabelle fasst die **Unterschiede zwischen traditionellem Kupferbergbau (v. a. Tagebau)** und dem **Bioleaching-Verfahren** im Hinblick auf Umwelt, Soziales und Innovationsgrad zusammen:

Kriterium	Konventioneller Tagebau	Mikrobieller Abbau (Bioleaching)
Ökologische Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Großer Fußabdruck: Riesen-Tagebaue, Zerstörung von Landschaft und Habitat. Beispiel Chuquicamata: 1,2 km Durchmesser Krater. - Ressourcenverbrauch: Starke Eingriffe – bis 200 t Gestein pro 1 t Kupfer. Hunderte Mio. m³ Abraum und Tailings mit Risiko von Dammbürchen. - Wasserhunger: Mehrere 100.000 L Wasser/Tag pro Mine, Entzug von Grundwasser, Austrocknen von Feuchtgebieten. - Emissionen & Abfälle: CO₂-intensive Erzaufbereitung (Dieselfahrzeuge, Schmelzöfen). Luftschadstoffe wie SO₂, Feinstaub. Giftige Rückstände (Schwermetalle, Säuren) müssen in Tailingsbecken langfristig gesichert werden. - Folgen: Schwere lokale Umweltbelastungen (verseuchte Flüsse/Böden, zerstörte Ökosysteme, Artensterben). Globale Klima- und Luftbelastung durch hohe Energie- und Dieselverbrennung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schonenderer Eingriff: Kein großflächiger Tagebau nötig für gleiche Erzmenge (Verarbeitung oft von Halden oder in Tanks). Landschaftsbild bleibt eher erhalten; geringerer Flächenverbrauch für vergleichbare Produktion (abgesehen von Haldenfläche). - Niedrigerer Energiebedarf: Prozesse laufen bei niedriger Temperatur, weniger Energie für Aufschluss nötig. Entfall energieintensiver Schmelzprozesse reduziert CO₂-Ausstoß deutlich. - Weniger Schadstoffe: Mikroben erzeugen benötigte Säuren selbst, keine hochkonzentrierten Chemikalien müssen in Umwelt eingebracht werden. Kaum direkte SO₂-Emissionen, weniger Staub. - Reststoffe nutzbar: Kann Halden, Abraum und Erzurückstände verwerten (Schonen primärer Ressourcen). Rückstände sind meist erschöpfte Gesteine mit geringerer Toxizität. - Risiken: Erfordert strenge Kontrolle der Laugungslösungen, um Boden/Gewässer nicht zu

		kontaminieren. Unkontrolliertes Bioleaching (z. B. in alten Minen) kann sonst ebenfalls saure Grubenwässer erzeugen.
<p>Soziale Bedingungen</p>	<p>- Arbeitsbedingungen: Harte körperliche Arbeit unter Tage oder im Staub der Tagebaue. Unfallrisiken durch Sprengungen, Steinschlag, Grubenunfälle und schwere Maschinen (Muldenkipper, Förderbänder). Häufige Gesundheitsprobleme (Staublunge, Lärmschäden) bei Arbeiter*innen.</p> <p>- Lokale Bevölkerung: Oft Umsiedlungen ganzer Dörfer nahe neuer Minen; Verlust von Heimat und kulturellen Stätten. Infrastrukturprobleme: in Relokationssiedlungen fehlen oft sauberes Wasser und Entsorgung. Verschmutzung von Flüssen und Böden beeinträchtigt Landwirtschaft und Gesundheit der Anwohner (erhöhte Krankheits- und Missbildungsraten). Konflikte zwischen Bevölkerung und Minenbetreibern (Proteste gegen Umweltzerstörung) sind nicht selten.</p> <p>- Sozialstandards: Variieren stark nach Region und Betreiber. Einige Länder/Unternehmen achten auf Arbeitsschutz, faire Löhne und soziale Projekte; andere weisen Missstände auf (bis hin zu Menschenrechtsverletzungen in Teilen der Lieferkette).</p>	<p>- Arbeitsbedingungen: Erfordert Fachpersonal (Biotechnologie, Chemieanlagenfahrer etc.). Weniger manuelle Schwerstarbeit, dafür Überwachung von Prozessen. Niedrigeres Unfallrisiko: kaum Untertagearbeit, weniger Sprengungen, reduzierter Kontakt mit Schwergesundheit. Arbeitsumfeld eher in Anlagensteuerung (vergleichbar mit chemischer Industrie) mit potenziell höherem Sicherheitsstandard.</p> <p>- Lokale Bevölkerung: Weniger Umweltauswirkungen bedeuten auch geringere Belastung für Anwohner: Weniger Staub und Emissionen verbessern die Gesundheitssituation. Da kein gigantischer Tagebau ausgehoben werden muss, bleiben oft Umsiedlungen erspart und Landnutzungskonflikte mildern sich. Allerdings bleiben z. B. Wasserverbrauch und mögliche Verunreinigungen Themen, die überwacht werden müssen – bei guter Praxis aber kontrollierbar.</p> <p>- Sozialstandards: Bioleaching wird meist von großen, formal organisierten Bergbauunternehmen eingesetzt; diese unterliegen eher internationalen Standards und</p>

		<p>CSR-Richtlinien. Dadurch fließen <i>Governance</i>-Aspekte stärker ein. Insgesamt bietet die Technologie Chancen auf menschenfreundlichere Arbeitsplätze (technisch qualifiziert, sicherer) bei gleichzeitig geringerer Belastung der umliegenden Gemeinden.</p>
<p>Innovationsgrad & Zukunftsfähigkeit</p>	<p>- Etabliert, aber verbesserungsbedürftig: Konventioneller Abbau ist ein seit <i>Jahrzehnten bewährtes</i> Verfahren. Nur inkrementelle Verbesserungen (effizientere Maschinen, bessere Filter, Teilautomatisierung) finden statt. Insgesamt jedoch kein grundlegender Innovationssprung, der die negativen Effekte eliminieren würde – der Tagebau bleibt per se invasiv und rohstoffintensiv.</p> <p>- Abhängigkeit von Hochwert-Erzen: Klassischer Abbau lohnt sich v. a. bei ausreichenden Erzgehalten. Die Qualität vieler Lagerstätten nimmt ab, was das Verfahren künftig unwirtschaftlicher machen kann. Ohne technologische Revolution droht eine Steigerung der Umweltkosten pro gewonnener Tonne, da immer größere Mengen Gestein bewegt werden müssen.</p> <p>- Status: Stand heute unverzichtbar für Massenproduktion. Kurz- bis mittelfristig wird konventioneller Bergbau weiter den Großteil des Kupfers liefern, aber der Druck zu Nachhaltigkeit</p>	<p>- Innovativ und im Aufschwung: Bioleaching ist ein relativ neues Verfahren (erste Großanlagen ab 1980er/90er Jahren) und befindet sich in kontinuierlicher Entwicklung. Fortschritte in Mikrobiologie, Gentechnik und Verfahrenstechnik könnten Effizienzprobleme (z. B. die langsame Laugung von Chalkopyrit) in Zukunft lösen. Forschungseinrichtungen (z. B. Fraunhofer-Institute) arbeiten an Skalierung und Prozessoptimierung für industrielle Anwendungen.</p> <p>- Bereits teilerprobt: In Chile, den USA und anderswo ist Bioleaching bereits kommerziell erfolgreich (Anteil an Weltproduktion steigend). Heute lassen sich damit v. a. bestimmte Erze erschließen; mit weiterer Innovation könnte es einen größeren Teil der Wertschöpfungskette abdecken (z. B. direkte Erzlaugung auch von primären Sulfiden).</p> <p>- Zukunftsrolle: Angesichts steigender Kupfernachfrage (Prognose +5,4 Mio t bis 2030) und gleichzeitigem Nachhaltigkeitsdruck gilt</p>

zwingt zu Anpassungen (etwa „grünes Kupfer“-Initiativen großer Bergbaukonzerne).

Bioleaching als **zukunftsweisend**. Es kann helfen, **Klimaziele** im Bergbau zu erreichen und die Versorgung zu diversifizieren (etwa Erschließung neuer Ressourcen, die bisher ungenutzt blieben). Viele Experten sehen Biomining als wichtige Säule, um „grünes Kupfer“ mit geringem CO₂-Fußabdruck zu produzieren. Die Technologie steht dabei nicht isoliert, sondern passt ins Konzept einer **Kreislaufwirtschaft**: Ergänzt durch intensiveres **Recycling** (Kupfer ist zu 100 % recycelbar. Der Bedarf an neu gefördertem Metall könnte nachhaltig und sozialverträglicher gedeckt werden.

Fazit: Weltweit existieren tatsächlich große Unterschiede in den Förderverfahren von Kupfer. Konventionelle Methoden haben eine enorme ökologische Last und bringen oft soziale Konflikte mit sich, während neue Verfahren wie Bioleaching darauf abzielen, umweltfreundlicher und „menschenfreundlicher“ zu sein. In Zukunft wird die **Bedeutung solcher nachhaltigen Verfahren zunehmen**. Bereits heute suchen große Abnehmer wie die Automobilindustrie nach „sauber“ gewonnenem Kupfer – z.B. hat BMW angekündigt, Kupfer mit überprüfbar hohen Umwelt- und Sozialstandards von Codelco in Chile zu beziehen. Diese Nachfrage nach ESG-konformen Rohstoffen („grünes Kupfer“) wird den Wandel treiben. In einigen Jahren könnten wir daher **mehr Minen mit Bioleaching** sehen, strengere Umweltauflagen für Tagebaue und einen höheren Anteil von recyceltem Kupfer im Markt, um die Belastungen insgesamt zu reduzieren.

Frage: Ist im Mercosur Abkommen hierzu etwas vorgesehen?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Ja. Das geplante EU–Mercosur-Abkommen enthält verbindliche Bestimmungen zu Umwelt-, Sozial- und Governance-Aspekten (ESG) im Bergbau- und Rohstoffsektor – vor allem im Kapitel „Handel und nachhaltige Entwicklung“ (Trade and Sustainable Development, TSD) des Handelsvertrags sowie in einem ergänzenden Nachhaltigkeits-Anhang. Diese Bestimmungen verpflichten die Vertragsparteien u. a. zu hohen Umwelt- und Arbeitsstandards und verantwortungsvoller Rohstoff-Governance im Rahmen des Abkommens. Im Einzelnen sieht der offizielle Vertragstext Folgendes vor:

- **Umweltstandards und Klimaschutz:** Beide Seiten dürfen ihre Umweltgesetze nicht absenken oder lascher anwenden, um Handel oder Investitionen anzulocken. Zudem *bestätigen* die Parteien ihre Verpflichtungen aus internationalen Umweltabkommen – insbesondere dem Übereinkommen von Paris, das ausdrücklich als „*wesentlicher Bestandteil*“ des Abkommens festgeschrieben ist. Ein Austritt aus dem Paris-Abkommen könnte somit zur Aussetzung des Handelsabkommens führen. Darüber hinaus verpflichten sich EU und Mercosur, gegen Entwaldung vorzugehen und den Erhalt von Wäldern zu fördern. Laut Nachhaltigkeits-Anhang sollen ab 2030 die Waldverluste gestoppt oder umgekehrt werden. Ähnlich gilt der Schutz der Biodiversität und anderer Ressourcen als gemeinsame Verpflichtung. Diese Umweltauflagen betreffen den Bergbau indirekt insofern, als Rohstoffgewinnung nur unter Beachtung strenger Umweltschutzregeln erfolgen darf.
- **Sozialstandards und Arbeitsrechte:** Das Abkommen bindet beide Seiten an die Kernarbeitsnormen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO). Insbesondere müssen sie Zwangsarbeit und Kinderarbeit abschaffen, Diskriminierung verbieten und Vereinigungsfreiheit gewährleisten, wie in den ILO-Kernübereinkommen festgelegt. Außerdem verpflichten sich die Staaten, für angemessene Arbeitsbedingungen und Arbeitsschutz (z. B. Arbeitssicherheit im Bergbau) zu sorgen und die Arbeitsschutzgesetze effektiv durchzusetzen. Diese Bestimmungen gelten *sektorenübergreifend* – also ausdrücklich auch für den Bergbau und Rohstoffsektor, wo etwa *Arbeitsschutz und Arbeitsrechte für Minenarbeiter verbindlich abgesichert* werden.
- **Good Governance & Unternehmensverantwortung:** Die Vertragspartner erkennen die Bedeutung verantwortungsvoller Lieferketten an und fördern Corporate Social Responsibility (CSR) sowie Sorgfaltspflichten von Unternehmen. Konkret *verpflichtet* das TSD-Kapitel beide Seiten, internationale Leitsätze und Instrumente für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Rohstoff-Lieferkette zu fördern und zu verbreiten. Dazu zählen z. B. Transparenz-Initiativen und Due-Diligence-Standards in der Bergbauindustrie. Unternehmen im Rohstoffhandel sollen somit weiterhin an die Umwelt- und Arbeitsgesetze der jeweiligen Länder gebunden sein – das Abkommen stellt klar, dass Unternehmen alle einschlägigen Umwelt- und Sozialvorschriften einhalten müssen. Diese Klauseln zur “verantwortungsvollen Lieferkettenführung” (responsible supply

chain management) verankern Grundsätze guter Unternehmensführung und -kontrolle im Rohstoffsektor im Abkommenstext.

- **Zusammenarbeit für nachhaltigen Bergbau:** Zusätzlich benennt das Abkommen den Bergbau an kritischen Rohstoffen ausdrücklich als Kooperationsfeld. Beide Seiten wollen bei der „*verantwortungsvollen Gewinnung und Weiterverarbeitung mineralischer Rohstoffe, die für die Energiewende wichtig sind*“ zusammenarbeiten. Diese Passage unterstreicht, dass Metalle und Mineralien (wie Lithium, Graphit, seltene Erden etc.) im Rahmen der Partnerschaft nachhaltig gefördert werden sollen – z. B. durch Austausch von Best Practices für umweltverträglichen Abbau und sozialverträgliche industrielle Weiterverarbeitung. Dadurch fließen ESG-Kriterien direkt in die handelspolitische Zusammenarbeit im Rohstoffsektor ein.

Eine Auswahl der **relevanten Vertragsartikel und Abschnitte** zu ESG im Bergbau-/Rohstoffbereich sowie deren Inhalte und abgedeckte ESG-Aspekte zeigt die folgende Tabelle (Quellen: [[chambers.com](https://www.chambers.com)], [ec.europa.eu]):

Artikel / Abschnitt	Inhalt der Bestimmung	ESG-Aspekt(e)
TSD-Kapitel (Art. 18) – Nicht-Absenken-Klausel	Keine Partei darf Umwelt- oder Arbeitsstandards abmindern oder auf deren Durchsetzung verzichten , um Wettbewerbsvorteile zu erlangen. Vorhandene Schutzstandards müssen aufrechterhalten und stetig verbessert werden.	Umwelt (Environment), Soziales (Social)
TSD-Kapitel – Multilaterale Umweltverpflichtungen	Bestätigung internationaler Umweltabkommen: Umsetzung der Agenda 2030 und zentraler Abkommen (Klimaschutz, Biodiversität, Chemikalien). Insb. wird die Klimarahmenkonvention/Paris-Abkommen als <i>wesentlich</i> erklärt – Vertragsbruch bei Austritt möglich. Außerdem Maßnahmen gegen Entwaldung und für Walderhalt ab 2030 sind festgeschrieben.	Umwelt (Environment)
TSD-Kapitel – Arbeitsnormen	Anerkennung der ILO-Kernarbeitsnormen: Verbot von Kinder- und Zwangsarbeit, Diskriminierungsverbot, Schutz der Gewerkschaftsrechte. Verpflichtung zu angemessenen Arbeitsbedingungen und Arbeitsschutz sowie wirksamer Arbeitsaufsicht. Diese gelten auch im Rohstoffsektor (z. B. Minen).	Soziales (Social)
TSD-Kapitel – Verantwortungsvolle Lieferketten	Förderung verantwortungsvoller Unternehmenspraktiken: Die Parteien fördern Corporate Social Responsibility und die Anwendung anerkannter Nachhaltigkeits- und Due-Diligence-Standards in der Lieferkette. Unternehmen im Rohstoffhandel sollen internationale Leitlinien (etwa OECD-Leitsätze, UN Global Compact) einhalten; Behörden <i>nutzen vorhandene</i>	Governance (unternehmerische Verantwortung), überschneidend auch Umwelt & Soziales

	Zertifizierungen und Rückverfolgbarkeitssysteme, um Nachhaltigkeit zu überprüfen.	
TSD-Kapitel – „Essential Elements“-Klausel	Verankerung zentraler Werte als Vertragsgrundlage: Neben Demokratie und Menschenrechten wird neu der Klimaschutz (Paris-Abkommen) als Grundbedingung definiert. Bei schwerwiegendem Verstoß – z.B. Verlassen des Paris-Abkommens – können letztere als <i>“wesentlicher Vertragsbestandteil”</i> geltenden Verpflichtungen eine Suspendierung des Abkommens rechtfertigen. Dies stärkt Governance und Verbindlichkeit im Umweltbereich.	Governance (Good Governance im Nachhaltigkeitsbereich), Umwelt (Climate Governance)
Energie- und Rohstoff-Zusammenarbeit (Kooperationsteil)	Zusammenarbeit für nachhaltigen Bergbau: Vereinbarung, gemeinsam „verantwortungsvollen Abbau und Verarbeitung kritischer mineralischer Rohstoffe“ voranzubringen, u.a. durch Partnerschaften in Bereichen wie saubere Energie, E-Mobilität (Batterien) etc. Damit werden Umwelt- und Sozialstandards im Minensektor durch Kooperation gefördert (z.B. Austausch zu besten Praktiken, Technologien).	Umwelt & Soziales (nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung, lokale Entwicklung), Governance (Koordination staatlicher Maßnahmen)

Hinweis: **All diese ESG-Regelungen sind Bestandteil des verbindlichen Vertragstextes** (Interims-Handelsabkommen und Nachhaltigkeits-Anhang). Allerdings sind sie im Vergleich zu anderen Handelsbestimmungen anders durchsetzbar. Das Nachhaltigkeitskapitel unterliegt nicht dem normalen Streitschlichtungsverfahren mit Handelssanktionen, sondern verfügt über einen eigenen Mechanismus: Streitpunkte werden an ein Expertenpanel verwiesen, und es gibt keine Suspendierung von Zollkonzessionen bei Verstößen. Mit anderen Worten: **Die ESG-Verpflichtungen – etwa zur “verantwortungsvollen Lieferkette” – sind völkerrechtlich bindend, aber Verstöße können nicht mit klassischen Handelssanktionen geahndet werden.** Gleichwohl schaffen diese Bestimmungen einen rechtlichen Rahmen für hohe Umwelt- und Sozialauflagen im Rohstoffsektor. Insbesondere die Aufnahme des Pariser Klimaabkommens als essenzielle Vertragsbedingung und die Entwaldungsverpflichtungen ab 2030 sind bemerkenswert, da sie die Nachhaltigkeitsziele direkt mit dem Abkommen verknüpfen.

Frage: Wie können beim Kupferbergbau Menschenrechte und Umweltschutz eingehalten werden, um zumindest Lieferrisiken durch Proteste zu minimieren?

Antwort von Sebastian Stelter (AngloAmerican):

- Regularien und Standards der Länder müssen gegeben sein und kontrolliert werden, regulierte Vergabe der Bergbaurechte
- Internationale Kontrollgremien und Zertifizierungen (z.B.: IRMA, UNIDO, etc.)
- Faire Unternehmenspolitiken

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Menschenrechte und Umweltschutz können eingehalten werden, indem die Kupfer-Bergbauunternehmen ihre Tätigkeit an entsprechenden Standards ausrichten, z.B. Initiative for Responsible Mining Assurance - IRMA, International Council on Mining & Metals - ICMM, The Copper Mark oder Responsible Minerals Initiative - RMI.

Frage: Wie sieht die IRMA-Verbreitung ansonsten in der Kupferindustrie aus?

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Antwort: Der **IRMA-Standard (Initiative for Responsible Mining Assurance)** ist noch relativ **neu** und bisher erst bei **wenigen Kupferminen** im Einsatz. **Anglo American** zählt zu den Vorreitern: Das Unternehmen ließ 2025 zwei große Kupferminen – **Quellaveco in Peru** und **Los Bronces in Chile** – unabhängig nach IRMA prüfen. Diese Audits liefen Ende 2025 und die Ergebnisse (mit einer möglichen Einstufung als *IRMA Transparency/50/75/100*) werden 2026 erwartet. Ebenso hat **China Molybdenum (CMOC)** für seine riesige Kupfer-Kobalt-Mine **Tenke Fungurume (DR Kongo)** im Herbst 2025 eine IRMA-Begutachtung gestartet. Weitere Kupferproduzenten beobachten den Standard, doch **vollständig zertifizierte** Kupferbergwerke nach IRMA gab es Anfang 2026 **noch nicht** – die Branche steckt hier **in den Anfängen**.

Führende Unternehmen: Anglo American ist der prominenteste Unterstützer von IRMA im Kupfersektor. Anglo hatte bereits 2019 angekündigt, *alle* seine Minen bis 2025 nach IRMA überprüfen zu lassen. Tatsächlich war Anglo's Platinmine Unki in Simbabwe 2021 die weltweit **erste Mine mit IRMA-Zertifikat** (sie erreichte IRMA-75, ein sehr hoher Erfüllungsgrad). Im Kupferbereich hat Anglo nun als erstes Unternehmen IRMA-Audits initiiert (s.o.).

Auch andere Branchengrößen zeigen Interesse: Z.B. unterzieht CMOC als **chinesischer Bergbaukonzern** mit Tenke Fungurume erstmals einen afrikanischen Kupferlieferanten dem IRMA-Standard – ein Zeichen, dass IRMA **international anzieht**.

Bisher *nicht* aktiv beteiligt am IRMA-Programm sind hingegen viele Top-Produzenten wie **BHP, Freeport-McMoRan, Glencore oder Codelco**; sie setzen bisher eher auf brancheneigene Standards (siehe unten).

Allerdings wächst der Druck entlang der Lieferkette: 2025 empfahl etwa **Oxfam America**, dass Bergbauunternehmen IRMA beitreten sollten, um stabile Rohstofflieferungen zu gewährleisten. Auch die EU hat IRMA in Studien als besten verfügbaren Bergbaustandard hervorgehoben.

Diese Anerkennung durch NGOs, Regierungen und Abnehmer führt dazu, dass die **Akzeptanz für IRMA** in den letzten Jahren **spürbar gestiegen** ist. Waren 2020 erst *ein* Pilot-Bergwerk (Zimapán in Mexiko, allerdings ein Zink-Blei-Betrieb) nach IRMA auditiert, so befanden sich Ende 2025 bereits **über ein Dutzend Minen** verschiedenster Metalle weltweit in der IRMA-Prüfung oder hatten sie abgeschlossen (darunter neben den genannten Kupferminen z. B. Nickel- und Eisenerzminen in Brasilien, eine Lithium-Mine in Chile und mehrere Platin- und Goldminen in Afrika). **Die Tendenz ist steigend**, da immer mehr Käufer von Kupfer (z. B. aus der Elektromobilität) hohe ESG-Standards einfordern.

IRMA vs. andere Nachhaltigkeitsstandards: Im Bergbau gibt es mehrere Initiativen, die teils konkurrieren, teils kooperieren:

- **ICMM (International Council on Mining & Metals):** Ein Industrieverband führender Bergbaukonzerne. Mitglieder (u.a. BHP, Rio Tinto, Glencore, Anglo, Freeport) verpflichten sich zu zehn Nachhaltigkeitsprinzipien. ICMM ist kein Zertifikat, sondern eher ein Commitment auf Unternehmensebene. Allerdings verlangt ICMM seit 2021 eine externe Validierung der Umsetzung dieser Prinzipien. Dafür können Mitglieder auf Standards wie IRMA oder andere zurückgreifen. ICMM unterstützt grundsätzlich verschiedene Initiativen mit dem Ziel, ESG-Leistungen zu verbessern, und ist Partner bei der Entwicklung eines einheitlichen Branchenstandards (siehe CMSI) – IRMA selbst ist an letzterem allerdings (noch) nicht beteiligt.
- **The Copper Mark:** Dies ist ein spezifisches Zertifikat für Kupferproduzenten, eingeführt 2020 vom International Copper Association. Es auditierte anfangs Minen (inzwischen auch Raffinerien und Halbzeugwerke) gegen 32 ESG-Kriterien. Diese Kriterien basieren auf dem Risk Readiness Assessment (RRA) der Responsible Minerals Initiative (RMI) – einem Rahmen, der über 50 internationale Standards (ILO-Kernarbeitsnormen, ISO 14001/45001, OECD-Leitsätze etc.) in einem Fragebogen bündelt. Die Copper Mark prüft also, ob eine Mine diese 32+ Kriterien mindestens teilweise erfüllt; falls ja, wird das Siegel verliehen, mit der

Auflage, etwaige Lücken binnen 12 Monaten zu schließen. Verbreitung: Die Copper Mark wurde *rasant* angenommen. Bereits über 30 % der Weltkupferproduktion stammen von Copper-Mark-zertifizierten Standorten. In Chile tragen große Minen wie Escondida, Spence (beide BHP), Antucoya, Centinela, Zaldívar (Antofagasta Minerals) oder Los Bronces (Anglo American) das Siegel. Auch wichtige Minen in Peru, den USA, Indonesien usw. sind dabei; z.B. hat Freeport-McMoRan für alle eigenen Kupferminen die Copper Mark erhalten. Die schnelle Durchdringung (über 100 teilnehmende Standorte bis Mitte 2024) zeigt, dass Copper Mark als praxisnaher Industriestandard breite Akzeptanz genießt.

- **Responsible Minerals Initiative (RMI):** Hiermit ist meist die *Initiative der Elektronik- und Automobilindustrie* gemeint, die ursprünglich den Fokus auf konfliktfreie Lieferketten (Gold, 3TG) hatte. RMI stellt aber auch allgemeine Tools bereit – insbesondere das oben erwähnte Risk Readiness Assessment (RRA), das quasi den *gemeinsamen Nenner* der ESG-Kriterien definiert. Die Copper Mark wurde auf Basis des RRA entwickelt und kooperiert eng mit RMI bei der Weiterentwicklung der Kriterien. RMI selbst zertifiziert keine Minen im Feld, sondern bewertet und auditierte lange Zeit v.a. Schmelzen/Raffinerien (Responsible Minerals Assurance Process). Für den Minenbereich arbeitet RMI eher indirekt über Branchenlösungen wie Copper Mark. Ein Beispiel ist die gemeinsame “Joint Due Diligence Standard”-Zertifizierung für verantwortungsvolle Lieferketten von Kupfer, die RMI und Copper Mark zusammen gestartet haben. Kurz gesagt: RMI liefert das inhaltliche Fundament, auf dem Initiativen wie Copper Mark aufbauen. IRMA seinerseits deckt die RMI-Kriterien ebenfalls ab, geht aber in manchen Aspekten darüber hinaus (es umfasst z. B. 400 Einzelforderungen in 26 Themenbereichen).
- **Weitere Standards und Kooperationen:** Neben Copper Mark existieren noch der kanadische TSM-Standard (Towards Sustainable Mining, vom Bergbauverband MAC) und die Responsible Gold Mining Principles des Weltgoldrats. Diese richten sich an bestimmte Regionen oder Metalle. Um die Fragmentierung zu verringern, haben Copper Mark, ICMM, MAC und WGC im April 2024 die Consolidated Mining Standard Initiative (CMSI) gestartet. Ziel ist ein *einheitlicher globaler Bergbaustandard* mit gemeinsamem Aufsichtssystem. Dieses Vorhaben könnte mittelfristig die Überschneidungen reduzieren und die Akzeptanz weiter erhöhen. IRMA ist an dieser Konsolidierung (noch) nicht beteiligt, da IRMA als unabhängige Multi-Stakeholder-Initiative fungiert. Allerdings gibt es punktuelle Kooperation: So wurde die IRMA-Prüfung von Anglo Americans Quellaveco integriert mit einer Copper Mark-Bewertung durchgeführt, um Doppelarbeit zu vermeiden. Die Auditfirma (ERM CVS) bewertete gleichzeitig die Erfüllung des IRMA-Standards und des Copper Mark RRA – am Ende erhält Quellaveco zwei Berichte (einen

nach IRMA, einen nach Copper Mark). Dies zeigt, dass IRMA und Copper Mark sich nicht ausschließen, sondern in der Praxis ergänzend genutzt werden können.

Fazit: IRMA steckt im Kupferbergbau noch in den Kinderschuhen, gewinnt aber an Dynamik durch Vorreiter wie Anglo American und die Unterstützung von NGOs und Kunden. Nur wenige Kupferminen (in Peru, Chile, DR Kongo) durchlaufen derzeit IRMA-Audits, vollständige IRMA-Zertifizierungen im Kupferbereich stehen erst bevor. Demgegenüber ist die Copper Mark bereits weit verbreitet und von allen großen Kupferproduzenten akzeptiert. ICMM-Mitglieder nutzen meist solche branchengetriebenen Programme, um ihre Nachhaltigkeitszusagen zu untermauern. IRMA setzt jedoch einen höheren Maßstab: es gilt als „Gold-Standard“ mit strengster Prüfung und echter multi-stakeholder Kontrolle. In der Praxis könnte sich ein duales Modell etablieren: Copper Mark (bzw. künftig ein konsolidierter Industriestandard) als Basissiegel, und IRMA für Unternehmen, die eine tieferegehende unabhängige Validierung anstreben. Langfristig dürften *ESG-Kriterien im Mercosur-EU-Abkommen und ähnliche politische Vorgaben* (siehe vorherige Antwort) zusätzlichen Druck ausüben, verantwortungsvolle Abbaupraktiken nachzuweisen – was den Trend zu Zertifizierungen wie IRMA und Copper Mark weiter verstärkt.

Zum Abschluss eine **Übersichtstabelle** der derzeit bekannten IRMA-Aktivitäten im Kupferbergbau:

Mine / Projekt	Land	Unternehmen	IRMA-Status (Stand: 2026)
Quellaveco (Großmine, Tage	Peru (Moquegua)	Anglo American	IRMA-Audit durchgeführt (Okt 2025) – Ergebnis ausstehend. Parallel auch Copper Mark-Bewertung.
Los Bronces (Großmine, Tagebau	Chile (nahe Santiago)	Anglo American	IRMA-Audit durchgeführt (Okt 2025) – Ergebnis ausstehend. Copper Mark-zertifiziert seit 2022.
Tenke Fungurume (TFM) (Großtage	DR Kongo (Lualaba)	CMOC (China Molybdenum)	IRMA-Audit läuft (Stufe 2-Besuche Sept/Nov 2025)– Ergebnis ausstehend. Wichtig für Batterie-Lieferketten (Kobalt).
(weitere Metalle: Unki PGM-Mine, Zimbabwe			

- Anglo American Platinum – IRMA			
---	--	--	--

(Tabelle: IRMA-zertifizierte bzw. -geprüfte Bergwerke im Kupfersektor und relevante Beispiele aus anderen Metallen.)

Frage: Wie realistisch ist ein Kupferabbau in Nordhessen? Wie könnte ein Zeitplan aussehen von den laufenden Erkundungen zum Beginn des Abbaus? Bis wann Erkundung? Dauer Genehmigungsverfahren? Dauer für Einrichtung eines Bergwerks?

Antwort von Sebastian Stelter (AngloAmerican):

- Lagerstättentyp-anhängig
 - Stand der Vorerkundung, Wirtschaftlichkeit, Standortfaktoren
- Zeitlicher Ablauf ist sehr abhängig vom Erztyp
 - Generell:
 - 3-5 Jahre Erkundung, eventuell länger
 - 2-3 Jahre Raumordnungsverfahren
 - 2-3 Jahre Umweltverträglichkeits- und finanzielle Machbarkeitsstudie
 - 2-3 Jahre Planung und Zulassungsverfahren
 - 1-2 Jahre Hauptbetriebsplanverfahren und Zulassung
 - 2-5 Jahre Konstruktion des Bergwerks (abhängig vom Typ)
- Wichtig: am Ende einer jeden bergbaulichen Aktivität steht die Rekultivierung und das Monitoring der Hinterlassenschaften. Hier müssen Zeiträume und vor Allem Budget geplant werden!
- Die einzelnen Schritte können je nach Abhängigkeiten voneinander und Komplexität parallelisiert werden. Entscheidend ist der Lagerstättentyp und die Geometrie des Erzkörpers.

Recycling

Frage: Kann Recycling verbessert werden?

Antwort von Sebastian Stelter (AngloAmerican):

- Ja, durch mehr, stetige und optimierte Primärrohstoffproduktion. Ohne neue Primärrohstoffe wird ein Recycling nicht funktionieren, da ein Großteil des Kupfers, auch recycled, immer im Umlauf ist und der Bedarf stetig steigt.

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT RawMaterials):

- EIT RawMaterials unterstützt Technologieentwicklungen, um das Recycling effizienter zu machen. Beispiele sind intelligentes Sortieren von Abfällen, Nutzen und Anreichern von Abfall- und Abwasserströmen zur Wiedergewinnung von Rohstoffen. Häufiges Problem ist ein hoher Energiebedarf im Recycling, der Wiedergewinnung gegenüber primären Rohstoffquellen wirtschaftlich unattraktiv macht. Energieeffiziente Prozesse sind daher ein weiterer Ansatz.

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Aktueller Stand: Kupfer lässt sich ohne Qualitätsverlust beliebig oft recyceln. Bereits heute werden in Deutschland **nahezu die Hälfte** des Kupfers aus sekundärem Material gewonnen. Dies spart **bis zu 80 % Energie** gegenüber der Primärproduktion und **reduziert die CO₂-Emissionen um über 60 %**. Trotz dieser starken Ausgangslage identifiziert ein aktueller **Branchen-Zwischenbericht (2023)** mehrere Handlungsfelder für weitere Verbesserungen: [\[gdb-online.org\]](https://www.gdb-online.org) [\[recyclingmagazin.de\]](https://www.recyclingmagazin.de)

Verbesserungsmöglichkeiten: Technologische Innovationen & Forschung

- **Fortschrittliche Sortier- und Trenntechnik:** Moderne **sensorgestützte Sortieranlagen** (z. B. mit KI-Bildverarbeitung, Induktiv- oder Röntgensensorik) können Kupferschrotte effizienter nach Metallgehalt und Reinheit trennen. Zwar wurden in den letzten Jahren große Fortschritte bei solchen Verfahren erzielt, speziell für Kupfer besteht hier aber noch Nachholbedarf im Vergleich zu Stahl oder Aluminium. Verbesserte Trenntechnologien sind besonders wichtig, um komplexe Abfallströme wie Elektronikschrott oder Shredder-Materialien vollständig auszunutzen.
- **Digitalisierung der Kreisläufe:** Neue Forschungsprojekte setzen auf digitale Lösungen, um den Kupferkreislauf transparenter und effizienter zu gestalten. Ein Beispiel ist das vom BMBF geförderte **Verbundprojekt „KupferDigital2“ (2025–2028)**, das KI-gestützte Datenplattformen und Prozessmodelle entwickelt, um den gesamten Lebenszyklus von Kupfer – von Herstellung über Nutzung bis Recycling – zu optimieren. Auch das Vorgängerprojekt *KupferDigital* schuf eine Ontologie-

basierte Materialdatenbank, die Materialien, Legierungen und Recyclingprozesse verknüpft und so schnellere Analysen für nachhaltige Produktkreisläufe ermöglicht. Solche digitalen „Material-Zwillinge“ verbessern die Planung von Recyclingprozessen und helfen, Recyclingpotenziale frühzeitig zu erkennen.

[\[imws.fraunhofer.de\]](http://imws.fraunhofer.de)

- **Produktdesign und Legierungen:** Bereits in der Entwicklungsphase von Produkten werden Ansätze verfolgt, um Kupfer einfacher wiedergewinnen zu können (*Design for Recycling; EU-Verordnung zum Öko-Design, 2025*). Etwa durch **trennfrequente Materialverbunde** oder **produktinterne Kennzeichnung** (z. B. ein *digitaler Produktpass* mit Angaben zum Kupferanteil) wird die spätere Rückgewinnung erleichtert. Forschungseinrichtungen und Industrie arbeiten an **neuen Kupferlegierungen** ohne kritische Elemente, damit recyceltes Kupferwerkstoff einfacher wiederverwertet oder legiert werden kann und weniger Ausschuss entsteht. [\[recyclingr...-dialog.de\]](http://recyclingr...-dialog.de)
- **Erweiterung der Recycling-Infrastruktur:** Obwohl Deutschlands Kupferrecycling bereits auf hohem Niveau ist, braucht es weitere **Kapazitäten**, um künftig noch mehr Sekundärkupfer zu erzeugen. Industrieunternehmen investieren daher in neue Anlagen: So plant der deutsche Kupferriese Aurubis neben einer neuen Recyclinghütte in den USA auch **innovative Werke in Europa**. Geplant sind etwa eine **Complex Recycling**-Anlage am Standort Hamburg und Erweiterungen in bestehenden Hütten, um **komplizierte multimetallhaltige Schrotte** (z. B. Leiterplatten, Batterien) effizienter zu verarbeiten. Diese High-Tech-Anlagen ermöglichen es, **mehr Wertmetalle** aus dem Schrott zu extrahieren (neben Kupfer auch z. B. Gold, Silber, Platin oder Zinn) und den Kupferanteil im Kreislauf weiter zu erhöhen. [\[recyclingr...-dialog.de\]](http://recyclingr...-dialog.de), [\[bvse.de\]](http://bvse.de)
- **Best-Practice-Beispiele:** In der Kupferindustrie gibt es bereits Unternehmen, die nahezu vollständig auf Recycling setzen. *Beispiel:* Die **Montanwerke Brixlegg** (Österreich) produzieren Kupfer **zu 100 % aus Recycling-Rohstoffen** und nutzen **ausschließlich erneuerbare Energie** – ihr Kupfer hat den weltweit niedrigsten CO₂-Fußabdruck. Das zeigt, dass klimafreundliche Kupferproduktion durch konsequentes Recycling heute schon machbar ist. Solche Pionieransätze wirken als Impulse für deutsche Hersteller, ebenfalls auf klimaneutrale Recyclingprozesse zu setzen. [\[recyclingmagazin.de\]](http://recyclingmagazin.de)
- **Aktuelle Forschungsschwerpunkte in Deutschland** liegen zudem auf der **Verbesserung von Datengrundlagen** und der **Schließung von Wissenslücken:**
- Zum Beispiel analysiert die **Dialogplattform Recyclingrohstoffe** gemeinsam mit Forschungsinstituten (u. a. Fraunhofer ISI) den „**anthropogenen Lagerbestand**“ an Kupfer – also alle Kupfermengen in Gebäuden, Geräten und Infrastrukturen. Studien prognostizieren, dass dieser in Deutschland von ca. 26 Mio. Tonnen (2014) bis 2050 auf über 50 Mio. Tonnen anwachsen könnte. Diese „urbane Mine“ künftig besser zu

nutzen (Urban Mining) erfordert Innovationen bei Rückbau, Sammlung und Wiederaufbereitung, an denen ebenfalls geforscht wird. [gdb-online.org]

- Weitere Verbesserungsansätze betreffen **gesetzliche Rahmenbedingungen**: Experten fordern etwa einen strengeren Vollzug bestehender Vorschriften (z. B. Exportkontrollen für Elektroaltgeräte gemäß Basler Übereinkommen/WEEE-Richtlinie), um (illegale) Schrottexporte zu verhindern und mehr Altmaterial im Land zu halten. Die EU diskutiert aktuell über eine Regelung, die den Export wertvoller Schrotte (Aluminium, Kupfer, Permanentmagneten) in Länder außerhalb der EU mengenmäßig beschränken oder ganz verbieten würde.
- Auch **Förderanreize** – etwa finanzielle Unterstützung für Recycling-Investitionen oder öffentliche Beschaffung, die recyceltes Material bevorzugt – könnten den Einsatz von Sekundär-Kupfer steigern.

Fazit: *Ja, das Kupferrecycling kann weiter verbessert werden.* Technologisch ist vor allem die Automatisierung und Digitalisierung der Schrottaufbereitung ein Schlüssel, unterstützt von Forschungsprojekten und Industrieinitiativen. Deutschland bewegt sich bereits auf einem hohen Niveau, doch durch Ausbau der Kapazitäten, Innovation und kluge Politik lässt sich der Recyclinganteil perspektivisch noch erhöhen – was sowohl ökologisch (Energie- und CO₂-Ersparnis) als auch strategisch (Rohstoffsicherheit) große Vorteile bringt.

Antwort von David Oberbremer (Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG):

- Ja - und zwar deutlich. Im Allgemeinen lässt sich Kupfer als Metall sehr gut recyceln, aber wir schöpfen das Potenzial noch längst nicht aus. Die Stellschrauben, um das Recycling von Kupfer zu verbessern sind technischer, organisatorischer und politischer Art.
- Kupfer ist eines der am besten recycelbaren Metalle überhaupt, weil es ohne nennenswerten Qualitätsverlust nahezu unbegrenzt wiederverwertet werden kann. Trotzdem geht heute noch viel Kupfer verloren oder wird nur mit hohem Energie- und Kostenaufwand zurückgewonnen. Ein zentrales Problem ist die zunehmende Materialkomplexität moderner Produkte. In Elektrogeräten, Fahrzeugen oder erneuerbaren Energiesystemen ist Kupfer oft mit Kunststoffen, Elektronikbauteilen oder anderen Metallen fest verbunden. Dadurch wird die sortenreine Trennung erschwert und ein Teil des Kupfers landet im Downcycling oder im Restabfall.
- Eine wesentliche Verbesserung lässt sich durch Design-for-Recycling erreichen. Wenn Produkte bereits in der Entwicklungsphase so gestaltet werden, dass Kupfer leichter zugänglich und trennbar ist, steigt die Recyclingquote erheblich. Schraubverbindungen statt Verklebungen, klar gekennzeichnete Materialien und modulare Bauweisen würden die Demontage vereinfachen und die Rückgewinnung hochwertiger Kupferfraktionen ermöglichen.

- Auch technologische Fortschritte spielen eine wichtige Rolle. Moderne Sortierverfahren wie sensorbasierte Trennung, KI-gestützte Materialerkennung oder verbesserte pyrometallurgische und hydrometallurgische Prozesse können Kupfer effizienter und mit geringerem Energieeinsatz zurückgewinnen. Besonders bei niedrig konzentrierten Kupferanteilen, etwa in Elektronikschrott, besteht hier noch großes Potenzial.
- Darüber hinaus sind bessere Sammel- und Rücknahmesysteme entscheidend. In vielen Ländern gehen kupferhaltige Produkte verloren, weil sie nicht getrennt erfasst werden oder informell entsorgt werden. Einheitliche Sammelsysteme, wirtschaftliche Anreize für Rückgabe und strengere Kontrollen gegen illegale Exporte könnten die verfügbare Menge an Recyclingkupfer deutlich erhöhen.
- Schließlich hat auch der Einsatz von Recyclingkupfer in der Industrie Einfluss. Wenn Hersteller verstärkt Sekundärkupfer nachfragen und klare Qualitätsstandards definieren, entsteht ein stabiler Markt, der Investitionen in Recyclingtechnologien fördert. Da Recyclingkupfer bis zu 85 % weniger Energie benötigt als Primärkupfer, leistet eine verbesserte Kreislaufführung zudem einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.
- Wir als ISABELLENHÜTTE kaufen sowohl Primär- als auch Sekundärkupfer ein um unsere Produkte beginnend mit der metallurgischen Route zu erzeugen. Wir setzen parallel dazu aber auch einen gewissen Anteil (je nach Legierung bis 80%) an prozessbedingten Kupferrückläufern ein, um über das Wiedereinschmelzen einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen. Hochkupferhaltige Rückläufer können z.B. Drahtreste, Schabespäne oder Schopfenden von der Warmumformung sein. Wie in meiner Präsentation am 30.01.2026 im Rahmen „Kupfer unter Druck“ vorgestellt, setzen wir innerhalb eines Entwicklungsprojektes neuerdings auch eigens hergestellte Cu-Shunts bzw. Cu-Stanzteile in den metallurgischen Prozess mit ein. Die größte Herausforderung dabei ist die aufwendige Reinigung dieser Stanzteile von der öligen Oberfläche um diese für den Schmelzbetrieb einsetzbar zu machen. Dieser Schritt ist leider eine notwendige Voraussetzung um die gesetzlichen Auflagen, genauer, dass BImSchG zu erfüllen.
- Zusammenfassend lässt sich sagen: Das Recycling von Kupfer ist bereits auf hohem Niveau, kann aber durch recyclinggerechtes Produktdesign, technologische Innovationen, effizientere Sammelsysteme und gezielte Marktanreize erheblich verbessert werden. Kupfer bietet damit ideale Voraussetzungen für eine funktionierende und nachhaltige Kreislaufwirtschaft.

Frage: Veränderungen im Recycling-Anteil im Kupfer-Markt?

Antwort von Sebastian Stelter (Anglo American):

- Mehr primäres Kupfer fördert auch den Recycling Anteil – in absoluter Masse gerechnet, nicht unbedingt prozentual (hier bedarf es einer optimierten Einstellung zum Recycling!) .

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT Raw Materials):

- Laut dem deutschen Kupferverband ist die Recyclingquote in Deutschland mit 40% schon überdurchschnittlich. Wenn man die Nutzungsdauer von Produkten berücksichtigt, liegt die Quote deutlich höher, der Verband spricht von 80%. Hier sind durchaus noch Steigerungen zu erwarten, aber das Kupfer ist viele Jahre in Produkten gebunden.

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

In den letzten 10 Jahren blieb der **Recyclinganteil in der deutschen Kupferproduktion konstant hoch** und ist tendenziell **leicht gestiegen**. Bereits zu Beginn der 2010er-Jahre lag er bei geschätzt rund einem Drittel bis 40 %, und aktuell beträgt er etwa **40 %** (für Kupferkathoden aus Schrott). *Hinweis:* Der genaue Wert hängt von der Definition ab (Anteil an Raffinadekupfer vs. Gesamtnutzung inkl. Direktrecycling).

Deutschland hat aufgrund fehlender eigener Minenvorkommen traditionell einen hohen Bedarf an Sekundärrohstoffen. Schätzungen variieren leicht – so berichtet z. B. das Deutsche Kupferinstitut sogar von „gut 50 %“ Recyclinganteil um 2020 – aber ein Wert um die **40–50 %** gilt übereinstimmend als realistisch. Damit liegt Deutschland **weit über dem globalen Durchschnitt**: Weltweit stammen nur etwa ein Viertel bis ein Drittel des Kupfers aus Recyclingquellen.

Deutschland: Beispielsweise nutzen **Halbzeughersteller** (Kupfer-Gießereien) heutzutage zu **über 95 % Recycling-Kupfer** in ihren Legierungen. Außerdem werden interne Produktionsreste nahezu vollständig wieder eingeschmolzen. Die Industrie hat also schon vieles optimiert, um den Sekundäreinsatz maximal auszureizen.

Lange Produktlebensdauern bremsen raschen Anstieg: Ein begrenzender Faktor für den Recyclinganteil ist die **verzögerte Rücklaufmenge**. Kupfer steckt oft in langlebigen Anwendungen – z. B. Gebäude (Lebensdauer 60–80 Jahre), Stromkabel (30–40 Jahre) oder Fahrzeugen (15–18 Jahre). Dieses Kupfer kommt erst nach Jahrzehnten als Schrott zurück. Folglich konnte der Recyclinganteil nicht sprunghaft steigen, da viel „junges“ Kupfer noch im Umlauf ist und erst in Zukunft verfügbar wird. Experten sprechen von einem wachsenden „anthropogenen Kupferlager“, das sich über Jahrzehnte füllt und erst zeitversetzt gehoben werden kann. In Zahlen: **Fast 80 % des jemals in der Menschheitsgeschichte produzierten Kupfers befinden sich heute noch in Gebrauch** und stehen perspektivisch für Recycling zur Verfügung.

Politische und wirtschaftliche Weichenstellungen: In der letzten Dekade hat die Politik den **Stellenwert des Recyclings** für die Rohstoffversorgung erkannt. Die **Rohstoffstrategie der Bundesregierung 2020** erklärte Recycling zur „zweiten Säule“ neben Bergbau und Import. Daraufhin wurde die **Dialogplattform Recyclingrohstoffe** (2021–2023) initiiert und der **Metallrecyclingatlas** von der **Deutschen Rohstoffagentur** erstellt.

Die **Europäische Kommission plant** 2025/26 Kreislaufwirtschaft und Recycling in den Fokus zu stellen:

- EU-Verordnung zum Öko-Design (als Voraussetzung für Recycling)
- Digitale Produktpässe (als Voraussetzung für Recycling, z.B. ab 1. Januar 2026 für Batterien)
- EU-Verordnung zur Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Act), geplant im 3. Quartal 2026
- Überregionale Kreislaufwirtschaftszentren (Trans-Regional Circularity Hubs), geplant ab 4. Quartal 2026

Antwort von David Oberbremer (Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG):

- In den letzten Jahren hat der Anteil von recyceltem Kupfer am Gesamtmarkt zugenommen, auch wenn er weiterhin unter dem idealen Potenzial liegt. Der Anteil sekundär erzeugten Kupfers an der weltweiten Raffinerie-Produktion betrug im Jahr 2024 etwa 16,7 %, was einen moderaten Anstieg der Produktion aus recycelten Quellen widerspiegelt, aber nur einen kleinen Teil des gesamten Kupferangebots ausmacht. Sekundärkupfer – also aus Altmetall zurückgewonnenes Material – stieg in den ersten fünf Monaten 2024 um rund 6 % gegenüber dem Vorjahr und erreichte knapp 1,93 Millionen Tonnen, was zeigt, dass recycelte Mengen tatsächlich wachsen, aber noch nicht dominieren.
- Langfristige Marktanalysen zeigen, dass zwischen 2009 und 2018 rund 32 % des globalen Kupferverbrauchs aus recyceltem Material stammten, was verdeutlicht, dass Recycling historisch gesehen einen wichtigen, aber nicht überwältigenden Anteil beisteuert. Die Rolle des Recyclings nimmt weiter zu, insbesondere durch wachsende urbane Recycling-Initiativen und strengere Nachhaltigkeitsanforderungen in vielen Industrien.
- Parallel wächst der Markt für Kupferschrott global stark – Prognosen gehen davon aus, dass die Marktgröße für recyceltes Kupfer bis Mitte der 2030er Jahre deutlich ansteigen wird, unterstützt durch zunehmende Investitionen in Recycling-Infrastruktur, technologische Verbesserungen bei Sortierungs- und Rückgewinnungsverfahren sowie die steigende Nachfrage aus Elektronik, Bauwesen und Elektromobilität.

- Trotz dieser positiven Entwicklungen bleibt ein erheblicher Teil des verfügbaren Kupferschrotts ungenutzt, insbesondere in informellen Sammelströmen oder in komplexen Produkten, die schwer zu trennen sind. Prognosen gehen davon aus, dass im Jahr 2035 weltweit etwa 60 % des Post-Consumer-Kupferschrotts formal recycelt werden, wobei ein nicht unerheblicher Rest verloren geht oder nur qualitativ minderwertig wiederverwendet wird.

Verfügbarkeit von Kupfer

Frage: Ist die Kupferversorgung für deutsche KMU gefährdet?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Im Jahr 2025 war die Kupferversorgung für deutsche KMU in den Bereichen Elektrotechnik, Bau und Maschinenbau **angespannt** und damit tendenziell gefährdet. Globale **Nachfrageschübe** – bedingt durch Elektrifizierung (Energiewende, E-Mobilität, Rechenzentren) und anhaltenden Bauboom – trafen auf ein begrenztes Angebot.

Wichtige Förderländer gerieten unter Druck: Es kam zu Produktionsausfällen in Chile (u. a. ein Grubenunglück in der El-Teniente-Mine) und in Indonesien (Grasberg-Mine, Freeport MacMoRan), sodass die Jahresförderung 2025 niedriger ausfiel als geplant. Auch Peru verzeichnete Rückgänge, was die weltweiten Lieferketten spürbar belastete. Gleichzeitig deckt China über die Hälfte des weltweiten Kupferverbrauchs, sodass chinesische Lageraufkäufe und Nachfragesprünge die Knappheit weiter verschärften. Geopolitische Marktverzerrungen spielten ebenfalls hinein: Beispielsweise kündigten die USA 2025 hohe Importzölle auf Kupfer an, woraufhin amerikanische Käufer den Weltmarkt leer kauften – Europas Lagerbestände schrumpften infolge dieses Arbitrage-Runs deutlich.

Ausblick 2026:

- Sinkende Kupfererzgehalte -> hohe Erschließungskosten
- Ein Jahrzehnt zu geringer Exploration (gemessen am aktuellen Nachfrageschub)
- Chinas neuer Fünf-Jahres-Plan zur Entwicklung seiner NE-Metallindustrie mit einem Schwerpunkt auf Kupfer – Sicherung des Eigenbedarfs für die chinesische Wirtschaft
- Neue US-Offensive zur Sicherung der Rohstoffversorgung der USA vom 4. Februar 2026, u.a. 40%-Beteiligung an Glencore´s Kupfer- und Kobaltvorkommen in der DR Kongo (für 9 Mrd. US\$) sowie Ausschreibung eines Kupfer- und Kobaltvorkommens in Sambia

Für die genannten deutschen Branchen – zusammen gut 80 % des in Deutschland verwendeten Kupfers – bedeutet diese Marktsituation, dass **Kupfer nur schwierig und zu hohen Preisen beschaffbar** ist. Zwar kommt es nicht zum völligen Versiegen der

Lieferströme (Recycling und Lagerbestände federten das Ärgste ab), doch das Marktgleichgewicht bleibt sehr fragil. Engpässe und Verzögerungen sind realistische Szenarien für KMU, so dass das Industriemetall auch 2026 ein knappes Gut bleiben wird, dessen Preis am 29. Januar 2026 bereits zeitweise auf 13.618 US\$/Tonne hochschnellte und bis 2027 auf 15.000 US\$/Tonne steigen dürfte (Prognose der Bank of America).

Frage: Nutzbare Daten zur Angebots- und Bedarfsentwicklung bei Kupfer?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Solche Daten sind erhältlich aus/bei:

- International Copper Study Group – “World Copper Factbook 2025” -- <https://icsg.org/copper-factbook/>
- S&P Global – Report “Cooper in the age of AI”– <https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/copper-in-the-age-of-ai>
- International Energy Agency – Copper – <https://www.iea.org/reports/copper-2>
- U.S. Geological Survey USGS) – Copper <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-copper.pdf>
- Deutsche Rohstoffagentur (DERA) – Kupfer – https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Rohstoffe/Kupfer/kupfer_node.html

Frage: Einen Überblick über die Herkunftsländer von Kupfererz?

Frage: Pläne zur Kapazitätserweiterung auch in Ländern in denen es noch keine Minen gibt?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Für beide Fragen darf ich auf meinen Vortrag „Kupfer unter Druck“ (Edda Wolf, Germany Trade & Invest) verweisen – Folien 13, 16, 17, 20, 21, 47-55 (Argentinien) und 58-62 (Sambia) verweisen. Auskunft über weitere Projekte (z.B. in Namibia) gern auf individuelle Anfrage.

Frage: Nachhaltige Beschaffung Anglo American: Bedeutung? (EIT, GTAI, Isa, Aurubis)

Antwort von Sebastian Stelter (AngloAmerican):

- Anglo American fördert Innovation und Umsetzung von Nachhaltigkeit in allen Aktivitätsbereichen (Erkundung – Bergbau – Rekultivierung).

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT Raw Materials):

- Die Bedeutung einer nachhaltigen Beschaffung von Rohstoffen ist auch durch die ehrgeizigen Ziele der EU (European Green Deal) gewachsen. Alle großen Konzerne haben Nachhaltigkeitsziele verankert und geben diese zum großen Teil an Ihre Lieferanten weiter. Angesichts von steigendem Wettbewerbsdruck und gelockerten Vorgaben kann es jedoch zu einem Aufweichen dieser Ziele kommen. (Tanja)

Finanzielles

Frage: Die Raffination von metallischem Kupfer ist sehr energieintensiv und unterliegt dem globalen Wettbewerb. Wie ist hier die Position Deutschlands bzgl. Subventionen im Energiebereich?

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Position der Bundesregierung 2025/26: Die Regierungskoalition hat gezielt **Energiepreis-Entlastungen** für energieintensive Industrien beschlossen, um deren internationale Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Konkret wurde ab **1. Januar 2026** ein staatlich subventionierter **Industriestrompreis** eingeführt: Bestimmte stromintensive Unternehmen (dazu gehören z. B. **Kupferhütten** bzw. die Metallraffination) können seither einen Anteil ihres Strombedarfs zu ca. **5 Ct/kWh** beziehen. Dieses auf drei Jahre befristete Programm – finanziert aus dem Klima- und Transformationsfonds – soll besonders betroffenen Branchen einen Kostenvorteil gegenüber dem Ausland verschaffen.

Bereits 2025 hatte die Bundesregierung weitere Energiekosten-Hilfen umgesetzt. So wurde die Stromsteuer für das produzierende Gewerbe dauerhaft auf den EU-Mindersatz gesenkt und ein Bundeszuschuss zu den Übertragungsnetzentgelten gewährt. Stromintensive Industriezweige im internationalen Wettbewerb – insbesondere die Chemie- und Metallindustrie (dazu zählt die Kupferraffination) – profitieren ausdrücklich von diesen Entlastungen. Die Maßnahmen unterstreichen den politischen Willen, energieintensive Schlüsselindustrien in Deutschland durch subventionierte Energiekosten wettbewerbsfähig zu halten. (Quelle: Bundesfinanzministerium)

Frage: China spielt eine dominante Rolle aufgrund niedriger Energiepreise. Wird hier vom Westen gegengesteuert, oder lässt man den Markt regulieren?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Die Bundesregierung hat Energiepreis-Entlastungen für energieintensive Industrien beschlossen, um deren internationale Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Konkret wurde ab 1. Januar 2026 ein staatlich subventionierter Industriestrompreis eingeführt.

Der Dominanz Chinas an den internationalen Rohstoffmärkten steuern die **USA** mit ihrer **neuen Initiative vom 4. Februar 2026** massiv entgegen. Die Trump-Regierung geht von der Diagnose der Risiken bei kritischen Mineralen zu einem Vorschlag für eine vollständig neue, staatlich-gestützte und geopolitisch abgesicherte Marktarchitektur über. Am 4. Februar 2026 hat die US-Regierung Vertretern aus 54 Ländern und der EU ihre **Pläne zur Neugestaltung des Weltmarkts für kritische Rohstoffe** vorgestellt.

Vorschläge laut Rede von J.D. Vance:

- **Bevorzugte Handelszone für kritische Minerale**, durch feste Mindestpreise je Rohstoff (Referenzpreise) vor „unfairer“ Konkurrenz von außen geschützt
- **Festlegung von Referenzpreisen für alle kritischen Rohstoffe (laut US-Liste) und entlang aller Produktionsstufen**, die den tatsächlichen Marktwert widerspiegeln. Für die teilnehmenden Länder sollen diese Preise als Untergrenze gelten und bei Bedarf durch anpassbare Zölle angeglichen werden. So sollen heimische Hersteller (gemeint sind v.a. US-Hersteller) davor geschützt werden, durch günstigere Importe unrentabel und nicht konkurrenzfähig zu werden.
- Strategische zivile und militärische Reserven
- Öffentlich-private Mittel (private equity)
- Beschleunigte Genehmigungen (Fast41)

Hinweis: Welche „**befreundeten**“ **Staaten** sich an der geplanten Handelszone beteiligen werden, ist bislang noch unklar.

(1) Der US-Kongress hat den **Critical Minerals Dominance Act** am 4. Februar 2026 verabschiedet.

(2) Das **US-Außenministerium** lud Vertreter aus 54 Ländern zu seinem ersten „**Critical Minerals Ministerial**“ am 4. Februar 2026 nach Washington ein, bei dem ein von den USA geführter Rohstoffhandelsblock – **Forum on Resource Geostrategic Engagement - FORGE** (Vorsitz zunächst: Südkorea; soll Minerals Security Partnership /MSP/ ersetzen) – im Mittelpunkt stand.

(3) Der **US-Handelsbeauftragte** kündigte einen Rahmen zur Koordinierung des Handels mit kritischen Mineralen an, einschl. Mindestpreisen / Preisuntergrenzen für prioritäre Rohstoffe.

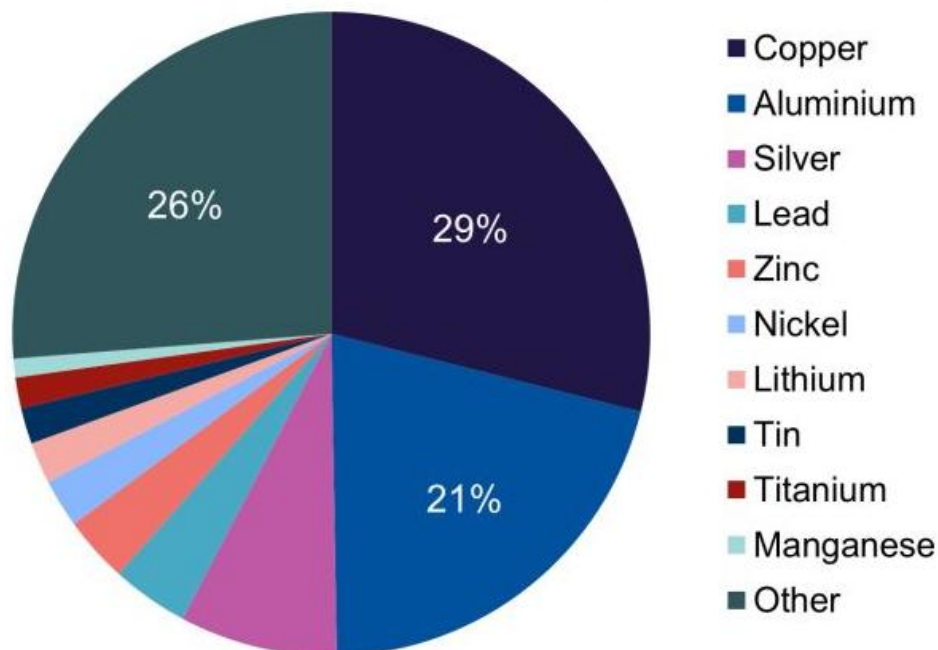
(4) Die **U.S. Trade and Development Agency** startet eine globale Initiative, um den Zugang der USA zu strategischen Rohstoffen langfristig zu sichern:

- **Globale Veranstaltungsreihe zu kritischen Mineralen** (z.B. Symposium zu kritischen Mineralen der US-Botschaft in Brasilien im März 2026)
- Neue Scoping-Missionen für das **Critical Minerals Project**
- Ausschreibung für ein **Kupfer- und Kobaltprojekt in Sambia**

(5) USA schaffen strategische Rohstoffreserve: Project „Vault“ für 12 Milliarden USD

- Mit **Project Vault** sichern die USA gezielt Seltene Erden und Technologiemetalle **für die zivile Industrie – zusätzlich zur Militärreserve!**
- **Finanzierung: 12 Milliarden USD**
 - 10 Mrd. USD Kredit der U.S. Export- Import-Bank (EXIM)
 - 1,67 Mrd. USD private Mittel
- **Rohstoffhändler:** Hartree Partners LP | Traxys North America LLC | Mercuria Energy Group
- **Beteiligte Unternehmen:** General Motors Co. | Stellantis NV | Boeing Co. | Corning Inc. | GE Vernova Inc. | Google (Alphabet Inc.) u.a.

Projekt „Vault“ – Lagerbestand / Anteil nach Wert je Rohstoff in %



Frage: Wie weit ist die EIB beim angekündigten Eintritt in die Finanzierung von Projekten außerhalb der EU?

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT RawMaterials):

- Laut Eigendarstellung der EIB ([Startseite | Europäische Investitionsbank](#),) vergibt die EIB rund 90% der Finanzierungen an Projekte in den Mitgliedstaaten der EU. (Tanja)

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Die Europäische Investitionsbank (EIB) hat am 21. März 2025 eine neue Strategie für kritische Rohstoffe (CRM) beschlossen, die höhere Ziele für die Finanzierung festlegt. Außerdem hat die EIB 2025 einen internen Prozess zur besseren Aufstellung im Rohstoff-Bereich durchlaufen: Es wurde eine spezielle CRM-Taskforce mit Branchenspezialisten und einem zentralen Ansprechpartner zur Optimierung der internen Koordination und des externen Engagements eingerichtet. Ziel des RESourceEU Aktionsplans vom 3. Dezember 2025 ist es, (statt des Finanzierungsziels für 2025 von 2 Milliarden Euro) ab 2026 rund 3 Milliarden Euro pro Jahr für strategische Rohstoffprojekte der EU zu mobilisieren.

Forschung & Innovation

Frage: Zukunft von Kupfer für Anwendungen in der Sanitär- und Heizungstechnik?

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT RawMaterials):

- Aus meiner persönlichen Wahrnehmung gibt es im Sanitär- und Heizungsbereich schon seit Jahren einen massiven Trend Kupfer durch Kunststoff zu ersetzen. Das hat Kostengründe, aber auch die vereinfachte Montage. Dahingegen ist Kupfer in der Elektrotechnik viel schwerer zu ersetzen.

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Die wichtigsten Trends bei Kupfer in der Sanitär- und Heizungstechnik:

- (1) *Wärmepumpen, Solarthermie und Elektroinstallationen steigern den Kupfereinsatz pro Gebäude deutlich.* Ein typisches Einfamilienhaus benötigt durch klimafreundliche Technik ≈ 90 kg mehr Kupfer als vor 1990.
- (2) *Wachsende Bedeutung in modernen Heizsystemen:* Mit der Wärmewende in Europa gewinnen Technologien wie Wärmepumpen, Solarthermie-Anlagen und Fernwärme-Übergabestationen an Verbreitung. In all diesen Systemen ist Kupfer als Werkstoff wichtig: Beispielsweise bestehen Wärmetauscher in Wärmepumpen und Solarthermie-Kollektoren aus Kupfer, um die exzellente Wärmeleitfähigkeit zu nutzen. Der Trend hin zu niedertemperaturigen Flächenheizungen (Fußboden- oder

Wandheizungen) hat ebenfalls Einfluss: Klassische Radiatoren sind zwar oft über Kupferrohre angeschlossen, doch Fußbodenheizungen werden fast ausschließlich mit flexiblen Kunststoffrohren (z.B. PEX) verlegt. Allerdings gibt es auch dünnwandige Kupferrohre mit Kunststoffmantel, die speziell für Flächenheizungen entwickelt wurden, um Flexibilität und Schutz zu gewährleisten. Solche Hybrid-Lösungen kombinieren Kupferkern und Kunststoffhülle, sodass das Rohr biegsam ist und vor Korrosion bzw. Beschädigung geschützt wird – ein Beispiel, wie Kupferhersteller durch Innovation auf neue Anforderungen reagieren.

(3) *Materialinnovationen (bleifrei und korrosionsbeständig)*: Ein wichtiger technologischer Entwicklungstreiber sind neue Legierungen und Beschichtungen für Kupferprodukte. Hintergrund ist die EU-Trinkwasserrichtlinie 2020/2184, die ab 2024 deutlich strengere Grenzwerte für Blei und andere Metalle in Kontakt mit Trinkwasser vorschreibt. Bleihaltige Kupferlegierungen (wie herkömmliches Messing in Armaturen und Fittings) dürfen in Trinkwasserinstallationen nicht mehr verwendet werden. Daher wurden *neue bleifreie Kupferlegierungen* entwickelt – zum Beispiel spezielle Messingvarianten mit Zusätzen wie Silizium, Bismut oder Phosphor statt Blei. Diese ersetzen das Blei als Bearbeitungshilfe, erfüllen aber weiterhin die notwendigen hygienischen und mechanischen Eigenschaften (Druckbeständigkeit, Korrosionsschutz). Die Umstellung auf bleifreie Werkstoffe erfordert Anpassungen in der Fertigung, zeigt aber das Innovationsbestreben der Branche: Künftig sind Kupferrohre (Cu-DHP) selbst und neue bleifreie Fittings zusammen ein 100 % trinkwassertaugliches System. Neben Legierungsanpassungen gibt es auch Veredelungen wie Innenbeschichtungen (z.B. Verzinnung) für besondere Wasserqualitäten, um Korrosion zu verhindern – all dies trägt dazu bei, dass Kupferinstallationen länger halten und strenge Normen erfüllen.

(4) *Fortschritte in Installationstechnik*: Ein weiterer Aspekt ist die fortschreitende Vereinfachung der Verarbeitung von Kupfer. Wo früher zeitaufwändiges Löten Standard war, hat sich seit Jahren die Pressverbindung durchgesetzt. Mit Pressfitting-Systemen können Kupferrohre schnell, *kalt* und zuverlässig verbunden werden – das spart Zeit und erfordert weniger spezielle Fachkenntnisse im Vergleich zum Hartlöten. Moderne Kupfer-Pressfittings mit Dichtungsringen ermöglichen eine fehlerfreie Montage in Minuten, was die vormals oft genannten Installationsnachteile von Kupfer verringert. Jeder *SHK-Fachhandwerkerin* kann mit diesen standardisierten Systemen arbeiten, unabhängig vom Hersteller, was Flexibilität schafft. Trotz dieser Erleichterungen bleiben Kunststoffrohrsysteme in der Installation oft noch schneller (z.B. Stecksysteme ohne Werkzeug). Nichtsdestotrotz hat Kupfer hier technologisch aufgeholt, sodass Montagezeit und -kosten gegenüber früher sinken – ein wichtiger Faktor, um im Wettbewerb der Materialien zu bestehen.

(5) *Substitution von Kupfer durch Kunststoffe beschleunigt sich*: Knapp die Hälfte aller Sanitär-/Heizungsrohre in Europa besteht heute aus Kunststoff; Metallrohre (v.a.

Kupfer) fallen laut Prognosen bis 2027 auf ca. 16 % Marktanteil – getrieben durch Kosten- und Installationsvorteile moderner Kunststoff- und Verbundrohre. Die wohl größte technologische Herausforderung für Kupfer ist der **Vormarsch alternativer** Rohrmaterialien, vor allem Kunststoffe und Metall-Kunststoff-Verbundrohre. Neue Rohrwerkstoffe wie vernetztes Polyethylen (PEX), Polypropylen (PP-R), chloriertes PVC oder Mehrschichtverbundrohre (z.B. Aluminium-Kunststoff) bieten Eigenschaften, die viele Schwachpunkte traditioneller Metallrohre ausgleichen. So sind Kunststoffrohre absolut korrosionsfrei, leicht und flexibel zu verlegen und weisen *günstigere Materialkosten* auf. In der Praxis bedeutet dies: Wasserleitungen aus Kunststoff können oft in einem Stück durch Wände gezogen werden, ohne viele Formteile – im Gegensatz zu starren Kupferrohren, die präzise gebogen oder stückweise gefügt werden müssen. Die geringeren Arbeits- und Transportkosten und die Flexibilität (geringer Biegeradius, Ausgleich von Setzungen) machen moderne Rohrsysteme für Installateure und Bauherren sehr attraktiv. Zudem haben Verbundrohre oft eine innen liegende Aluminiumschicht, die Sauerstoffdichtheit und Formstabilität gibt, bei insgesamt geringerem Gewicht.

Trotz dieser Wettbewerbssituation bleiben Nischen und Qualitätsargumente auf Kupferseite bestehen: Beispielsweise sind Kupferrohre druck- und mechanisch sehr stabil (platzfest bei hohen Drücken), unempfindlich gegen UV-Licht (wichtig bei freiliegenden Leitungen) und haben eine bewährte Lebensdauer von oft 50+ Jahren. Gerade in hochwertigen Immobilien oder in öffentlichen Gebäuden mit langen Nutzungszyklen entscheidet man sich teils bewusst für Kupfer aufgrund der Langlebigkeit und wartungsarmen Zuverlässigkeit. Zudem genießen Kupferrohre in Hygiene-sensiblen Bereichen (Trinkwasser, Krankenhaus) Vertrauen, da sie antibakterielle Eigenschaften haben und keine organischen Substanzen ins Wasser abgegeben können – dies ist ein Punkt, der bei Kunststoff (anfänglicher Kunststoffgeruch oder -geschmack des Wassers, Keime in Stagnationswasser) manchmal kritisch gesehen wird. In Deutschland existiert eine gewisse Präferenz für Metallleitungen bei Trinkwasser, was dazu führt, dass der Marktanteil von Kunststoff in diesem Segment geringer ist als in manch anderen Ländern. Insgesamt jedoch ist aus technologischer Sicht klar erkennbar: Kunststoff- und Verbundrohrsysteme stellen die größte Konkurrenz dar und prägen entscheidend die künftige Rolle von Kupfer in der Haustechnik.

Fazit: Die Zukunft von Kupfer in der Sanitär- und Heizungstechnik ist ein Balanceakt. Tradition und bewährte Qualität stehen gegen Innovationsdruck und Kostenoptimierung. In Deutschland und Europa wird Kupfer voraussichtlich eine kleinere, aber wichtige Rolle behalten: Nicht mehr als Allzweckmaterial jeder Installation, wohl aber als Premium-Lösung dort, wo es auf höchste Sicherheit, Langlebigkeit und technische Performance ankommt. Die Branche befindet sich in einem Wandel, der noch einige Jahre andauern wird – mit Kupfer weiterhin als integralem Bestandteil moderner Gebäudetechnik, eingebettet in ein Nebeneinander verschiedener Werkstoffe, je nach Anforderung und Wirtschaftlichkeit.

Frage: Substitutionsmöglichkeiten, z.B. Aluminium zur Stromleitung, bzw. Auswirkungen von neuen Technologien?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Substitutionsmöglichkeiten

Stromkabel: Aluminium spart 30–40 % Gewicht ein: Ein Aluminiumkabel benötigt ca. 1,6× größeren Querschnitt für dieselbe Stromtragfähigkeit wie Kupfer – wiegt dabei aber nur etwa 60–70 % eines vergleichbaren Kupferkabels. Dieser Gewichtsvorteil ist der Hauptgrund, warum Überlandleitungen heute fast ausschließlich aus Aluminium bestehen.

Die Praxis zeigt insgesamt, dass die Substitution von Kupfer begrenzt ist. Trotz hoher Kupferpreise kommt der Ersatz oft langsamer als theoretisch erwartet: Eine alte Branchenregel besagte, ab einem Preisverhältnis Cu:Al von >3:1 würde massiv auf Aluminium umgestellt. Tatsächlich lag dieses Verhältnis in den letzten fünf Jahren meist über 3,5:1, ohne dass in großem Stil neue Kupferanwendungen durch Al verdrängt wurden. Gründe sind die genannten technischen Hürden – viele Anwendungen vertragen Aluminium schlicht nicht ohne Einbußen an Sicherheit oder Effizienz. BHP, eines der größten Bergbauunternehmen, konstatiert deshalb, dass Substitution kaum Entlastung bringen wird und erst bei noch höheren Preisabständen (>4:1) nennenswert anziehen dürfte.

Auswirkungen von neuen Technologien:

Mit der fortschreitenden Elektrifizierung und Digitalisierung nimmt der weltweite Bedarf an Kupfer stark zu. Während der vorangegangene Teil die *Substitutionsperspektive* beleuchtete – also in welchen Bereichen man Kupfer einsparen oder ersetzen kann – geht es nun darum, zu verstehen, wie neue Technologien die Nachfrage nach Kupfer antreiben. Im Fokus stehen dabei die **Elektromobilität**, der **Ausbau erneuerbarer Energien** und die rasant wachsende **Digital- und Kommunikationsinfrastruktur** (inklusive Rechenzentren für Cloud und KI). Diese Sektoren gelten als Haupttreiber für den Kupferverbrauch in den kommenden Jahren.

E-Autos treiben Kupfernachfrage. Ein reines Elektroauto enthält im Schnitt >80 kg Kupfer, also rund dreimal so viel wie ein herkömmlicher Verbrenner (ca. 24 kg). Bis 2030 werden allein für die E-Motoren in Elektrofahrzeugen jedes Jahr über 250.000 Tonnen Kupfer benötigt – ein deutlicher Nachfrageschub im Verkehrssektor.

Kupfer in Wind+Solar: 8 t/MW geschätzter Bedarf an Kupfer pro installierter MW Wind- oder Solarkapazität (2021)

Rechenzentren: 572,000 t jährliche Kupfernachfrage durch neue Rechenzentren, Höhepunkt 2028 laut BNEF-Prognose. BloombergNEF hat 2025 eine Studie veröffentlicht, wonach die Nachfrage durch Rechenzentren (insbesondere KI-zentrierte)

weltweit stark steigt: Durchschnittlich ~400.000 Tonnen Kupfer pro Jahr werden im kommenden Jahrzehnt in neue Rechenzentren fließen, mit einem Peak um 572.000 Tonnen im Jahr 2028. In Summe könnten bis 2035 etwa 4,3 Millionen Tonnen Kupfer in Rechenzentren verbaut werden. BHP prognostiziert langfristig sogar eine weiterhin stark steigende Kurve: von heute ~0,5 Mio. t/Jahr für Rechenzentren hoch auf ~3 Mio. t/Jahr bis 2050. Das wären dann ~6 % der gesamten erwarteten Nachfrage allein für Rechenzentren. Künstliche Intelligenz als Treiber wird explizit genannt, da KI-Modelle enorm viele Server (und damit Infrastruktur) erfordern – Stichwort: jedes große KI-Trainingscluster ist ein kleiner Hochleistungs-Stromverbraucher

Ein aufsehenerregendes Beispiel: Der Bau eines Microsoft-Rechenzentrums in Chicago (Kosten ~500 Mio. \$) benötigte rund 2.177 Tonnen Kupfer – allein dieses eine Projekt. Das Kupfer machte etwa 6 % der Investitionskosten aus, was die Größenordnung verdeutlicht.

Zugleich erfordern Trends wie **5G-Mobilfunk**, **Smart Homes/Buildings** und **Industrie 4.0** in Summe mehr kupferbasierte Hardware: zum Beispiel benötigen 5G-Antennen deutlich mehr Strom und haben oft kupferbasierte Strom- und HF-Verbindungen (auch wenn die Datenübertragung weitgehend über Glas läuft). Edge-Rechenzentren – also verteilte Minirechenzentren nahe am Nutzer für geringe Latenzen – sind im Kommen und multiplizieren die Infrastruktur. Jedes kleine Mobilfunk-Basisstationensystem hat wieder Netzteile, Verkabelung etc., die Kupfer enthalten.

→ *Technologiewende erzeugt Engpass-Risiken*: Laut UNCTAD gilt Kupfer als „neues strategisches Rohmaterial“ der Elektrifizierungs-Ära. Die globale Kupfernachfrage soll bis 2040 um 40 % steigen. Die UNCTAD warntes 2025, dass bis 2030 etwa **80 neue Minen** mit 250 Mrd. \$ Investitionen nötig wären, um die Nachfrage zu decken. Das dürfte kaum erreicht werden. Denn: Neue Minenprojekte brauchen im Schnitt 15–20 Jahre von Entdeckung bis Produktion und in den letzten Jahren wurden zu wenige neue Vorkommen gefunden.

Für **Europa** bedeutet dies: Als hochindustrialisiertes, rohstoffarmes Gebiet ist es stark importabhängig. Deutschland als größter europäischer Verbraucher (ca. 1 Mio. t/a) importiert Kupfererz bzw. Kupfer in Rohform, verarbeitet aber auch viel Recyclingkupfer (Recycling deckt in DE ~41 % des Bedarfs, europaweit ~35 %, Tendenz steigend). Die Energiewende-Pläne der EU (Fit for 55, Green Deal) implizieren enorme Mengen an Installationen: EU-weit sollen z.B. bis 2030 weit über 30 Millionen Elektro-Pkw unterwegs sein, 300 GW Windkraft und 500 GW Solar installiert werden, und zigtausende km Netz verstärkt werden. Das wird den Kupferbedarf in Europa spürbar erhöhen – genaue Zahlen variieren, aber Schätzungen gehen von einem zusätzlichen Bedarf von einigen hunderttausend Tonnen jährlich bis 2030 aus. Die EU listet Kupfer als strategischen Rohstoff (wenn auch nicht so kritisch wie Lithium oder Seltene Erden, da Kupfer global verbreitet ist), und bemüht sich um Recycling und Kreislaufwirtschaft. BHP etwa erwartet, dass durch intensiveres Recycling der Schrottanteil an der

Versorgung bis 2035 auf ~40 % steigt (von ~30 % heute). Dennoch wird Europa im Wettbewerb mit anderen Regionen stehen: Besonders China hat einen immensen Hunger und dominiert die Raffinierung (45 % der Weltproduktion). Europa selbst fördert kaum Kupfer (Polen ~0,4 Mio. t, Rest EU vernachlässigbar) und muss daher über Handelsstrategien, Recycling und Innovation seine Versorgung sichern.

Ausblick: Herausforderung Kupferversorgung

Die skizzierten Entwicklungen zeigen, dass Kupfer eine **Schlüsselrolle in der zukünftigen Technologieinfrastruktur** spielt, von der emissionsfreien Mobilität über die Stromerzeugung bis zur digitalen Wirtschaft. Für die nächsten ~10 Jahre lässt sich zusammenfassen:

- **Nachfragewachstum:** Treiber wie E-Mobilität, erneuerbare Energien und KI bescheren dem Kupfermarkt ein robustes Wachstum, global um 2–3 % pro Jahr. Bis 2030 wird ein deutlich höherer Kupferverbrauch in nahezu allen Segmenten erwartet. Einsparungen durch Substitution (z.B. Glasfaser statt Kupferkabel in der Telekommunikation, Aluminium statt Kupfer in bestimmten Anwendungen) können dieses Wachstum *nicht* kompensieren, sondern nur etwas dämpfen.
[\[miningscout.de\]](http://miningscout.de)
- **Deutschland/Europa:** Als Region mit ambitionierten Klimazielen wird Europa stark zu diesem Anstieg beitragen. Der Kupfereinsatz pro neu gebautem Kraftwerk, Auto oder Gebäude steigt tendenziell. Beispielsweise kann eine einzige Offshore-Windfarm in der Nordsee zehntausende Tonnen Kupfer benötigen (Verkabelung an Land eingeschlossen). Entsprechend werden Zulieferindustrien (Kabelhersteller, Trafobauer) gut ausgelastet sein, aber auch auf Risiken wie Materialengpässe reagieren müssen.
- **Versorgungssicherheit:** Kurz- bis mittelfristig dürfte der Kupfermarkt angespannt bleiben. Analysten warnen vor einem Angebotsdefizit ab Mitte der 2020er, falls nicht erheblich investiert wird. Unternehmen wie BHP und Glencore planen zwar neue Projekte (z.B. in Südamerika und Afrika), aber vor 2030 kommen viele nicht auf Volltouren. Recycling wird wichtiger: Eine Kreislaufführung – Kupfer lässt sich ohne Qualitätsverlust recyceln – kann helfen, ist aber auch energieintensiv und benötigt Schrott, der erst nach Nutzung anfällt (z.B. E-Autos, die erst nach >10 Jahren verschrottet werden). Die UN fordert einfachere Genehmigungen und internationale Kooperation, um die Kupferlücke zu schließen.
- **Innovation:** Technologischer Fortschritt könnte den Kupferbedarf *pro Einheit* senken (z.B. leistungsfähigere Halbleiter, die geringere Ströme erfordern, bessere Leiterdesigns, neue Materialmixes). Allerdings erscheint absehbar, dass die absolute Nachfrage dennoch steigt, da die Anzahl der elektrifizierten Systeme rasant zunimmt. Es laufen R&D-Projekte zu kupfersparenden Technologien (z.B. Leistungselektronik mit höheren Spannungen, supraleitende Kabel in

Ballungszentren, Fine-pitch Alu-Leiterplatten), aber keine davon wird bis 2030 den Massenmarkt nennenswert durchdringen.

Fazit: Neue Technologien entfalten einen **enormen Sog auf Kupfer**. Die kommenden Jahre bis 2030 sind geprägt von einer Spannung zwischen einem *boomenden Bedarf* und der *Herausforderung der Bereitstellung*. Kupfer bleibt das Rückgrat der Elektrotechnik, und Alternativen wie Aluminium können zwar in mehreren Feldern Entlastung bieten (Gewicht, Kosten), ersetzen das rote Metall jedoch nicht flächendeckend. Europa wird sich darauf einstellen müssen, im globalen Wettbewerb um Kupfer und andere Metalle zu bestehen – durch strategische Rohstoffpolitik, Recycling und vielleicht durch *neues Denken im Design* (Materialeffizienz).

Für Unternehmen in den betroffenen Branchen (Elektrotechnik, Automobil, Energie) bedeutet das, sich frühzeitig abzusichern: langfristige Lieferverträge, Erforschung von Materialsubstituten wo möglich, und effizientes Nutzen des verfügbaren Kupfers. Gleichzeitig bleibt für Ingenieure die Devise bestehen: „**Kupfer, wo es muss – Aluminium, wo es kann.**“ Denn diese kluge Kombination wird helfen, die Zukunft nachhaltig und zugleich wirtschaftlich zu gestalten.

Frage: Recycling von Kupfer und Batteriemetallen -Schwerpunkt chemische Trennung / Wiederverwertung. Bedarf an entsprechend chemisch beständigen Leitungssysteme für dabei verwendete Medien?

Antwort:

Frage: Welche technologischen Innovationen (rund um Kupfer) sind zu erwarten?

Antwort von Edda Wolf (GTAI):

Fortschritte in der Kupfergewinnung (Bergbau & Extraktion)

KI-gestützte Exploration: Moderne Explorationsmethoden setzen Künstliche Intelligenz ein, um neue Kupfervorkommen zu finden. Ein Beispiel ist KoBold Metals (unterstützt von Investoren wie Bill Gates), das in Sambia große Kupfervorkommen entdeckte und mithilfe von AI-Analysen von Boden- und Magnetikdaten gezielt neue Lagerstätten identifiziert. Solche datengetriebenen Explorationsansätze beschleunigen die Entdeckung tief liegender oder verdeckter Erzvorkommen, was in geologisch ausgereizten Gebieten immer wichtiger wird.

Bioleaching & neue Extraktionsverfahren: Hydrometallurgische Verfahren gewinnen an Bedeutung, um niedriggradige Erzhalde auszubeuten. Beispiel: Rio Tintos Nuton-Technologie, die auf natürlicher Bio-Laugung beruht, hat 2025 erstmals Kupferkathoden

in Arizona direkt aus sulfidischen Erzen produziert. Solche bakteriellen Laugungsverfahren (“Kupfer aus Alchemie der Natur”) können den *metallurgischen Flaschenhals* lösen: selbst schwer behandelbare Kupfersulfide werden mit speziellen Mikroorganismen in Lösung gebracht und dann elektrolytisch gewinnt. Dies verspricht eine schnellere, sauberere Kupfergewinnung ohne klassische Schmelzöfen.

Neue Verfahren in Raffination und Recycling (Verarbeitung)

Kontinuierliche Schmelztechnologien: Klassische Kupferschmelzen (konventionelle Öfen mit Chargenbetrieb) werden von kontinuierlichen Hochleistungsprozessen abgelöst. In China läuft seit 2024 eine neuartige **Dual-Bath**-Schmelzanlage (zwei gekoppelte Schmelzbäder mit Sauerstoff-Druckluft) im Industriemaßstab: Über 400.000 t Jahreskapazität pro Anlage und drastisch sinkender Energieeinsatz ~85 kg Standardkohleeinheiten pro Tonne Blisterkupfer. Diese durchgängige Kupferschmelze (entwickelt vom Changsha Nonferrous Institute) überwindet technische Hürden wie Auskleidung-Ausdehnung und Metallverlust. Sie demonstriert, dass *ultragroße Schmelzen mit ~30% weniger Energieverbrauch* realisierbar sind. Solche Anlagen erhöhen Effizienz und senken Emissionen, ohne die Prozessstabilität zu gefährden – ein Meilenstein für die Kupferhüttenindustrie.

Fortschritte in der Elektrometallurgie: Neben der Pyrometallurgie (Schmelzroute) werden elektrochemische Verfahren verfeinert. So arbeitet ein US-Startup an einer elektrischen Direktextraktion, bei der Kupfer mittels geschmolzener Salzbäder und Strom fast ohne klassische Schmelze gewonnen wird. Auch direkte elektrochemische Reduktion aus Kupferkonzentraten wird erforscht, um das aufwändige Schmelzen zu umgehen. Diese „*saubereren*“ Verfahren stecken noch in der Pilotphase, könnten aber mittelfristig die Raffination dezentralisieren und an Energie und CO₂ einsparen.

High-Tech-Recycling & Digitalisierung: Europa gehört bereits zu den Spitzenreitern beim Kupferrecycling – z.B. stammen in Deutschland ~43% des Kupfers aus wiedergewonnenem Material. Doch neue Technologien versprechen noch mehr Effizienz: Sensorbasierte Sortieranlagen mit KI-Bilderkennung, Röntgen- und Induktivscannern trennen Schrotte nach Metallgehalt inzwischen deutlich präziser. Damit lassen sich komplexe Abfallströme wie Elektronikschrott oder Shreddergut gezielt in hochwertige Kupferfraktionen selektieren, was den Metallrückgewinnungsgrad erhöht. Parallel laufen Forschungsprojekte zur Digitalisierung der Kupfer-Kreisläufe: Ein Beispiel ist das BMBF-geförderte Verbundprojekt “*KupferDigital2*”, das eine KI-gestützte Datenplattform entwickelt, um den gesamten Lebenszyklus von Kupfer – von Produktdesign über Nutzung bis Recycling – zu optimieren. Solche digitalen Materialpässe und “*Design-for-Recycling*”-Konzepte (etwa leicht trennbare Verbunde, markiertes Kupfer in Produkten) erleichtern künftig die Rückgewinnung. Europäische Kupferunternehmen investieren auch in innovative Recyclinghütten: So plant Aurubis in Hamburg eine neue Anlage, die komplexe Multimetall-Schrotte (Platinen, Batterien etc.) effizient verarbeitet und neben Kupfer auch Gold, Silber, Platin und Zinn zurückgewinnt.

Das Ergebnis: Höherer heimischer Sekundärmetallanteil und geringere Verluste an wertvollen Begleitmetallen.

Innovative Anwendungen in Elektronik und Energietechnik

Elektromobilität und Stromnetze: Steigende Anforderungen der Energiewende treiben *kreative Kupferanwendungen*. Jedes Elektroauto enthält drei- bis viermal mehr Kupfer als ein Verbrenner – von dicken Hochvolt-Kabeln über den Motor (Statorwicklungen) bis zu Batterie und Leistungselektronik. Neue Fertigungsmethoden wie **Hairpin-Statoren** (rechteckige Kupferstäbe statt Drähte in Elektromotoren) erhöhen den Kupferfüllgrad und Wirkungsgrad der Motoren. Gleichzeitig erfordern **Schnellladestationen** für E-Autos spezielle Kupferlegierungen in Kontakten und dicken Leitungssystemen, um Hitze und Stromstärken zu verkraften. Auch die **Stromnetzinfrastruktur** setzt auf Innovation: **Hochspannungs-Gleichstromkabel (HVDC)** mit größerem Kupferquerschnitt und verbesserter Isolation ermöglichen weite verlustarme Stromübertragung – ein Schlüssel für Europas künftiges Supergrid.

Erneuerbare Energien: Photovoltaik und Windkraft bleiben ohne Kupfer undenkbar. Pro Megawatt Solarleistung werden etwa *4–5 Tonnen Kupfer* in Modulen, Verkabelung und Invertern benötigt. Innovative Kupferbeschichtungen ersetzen teurere Silberkontakte in Solarzellen („Druckkupfer“), was die Modulherstellung günstiger macht. In modernen Windturbinen fließen hunderte Kilo Kupfer in Generator-Spulen und Transformatoren. Hier verbessern neue Kupferlegierungen (z.B. höherfeste Cu-Legierungen in Windgeneratoren) die Leistungsdichte. Die Kühlung von Wechselrichtern und Generatoren wird ebenfalls weiterentwickelt: 3D-gedruckte Kupfer-Kühlkörper mit komplexen inneren Strukturen erhöhen die Wärmeabfuhr in beengten Raum – wichtig für Offshore-Windturbinen und große Solarinverter. Europas erneuerbare Großprojekte profitieren stark von diesen Materialinnovationen, da sie den Wirkungsgrad steigern und Betriebskosten senken.

Rechenzentren und Elektronik: Trotz fortschreitender Digitalisierung bleibt Kupfer *das „Rückgrat“ physischer Infrastruktur*. Hyperscale-Rechenzentren für KI und Cloud brauchen kilometerlange Verkabelungen und leistungsstarke Stromschienen aus Kupfer. Um den enormen Kühlbedarf zu decken, kommen neuartige Mikrokanal-Kühler aus Kupfer zum Einsatz – teils additiv gefertigt, um komplizierte Kühlkanäle in einem Stück zu ermöglichen. Auch im 5G-Mobilfunk und der kommenden 6G-Technologie spielt Kupfer eine Rolle: Basisstationen und Server verwenden hochreine Kupferwärmespreizer und dicke Kupferschienen für die Energieversorgung, damit die Elektronik zuverlässig läuft.

Additive Fertigung & neue Werkstoffe: Ein bemerkenswerter Sprung ist die **3D-Druckbarkeit von reinem Kupfer**. Dank speziellen Lasertechnologien im roten/grünen Spektrum konnte 2025 erstmals metergroße Kupferbauteile nahezu porenfrei gedruckt werden. Hersteller wie Eplus3D zeigen damit, dass das Hindernis der hohen Reflexion

und Wärmeleitfähigkeit von Kupfer mittels *roter Laser* überwunden wurde. Diese Fähigkeit erlaubt die Fertigung komplexer Kupferkomponenten – etwa Turbinen-Impeller aus der CuCrZr-Legierung mit 99,97% Dichte – die für die Luft- und Raumfahrt oder Leistungselektronik optimierte Designs ermöglichen. Ein weiterer Schritt ist die Optimierung von Speziallegierungen für den Druck: Die NASA entwickelte z.B. GRCop-42 (eine Kupfer-Chrom-Niob-Legierung) für Raketentriebwerke, die nun mit angepassten Parametern großformatig gedruckt wird. Damit entstehen hochfeste, hitzebeständige Kupferbauteile für Raketen oder Satellitenkühlsysteme direkt aus dem Drucker. Zusammen mit klassischen Verfahren (Fräsen, Gießen) erweitert der Metall-3D-Druck die Geometriefreiheit – Kupfer-Induktoren, Wärmetauscher oder Hochfrequenzkomponenten können in Formen gefertigt werden, die früher unmöglich waren.

Fazit: Insgesamt zeigt sich, dass Kupfer als strategisches Metall in Europa und weltweit durch Technologieoffensiven neu belebt wird. Von der *fundamentalen Gewinnung bis zur High-Tech-Anwendung* entstehen laufend Innovationen: KI-Methoden, Biohydrometallurgie, kontinuierliche Schmelzprozesse, digitale Recyclingketten, additiv gefertigte Bauteile – all dies steigert die Verfügbarkeit und Effizienz von Kupfer erheblich. Damit wird Kupfer fit gemacht für die kommenden Jahrzehnte, in denen Mega-Trends wie Elektromobilität, Erneuerbare Energien, Digitalisierung und Rüstung die Nachfrage antreiben. Europäische Akteure sind in vielen dieser Bereiche vorne mit dabei – sei es durch *Forschung (Fraunhofer, Unis), Industrieinitiativen* oder *strategische EU-Projekte*, etwa zehn jüngst als „wichtig“ identifizierte Kupferprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Schriftlich im Chat beantwortet

Frage: Warum steigen trotz hoher Preise und hohen Bedarfen die Lagerhausbestände an der LME?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Ich gehe davon aus, dass es sich hier um eine bewusst vorsichtige Marktpositionierung der Metallhändler handelt:

- Händler und Produzenten akkumulieren Bestände wegen politischer Unsicherheiten, Lieferkettenrisiken und erwarteter Volatilität.
- Auch der generelle Rohstoffzyklus führt dazu, dass **Pufferlager gefüllt werden**, bevor neue Regularien, Zölle oder geopolitische Risiken greifen.

Frage: Sie hatten an dritter Stelle der zukünftigen Kupfer-Projekte Tampak in den Philippinen genannt. Meines Wissens gibt es dort seit den 1980ern großen Protest, z.T. bewaffnete Konflikte (mit Dutzenden Toten in den letzten 20 Jahre) und

konfliktive, sich widersprechende Gesetzgebungen, die Bergbau fördern bzw. verhindern. Was gibt Ihnen Hoffnung, dass dort tatsächlich im nächsten Jahrzehnt produziert wird?

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Die Mine ist mit aufgelistet, weil der Minenbetreiber das Projekt noch nicht völlig aufgegeben hat. Das heißt nicht, dass GTAI oder ich persönlich auf einen Abbau "hoffen". Das lokale Volk der B`laan benötigt für ihren Lebensstil natürlich kein oder nur sehr wenig Kupfer und wehrt sich zu Recht gegen die Zerstörung seines Lebensraums. Das ist bei allen großen Minenvorhaben die generelle Konfliktlinie: der Bedarf der Industrieländer wächst, während die Rohstoffvorkommen oft in den Gebieten der indigenen Bevölkerung liegen (z.B. auch Inuit in Alaska und Grönland), die für ihren traditionellen Lebensstil solche Rohstoffe nicht benötigen.

Frage: Gibt es Bemühungen/Projekte seitens deutscher Unternehmen oder der Politik zur zukünftigen Sicherstellung der Versorgung mit Kupfer? Bei allen bisher gezeigten Playern oder Projekten habe ich keine von deutscher Hand sehen können. Besten Dank

Antwort von Dr. Tanja Eckardt (EIT RawMaterials): Die Ampelregierung hat 2024 einen Rohstofffonds auf den Weg (BMWE) gebracht, bei dem sich Projekte bewerben konnten. Die erste Auswahl ist derzeit in Evaluierung meines Wissens. Im Fokus sind alle Metalle und Mineralien, die nach dem CRMAct als kritisch oder strategisch eingestuft sind.

Wie erwähnt ist EIT RawMaterials von der EU-Kommission beauftragt, Vernetzungen, Partnerschaften und Projekte mit strategischen Partnerländern außerhalb der EU voranzubringen. Dazu zählen auch Projekte zur Versorgung mit Kupfer. Es wird jedoch immer eine Beteiligung von Geldgebern und Industrieunternehmen (Off-Takern) benötigt. Positive Beispiele sind Vereinbarungen mit Grönland, von wo Molybdän an deutsche Unternehmen geliefert wird.

Antwort von Edda Wolf (GTAI): Aurubis trägt stark zur Sicherung der Kupferversorgung Deutschlands bei. Das Unternehmen hat sich mittel- bis langfristig Kupferlieferungen aus Schweden und aus Kanada gesichert. Zu den Details darf ich auf Folie 26 aus meinem Vortrag „Kupfer unter Druck“ (Edda Wolf, Germany Trade & Invest) verweisen.

Antwort aus dem Chat: Für den Fall Chile, DE-Investoren sind eher Aktienanleger als Projektteilnehmer. Know-How, Kapital und Reaktion spielen eine Rolle. Die EU via EIT RawMaterials ist aber auch nicht so agil, auch wenn Projekten für direkte Investitionen sehr breit ist.

Frage: Sind neben dem USA-Projekt Richmond bei Aurubis weitere Produktionsprojekte im Ausland angedacht?

Antwort von Thomas Engels (Aurubis): Unser Fokus ist derzeit die USA.

Frage: In welchem Umfang kauft Aurubis Kathoden hinzu?

Antwort von Thomas Engels (Aurubis): Wir kaufen und verkaufen Kathoden, je nach Produktionsbedarf der Downstreamprodukte, im wesentlichen Wire Rod.