



Endlichkeit der Rohstoffe

Ressourcenvorräte von A bis Z

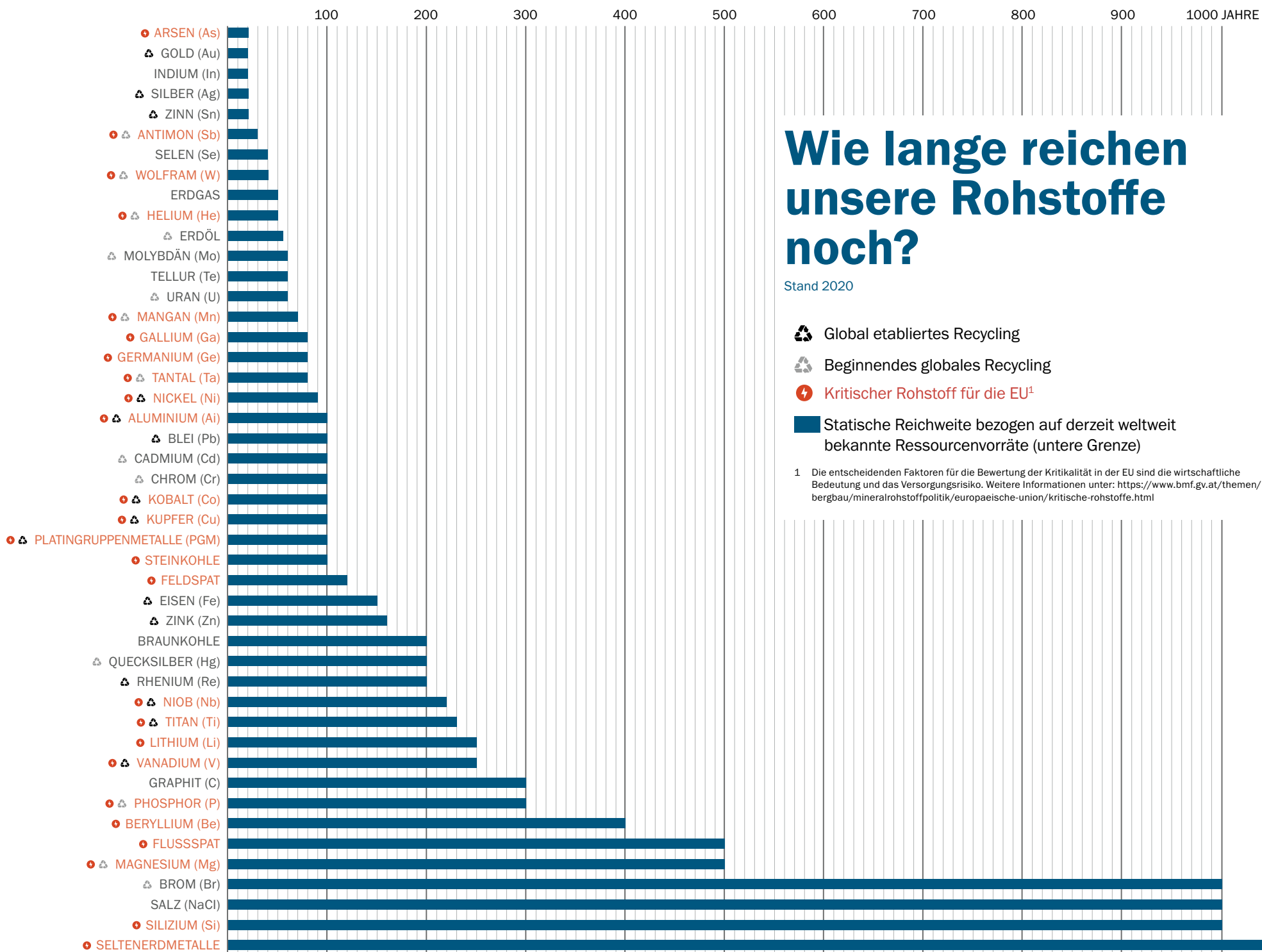


Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung, Direktion Präsidium, Abteilung Trends und Innovation, Oö. Zukunftsakademie, Altstadt 30a, 4021 Linz
+43 732 7720 14402 | zak.post@ooe.gv.at | ooe-zukunftsakademie.at
Redaktion: DI Dr. Klaus Bernhard, Mag.^a Dr.ⁱⁿ Reingard Peyrl, MSc (Projektleitung) |
3. Auflage: März 2024 | Layout: vectorygraphics.com, Abteilung Kommunikation und Medien, Grafik- und Webservice [2024151] | Titelfoto: Kadmy - stock.adobe.com |
Druck: BTS Druckkompetenz GmbH

Informationen zum Datenschutz finden Sie unter:
<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/datenschutz>

Wie lange reichen unsere Rohstoffe noch?	5		
Einleitung	6		
Rohstoffe	15		
Aluminium	16	Magnesium	39
Antimon	17	Mangan	40
Arsen	18	Molybdän	41
Beryllium	19	Nickel	42
Blei	20	Niob	43
Braunkohle	21	Platingruppenmetalle	44
Brom	22	Phosphor	45
Cadmium	23	Quecksilber	46
Chrom	24	Rhenium	47
Eisen	25	Salz	48
Erdgas	26	Selen	49
Erdöl	27	Seltenerdmetalle	50
Feldspat	28	Silber	51
Flussspat	29	Silizium	52
Gallium	30	Steinkohle	53
Germanium	31	Tantal	54
Gold	32	Tellur	55
Graphit	33	Titan	56
Helium	34	Uran	57
Indium	35	Vanadium	58
Kobalt	36	Wolfram	59
Kupfer	37	Zink	60
Lithium	38	Zinn	61
Herausforderungen	62		
Glossar	65		
Quellenverzeichnis	66		



Einleitung

Die 1972 veröffentlichte Studie „Die Grenzen des Wachstums“ von renommierten WissenschaftlerInnen des Massachusetts Institute of Technologie (MIT) entfachte eine Diskussion rund um den Raubbau an den natürlichen Ressourcen der Erde. In einer Aktualisierung 20 Jahre später sind die Prognosen für die Ressourcenvorkommen aufgrund neu gefundener Lagerstätten zwar erweitert worden, doch wird angenommen, dass die Kapazität der Erde, Rohstoffe nachhaltig zur Verfügung zu stellen und Schadstoffe aufzunehmen bereits in den 80er Jahren überschritten wurde. Etwa 40 Jahre später, im Jahr 2014, veröffentlichte Graham Turner von der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) eine Studie¹, in der er zum Schluss kam: Die Welt verändere sich weitgehend so, wie es dem ungünstigen business-as-usual-Szenario entspricht.

Auf einer endlichen Erde kann es nur endliche Ressourcen geben. Dieser scheinbar triviale Satz wird von der Menschheit leider erst sehr spät erkannt. Diese Broschüre soll die wichtigsten Rohstoffe unserer Zeit aufzeigen, ihre Verwendung und die prognostizierte Lebensdauer. Mit einem bewussteren Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten kann jede/r Einzelne von uns dazu beitragen, dass auch die nächsten Generationen gute Lebensbedingungen vorfinden.

Mineralische und fossile Rohstoffe

Die mineralischen und fossilen Rohstoffe sind die natürlichen Ressourcen aus der Lithosphäre (feste Gesteinshülle) unseres Planeten. Da sie sich in geologischen beziehungsweise astronomischen Zeiträumen gebildet haben, sind sie durch menschliches Einwirken nicht erneuerbar. Dennoch ist ihr Abbau von enormer wirtschaftlicher Bedeutung, um die derzeitigen Entwicklungen auf der Erde aufrecht erhalten zu können. Ob ein Vorkommen abbaubar ist, hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab: Rohstoffqualität, Erschließungs- bzw. Abbaukosten und dem Absatzmarkt. Ressourcenreiche Länder gehören aber teilweise zu den ärmsten unseres Planeten. Dieses scheinbar wirtschaftliche Paradoxon wird als „Ressourcenfluch“ bezeichnet.

¹ <https://sustainable.unimelb.edu.au/publications/research-papers/is-global-collapse-imminent>



Rohstoffgewinnung historisch – heute

Ressourcenabbau und die Veredelung von Rohstoffen werden seit jeher vom Menschen betrieben. Ganze Epochen sind nach dem Hauptrohstoff dieser Zeit benannt, wie etwa die Steinzeit, Bronzezeit oder Eisenzeit. Zunächst wurden mit einfachen Mitteln die Mineralrohstoffe aus den Erzen gewonnen. Mit zunehmender Industrialisierung steigerte sich das Abbauvolumen, neue Mineralien wurden entdeckt und neue Lagerstätten erschlossen. Auch die Begehrtheit der Rohstoffminerale ändert sich im Laufe der Zeit. Durch den Hightech-Boom kommt es bei Ressourcen wie Kupfer oder Silizium aufgrund der hohen Nachfrage zu starken Preissteigerungen.

Vor Beginn der Industrialisierung war die Arbeit im Tage- und Untertagebau mühsamer und noch härter als heute, jedoch führte die Ausbeutung der Lagerstätten mit weniger massiven Eingriffen zu geringeren Umweltbelastungen.



Abb. 1: Schaufelradbagger | Quelle: A. Gutwein - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Abb. 2: Schaufelnder Bergarbeiter, 1952 | Quelle: Deutsches Bundesarchiv, Hans-Günter Quaschinsky - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Hubbert-Kurve

Marion King Hubbert (*1903, † 1989) war ein US-amerikanischer Geologe und Geophysiker. Er beschäftigte sich in seinen Studien unter anderem mit der Kapazität von Öl- und Gasfeldern. Dabei kam er zu dem Ergebnis, dass die zeitliche Entwicklung der Fördermengen durch eine Art Glockenkurve darstellbar ist. Sie zeigt, dass das Fördermengenmaximum bereits erreicht ist, wenn etwa die Hälfte der vorhandenen Ressource verbraucht ist. Bekannt geworden ist die Hubbert-Kurve durch die politischen Diskussionen um „peak oil“, also jener Zeitpunkt, ab dem die Ölfördermenge abnimmt.

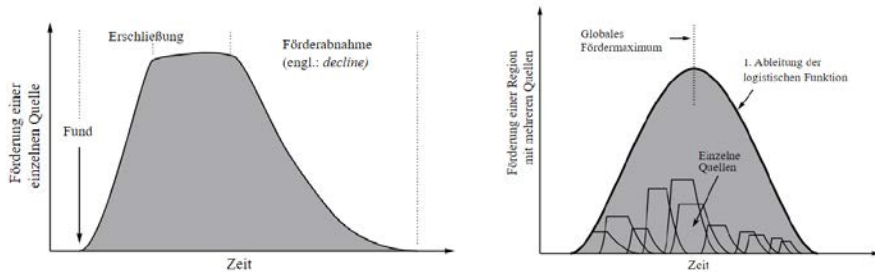


Abb. 3: Darstellungen einer Hubbert-Kurve für eine Einzelförderquelle und für das globale Vorkommen eines Rohstoffes | Quelle: Florian Arnd - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Die Hubbert-Kurve ist eine theoretische Annäherung an den tatsächlichen Verlauf von Fördermengen. Faktoren, wie z.B. noch unentdeckte Reserven, fehlende Förderzahlen, aber auch politische oder wirtschaftliche Rahmenbedingungen (vgl. Ölkrise Anfang der 1970er Jahre) verändern den Kurvenverlauf. Dennoch veranschaulicht die Hubbert-Kurve den grundsätzlichen Trend der Ressourcenförderung und unterstreicht damit die Endlichkeit der Rohstoffe unserer Erde.

Ökologischer Fußabdruck

Der ökologische Fußabdruck ist ein anschauliches Maß, das bildhaft darstellt, wie viel Fläche wir auf der Erde für unsere Lebensweise beanspruchen. Alle Nahrungsmittel, natürlichen Rohstoffe, Energieträger etc., die wir verbrauchen, benötigen Platz zum Nachwachsen.

Abb. 4: Fußabdruck | Quelle: Jeremy Bishop - unsplash.com



Ebenso braucht die Natur Kapazitäten, um unsere Abfälle und Emissionen zu verarbeiten. Der ökologische Fußabdruck wird in Global Hektar (= 10.000 m²) angegeben, der einem Hektar weltweit durchschnittlicher biologischer Produktivität entspricht.

Und welchen ökologischen Fußabdruck hinterlassen Sie?

Weitere Informationen unter www.mein-fussabdruck.at

Tab. 1: Flächenverbrauch in Global Hektar 2009 und 2019 | Quelle: <https://data.footprintnetwork.org/>

Land	2009	2019
Bangladesch	0,6	0,7
Indien	0,9	1,1
Ägypten	1,6	1,6
China	2,9	3,5
Russische Föderation	5,6	5,8
Österreich	5,9	5,8
Finnland	5,9	5,2
Australien	7,7	6,1
USA	8,6	7,8
Kuwait	10,1	7,7
Vereinigte Arabische Emirate	12,2	8,9
Weltdurchschnitt	2,6	2,6

Mehr als drei Planeten von der Größe der Erde wären notwendig, wenn die gesamte Weltbevölkerung die gleiche Ressourcenmenge benötigen würde wie die österreichische Bevölkerung!

Rohstoffe in Zukunftstechnologien

Der technische Wandel hat bedeutende Auswirkungen auf die Rohstoffnachfrage vor allem bei Stoffen wie Gallium, Indium und Germanium. Die EU-Kommission hat in ihrer aktuellen Foresight-Studie¹ zu den EU-Zielen bis 2030 einen beispiellosen Anstieg des Materialbedarfs vorhergesagt, der durch den Übergang zu nachhaltigen Technologien angetrieben wird. Insbesondere der Bedarf an Seltenerdmetallen - die in Permanentmagneten für Windturbinen und Smartphones verwendet werden - wird sich voraussichtlich verfünffachen. Gleichzeitig prognostiziert die Studie, dass sich der Lithiumbedarf, benötigt vor allem für die Batterieproduktion in der E-Mobilität, so gar verelffachen wird.

Diese prognostizierte Zunahme hat erhebliche Auswirkungen auf unsere natürlichen Ressourcen. Der Abbau dieser Materialien erfordert nicht nur enorme Mengen an Energie und Wasser, sondern verbraucht auch Fläche. Bohrlöcher, Auffangbecken, Infrastrukturen für den Bergbau sowie Zufahrtsstraßen sind notwendige Einrichtungen,

¹ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC132889>

Die EU-Kommission betont daher die Notwendigkeit, diese Herausforderungen in den Mittelpunkt der zukünftigen Politikgestaltung zu stellen. Es wird eine integrierte Strategie benötigt, die neben dem Hochfahren der nachhaltigen Technologien auch den Umweltschutz und die Kreislaufwirtschaft berücksichtigt, um den Rohstoffbedarf zu senken und die negativen Umweltauswirkungen zu minimieren. Die kommenden Jahre bis 2030 werden daher entscheidend sein, um diesen Balanceakt zu bewältigen.

Der weltweite Ressourcenverbrauch steigt aufgrund des kontinuierlichen globalen Wirtschaftswachstums, was wiederum den Bedarf an Rohstoffen beeinflusst. Durch den mengenmäßig steigenden Verbrauch z.B. an Stahlprodukten oder an Kupfer in Form von Kabeln oder Wicklungen in Elektromotoren wächst die Nachfrage an Elementen wie Eisen, Kupfer und Chrom. Der Bedarf an Platingruppenmetallen, Silber, Kobalt und Titan wird sowohl von technologischen Entwicklungen als auch von der generellen Wirtschaftsleistung beeinflusst.

Als Zukunftsaufgabe sind nicht nur Innovationsschübe in der Energieeffizienz, sondern auch in der Materialeffizienz wichtig – der zukünftige Rohstoffbedarf hängt davon ab.

Zukunftstechnologie	Rohstoffe (Auswahl)
Dünnschicht-Solarzellen Energie- und materialeffiziente Solartechnik	Arsen, Cadmium, Gallium, Indium, Kupfer, Silizium
Fusionskraftwerke Kernfusion als Energiequelle	Beryllium, Blei, Chrom, Kupfer, Lithium, Magnesium, Niob, Tantal, Titan, Vanadium, Wolfram, Zinn
Offshore Windanlagen Regenerative Stromerzeugung	Chrom, Eisen, Magnesium, Nickel
Piezo-Antriebsmotoren Neue Generation elektrischer Motoren	Blei, Titan
Solarthermische Kraftwerke Sonnenenergie-Konzentration mit Parabolrinnen	Aluminium, Silber
Biokunststoffe Herstellung aus verholzter Biomasse	Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel
Dezentrale Wasseraufbereitung Kleinräumige, siedlungsbezogene Wasserver- und Abwasserentsorgung	Chrom, Eisen, Kupfer
Feinstaubabscheider für Kleinfeuerungsanlagen Naturzugfiltersysteme	Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel
Landfill Mining Rückgewinnung von Wertstoffen aus Deponien	Chrom, Eisen, Nickel
Aerogele Hocheffektive Wärmedämmstoffe	Aluminium, Chrom, Silizium, Zinn
Sensitive schaltbare Gläser IR-Durchlässigkeit veränderbar; Verschattung und Wärmeschutz	Feldspat, Indium, Silber, Wolfram, Zinn
Digitalisierung Ausbau der Infrastruktur (z.B. Glasfaser, Rechenzentren, Mikroelektronik)	Germanium, Platin, Ruthenium
Wasserstofftechnologien Gewinnung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff	Iridium, Nickel, Scandium

Tab. 2: Auswahl von klimaschutzrelevanten Zukunftstechnologien und den benötigten Rohstoffen | Datengrundlage: BM f. Wirtschaft und Technologie, Schlussbericht „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“, sowie DERA Rohstoffinformationen der Deutschen Rohstoffagentur, 2021

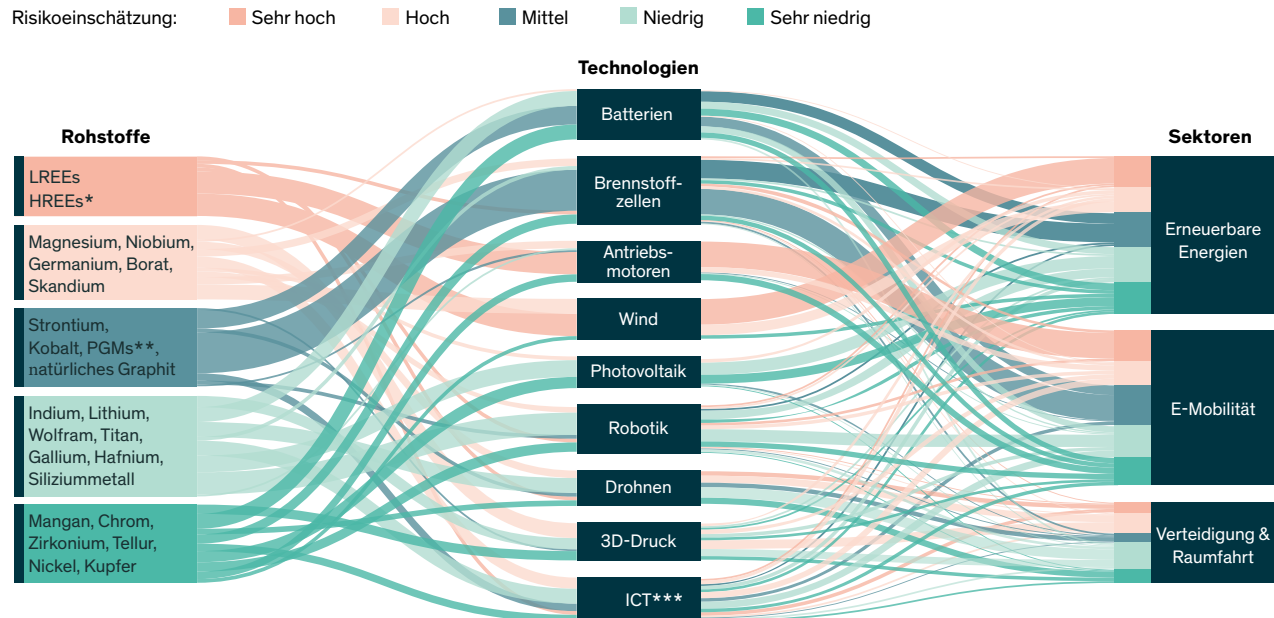
Zukunftstechnologie	Rohstoffe (Auswahl)
Elektrische Traktionsmotoren für Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge Innovative Elektromotoren für KFZ	Eisen, Kobalt, Kupfer
Leichtbau im Kraftfahrzeugbau Gewichtsreduktion zur Kraftstoffeinsparung	Aluminium, Eisen, Magnesium, Titan
Magnetschwebbahn	Eisen, Kobalt, Kupfer
LED- und OLED-Technik Quecksilberfreie und energiesparende Beleuchtungs- und Displaytechnik	Aluminium, Gallium, Indium, Magnesium, Selen, Silber, Zink, Zinn
Biomass to Liquid Herstellung von synthetischen Kraftstoffen aus Biomasse	Eisen, Kobalt, Platin

Eine Darstellung des deutschen Zukunftsinstituts veranschaulicht, dass die verschiedenen Rohstoffe zwar in unterschiedlichen Mengen, aber dennoch in fast allen unterschiedlichen Zukunftstechnologien bzw. Zukunftsindustrien Eingang finden. Daher ist die reibungslose Versorgung mit Rohstoffen das Rückgrat vieler Zukunftsindustrien, da sie für die Produktion innovativer Technologien und Produkte unerlässlich sind. Schon Probleme mit der Lieferung eines einzelnen dieser chemischen Elemente würde gravierende Auswirkungen auf die Produktion und internationale Wettbewerbsfähigkeit haben. Zukunftsindustrien müssen daher in enger Zusammenarbeit mit Politik und Wissenschaft nachhaltige und ethische Beschaffungsstrategien entwickeln, um ihre langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Abb. 5: Versorgung mit Rohstoffen als zentrales Thema bei Zukunftsindustrien | Quelle: Zukunftsinstitut GmbH <https://www.zukunftsinstitut.de/>

Versorgung mit Rohstoffen wird zentrales Thema für die Zukunftsindustrien

Rohstoffbedarfe und ihre Versorgungsrisiken für neun ausgewählte Zukunftstechnologien und drei strategische Wirtschaftssektoren (2022)



Recycling und Wiederverwendung - Sind Müllberge die Lagerstätten der Zukunft?

Gerade in Hinblick auf Rohstoffe für Zukunftstechnologien zeigt sich die Notwendigkeit geeigneter Recyclingmethoden etwa bei „Pfeffermetallen“ wie Indium oder Germanium schon jetzt. Mit „Pfeffermetalle“ werden jene Ressourcen angesprochen, die oftmals nur als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Massenrohstoffen anfallen, zum Beispiel Indium bei der Zinkverhüttung. Diese Rohstoffe werden beispielsweise in der Halbleitertechnologie auf andere Komponenten aufgedampft und können mit derzeitigen Methoden nicht wirtschaftlich rückgewonnen werden. Der Name „Pfeffermetalle“ rührt daher, dass sie sich wie Gewürze im Essen auf dem Produkt verteilen. Innovationen in der Rohstoffverwendung und im Produktrecycling sind notwendig, um bestmögliche Rückgewinnung und Wirtschaftlichkeit zu vereinen.

Anmerkung: *LREEs = Leichte seltene Erden-Elemente, HREEs = Schwere seltene Erden-Elemente
 **PGMs = Platingruppenmetalle
 ***ICT = Informations- und Kommunikationstechnologien



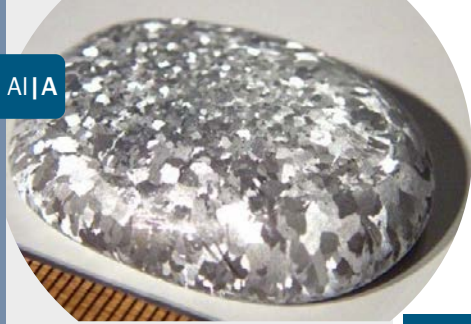
Abb. 6: Altmetall-Sammlung |
Quelle: [blahedo](#)
- commons.
[wikimedia.org](#),
CC-BY-SA-2.5

Substitution besonders kritischer Elemente: Nickel statt Neodym?

Die Substitution von seltenen Metallen durch häufiger vorkommende Metalle in Hochtechnologieanwendungen ist ein dynamisches und vielversprechendes Forschungsfeld, das angesichts der zunehmenden Nachfrage nach diesen Materialien immer wichtiger wird.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Verwendung von weit verbreiteten Elementen wie Eisen, Nickel oder Zink in bestimmten Hochtechnologieanwendungen. Zum Beispiel könnten magnetische Materialien auf Basis von Eisen und Nickel als Alternativen zu Seltenerdmetallen in Elektromotoren und Generatoren dienen. Nanotechnologie und fortgeschrittene Materialwissenschaften werden dazu genutzt, um neue Verbindungen und Strukturen zu schaffen, die die gleichen oder bessere Eigenschaften wie die ursprünglichen seltenen Metalle aufweisen.

Im Folgenden werden wichtige organische (wie Erdgas) als auch anorganische (wie Aluminium) Rohstoffe vorgestellt. Die dargestellten Informationen wurden ausschließlich öffentlich zugänglichen Quellen entnommen und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es erfolgt keine Gewähr in Bezug auf die Richtigkeit und Aktualität aller Angaben.



Aluminium (Al)

Leichtes, silbrig-weißes,
elektrisch sehr leitfähiges Metall

Abb. 7: 99,9% reines Aluminium, geätzt mit deutlich sichtbaren Kristalliten | Quelle: Alchemist hp - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.0 DE

Häufigkeit in der Erdkruste²

8,23 %

Statische Reichweite³

> 100 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**Australien,
Guinea, China,
Brasilien**



Abb. 8: Aluminiumkomponenten für Motoren | Quelle: vizualni - stock.adobe.com



Abb. 9: LCD-Bildschirme | Quelle: Seyes Sina Fazeli - unsplash.com

Gewinnung

Aluminium, das häufigste Metall in der Erdkruste, wird hauptsächlich aus Bauxit gewonnen, das zu 60 % aus Aluminiumoxid/-hydroxid besteht. Durch das Bayer-Verfahren wird es unter Einsatz von Natronlauge von anderen Oxiden getrennt und zu Aluminiumoxid gebrannt. Die Reinherstellung von Aluminium erfolgt anschließend durch Elektrolyse. An der Oberfläche bildet sich eine Oxidschicht, die das Metall schützt.

Verwendung

Aluminium findet neben dem Bau- und Konstruktionssektor auch Anwendung zum Beispiel in der Halbleitertechnik, LED-Technologie, Verpackungsindustrie, Pyrotechnik sowie in Oberflächenbeschichtungen. Aluminiumschaum, genutzt in der Leichtbaukonstruktion von Fahrzeugen, absorbiert Stoßenergie effizient und reduziert das Gewicht, was den Treibstoffverbrauch senkt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die Aluminiumherstellung ist energieintensiv und verursacht Umweltbelastungen. Positiv hervorzuheben sind die Energieeinsparungen durch Wiederverwertung und Treibstoffeinsparungen durch Leichtbauweise. Aluminium wird ökonomisch durch Bauxitabbau gewonnen. Übermäßige Aluminiumaufnahme kann mit neurologischen Erkrankungen verbunden sein, weshalb z.B. säurehaltige Lebensmittel nicht in Aluminiumbehältern gelagert werden sollten. In der EU ist die Verwendung in Lebensmittelfarben aufgrund gesundheitlicher Bedenken eingeschränkt. Die weltweite Recyclingquote (2021) beträgt etwa 42 %.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Antimon (Sb)

Silberglänzendes, sprödes Halbmetall

Gewinnung

Antimon, ein in der Natur nur in Form von Verbindungen vorkommendes Halbmetall, wird hauptsächlich aus dem Mineral Stibnit (enthält über 70 % Antimon) gewonnen. Die Trennung von reinem Antimon erfolgt durch Reduktionsverfahren mit Kohlenstoff oder Eisen.

Verwendung

Antimon wird größtenteils als Flammenschutzmittel in Kunststoffen, Klebstoffen und Textilien verwendet. Es dient auch zur Härtung von Blei- und Zinnlegierungen, z.B. in Blei-Akkus und Lötzinn. Im Präzisionsguss ist Antimon nützlich, da es sich beim Abkühlen ausdehnt. Es findet auch Verwendung als Katalysator in der Kunststofftechnik und in der Displaytechnik sowie für thermophotovoltaische Anwendungen (Solarzellen).

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Antimon ist ein seltenes Element und könnte bei gleichbleibender Fördermenge in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein. Es kann aus Blei-Akkus zurückgewonnen werden, jedoch nicht aus Flammenschutzmittelanwendungen. Die Toxizität von Antimonverbindungen ist bei Anwendungen im Lebensmittelbereich (z.B. Katalysator bei der Herstellung von PET-Flaschen) ein Thema.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 10: Antimon-Barren | Quelle: Saperaud (Original: Stahlkocher) - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,00002 %

Statische Reichweite³

~ 30 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**China, Russland,
Tadschikistan**



Abb. 11: Solarzellenfertigung | Quelle: Nosferatu it - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 12: Starterbatterie | Quelle: Thomas Wydra - commons.wikimedia.org



Arsen (As)

Metallglänzendes, sprödes Halbmetall mit verschiedenen Modifikationen

Abb. 14: Arsenkristall | Quelle: Robert M. Lavinsky – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,00018 %

Statische Reichweite³

> 20 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**China,
Marokko,
Russland**

Gewinnung

Arsen, ein eher seltenes Element, wird hauptsächlich durch Erhitzen von Arsenkies unter Luftabschluss gewonnen. Dabei sublimiert das leicht flüchtige Arsen und wird in gekühlten Vorlagen aufgefangen. Eine bedeutende Herstellungsmethode ist das Anfallen von Arsen(III)-oxid als Nebenprodukt bei der Verarbeitung von Kupfer, Blei, Kobalt und Gold.

Verwendung

Frühere Anwendungen von Arsen, wie grüne Farbpigmente oder Pestizide, wurden aufgrund der Toxizität eingestellt. Heute wird Arsen in der Elektronik und Photovoltaik zur Dotierung von Halbleitern und in speziellen Anwendungen wie Galliumarsenid für Laserdioden genutzt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Arsen ist hochtoxisch und kann diverse Gesundheitsprobleme einschließlich Hautveränderungen, Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und neurologischen Störungen verursachen. Es wurde historisch als Mordgift eingesetzt und in Medien (z.B. Film: „Arsen und Spitzenhäubchen“, 1944) thematisiert. Arsen wird nur in wenigen Ländern in industriellem Maßstab hergestellt.



Abb. 15: Galliumarsenid-Hochleistungssolarzellen auf Satellit Midstar | Quelle: United States Naval Academy – commons.wikimedia.org



Abb. 16: Laserdioden (teilweise mit Galliumarsenid) | Quelle: commons.wikimedia.org, CC BY 2.5

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Beryllium (Be)

Hartes, graues, hochschmelzendes Leichtmetall



Gewinnung

Beryllium wird neben den USA und China auch in Äquatorialgebieten hauptsächlich aus den berylliumhaltigen Silikat-Mineralien Beryll und Bertrandit gewonnen. In Oberösterreich gibt es Vorkommen, deren Abbau jedoch wirtschaftlich nicht rentabel ist. Reines Beryllium entsteht durch Reduktion von Berylliumfluorid oder Schmelzflusselektrolyse von Berylliumchlorid.

Verwendung

Beryllium, ein stahlgraues, hartes und sprödes Leichtmetall mit sehr hohem Schmelzpunkt, wird vor allem in Legierungen eingesetzt, um Eigenschaften wie Härte, Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern. Es findet Verwendung in Uhrfedern, chirurgischen Instrumenten, als Fensterfolien in Röntengeräten sowie in der Flugzeug- und Weltraumtechnik zum Beispiel für spezielle optische Spiegel. Beryllium wird auch als Neutronenbremse in Kernreaktoren sowie in der Kernfusionsforschung genutzt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Beryllium ist sehr giftig und krebserregend. Das Einatmen von Beryllium-Staub kann zu schweren Lungenschäden führen, ebenso ist der Hautkontakt gefährlich. Aufgrund dessen, dass in Legierungen meist nur geringe Mengen Beryllium eingesetzt werden, wird nur ein begrenzter Anteil recycelt und wiederverwendet.

Abb. 17: Beryllium, kristallines Bruchstück | Quelle: Alchemist-hp – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,00028 %

Statische Reichweite³

> 400 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**USA, China,
Mosambik**

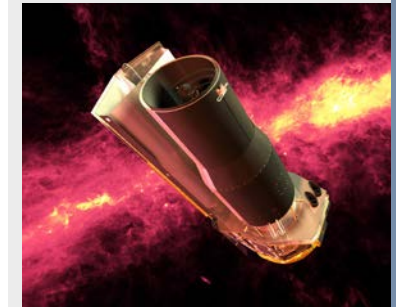


Abb. 18: Spitzer-Weltraumteleskop mit Milchstraße (einer der Spiegel besteht aus Beryllium) | Quelle: NASA/JPL-Caltech – commons.wikimedia.org



Abb. 19: Chirurgische Instrumente | Quelle: Retama – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Blei (Pb)

Weiches, korrosionsbeständiges, bläulich-graues Metall

Abb. 20: Bleiwürfel | Quelle: Carsten Niehaus - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,0014 %

Statische Reichweite²

> 100 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, Australien, Mexiko

Gewinnung

Gediegenes Blei kommt in geringen Mengen in der Erdkruste vor. Hauptsächlich wird Blei aus Erzen wie Galenit (=“Bleiglanz“), Cerussit, Krokot (=“Rotbleierz“) und Anglesit gewonnen. Reines Blei entsteht durch Rösten der Erze bei 1000 °C und anschließende Reduktion mit Koks. Moderne Verfahren basieren auf Direkt-schmelzprozessen, bei denen das Rösten und die Reduktion zum metallischen Blei parallel in einem Reaktor stattfinden, sodass die Emissionen an Blei minimiert werden.

Verwendung

Blei, ein bläulich-graues, leicht bearbeitbares Schwermetall, wird heute vorrangig für Bleiakkumulatoren in Kraftfahrzeugen verwendet. Es spielt auch im Strahlenschutz eine Rolle, da es radioaktive Strahlen sehr gut absorbiert. Frühere Anwendungen wie in Wasserleitungen, Farbstoffen, Munition oder als Treibstoffzusatz sind aufgrund der Giftigkeit stark zurückgegangen.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Bleirohre in Wasserleitungen können zu erhöhten Bleikonzentrationen im Trinkwasser führen. Der Grenzwert für Blei im Trinkwasser wurde gesenkt. 2021 wurden auch Lebensmittel hinsichtlich des Bleigehalts limitiert. Gelöstes Blei und Bleiverbindungen sind giftig und umweltgefährdend. Bleivergiftungen verursachen Schäden am Nervensystem, den Nieren und im Magen-Darm-Bereich und beeinträchtigen die Blutbildung. Ein Vorteil von Blei ist die gute Recyclebarkeit z.B. von Bleiakkus (Sekundärblei).

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Braunkohle

Bräunlich-schwarzes, brennbares Sedimentgestein

Gewinnung

Braunkohle wird überwiegend im Tagebau abgebaut. Ihr Anteil am weltweiten Gesamtkohleverbrauch beträgt ungefähr 9 %. In den EU-Mitgliedsländern, besonders in Deutschland, ist die Braunkohle aber der bedeutendste heimische Energierohstoff.

Verwendung

Braunkohle wird entweder zu Braunkohlekoks weiterverarbeitet, der in großtechnischen Anlagen zur Filtration dient, oder nach Zerkleinerung und Trocknung zu Festbrennstoffen geformt. Sie weist einen geringeren Energiegehalt auf als Steinkohle, wird aber trotzdem häufig als Brennstoff zur Energieerzeugung vor allem in lagerstättennahen Kraftwerken eingesetzt, aber auch zu Produkten wie Aktivkohle aufgearbeitet.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Da bei Braunkohle der Tagebau dominiert, ist mit dem Abbau ein enormer Flächenverbrauch verbunden. Um die bis zu 400 m tiefen Lagerstätten möglichst gewinnbringend ausschöpfen zu können, werden ganze Dörfer umgesiedelt – die ökologischen Auswirkungen sind immens. Zwar werden die Flächen nach Stilllegung des Abbaues rekultiviert, sensible Ökosysteme sind jedoch verloren, die Landschaft eine andere. Bei der Verbrennung von Kohle für die Energiegewinnung wird zudem treibhauswirksames Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt (siehe Steinkohle).

- 1 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 2 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 23: Tagebau Hambach (Deutschland) | Quelle: Johannes Fasolt - commons.wikimedia.org

Statische Reichweite¹

> 200 Jahre

Hauptherkunftsländer²

China, Russland, Deutschland



Abb. 24: Braunkohlebriketts | Quelle: Rasbak - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 25: Aktivkohle z.B. für Filter, Kohle-tabletten | Quelle: Ravedave - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 21: Bleiakku | Quelle: 4028mdk09 - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 22: Bleimantelung zum Schutz vor radioaktiver Strahlung | Quelle: Changlc - commons.wikimedia.org

Brom (Br)

Dunkelrotes, bei Raumtemperatur flüssiges Nichtmetall

Abb. 26: Ampulle mit flüssigem Brom | Quelle: Tomihahndorf - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,00024 %

Statische Reichweite²

> 1000 Jahre

Hauptherkunftsländer³

Israel, Jordanien, China

Gewinnung

Brom kommt natürlich in Form von Bromiden im Meerwasser und in Salzlagerstätten verteilt in einer Reihe von Ländern vor. Elementares Brom wird durch Oxidation von Bromidlösungen mit Chlor und anschließender Destillation industriell gewonnen.

Verwendung

Brom und Bromverbindungen werden heute hauptsächlich als Oxidations-, Bleich- und Desinfektionsmittel z.B. zur Reinigung von Schwimmbädern eingesetzt. Großteils historische Anwendungen umfassen lichtempfindliche Schichten auf Filmmaterial, rote Farbstoffe (Eosin) in Kosmetika wie Nagellack und Lippenstift, Flammenschutzmittel in Kunststoffen, Textilien, Leiterplatten und Dämmstoffen.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Brom ist eine giftige, rotbraune Flüssigkeit, deren Dämpfe zu Verätzungen und Erstickung führen können. Bromide sind weit verbreitet und natürlich vorkommend. Brom kann aus Produkten mit bromierten Flammenschutzmitteln recycelt werden. In der EU ist der Gebrauch bromierter Flammenschutzmittel aufgrund ihrer Persistenz und Schädlichkeit stark reglementiert bzw. eine Reihe bedenklicher bromhaltiger Substanzen sind gänzlich verboten.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Cadmium (Cd)

Leicht verformbares, bläulich-weißes Metall

Gewinnung

In reiner Form kommt Cadmium in der Natur nur äußerst selten vor und wird fast ausschließlich als Nebenprodukt bei der Zinkverhüttung gewonnen. Pro Tonne Zink werden durchschnittlich drei Kilogramm Cadmium erhalten.

Verwendung

Das relativ weiche Schwermetall wird industriell vor allem in zwei Bereichen verwendet: zum einen als Rostschutz von Eisenwerkstoffen, zum anderen als Bestandteil von Batterien (Nickel-Cadmium-Akkus). Zunehmende Wichtigkeit erlangt Cadmiumtellurid. Diese Verbindung findet in Infrarotsensoren und in Dünnschicht-Solarzellen Verwendung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Der menschliche Organismus nimmt das sehr giftige Schwermetall hauptsächlich über die Nahrung auf. Hohe Cadmiumkonzentrationen finden sich zum Beispiel in Leber, Pilzen und Muscheln. Durch natürliche Gehalte in Böden, aber auch durch den Einsatz von cadmiumhaltigen Mineraldüngern gelangt Cadmium in Spuren in viele Nahrungsmittel. Das Schwermetall hat vor allem schädigende Wirkung auf Niere und Knochen. Die wiederaufladbaren Nickel-Cadmium-Akkus sind zwar gut recyclebar, jedoch wurden diese in der Praxis nur teilweise einer sachgerechten Entsorgung zugeführt, sodass deren Einsatz mittlerweile EU-weit verboten ist.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Abb. 29: Cadmium-Kugel mit Größenvergleich | Quelle: Halfdan - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,000015 %

Statische Reichweite²

> 100 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, Australien, Peru



Abb. 30: verschiedene NiCd-Akkus | Quelle: Boffy b - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 31: CdTe-Solarzellen | Quelle: NREL - commons.wikimedia.org



Cr | C

Chrom (Cr)

Glänzendes, hartes, korrosionsbeständiges Metall

Abb. 32: hochreiner Chromkristall | Quelle: Jurii - commons.wikimedia.org, https://images-of-elements.com/chromium.php, CC BY 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,0102 %

Statische Reichweite²

> 100 Jahre

Hauptherkunftsländer³

Südafrika, Türkei, Kasachstan

Gewinnung

Chrom wird hauptsächlich als Chromit (Chromeisenerz, FeCr_2O_4) im Tagebau oder aus geringer Tiefe abgebaut. Metallisches Chrom kann durch Reduktion von Chromiterz mit Aluminium oder Silizium gewonnen werden. Etwa die Hälfte des weltweiten Chromits stammt aus Südafrika.

Verwendung

Reines Chrom ist silberglänzend, zäh und gut verformbar. Es wird hart und korrosionsbeständig unter Einfluss von Wasserstoff oder Sauerstoff. Chrom ist das wichtigste Legierungsmetall für korrosions- und hitzebeständige Chromstähle. Verchromung schützt verschiedene Materialien vor äußeren Einflüssen. Chromoxidgrün wird als Emaillfarbe und zum Färben von Glas verwendet. Chrom ist auch für die Chromgerbung von Leder in Benützung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Chrom ist ein essentielles Spurenelement, aber in höheren Dosen gesundheitsschädigend. Die Stahlindustrie ist Hauptemittent von Chrom in Europa. Chrom gelangt über Luft und Abwässer in Böden, Oberflächenwasser und das Grundwasser, wobei Fische auf Chromate im Wasser sensibel reagieren. Chrom ist ein verbreitetes Element in der Erdkruste. Die weltweite Recyclingquote beträgt etwa 34 % (2021).

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

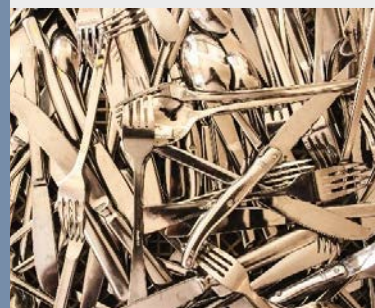


Abb. 33: Essbesteck | Quelle: Louis Hansel - unsplash.com



Abb. 34: Wasserhahn | Quelle: PublicDomain-Pictures - pixabay.com

E | Eisen

Eisen (Fe)

Silbrig-graues, dehnbares, magnetisches Metall



E | Fe

Abb. 35: hochreines Eisen | Quelle: Tomihahndorf - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

5,63 %

Statische Reichweite²

~ 150 Jahre

Hauptherkunftsländer³

Australien, Brasilien, China, Schweden

Gewinnung

Eisenerz wird im Tage- und Untertagebau gewonnen. Nur ein kleiner Teil des Eisenerzes kann direkt im Hochofen verwendet werden. Meist wird das Feinerz in Sinteranlagen verfestigt, bevor es im Hochofen mit Koks und verschiedenen Zuschlagsstoffen zu Eisen und Schlacke verarbeitet wird. Neuere Verfahren zur CO_2 -armen Reduktion werden als „Green Steel“ bezeichnet.

Verwendung

Eisen wird hauptsächlich zu Stahl weiterverarbeitet, der in vielen Bereichen, insbesondere in der Baubranche und im Fahrzeugbau, verwendet wird. Eisen hat zudem ferromagnetische Eigenschaften, die für Technologien wie Generatoren, Transformatoren und Elektromotoren essenziell sind.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Eisen ist ein essentielles Spurenelement für Lebewesen, kann aber in hohen Dosen giftig sein. Der Abbau, besonders im Tagebau, führt zu erheblichen Landschaftsveränderungen. Eine zu hohe Eisenkonzentration in Abwässern kann Algenblüten verursachen. Die Stahlerzeugung ist energieintensiv, aber Stahl lässt sich gut recyceln mit einer weltweiten Recyclingquote von 85 %. Eisen ist ein häufiges Element in der Erdkruste und gilt bei Berücksichtigung von Abbau- und Recyclingmengen sowie Reserven als langfristig verfügbar.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 37: Sechsschienengleis | Quelle: Andreas56 - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 38: Brückenpfeiler aus Stahlbeton | Quelle: Störfix - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Erdgas

Brennbares Naturgas aus überwiegend Methan

E|E

Abb. 39: Staaten mit den größten Erdgasförderungs mengen | Quelle: St. Krekeler – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Statische Reichweite¹

~ **50 Jahre**

Hauptherkunftsländer²

USA, Russland, Iran, China

Gewinnung

Erdgas entsteht aus Kleinstlebewesen unter Luftabschluss, erhöhter Temperatur und Druck. Die Gewinnung erfolgt durch Bohrungen in Erdgasfeldern oder als Nebenprodukt der Erdölförderung. Erdgas wird getrocknet, um die nötige Reinheit für die industrielle Nutzung zu erreichen. Neben konventioneller Förderung gewinnen nicht-konventionelle Vorkommen, wie Schiefergas („Shale Gas“), an Bedeutung. Hierbei wird hydraulisches Fracking eingesetzt, um das Gas aus undurchlässigem Gestein zu gewinnen, was jedoch in einigen Ländern umstritten oder verboten ist.

Verwendung

Erdgas dient hauptsächlich zur Wärme- und Stromerzeugung sowie als Kraftstoff für Fahrzeuge in Form von CNG (compressed natural gas) oder LNG (liquefied natural gas). Es ist auch ein wichtiger Rohstoff in der chemischen Industrie, z.B. für die Herstellung von Kunststoffen und stickstoffhaltigem Mineraldünger.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Erdgas ist umweltschonender als andere fossile Brennstoffe, da es weniger CO₂ freisetzt. Allerdings entweichen bei Gewinnung, Transport und Verarbeitung große Mengen Methan, ein treibhauswirksames Gas. Der Ferntransport von Erdgas erfolgt zunehmend per Flüssiggasschiffen. Methanhydrat, das sich unter bestimmten Bedingungen am Meeresgrund bildet, stellt eine weitere potenzielle, aber umstrittene Quelle dar.



Abb. 40: Fernheizkraftwerk Linz-Süd | Quelle: Christian Wirth – linzwiki.at, CC BY-SA 3.0



Abb. 41: Gasherd | Quelle: studio v-zwoelf – stock.adobe.com

1 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
2 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Erdöl

Dickflüssige, schwarze Mischung organischer Verbindungen



E

Abb. 42: Erdöl-Raffinerie in Schwechat (NÖ) | Quelle: Priwo – commons.wikimedia.org

Gewinnung

Die großtechnische Erdölförderung begann Mitte des 19. Jahrhunderts. Öllagerstätten werden durch Tiefbohrungen erschlossen und in drei Phasen gefördert: Primärförderung durch natürlichen Druck oder Pumpen, Sekundärförderung durch Einpressen von Wasser oder Gas und Tertiärförderung, bei der durch Wasserdampf, Polymere oder Chemikalien die Eigenschaften des Erdöls verändert werden. Neben konventioneller Förderung gewinnen unkonventionelle Methoden wie die Extraktion aus Ölsanden oder die Umwandlung von Erdgas in flüssige Öle an Bedeutung.

Verwendung

Erdöl wird vorrangig für Energieversorgung, zum Heizen und Antreiben von Motoren genutzt. Aus Erdöl werden Produkte wie Flüssiggas, Benzin, Kerosin, Diesel, Heizöl, Bitumen und Schmiermittel sowie Rohstoffe für Kunststoffe, Lacke und Kosmetika hergestellt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Erdöl belastet die Umwelt von der Suche über Förderung, Transport und Verarbeitung bis zum Verbrauch. Die Verbrennung setzt CO₂ frei. Der steigende Ölverbrauch, besonders in Schwellenländern, und die Erschließung neuer Förderquellen wie Ölsande, die mit hohen finanziellen, energetischen und ökologischen Auswirkungen verbunden sind, prägen die Zukunft der Erdölförderung. Für das Erdölprodukt Kunststoff wird Recycling forciert.

Statische Reichweite¹

~ **55 Jahre**

Hauptherkunftsländer²

USA, Saudi-Arabien, Russland, Kanada, Irak



Abb. 43: Kraftstoff tanken | Quelle: Sandor Jackal – stock.adobe.com



Abb. 44: Asphaltbeimischung (Bitumen) | Quelle: Marc-Lautenbacher – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 4.0

1 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
2 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Feldspat

Gruppe von relativ harten, in Gesteinen verbreiteten Silikatmineralien

Abb. 45: Feldspat | Quelle: Rob Lavinsky – commons.wikimedia.org, iRocks.com, CC BY-SA 3.0

F

Statische Reichweite²

> **120 Jahre**

Hauptherkunftsländer³

Türkei, Italien, Indien

Gewinnung

Feldspat, ein verbreitetes silikathaltiges Mineral und wichtiger Bestandteil vieler Gesteine wie Granit, wird in verschiedenen Formen wie Kalium-Feldspat (Orthoklas) und Natrium-Feldspat (Plagioklas) abgebaut. Der Bergbau erfolgt im Tage- oder Untertagebau, abhängig von Lage und Tiefe der Vorkommen. Nach dem Abbau wird das Gestein zerkleinert und weiterverarbeitet, um Feldspat zu isolieren.

Verwendung

Feldspat wird vielfältig eingesetzt, besonders in der Keramikindustrie für Porzellan, Fliesen und Sanitärkeramik sowie als Schmelzmittel in der Glasindustrie. Er trägt auch zur Stabilität und Festigkeit von Baumaterialien wie Beton und Mörtel bei.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Feldspat ist weltweit in Gesteinsvorkommen zu finden, oft zusammen mit Quarz und Glimmer. In wenigen Abbaugebieten erreicht er die für industrielle Zwecke nötige Reinheit. Mehr als die Hälfte des in der EU verbrauchten Feldspats stammt aus der Türkei. Feldspat in staubförmiger Form gilt nicht als speziell gefährlich, kann aber in hohen Konzentrationen wie auch andere inerte Stäube die Lunge schädigen.



Abb. 46: Fensterglas | Quelle: eliosdnepr – stock.adobe.com



Abb. 47: Toilette aus Sanitärkeramik | Quelle: Lazar Gugleta – unsplash.com

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Flussspat (Fluorit)

Buntes, oft fluoreszierendes Mineral mit würfelförmigen Kristallen

Gewinnung

Jährlich werden etwa 7 Millionen Tonnen Fluorit im Tage- und Untertagebau gewonnen. Um konzentriertes Fluorit zu erhalten, durchläuft es eine mehrstufige Flotation, um von anderen Materialien getrennt zu werden.

Verwendung

Fluorit wird in der Metallindustrie als Flussmittel verwendet, um Schmelzvorgänge zu beschleunigen und die Handhabung geschmolzener Metalle zu erleichtern, beispielsweise in der Aluminium- oder Eisenherstellung. Es findet auch Anwendung in der Keramik- und Kunststoffindustrie sowie für Laser. Flusssäure, aus Flussspat gewonnen, wird zum Ätzen von Glas eingesetzt. Ein Großteil des in Zahnpasten verwendeten Fluors stammt aus Fluorit.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Der Abbau von Flussspat verändert das Landschaftsbild und beeinträchtigt Wasser-, Boden- und Luftqualität. In tropischen Gebieten führt er zur Abholzung großer Regenwaldflächen, die als CO₂-Senken und für die Klimaregulation wichtig sind. Obwohl Flussspat in großen Mengen vorhanden ist, sind viele Lagerstätten heute noch nicht wirtschaftlich erschließbar. Die chemische Industrie interessiert sich hauptsächlich für das enthaltene Fluor, das aber auch aus anderen Quellen gewonnen werden kann.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 48: violetter Flussspat | Quelle: Géry Parent – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

F

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,0585 % (Fluor)

Statische Reichweite³

> **500 Jahre**

Hauptherkunftsländer⁴

China, Mexiko, Südafrika



Abb. 49: Zahnpasta | Quelle: Bru-nO – pixabay.com



Abb. 50: Eisenschmelze | Quelle: fotograupner – stock.adobe.com

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Gallium (Ga)

Weiches, silbrig-weißes, niedrig schmelzendes Metall

Gewinnung

Gallium kommt in der Natur nur in Verbindung mit anderen Elementen vor und wird hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Aluminiumherstellung aus Bauxit gewonnen. Es ist auch in Zinkblende und Germanit enthalten. Reines Gallium wird durch Elektrolyse von Galliumoxid und -chlorid hergestellt.

Verwendung

Galliumverbindungen sind wichtig für die Herstellung von Transistoren, Hochleistungs-Mikrochips, Leucht- und Laserdioden. Es wird zunehmend in Forschung und Entwicklung eingesetzt, insbesondere für hoch-effiziente Solarzellen, Dünnschicht-Photovoltaikzellen und in der Sensorik. Gallium findet auch in der Stromversorgung für Satelliten im extraterrestrischen Bereich Anwendung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Da Gallium vorwiegend als Nebenprodukt der Aluminium- und Zinkgewinnung anfällt, sind die ökologischen Auswirkungen hauptsächlich bei diesen Hauptprodukten zu finden. Die Verfügbarkeit von Gallium ist schwer einzuschätzen, da Hersteller ihre Produktionsdaten oft geheim halten. Der Bedarf an Gallium wird voraussichtlich steigen, da es in vielen Zukunftstechnologien verwendet wird. Trotz großer Bauxitvorkommen wird Gallium oft nicht extrahiert. Gallium wird aufgrund der geringen Anreicherungen im Endprodukt derzeit nicht recycelt.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,0019 %

Statische Reichweite³

~ 80 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Australien, Guinea, China, Brasilien



Abb. 52: Transistoren | Quelle: Arnold Reinhold – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 53: verschiedenfarbige Leuchtdioden | Quelle: Daniel Ryde – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Germanium (Ge)

Grau-weißes, sprödes Halbmetall

Gewinnung

Germanium ist zwar ein weit verbreitetes Element, kommt jedoch meist nur in geringen Konzentrationen vor. Das Hauptmineral Germanit enthält etwa 8 % Germanium. Es gibt keine abbauwürdigen Germanium-Lagerstätten; stattdessen wird es als Nebenprodukt bei der Zinkherstellung gewonnen. Neuerdings werden auch Schlacken aus der Zinkverarbeitung, die mit Germanium und Gallium angereichert sind, als Förderquellen genutzt.

Verwendung

Das grau-weiß glänzende Halbmetall Germanium wird in der Hochfrequenz- und Detektortechnologie eingesetzt, insbesondere in der Telekommunikation für Glasfaserkabel. In der Elektronikbranche wird es, kombiniert mit Silizium, für Transistoren in Hochleistungs-Computern verwendet.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Germanium ist ein häufiges Element der Erdkruste, aber aufgrund der geringen Konzentrationen ist die Gewinnung selten rentabel und erfolgt hauptsächlich als Nebenprodukt der Zinkherstellung. Ökologische Auswirkungen sind daher hauptsächlich durch den Zinkabbau initiiert. Das Recycling von Germanium aus Transistoren, Solarzellen oder Infrarotgläsern ist derzeit wirtschaftlich nicht machbar, lediglich während des Produktionsprozesses kann ein Teil rückgewonnen werden.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 54: Elementares Germanium | Quelle: Gibe – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,00015 %

Statische Reichweite³

~ 80 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Russland

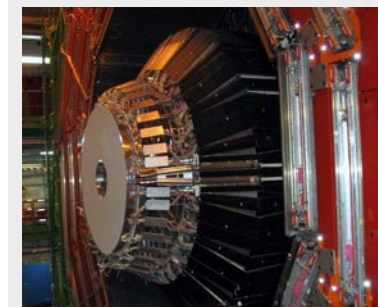


Abb. 55: Teilchendetektor | Quelle: Gerdt – commons.wikimedia.org

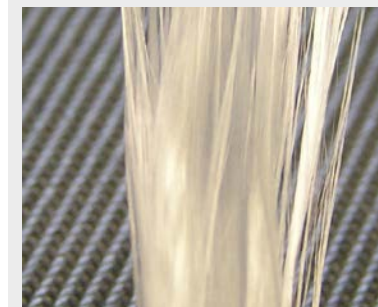


Abb. 56: Glasfaser-Strang | Quelle: NoiseD – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Gold (Au)

Gelbes, dichtes, elektrisch sehr leitendes Edelmetall

Abb. 57: Goldnugget | Quelle: James St. John – flickr.com, CC BY 2.0

Au | G

Häufigkeit in der Erdkruste¹
0,0000004 %

Statische Reichweite²
~ 20 Jahre

Hauptherkunftsländer³
China, Russland, Australien, USA



Abb. 58: Goldkontakte an Computerteilen | Quelle: Bela – stock.adobe.com



Abb. 59: Erdbeobachtungssatellit (Sentinel-6 Michael Freilich) | Quelle: NASA/JPL-Caltech – photojournal.jpl.nasa.gov

Gewinnung

Gold wird meist in gediegener Form abgebaut und kann rein mechanisch gewonnen werden. Es kommt jedoch oft nur in kleinsten Partikeln vor, sodass aufwändige Aufbereitungsschritte wie Cyanidlaugung nötig werden. Gold wird auch als Nebenprodukt bei der Gewinnung anderer Edelmetalle erhalten.

Verwendung

Gold wird in der Industrie wegen seiner elektrischen Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit verwendet, etwa in Bonddrähten und vergoldeten Leiterplatten. Es kommt auch bei der Herstellung von Reflektoren für Satelliten zum Einsatz. Als Schmuckmetall ist Gold sehr beliebt, wird in Zahnfüllungen verwendet und dient als Währungsdeckung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Der Goldabbau verändert die Umwelt erheblich, breitet sich über große Flächen aus. Toxische Chemikalien, wie zum Beispiel Cyanid, das Salz der Blausäure, werden für die Trennung des Goldes vom Gestein verwendet und führen zu Umweltverschmutzung. Goldstaub in Minen kann Atemwegsentzündungen verursachen. Gold ist jedoch gut recyclebar (Recyclingquote 86 % weltweit, 2021), weshalb eine wichtige Quelle die Aufbereitung von Dental- und Schmuckverarbeitungsabfällen sowie Elektronikschrott und anderen edelmetallhaltigen Materialien ist.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Graphit (C)

Weiche, schwarze, elektrisch leitfähige Form von Kohlenstoff



Abb. 60: reiner Graphit | Quelle: Aangelo – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

G | C

Gewinnung

Kohlenstoff tritt elementar in der Natur als Diamant und häufiger als Graphit auf. Graphit wird im Tage- und Untertagebau gewonnen und kann auch künstlich durch Erwärmung organischer Substanzen unter Luftabschluss (Pyrolyse) hergestellt werden. Über 70 % der globalen Graphitförderung kommen aus China.

Verwendung

Graphit, mit metallischen und nichtmetallischen Eigenschaften sowie hohem Schmelzpunkt, wird vorrangig in der Feuerfestindustrie eingesetzt. Seine gute thermische Leitfähigkeit und chemische Beständigkeit machen ihn ideal für feuerfeste Gussformen, Schmelztiegel und Ofenauskleidungen. Weitere Anwendungen umfassen Festschmierstoffe, Elektroden, Kohlebürsten in Elektromotoren, Bremsbeläge und Bleistiftminen.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Der Abbau von Graphit führt zu erheblichen Eingriffen in Natur- und Kulturlandschaften. Da Graphit durch Verkokung von kohlenstoffhaltigen Materialien auch künstlich hergestellt werden kann, sind keine Versorgungsengpässe zu erwarten, was zu einer geringen Recyclingquote führt. Recycelter Graphit wird hauptsächlich in der Feuerfestindustrie sowie in Bremsbelägen und Wärmedämmung verwendet.

- 1 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 2 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Statische Reichweite¹
~ 300 Jahre

Hauptherkunftsländer²
China, Mosambik, Brasilien



Abb. 61: Kohlebürste eines Staubsaugermotors | Quelle: Dvortygirl – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 62: Bleistifte | Quelle: Julia Berezina – unsplash.com



Helium (He)

Farbloses, geruchloses, reaktionsträges Edelgas



Abb. 63: Gefäß mit verflüssigtem Helium | Quelle: Michael Pereckas – flickr.com, CC BY 2.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,000008 %

Statische Reichweite³

~ 50 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Qatar, USA, Russland

Gewinnung

Helium ist als leichtestes Edelgas ein natürlicher Bestandteil von Erdgasen, in der Umgebungsluft kommt es nur in äußerst geringen Mengen vor. Aus Erdgas wird Helium durch Destillation oder auch durch neuere Verfahren wie Absorption an speziellen Membranen gewonnen. Hauptförderländer sind deshalb auch Länder mit großen verfügbaren Erdgasmengen. Es wird verdichtet in Druckgasflaschen oder als verflüssigtes Helium gehandelt.

Verwendung

Die wahrscheinlich bekannteste Anwendung von Helium ist die Verwendung als Füllgas in Ballons. Daneben hat Helium zahlreiche Anwendungsgebiete in den verschiedensten Industrie- und Forschungszweigen. Flüssiges Helium ist zum Beispiel als Kältemittel in Tieftemperatursystemen wie der Magnetresonanztomographie, der Herstellung von Computerchips oder bei supraleitenden Spulen unverzichtbar. Ein künftig wahrscheinlich bedeutender werdendes Feld sind die Quantencomputer.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Helium ist als sehr reaktionsträges Gas gesundheitlich praktisch unbedenklich und ist als Nebenprodukt der Erdgasförderung physisch grundsätzlich in ausreichenden Mengen verfügbar. Allerdings sind die politischen Risiken der Versorgung aus den wenigen Lieferländern nicht zu unterschätzen. Auf Grund der begrenzten Verfügbarkeit wird das Recycling von Heliumgas (z.B. in Form von Kältemitteln) zunehmend interessant.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Indium (In)

Weiches, silbrig-weißes, niedrigschmelzendes Metall



Abb. 66: Indiumdraht | Quelle: Dschwen – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,000025 %

Statische Reichweite²

~ 20 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, Korea, Japan

Gewinnung

Indium kommt in der Natur praktisch nicht gediegen vor. Die wichtigsten Minerale für die Indiumgewinnung sind Blei-, Kupfer- und Zinksulfid. Durch Elektrolyse des als Nebenprodukt z.B. bei der Zink- oder Bleiherstellung anfallenden Indiumsulfats kann metallisches Indium gewonnen werden.

Verwendung

Bei Zimmertemperatur ist Indium ein silber-weißlich glänzendes, sehr weiches Metall, das leicht form- und schneidbar ist. In Legierungen hilft Indium die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen und den Schmelzpunkt zu senken. Dies ermöglicht den Einsatz in Sprinkleranlagen, Sicherungen und Thermostaten. Durch das Schmelzen bei zu hoher Umgebungstemperatur wird der Stromkreis unterbrochen bzw. die Sprinkleranlage ausgelöst. Ebenso kommen Indiumverbindungen in Dünnschicht-Solarzellen, OLED-Flachbildschirmen und Touchscreens zum Einsatz.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Indium zählt zu den „Pfeffermetallen“ und wird in kleinsten Mengen in vielen neuen Technologien benötigt. Aufgrund der sehr beschränkten Ressourcen und dem weiter steigenden Verbrauch zählt Indium zu den knappsten Rohstoffen. Aufgrund der Verwendung in geringen Spuren ist eine Rückgewinnung schwierig und erfordert eine Reihe von Hightech-Prozessen.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 67: Touchscreen | Quelle: Daniel Mietchen – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 68: Dünnschicht-Solarzelle | Quelle: Dantor – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Kobalt (Co)

Hartes, glänzendes, bläulich-weißes Metall

Abb. 69: Kobalt, hochrein | Quelle: Alchemisthp – commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,0025 %

Statische Reichweite³

~ 100 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Kongo, Sambia, Australien, Russland

Gewinnung

Kobalt ist in vielen Mineralien enthalten, jedoch meist in nicht wirtschaftlich abbaubaren Mengen. Es wird hauptsächlich als Nebenprodukt aus Kupfer- und Nickelerzen durch Röst- und Reduktionsvorgänge gewonnen.

Verwendung

Kobalt wird hauptsächlich in Lithium-Ionen- und Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren bzw. in Superlegierungen für Turbinenschaufeln und medizinischen Implantaten verwendet. Daneben ist es bekannt durch die Aluminium-Verbindung Kobaltaluminat, die zur Herstellung des blauen Kobaltglases dient. Zusammen mit Eisen, Aluminium und Nickel eignet sich Kobalt zur Erzeugung von Permanentmagneten.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Kobalt zählt zu den essentiellen Spurenelementen für den menschlichen Organismus. Eine Überdosierung führt jedoch zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen, wie Herzschäden oder Tumorbildungen. Davon sind auch Menschen betroffen, die in den Bergbaugebieten im Kongo und in Sambia teilweise unter nicht dem Stand der Technik entsprechenden Bedingungen beschäftigt sind. Zudem erleidet die Umwelt Schäden durch Abbau, Abwässer und Abgase.

Kobalt ist relativ teuer, weshalb ein wirtschaftliches Interesse auch an besseren Recyclingmöglichkeiten besteht. Die weltweite Recyclingquote von Kobalt wird mit ca. 32 % (2021) angegeben.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Kupfer (Cu)

Rötliches, verformbares und elektrisch sehr gut leitendes Metall

Gewinnung

Kupfer kommt in der Natur gediegen vor, jedoch sind Kupfererze bei weitem häufiger. Sie werden großteils im Tagebau gewonnen, wobei heute schon Vorkommen mit einem Anteil von 0,3 % wirtschaftlich abbaubar sind. Die wichtigsten Kupfererze sind Kupferkies und Kupferglanz.

Verwendung

Das gut formbare und zähe Kupfer ist ein hervorragender Leiter von Wärme und elektrischer Energie. In elektrischen und elektronischen Geräten ist Kupfer unabdingbar. Auch im Fahrzeugbau werden große Mengen an Kupfer verarbeitet. Ein weiterer wichtiger Abnehmer ist die Bauindustrie, die die Korrosionsbeständigkeit von Kupfer schätzt (z.B. Kupferdächer). Kupferlegierungen werden auch für die Münz- und Schmuckherstellung verwendet.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Kupfer in geringen Mengen ist für viele Organismen essentiell, in höheren Konzentrationen wirkt Kupfer jedoch toxisch. Bei der Gewinnung von Kupfer fallen große Mengen tauben, schwermetallhaltigen Gesteins an, das die Umwelt verunreinigen kann.

Kupfer ist ein häufiges Element der Erdkruste. Die weltweite Wiederverwertungsquote von Kupfer liegt bei ungefähr 45 % (2021), wobei die gute Recyclebarkeit nahezu 100 % zulassen würde.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 72: Kupfererz | Quelle: Jurii – commons.wikimedia.org, https://images-of-elements.com/copper.php, CC BY 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,006 %

Statische Reichweite³

> 100 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Chile, Peru, Kongo

K | Cu



Abb. 70: Turbinenschaufeln | Quelle: Simm – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.5



Abb. 71: blaues Glas | Quelle: Arpingstone – commons.wikimedia.org



Abb. 73: Kupferspulen in einem Induktionskochfeld | Quelle: Wdwd – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 74: Kirchturm mit neuen und alten Kupferelementen | Quelle: R. Peyrl – Land OÖ



Lithium (Li)

Weiches, silbrig-weißes, sehr reaktives Alkalimetall

Abb. 75: Lithium in Paraffinöl | Quelle: Tomihahndorf - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,002 %

Statische Reichweite³

~ 250 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**Australien,
Chile, China**

Gewinnung

Lithium, vorhanden in verschiedenen Mineralien wie Amblygonit, Lepidolith und Spodumen, wird hauptsächlich in Südamerika abgebaut. Es kommt auch in Salzlake vor. Nach dem Abbau im Tage- oder Untertagebau wird Lithium durch Erhitzen und Schmelzflusselektrolyse gewonnen. In Österreich gibt es ebenfalls abbauwürdige Vorkommen.

Verwendung

Lithium wird vorrangig in der Akku- und Batterieherstellung eingesetzt, wo hohe Energiedichte, Effizienz und geringes Gewicht entscheidend sind. Lithium-Ionen-, Lithium-Polymer-, Lithium-Titanat- und Lithium-Schwefel-Akkumulatoren sind bereits im Einsatz. In Legierungen verbessert Lithium die Zugfestigkeit, Härte und Elastizität. Es ist auch in Bleiverbindungen für Radlager von Eisenbahnen und aufgrund seiner roten Flamme in Feuerwerken enthalten.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die größten Lithiumlagerstätten liegen oft in ärmeren Regionen. In Bolivien wurde der Abbau staatlich reguliert, um den wirtschaftlichen Nutzen im Land zu behalten. Derzeit ist das Recycling von Lithium kaum rentabel (weltweite Recyclingquote nur 0,5 %, 2021), aber mit der zunehmenden Nachfrage nach leistungsfähigen Akkus für Elektrofahrzeuge könnte sich dies ändern und Recycling wirtschaftlich attraktiver werden.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Magnesium (Mg)

Leichtes, silbrig-weißes Erdalkalimetall



Abb. 78: Magnesium, thermische Reduktion | Quelle: Warut Roonguthai - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

2,33 %

Statische Reichweite³

> 500 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**China, Russland,
Türkei, Österreich**

Gewinnung

Magnesium, ein reaktionsfreudiges Element, kommt in der Natur nicht elementar, sondern in Verbindungen wie Magnesit, Olivin und Dolomit vor. Die Gewinnung erfolgt hauptsächlich durch energieintensive Schmelzflusselektrolyse von Magnesiumchlorid oder thermische Reduktion von Magnesiumoxid.

Verwendung

Als Leichtmetall, leichter als Aluminium, wird Magnesium vor allem in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. In Legierungen mit Aluminium und Zinn verbessert es Härtung und Schweißbarkeit. In der Eisen- und Stahlindustrie dient es als Entschwefelungs- und Desoxidationsmittel. Wegen seiner blendend hellen Verbrennung wird Magnesium auch in der Pyrotechnik verwendet.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Magnesium ist essentiell für alle Organismen, wichtig für die CO₂-Assimilation in Pflanzen und an zahlreichen Enzymfunktionen beteiligt. Ein Überschuss kann jedoch bei Menschen Nieren- und Nervenschäden verursachen. Trotz möglicher Energieeinsparungen bei der Sekundärproduktion ist das Recycling von Magnesium noch begrenzt, da das Recycling komplexer und das Angebot geringer als z.B. bei Aluminiumabfällen ist.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 76: Lithium-Akkus und Knopfzelle | Quelle: R. Peyrl - Land 00



Abb. 77: Radlager für Eisenbahnen | Quelle: Pechristener - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 79: Falcon 9 - Rakete | Quelle: S. Corvaja - ESA



Abb. 80: Feuerwerk | Quelle: Heptagon - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Mangan (Mn)

Hartes, silbrig-graues,
sprödes Übergangsmetall

Abb. 81: Manganerz | Quelle: Sven Teschke – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,095 %

Statische Reichweite³

~ 70 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**Südafrika, Gabun,
Australien**

Gewinnung

Mangan, nicht elementar in der Natur vorkommend, ist in vielen Mineralien wie Pyrolusit und Rhodochrosit enthalten. Es wird im Tage-, Untertage- und untermeerischen Abbau gefördert, wobei sich am Meeresgrund Manganknollen und -krusten finden. Metallisches Mangan wird vorwiegend durch Elektrolyse von Mangansulfaten gewonnen.

Verwendung

Mangan wird hauptsächlich in der Stahlindustrie zur Steigerung der Stahlhärte eingesetzt, beispielsweise in Hadfield-Stahl mit einem Mangan Gehalt von etwa 13 % für Eisenbahnschienen und Baggerschaufeln. Mangandioxid dient als Oxidationsmittel in Trockenbatterien und Mangan findet sich in elektrischen Bauteilen wie Varistoren zur Ableitung von Überspannungen.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Mangan ist ein lebenswichtiges Spurenelement, z.B. als Bestandteil des Enzyms Human Manganese Superoxide Dismutase (MnSOD), das reaktive Sauerstoffverbindungen im Körper abbaut. Selten führen Überdosierungen zu schädlichen Auswirkungen, wie z.B. bei BergarbeiterInnen oder SchweißerInnen, die manganhaltigen Stäuben ausgesetzt sind. Der Tiefseeabbau von Mangan, der riesige Maschinen erfordert, könnte gravierende und unumkehrbare Auswirkungen auf das Ökosystem des Meeresbodens haben. Die Recyclingquote von Mangan ist derzeit noch gering.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Molybdän (Mo)

Grau-metallisches, hartes
hochschmelzendes Metall



Abb. 84: Molybdän | Quelle: Alchemist-hp – commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,00012 %

Statische Reichweite²

~ 60 Jahre

Hauptherkunftsländer³

**China, Peru,
Chile**

Gewinnung

Molybdän wird zu zwei Drittel bei der Kupferraffination gewonnen. Das verbleibende Drittel stammt direkt aus Molybdänerzen, hauptsächlich aus Molybdänit und Wulfenit. Durch Flotation, Rösten und Reduktion wird elementares Molybdän hergestellt. Für die Stahlveredelung notwendiges Ferromolybdän entsteht durch ein Gemisch aus Molybdän- und Eisenoxiden.

Verwendung

Molybdän wird zu einem großen Teil in Stahllegierungen eingesetzt, um die Festigkeit, Temperatur- und vor allem Säurebeständigkeit zu erhöhen. Zum Einsatz kommt es auch im elektronischen Bereich, in Dünnschicht-Transistoren (TFT) und -Solarzellen. Reines Molybdän wird auch als Material für Elektroden und Katalysatoren verbraucht.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Auch Molybdän gehört zu den essentiellen Spurenelementen. Es ist Cofaktor verschiedener Enzyme, fördert den Einbau von Fluor und trägt somit zur Verhinderung von Karies bei. Molybdänüberschuss z.B. bei beruflichen Belastungen führt zu gichtähnlichen Erscheinungen.

Vor allem durch die Stahlindustrie und Petrochemie gelangt zusätzliches Molybdän in Boden und Wasser. Durch die Kupfer- und Molybdängewinnung werden riesige Flächen abgebaut und Ökosysteme zerstört. Als Bestandteil von Legierungen oder als Reinmetall ist Recycling in begrenztem Ausmaß möglich.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 82: Varistor in Scheibenform | Quelle: Michael Schmid – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 83: Baggerschaufel | Quelle: Lung – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.0 DE



Abb. 85: TFT-Flachbildschirm | Quelle: Julio – commons.wikimedia.org



Abb. 86: Dünnschicht-Solarzelle | Quelle: Dantor – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Nickel (Ni)

Hartes, silbrig-weißes,
korrosionsbeständiges Metall

Abb. 87: Nickel, durch Elektrolyse gewonnen |
Quelle: Jurii – commons.wikimedia.org, [https://
images-of-elements.com/nickel.php](https://images-of-elements.com/nickel.php), CC BY 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,0084 %

Statische Reichweite³

~ 90 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

**Indonesien,
Philippinen,
Russland, Kanada**

Gewinnung

Nickel, häufig in der Erdkruste, aber elementar nur in Meteoriten oder im Erdkern vorkommend, wird aus Erzen wie Pyrrhotin, Garnierit, Gelb- und Rotnickelkies gewonnen. Die Gewinnung umfasst mehrere Schritte: Erhöhung des Nickelgehalts durch Flotation, Rösten des Erzes und anschließende Elektrolyse zur Reinigung.

Verwendung

Nickel, ein silberweißes, gut formbares Schwermetall, ist ferromagnetisch. Es wird in der Medizin und chemischen Industrie für korrosionsbeständige Instrumente verwendet und zum Schutz vor Oxidation auf Metalle aufgetragen. Hauptsächlich wird Nickel in Legierungen eingesetzt, um Stahl korrosionsbeständig und fester zu machen, etwa für Turbinen, Kraftwerksgeneratoren oder Bohrwerkzeuge. Nickel ist auch in verschiedenen Akkutypen enthalten.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Nickel kann allergische Reaktionen hervorrufen und beim Einatmen von Nickel-Verbindungen zu schweren Atemwegsschäden führen. Die Nickelgewinnung verursacht erhebliche Umweltschäden, was die Erschließung neuer Quellen erschwert. Nickel gelangt durch Luftemissionen und Abwässer in Boden und Gewässer. Aufgrund steigender Preise hat sich das Recycling von Nickel zu einem wichtigen Wirtschaftszweig entwickelt (weltweite Recyclingrate 60 %, 2021).

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Niob (Nb)

Weiches, grau-metallisches,
verformbares Metall

Abb. 90: Niob | Quelle: Artem Topchiy – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,002 %

Statische Reichweite³

> 220 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Brasilien, Kanada

Gewinnung

Das seltene Niob kommt in der Natur nicht gediegen vor. Wichtigste Niob-Erze sind das Mischmineral Columbit, das aus Niob-, Tantal- und Eisenverbindungen besteht, und Pyrochlor. Niob-Erze werden zunächst in Säuren oder Laugen aufgeschlossen und danach mit Wasser versetzt, damit sich Nioboxide ablösen, die dann zum Metall reduziert werden.

Verwendung

Das hellgrau glänzende und relativ weiche Schwermetall lässt sich gut walzen und schmieden. Niob wird in Legierungen zur Stahlveredelung genutzt, um die Festigkeit und Zähigkeit zu verbessern (z.B. für Automobilindustrie, Raumfahrt, Brückenbau und Hochspannungsmasten). Es bildet an der Luft eine Schutzschicht aus, die besonders säureresistent ist, weshalb niobhaltige Stähle bevorzugt im Rohrleitungsbau eingesetzt werden. Aus Niob gefertigte Supraleiter werden für die Herstellung von großen Magneten und Resonatoren in Teilchenbeschleunigern eingesetzt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Aufgrund größerer Vorkommen und ähnlicher Eigenschaften wird Niob in manchen Bereichen als Ersatz für Tantal eingesetzt. Einige Nioberze gelten als Konfliktminerale. Die Recyclingquote aus Niob-Stählen ist relativ hoch.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 91: Apollo 15-Servicemodul | Quelle:
NASA – commons.wikimedia.org



Abb. 92: supraleitender Hohlraumresonator
| Quelle: Msgmsg – commons.wikimedia.org,
CC BY-SA 3.0

Nebengruppen										-gruppen				
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
IIb										IIIb	IVb	Vb	VIb	
Be										B	C	N	O	
Mg										Al	Si	P	S	
Ca										Ga	Ge	As	Se	
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	
Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	



Platingruppenmetalle (Platin)

Gruppe von sechs Edelmetallen mit hoher Dichte und Beständigkeit

Abb. 93: Platingruppenmetalle im Periodensystem | Quelle: R. Peyrl – Land OÖ (verändert)

Häufigkeit in der Erdkruste²
0,000005 % (Platin)

Statische Reichweite³
> 100 Jahre (je nach Element)

Hauptherkunftsländer⁴
Südafrika, Kanada, USA, Simbabwe

Gewinnung

Platingruppenmetalle umfassen Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Osmium und Iridium. Sie kommen gelegentlich gediegen vor, werden aber hauptsächlich aus Erzen wie Sperryolith, Cooperit, Braggit, Laurit, Ferroplatin, Polyxen oder Osmiridium gewonnen. Ein Teil fällt auch als Nebenprodukt bei der Nickelraffination an.

Verwendung

Platingruppenmetalle sind aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften in der Automobil-, Energie- und Chemischen Industrie gefragt. Sie werden in Abgaskatalysatoren, Zündkerzen, Elektronik und Elektrotechnik (z.B. Solarzellen, Festplatten), Dentallegierungen und Schmuck eingesetzt. Sie sind auch in medizinischen Geräten wie Herzklappen und Herzschrittmachern wichtig.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Platingruppenmetalle sind selten, wertvoll und teuer. Ihr Abbau und die damit verbundenen Prozesse können die Umwelt langfristig schädigen. Die Reichweiten der Platingruppenmetalle sind trotz ihrer Seltenheit generell über 100 Jahre, jedoch abhängig vom jeweiligen speziellen chemischen Element. Aufgrund ihres hohen Wertes ist das Recycling von Platingruppenmetallen, insbesondere aus Katalysatoren und Elektronikschrott, bereits gut etabliert (Recyclingquote 60 % weltweit, 2021).

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Phosphor (P)

Reaktives Nichtmetall mit verschiedenen Modifikationen

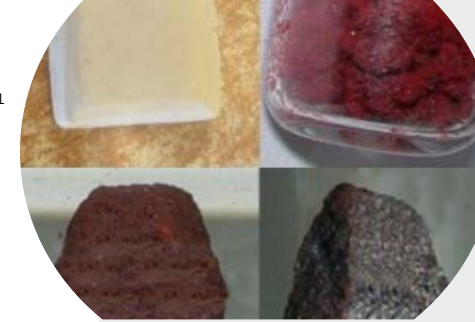


Abb. 96: verschiedene Phosphormodifikationen | Quelle: MaterialsScientist (derivative work) – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²
0,105 %

Statische Reichweite³
~ 300 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴
China, Marokko, USA, Russland

Gewinnung

Phosphor, ein häufiges Element der Erdkruste, kommt nicht gediegen als Element vor. Wichtige phosphorhaltige Mineralien sind Apatite, Pyromorphite und Vivianite. Phosphor existiert in vier Modifikationsformen: Weißer Phosphor wird unter hohem Druck zu schwarzem Phosphor, durch Erhitzen über 280 °C zu rotem Phosphor und bei noch höheren Temperaturen zu violetterem Phosphor. Neben den erwähnten phosphorhaltigen Mineralien kommt Phosphor auch in Guano vor, der aus Kalkstein und Vogelekrementen besteht.

Verwendung

Weißer Phosphor dient als Ausgangsstoff für verschiedene Phosphorverbindungen, unter anderem Phosphate in Dünge- und Waschmitteln. Roter Phosphor wird in Feuerwerkskörpern und Zündholzköpfen verwendet. Schwarzer Phosphor gewinnt wegen seiner Halbleitereigenschaften an Bedeutung in der Technik.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die Phosphormodifikation weißer Phosphor gilt als sehr toxisch. Phosphor in Form von Phosphat ist essentiell für den menschlichen Organismus, aber ein Überschuss kann gesundheitliche Probleme wie Bluthochdruck verursachen. In Hinblick auf die immer umstrittenere Ausbringung von Klärschlämmen auf Felder laufen Pilotprojekte zur Rückgewinnung von Phosphor aus Aschen von der Klärschlammverbrennung.



Abb. 97: Streichholz beim Zünden | Quelle: Rise0011 – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.0 DE



Abb. 98: Ausbringung von Mineraldünger | Quelle: Bits and Splits – stock.adobe.com

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 94: Innenansicht einer Festplatte | Quelle: SPBer – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 95: Abgaskatalysator, aufgeschnitten | Quelle: Stahlkocher – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.0

Quecksilber (Hg)

Silbriges, einziges bei Raumtemperatur flüssiges Metall

Gewinnung

Quecksilbervorkommen, meist in Form von Zinnober (Quecksilbersulfid), sind selten. Elementares Quecksilber, das einzige bei Raumtemperatur flüssige Metall, wird durch ein Röstverfahren unter Zugabe von Sauerstoff gewonnen. Die Reaktionsprodukte sind Quecksilber und gasförmiges Schwefeldioxid. Aufgrund der Toxizität ist die Nachfrage von Quecksilber rückläufig.

Verwendung

Quecksilber, ein silberweißliches Schwermetall, ist in Legierungen als Amalgam bekannt, das früher in Zahnfüllungen verwendet wurde. In Gasentladungslampen wie Leuchtstoff- und Energiesparlampen ist es Bestandteil der Gasfüllung, wird aber zunehmend von quecksilberfreien LED-Lampen abgelöst. Quecksilberverbindungen dienen in Schutzfarben für Schiffsrümpfe und unterstützen die Goldgewinnung. Aufgrund seiner Giftigkeit wird die Verwendung von Quecksilber zunehmend eingeschränkt, beispielsweise wird es ab 2025 in der EU für Zahnfüllungen verboten.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Quecksilberbelastungen im menschlichen Körper entstehen hauptsächlich über die Nahrung (z.B. Fische). Auch Kohlekraftwerke emittieren Quecksilber. Fachgerechte Entsorgung und Recycling von quecksilberhaltigen Leuchtstofflampen sind wichtig, um die Freisetzung von Quecksilber in die Umwelt zu verhindern.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Rhenium (Re)

Schweres, silbrig-weißes, hochschmelzendes Metall

Gewinnung

Rhenium, ein sehr seltenes Element, kommt in der Natur nicht elementar vor und wird hauptsächlich aus Molybdänglanz gewonnen. Durch Röstung reichert sich flüchtiges Rheniumoxid in der Flugasche an, aus der es mittels Ammoniak und Wasserstoff in elementarer Form gewonnen wird.

Verwendung

Rhenium ist ein silbergraues, hartes Schwermetall mit extrem hohem Schmelzpunkt (3186 °C) und dem höchsten Siedepunkt aller Metalle (5596 °C). Diese Eigenschaften machen Rhenium geeignet für Heizwendeln, Thermoelemente und Glühdrähte. Es wird häufig in Legierungen für Turbinenschaufeln, Raumfahrt- und Elektrotechnik eingesetzt und verbessert die Beständigkeit gegen Hitze und chemische Einflüsse. Platin-Rhenium-Katalysatoren sind in der Herstellung von bleifreiem Benzin zur Erhöhung der Oktanzahl wichtig.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Rhenium scheint für den menschlichen Organismus unbedeutend und seine Toxizität ist unbekannt. In Pulverform ist es leichtentzündlich und darf nicht mit Wasser, sondern nur mit Löschpulver oder Metallbrandlöschern gelöscht werden. Der Abbau von Rhenium als Nebenprodukt der Molybdängewinnung hat zerstörerische Auswirkungen auf Ökosysteme. Als Legierungsbestandteil und Reinmetall ist Recycling möglich.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Fördermenge)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 102: Rhenium | Quelle: Alchemist-hp - commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,0000007 %

Statische Reichweite²

> 200 Jahre

Hauptherkunftsländer³

Chile, USA, Russland



Abb. 103: geschweißtes Thermoelement | Quelle: Harke - commons.wikimedia.org



Abb. 104: Tanken mit bleifreiem Benzin | Quelle: Sandor Jackal - stock.adobe.com

R | Re



Abb. 99: Quecksilbertropfen | Quelle: A - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,0000085 %

Statische Reichweite²

> 200 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, Tadschikistan, Mexiko



Abb. 100: Energiesparlampe | Quelle: Armin Kübelbeck - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 101: Schutzfarbe für Schiffe | Quelle: Thorsten Pohl - commons.wikimedia.org



Salz (NaCl)

Weißes, wasserlösliches, kristallines Mineral

Abb. 105: Salzkristalle | Quelle: W. J. Pilsak – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹
0,0145 % (Chlorid)

Statische Reichweite²
> 1000 Jahre

Hauptherkunftsländer³
**China, Indien,
USA, Österreich**

Gewinnung

Natriumchlorid (NaCl) wird hauptsächlich aus Stein- und Meersalz gewonnen. Der Abbau von Steinsalz erfolgt im Untertagebau durch Sprengung und Bohrung oder durch Auswaschen mit Wasser und Fördern der Sole mittels Bohrspülwerken. Salz aus Meerwasser wird in niederschlagsarmen Küstengebieten mit hoher Sonneneinstrahlung in Salzgärten durch Verdunstung gewonnen.

Verwendung

Natriumchlorid als Speisesalz ist bekannt zum Würzen und Konservieren von Speisen. Es hat auch Bedeutung als Industrie- und Auftausalz. Im Winter hält es Straßen eis- und schneefrei und wird in der Glasherstellung als Soda verwendet. Natron, aus Natriumchlorid erzeugt, findet Anwendung als Back- und Feuerlöschpulver. In Geschirrspülmaschinen dient es als Regeneriersalz zur Wasserenthärtung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Hohe Dosen von Salz sind für Menschen und andere Organismen toxisch. Die World Health Organization (WHO) empfiehlt eine Reduzierung der täglichen Salzaufnahme. Auftausalz schädigt Pflanzen und Boden, besonders im Straßennahbereich, und gelangt in Grundwasser und Oberflächengewässer. Da Natriumchlorid in großen Steinsalzlagerstätten und im Meerwasser vorkommt, ist keine Knappheit zu erwarten.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Selen (Se)

Halbleitendes Nichtmetall mit verschiedenen Modifikationen



Abb. 108: schwarzes, graues und rotes Selen | Quelle: Tomihahndorf – commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹
0,000005 %

Statische Reichweite²
~ 40 Jahre

Hauptherkunftsländer³
**China, Japan,
Deutschland**

Gewinnung

Selen, ein selten gediegen vorkommendes Element, wird hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verhüttung selenhaltiger Kupfer- oder Nickelerze gewonnen. Wichtige Selenminerale sind Clausthalit, Berzelianit und Umangit.

Verwendung

Selen ist ein Halbmetall, das in sechs Modifikationen existiert, wobei graues Selen bei Raumtemperatur am stabilsten ist. Seine elektrische Leitfähigkeit erhöht sich bei Belichtung stark, was es für Photozellen, Dünnschicht-Photovoltaikzellen, lichtempfindliche Alarmsysteme und Radaranlagen geeignet macht. Auch die photoleitende Schicht in Laserdruckern und Fotokopierern besteht aus Selen. Selen wird in der Glas- und Keramikindustrie als Färb- und Entfärbungsmittel verwendet, beispielsweise in rotem Ampelglas. Weitere Anwendungen finden sich in der chemischen Industrie und Pharmazie.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Selen ist ein essentielles Spurenelement, aber in leicht erhöhten Dosen toxisch. Selen stellt eine Substanz mit einer schmalen Bandbreite zwischen Mangel einerseits und Toxizität andererseits dar. Umweltbelastungen entstehen durch Kohleverbrennung, Bergbau, Metallgewinnung und petrochemische Prozesse. Hohe Anreicherungsfaktoren führen zu steigendem Selengehalt in Böden und Gewässern, was vor allem Fische und Wasservögel gefährdet. Recycling von Selen spielt bisher eine untergeordnete Rolle.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 106: Streufahrzeug | Quelle: Heidias – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 107: Salzstreuer | Quelle: ketchup-freak88 – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 109: rotes Ampelglas | Quelle: R. Peyrl – Land OÖ



Abb. 110: Fotokopiergerät | Quelle: R. Peyrl – Land OÖ



Seltenerdmetalle

Gruppe von 17 Metallen mit speziellen magnetischen/elektischen Eigenschaften

Abb. 111: Seltenerd-Oxide | Quelle: U.S. department of agriculture, Peggy Greb. – ars.usda.gov, CC BY-SA 4.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,00415 % (Neodym)

Statische Reichweite³

**> 500 Jahre
(je nach Element)**

Hauptherkunftsländer⁴

China, USA, Burma

Gewinnung

Die Gruppe der Seltenen Erden umfasst 17 Metalle: Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Obwohl diese Elemente in der Erdkruste nicht selten vorkommen, sind größere Lagerstätten geeigneter Mineralien selten und auf wenige Staaten wie China und Australien beschränkt.

Verwendung

Seltenerdmetalle sind für viele Schlüsseltechnologien unverzichtbar. Sie sind in Dauermagneten, Spezialgläsern, Batterien, LCD-Bildschirmen, Energiesparlampen, Lasern, Glasfaserkabeln und Smartphones enthalten. Ihre einzigartige Elektronenhüllenstruktur macht sie technologisch besonders wertvoll.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die Gewinnung der Seltenerdmetalle, oft vergesellschaftet mit giftigen und radioaktiven Elementen, verursacht erhebliche Umweltschäden, besonders in Ländern mit geringen Umweltschutzstandards. Die statische Reichweite ist zwar hoch, trotzdem sind Engpässe und Preiserhöhungen möglich, da eine starke Importabhängigkeit von wenigen Ländern besteht. 2022 stammten ca. 60 % der Seltenerdmetalle aus China. Recyclingverfahren für Seltenerdmetalle sind in der Entwicklungsphase, derzeit ist die weltweite Recyclingquote (0,2 %, 2021) sehr gering.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Silber (Ag)

Weisses, glänzendes, hochleitfähiges Edelmetall

Gewinnung

Silber kommt in der Natur gediegen als Metallnugget vor, wird aber hauptsächlich aus Silbererzen und als Nebenprodukt bei der Blei- und Kupfererzeugung gewonnen.

Verwendung

Das silber-weiß glänzende Edelmetall leitet Wärme und Elektrizität am besten unter allen Metallen. Wichtige technische Eigenschaften sind auch gute Schmiedbarkeit, Dehnbarkeit und vor allem das ausgezeichnete Reflexionsvermögen. Durch das Versilbern von Glas werden hochwertige Spiegel erzeugt. Hervorzukehren ist auch die keimtötende Wirkung, weshalb Silber in der Medizin verwendet wird und auch in Sportkleidung immer häufiger zum Einsatz kommt. In der Haggelbekämpfung wird Silberjodid mittels Flugzeugs in die Atmosphäre eingebracht, um durch die Erhöhung der Kondensationskerne ein frühzeitiges Abregnen zu ermöglichen. Die häufigsten Silberlegierungen sind Kupfer-Silber-Legierungen für Münzen, Schmuck und Bestecke.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Langjährige Bergbautätigkeiten wie in Peru führen zu gravierenden Umweltschäden. Auch die Verwendung von antibakteriellem Nanosilber für Beschichtungen ist umstritten, da die Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt nicht ausreichend erforscht sind. Die weltweite Recyclingquote ist mit 50 % (2021) beachtlich.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 114: Silbernugget | Quelle: Jurii – commons.wikimedia.org, https://images-of-elements.com/silver.php, CC BY 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,000075 %

Statische Reichweite²

> 20 Jahre

Hauptherkunftsländer³

**Mexiko, Peru,
Australien**



Abb. 115: Spiegel | Quelle: R. Peyrl – Land OÖ

S | Ag



Abb. 116: Silberbesteck | Quelle: TheDraco – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 112: Smartphones | Quelle: Scanrail – stock.adobe.com



Abb. 113: Dauermagnete in Windrädern
Quelle: Eileen at OE – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 4.0



Silizium | S



Silizium (Si)

Hartes, halbleitendes kristallines Halbmetall

Abb. 117: hochreines Silizium | Quelle: Enricoros – commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste²

28,2 %

Statische Reichweite³

> 1000 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, USA, Russland, Norwegen

Gewinnung

In der Natur kommt Silizium überwiegend als Siliziumdioxid oder in silikatischen Mineralien vor. Auch in den Ozeanen sind große Mengen Silizium in der Form von Kieselsäure enthalten. Die Gewinnung von hochreinem Silizium erfolgt mittels Reduktion von Siliziumverbindungen etwa durch Zugabe von Aluminium, Magnesium oder Kohlenstoff.

Verwendung

Durch die Einlagerung von Fremdatomen (Dotierung) kann die elektrische Leitfähigkeit von Silizium enorm verbessert werden. So ist Silizium das wichtigste Rohmaterial für die Herstellung von Halbleitern und Mikrochips. Zunehmende Bedeutung erlangt Silizium auch durch die Verwendung in Photovoltaikzellen. Durch die polykristallinen Siliziumbestandteile lassen sich Photovoltaikzellen leicht von thermischen Solarzellen unterscheiden. Daneben findet Silizium in der Stahlindustrie und in Legierungen Verwendung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

In jedem elektronischen Gerät sind siliziumhaltige Teile enthalten. Da die Rückgewinnung aufwändig und genügend mineralisches Silizium als zweithäufigste Element in der Erdkruste vorhanden ist, wird derzeit nur wenig recycelt. Allerdings kommt es bei hochreinem „Solarsilizium“ aufgrund der steigenden Nachfrage und den nicht mithaltenden Produktionskapazitäten teilweise zu Engpässen.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



S | Steinkohle



Steinkohle

Harte, schwarze Kohle mit hohem Kohlenstoffgehalt

Abb. 120: Steinkohle | Quelle: Amcyrus2012 – commons.wikimedia.org, CC BY 4.0

Gewinnung

Steinkohle ist schwarzes, hartes, festes und brennbares Sedimentgestein, das durch Karbonisierung von Pflanzenresten (Inkohlung) entstanden ist. Es wird hauptsächlich im Untertagebau gefördert, entweder schneidend mit Walzenschrämladern oder schälend mittels Hobelanlagen.

Verwendung

Steinkohle wird vorrangig zur Stromerzeugung, zum Heizen und in der Eisen- und Stahlherstellung genutzt. In der chemischen Industrie werden kohlebasierte Grundstoffe, wie bei der Herstellung von Ammoniak und Methanol, verwendet, allerdings spielt Kohle in Europa im Vergleich zu Erdöl- oder Erdgasprodukten eine untergeordnete Rolle. Insbesondere in Asien und Afrika sind aber Veredelungsformen wie Kohleverflüssigung zur Herstellung flüssiger Kohlenwasserstoffe, Kohlevergasung und Hydropyrolyse bedeutend.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Als fossiler Energieträger entsteht Kohle über geologische Zeiträume aus pflanzlichen Materialien unter Luftabschluss und hohem Druck. Ihre Verbrennung setzt große Mengen CO₂ frei, was zum anthropogenen Treibhauseffekt und zur Klimaerwärmung beiträgt. Versuche zur CO₂-Abscheidung und -speicherung (CCS) laufen, deren langfristige Konsequenzen sind jedoch noch unklar. Steinkohle hat die größten Vorkommen aller fossilen Energieträger, dennoch wird Kokssteinkohle für die EU als kritischer Rohstoff angeführt (2023).

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Statische Reichweite²

~ 100 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, USA, Indien



Abb. 121: Kohlekraftwerk | Quelle: Sebastian Schlüter – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 122: Steinkohlenteer z.B. früher für Holzschwellen | Quelle: LooiNL – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 118: Photovoltaik-Paneel | Quelle: Georg Slickers – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 119: Computerchip | Quelle: Appaloosa – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Tantal | T



Tantal (Ta)

Sehr hartes, blau-graues, korrosionsbeständiges Metall

Abb. 123: hochreines Tantal | Quelle: Tomihahndorf - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,0002 %

Statische Reichweite³

> 80 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

Kongo, Brasilien, Ruanda

Gewinnung

Tantal kommt in der Natur nicht elementar vor. Die wichtigsten Tantal-Mineralen sind Tantalite, Columbite und Microlite. Tantal ist meist vergesellschaftet mit dem sehr ähnlichen Niob. Bei der Gewinnung ist es daher nötig, die beiden Elemente von einander zu trennen. Dies erfolgt durch unterschiedliche Löslichkeiten und Extraktion.

Verwendung

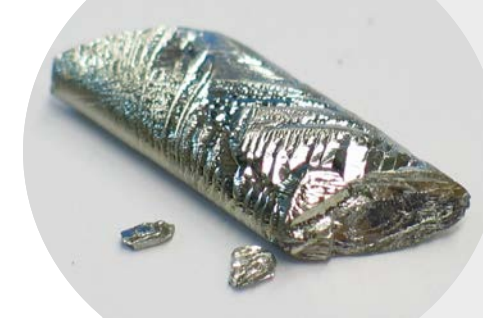
Ein großer Teil der Tantalproduktion wird für die Herstellung von Hochleistungskondensatoren verwendet. Die Eigenschaft, dass Tantal nicht mit Körperflüssigkeiten reagiert, führt darüber hinaus zum Einsatz in der Medizintechnik für Knochennägel, Prothesen und Implantate (z.B. Hörgeräte, Herzschrittmacher). Tantallegierungen sind höchstbeständig und temperaturresistent. Die hochfesten Stähle werden etwa beim Flugzeugbau für Triebwerke und Turbinen verwendet.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Abbaumethoden, die nicht modernen Standards entsprechen, sowie teilweise illegale Aktivitäten führen zu gravierenden Umweltschäden beim Bergbau. Zum Beispiel wurden in afrikanischen Abbaugebieten große Flächen des ohnedies schon reduzierten Gorilla-Lebensraumes zerstört.

Da Tantal in den verschiedenen Produkten meist nur in geringem Ausmaß enthalten ist, liegt die Recyclingquote bei etwa 20 %.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



T | Tellur

Tellur (Te)

Silbrig-weißes, sprödes Halbmetall

Abb. 126: kristallines Tellur | Quelle: Dschwen - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,0000001 %

Statische Reichweite²

~ 60 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China, Schweden, Japan

Gewinnung

Tellur kommt in der Natur sehr selten elementar vor. Die Gewinnung aus Tellurmineralen wie Tellurit, Hessit oder Tetradymit ist aufgrund der wenigen Vorkommen bedeutungslos. Bei der industriellen Kupferraffination fällt Tellur als Nebenprodukt in den Anodenschlämmen an. Über mehrere Verfahrensschritte kann hochreines Tellur gewonnen werden (Zonenschmelzverfahren).

Verwendung

Tellur kommt in zwei Ausprägungen vor: einerseits in der kristallinen Form als metallisch glänzendes, sehr sprödes Halbmetall, andererseits als goldgelbe Tellurdämpfe, die in eine amorphe Form übergehen können. Tellur besitzt eine geringe elektrische Leitfähigkeit, die unter Belichtung zunimmt. Es findet Verwendung für Photovoltaikzellen und optische Speicherplatten (z.B. DVD-RW), als Zusatz beim Gummivulkanisieren und zum Glasfärben. Tellur verbessert in Stahllegierungen die Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Tellur wirkt für den menschlichen Organismus toxisch. Einige Tellurverbindungen sind vor allem giftig für Leber und Nieren. Da Tellur ein Nebenprodukt ist, hängen die ökologischen Auswirkungen mit dem Kupferabbau zusammen, bei dem große Mengen tauben Gesteins anfallen. Aufgrund der geringen, aber vielfältig eingesetzten Mengen passiert Recycling derzeit nur sehr untergeordnet.



Abb. 127: DVD-RWs auf einer Spindel | Quelle: Connor Lee - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 128: Photovoltaik-Anlage | Quelle: Markus Braun - commons.wikimedia.org

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Abb. 124: Tantal-Elektrolytkondensatoren | Quelle: Jens Both - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

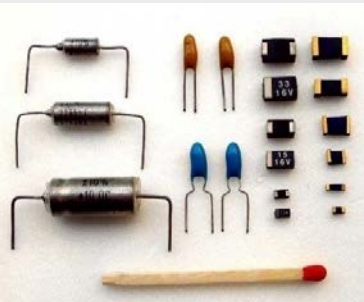


Abb. 125: Hörgerät | Quelle: Jonas Bergsten - commons.wikimedia.org





Titan | T



Titan (Ti)

Leichtes, widerstandsfähiges, silbrig-weißes Metall

Gewinnung

Das relativ häufige Titan kommt in der Erdkruste überwiegend oxidisch vor, oftmals zusammen mit Eisen. Die wichtigsten Titan-Erze sind Ilmenit, Leukoxen und Rutil, aus denen durch Umsetzung mit Chlor und flüssigem Magnesium Titan gewonnen wird. Die aufwändige Herstellung von reinem Titan führt zu hohen Weltmarkt-Preisen.

Verwendung

Titan ist ein metallisch weiß glänzendes Metall mit hoher Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei besonders geringer Dichte. Aufgrund der hohen Bioverträglichkeit findet Titan in der Medizintechnik ein großes Anwendungsgebiet etwa für künstliche Gelenke. Auch in der Luft- und Raumfahrt ist Titan bedeutend. Für Bremscheiben oder Ventildfedern wird Titan ebenso verwendet wie für zahlreiche Konsumgüter (z.B. Fahrräder, Uhren, Küchengeräte). Als Lebensmittelzusatzstoff E171 ist Titandioxid zunehmend umstritten.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Mit der Titangewinnung ist ein enormer Energieverbrauch verbunden. Bei der Herstellung von Titandioxid fallen außerdem große Mengen an stark ätzender Schwefelsäure („Dünnsäure“) an. Ein großer Prozentsatz von metallischem Titan, nämlich etwa 40 %, wird als Sekundärtitan aus titanhaltigem Schrott gewonnen.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Abb. 129: Reintitan | Quelle: Alchemist-hp - commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,565 %

Statische Reichweite³

~ 230 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Südafrika, Norwegen



Abb. 130: Hüftgelenk-Endoprothese | Quelle: Scuba-limp - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 131: Bremscheibe | Quelle: Alfone45 - commons.wikimedia.org, CC BY 3.0

U | Uran

Uran (U)

Schweres, silbrig-weißes, radioaktives Metall

Gewinnung

Uran, für den gewinnbringenden Abbau in genügender Anreicherung im Gestein erforderlich, kommt in etwa 230 Mineralien vor. Wichtige uranhaltige Erze sind Pechblende (Uranoxid), Tobernit, Heinrichit und Uranophan. Die Gewinnung umfasst Zerkleinerung der Erze, Anreicherung durch Flotation und Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure, gefolgt von weiteren Verfahren zur Isolierung von Uranverbindungen.

Verwendung

Hauptsächlich wird Uran als Energierohstoff in Kernreaktoren zur Energiegewinnung genutzt. Anfang 2023 waren weltweit 420 Kernreaktoren in Betrieb, die etwa 11 % des Weltstroms erzeugten. Uran findet auch Verwendung in der Rüstungsindustrie für panzerbrechende Munition und Kernwaffen.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Uranabbau und -nutzung sind aufgrund der Radioaktivität problematisch und führen zu Umweltkontaminationen. Radioaktive Belastungen beeinträchtigen Ökosysteme und schädigen Organismen. Die Endlagerung radioaktiver Abfälle ist umstritten, wobei erste Pilotprojekte im Entstehen sind. Falls Versuche, Uran aus dem Meerwasser zu extrahieren, erfolgreich sind, könnte sich die derzeit angenommene Reichweite von ca. 60 Jahren noch deutlich erhöhen. Uran-Recycling, aus abgerüsteten Kernwaffen, hat an Bedeutung gewonnen.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 132: Uranmetall | Quelle: U.S. federal government / U.S. department of energy - commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,00027 %

Statische Reichweite²

~ 60 Jahre

Hauptherkunftsländer³

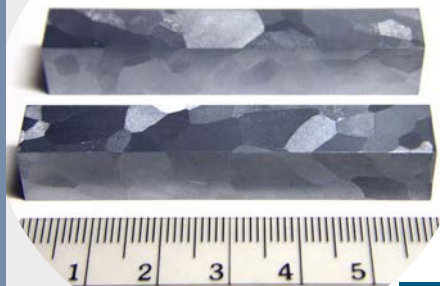
Australien, Kanada, Russland



Abb. 133: Kernkraftwerk Cattenom in Frankreich | Quelle: Stefan Kühn - commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 134: Atomwaffentest | Quelle: U.S. federal government / U.S. department of energy / commons.wikimedia.org



Vanadium (V)

Besonders hartes, silbrig-graues Metall

Abb. 135: Vanadium | Quelle: Alchemist-hp – commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,012 %

Statische Reichweite³

~ 250 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Russland, Südafrika

Gewinnung

In der Natur kommt Vanadium nicht gediegen vor, sondern immer gebunden in verschiedenen Mineralien. Vanadium-Erze sind zum Beispiel Vanadinit, Carnotit oder Patronit. Vanadium wird aber größtenteils aus Titanomagnetit-Erzen gewonnen, bei deren Verarbeitung Vanadiumoxid in der Schlacke anfällt.

Verwendung

Das stahlgraue Schwermetall ist gut schmied- und walzbar, wird jedoch bei Verunreinigungen hart und verliert an Dehnbarkeit. Fast 90 % der weltweiten Vanadiumproduktion dienen als Legierungsmetall in der Stahlverarbeitung. Daneben findet es als Hüllwerkstoff für Kernbrennstoffe Verwendung. Vanadiumoxid ist ein wichtiger Katalysator in chemischen Labors – etwa bei der Schwefelsäureherstellung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Vanadium-Emissionen werden vor allem durch Verbrennen von fossilen Brennstoffen und durch die Stahlindustrie in die Atmosphäre eingebracht. Vanadium insbesondere als Oxid V_2O_5 ist giftig und führt eingeatmet unter anderem zu Reizungen der Lunge bis hin zu Lungenentzündungen. Aufgrund der großen Reichweite und des Umstandes, dass der Einsatz von Vanadium in Stahllegierungen teilweise auch durch andere Elemente ersetzbar ist, ist ein Engpass nicht zu erwarten. Durch die Abhängigkeit von wenigen Lieferländern ist Vanadium dennoch in der EU als kritischer Rohstoff angeführt. In Form von Stahllegierungen ist Recycling möglich.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Wolfram (W)

Sehr hartes, grau-weißes Metall mit höchstem Schmelzpunkt



Abb. 138: hochreines Wolfram | Quelle: Tomihahndorf – commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,000125 %

Statische Reichweite³

> 40 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Russland, Mongolei

Gewinnung

Wolfram kommt in der Natur nicht gediegen vor. Die wichtigsten Wolfram-Erze sind Wolframit und Scheelit. Durch Flotation, Filtrieren und Erhitzen wird reines Wolfram gewonnen. Wird Wolfram mit Kohlenstoff verbunden, entsteht Wolframcarbid. Mehr als 80 % der weltweiten jährlichen Wolfram-Produktion stammen aus China.

Verwendung

Wolfram ist ein weißlich glänzendes Schwermetall, das verbunden mit Kohlenstoff besonders hart wird und sich daher ausgezeichnet für die Werkzeugherstellung eignet (Wolframcarbid). Wolframcarbid ist auch für die Kugeln in Kugelschreibern, Pfeilgeschossen und Schmuck in Verwendung. Wolfram ist ein sehr guter Wärme- und Stromleiter mit hoher Dichte und Hitzebeständigkeit. Es wird daher für Schweißelektroden, Glühlampen und Elektronenröhren eingesetzt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Nach dem derzeitigen Wissensstand gelten Wolfram und seine Verbindungen als physiologisch weitgehend unbedenklich. Auch umwelttoxikologisch gibt es keine speziellen Auswirkungen, doch sind Bergbauaktivitäten immer landschaftsprägend und mit großen Eingriffen in Ökosysteme verbunden. Einige Firmen sind speziell auf Wolfram-Recycling spezialisiert.

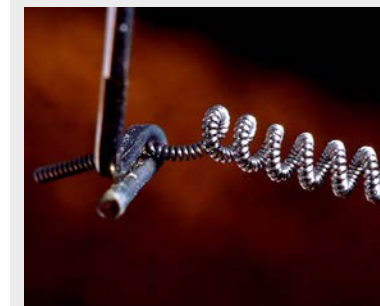
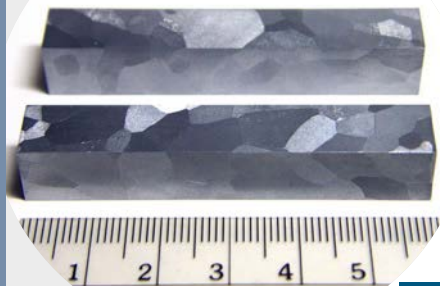


Abb. 139: Teil einer Glühlampe | Quelle: Lander777 – commons.wikimedia.org



Abb. 140: Gewindebohrer aus Wolframcarbid | Quelle: Splarka – commons.wikimedia.org

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Vanadium (V)

Besonders hartes, silbrig-graues Metall

Abb. 135: Vanadium | Quelle: Alchemist-hp – commons.wikimedia.org, CC BY-NC-ND 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,012 %

Statische Reichweite³

~ 250 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Russland, Südafrika

Gewinnung

In der Natur kommt Vanadium nicht gediegen vor, sondern immer gebunden in verschiedenen Mineralien. Vanadium-Erze sind zum Beispiel Vanadinit, Carnotit oder Patronit. Vanadium wird aber größtenteils aus Titanomagnetit-Erzen gewonnen, bei deren Verarbeitung Vanadiumoxid in der Schlacke anfällt.

Verwendung

Das stahlgraue Schwermetall ist gut schmied- und walzbar, wird jedoch bei Verunreinigungen hart und verliert an Dehnbarkeit. Fast 90 % der weltweiten Vanadiumproduktion dienen als Legierungsmetall in der Stahlverarbeitung. Daneben findet es als Hüllwerkstoff für Kernbrennstoffe Verwendung. Vanadiumoxid ist ein wichtiger Katalysator in chemischen Labors – etwa bei der Schwefelsäureherstellung.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Vanadium-Emissionen werden vor allem durch Verbrennen von fossilen Brennstoffen und durch die Stahlindustrie in die Atmosphäre eingebracht. Vanadium insbesondere als Oxid V_2O_5 ist giftig und führt eingeatmet unter anderem zu Reizungen der Lunge bis hin zu Lungenentzündungen. Aufgrund der großen Reichweite und des Umstandes, dass der Einsatz von Vanadium in Stahllegierungen teilweise auch durch andere Elemente ersetzbar ist, ist ein Engpass nicht zu erwarten. Durch die Abhängigkeit von wenigen Lieferländern ist Vanadium dennoch in der EU als kritischer Rohstoff angeführt. In Form von Stahllegierungen ist Recycling möglich.

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Wolfram (W)

Sehr hartes, grau-weißes Metall mit höchstem Schmelzpunkt



Abb. 138: hochreines Wolfram | Quelle: Tomihahndorf – commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste²

0,000125 %

Statische Reichweite³

> 40 Jahre

Hauptherkunftsländer⁴

China, Russland, Mongolei

Gewinnung

Wolfram kommt in der Natur nicht gediegen vor. Die wichtigsten Wolfram-Erze sind Wolframit und Scheelit. Durch Flotation, Filtrieren und Erhitzen wird reines Wolfram gewonnen. Wird Wolfram mit Kohlenstoff verbunden, entsteht Wolframcarbid. Mehr als 80 % der weltweiten jährlichen Wolfram-Produktion stammen aus China.

Verwendung

Wolfram ist ein weißlich glänzendes Schwermetall, das verbunden mit Kohlenstoff besonders hart wird und sich daher ausgezeichnet für die Werkzeugherstellung eignet (Wolframcarbid). Wolframcarbid ist auch für die Kugeln in Kugelschreibern, Pfeilgeschossen und Schmuck in Verwendung. Wolfram ist ein sehr guter Wärme- und Stromleiter mit hoher Dichte und Hitzebeständigkeit. Es wird daher für Schweißelektroden, Glühlampen und Elektronenröhren eingesetzt.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Nach dem derzeitigen Wissensstand gelten Wolfram und seine Verbindungen als physiologisch weitgehend unbedenklich. Auch umwelttoxikologisch gibt es keine speziellen Auswirkungen, doch sind Bergbauaktivitäten immer landschaftsprägend und mit großen Eingriffen in Ökosysteme verbunden. Einige Firmen sind speziell auf Wolfram-Recycling spezialisiert.

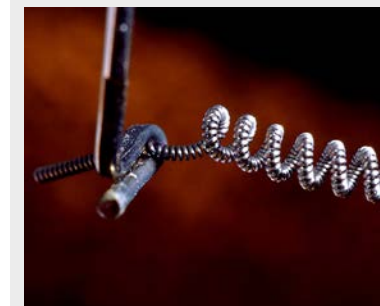


Abb. 139: Teil einer Glühlampe | Quelle: Lander777 – commons.wikimedia.org



Abb. 140: Gewindebohrer aus Wolframcarbid | Quelle: Splarka – commons.wikimedia.org

- 1 Kritischer Rohstoff der EU
- 2 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 3 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 4 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Zink (Zn)

Bläulich-weißes, korrosionsbeständiges Metall

Gewinnung

Zink, an 24. Stelle der Elementhäufigkeit, kommt selten gediegen in der Natur vor. Wichtige Zinkerze sind Sphalerit (Zinkblende), Wurtzit und Smithsonit. Zinkoxid entsteht durch Flotation und Rösten der Erze. Durch Vermengen mit Kohlenstoff und Erhitzen wird anschließend Zinkoxid zu metallischem Zink reduziert.

Verwendung

Die Verzinkung von Stahl zum Korrosionsschutz ist die wichtigste Anwendung von Zink, insbesondere im Bauwesen für Dachdeckungen und Regenrinnen. Zink wird auch in Schutzplanken, Signalmasten und Druckgussteilen in PKWs verwendet. Es ist Bestandteil von Batterieanoden und verschiedenen Legierungen, darunter Messing und Bronze.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Verzinktes Blech oder auch Titanzink, zunehmend für Dachdeckungen und Regenrinnen genutzt, kann Umweltauswirkungen durch Auswaschungen in Oberflächengewässer haben, was z.B. Tierbestände beeinträchtigt. Zink ist ein essentielles Spurenelement, aber in hohen Dosen toxisch. Etwa 33 % des weltweit verwendeten Zinks ist Sekundärzink (2021), hauptsächlich aus Messingschrott. Bei Rohstoffknappheit kann Zink in den meisten Anwendungen durch andere Elemente ersetzt werden.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge

Zinn (Sn)

Weiches, silbrig-weißes niedrigschmelzendes Metall

Gewinnung

Zinn kommt in der Natur selten elementar vor. Industriell wird es hauptsächlich aus dem Zinnerz Kassiterit (Zinnstein) gewonnen. Das Erz wird durch Aufschlammern und Flotation angereichert, Verunreinigungen werden abgeschieden und das Rohzinn durch Reduktion mit Kohlenstoff gewonnen. Zinn existiert in drei Modifikationen mit unterschiedlichen Dichten und Kristallstrukturen.

Verwendung

Etwa die Hälfte der Zinnproduktion wird für Weichlote in elektrischen und elektronischen Geräten verwendet. Zinn dient auch zur Herstellung von Weißblech für Konservendosen oder Stanniolpapier. Weißblech, kalt gewalztes dünnes Stahlblech, wird mit einer Zinnschicht zum Korrosionsschutz überzogen. Zinnverbindungen finden sich in PVC, Fungiziden, Desinfektionsmitteln und als elektrischer Leiter in LC-Displays.

Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Zinn und seine Verbindungen schädigen die Umwelt, wenn sie über Industrieabwässer und Müllverbrennung freigesetzt werden. Der Zinnabbau hinterlässt große Kraterlandschaften und beeinträchtigt Korallenriffe. Die statische Reichweite von Zinn liegt bei ca. 20 Jahren. Steigende Zinnpreise fördern die Wirtschaftlichkeit der Rückgewinnung. Mehr als ein Drittel des genutzten Zinns wird weltweit bereits recycelt, vor allem jenes aus Weißblech.

- 1 Häufigkeit in der kontinentalen Kruste in %
- 2 Berechnung: Statische Reichweite bezogen auf Weltressourcen (=Weltressourcen/derzeitige Förderung)
- 3 Länder mit der größten derzeitigen Fördermenge



Abb. 141: Zink | Quelle: Ben Mills – commons.wikimedia.org

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,007 %

Statische Reichweite²

~ 160 Jahre

Hauptherkunftsländer³

China Australien, Peru



Abb. 142: Dach aus Zinkblech | Quelle: Pko – commons.wikimedia.org, CC BY 3.0



Abb. 143: Schutzplanke | Quelle: H. Kosina – Land OÖ

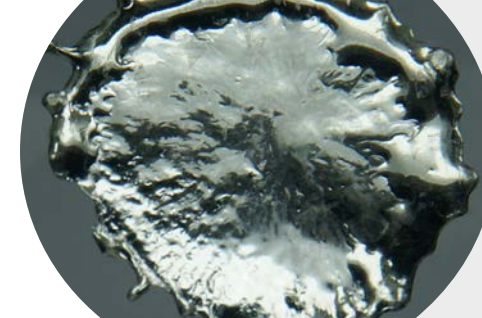


Abb. 144: Zinn | Quelle: Jurii – commons.wikimedia.org, https://images-of-elements.com/tin.php, CC BY 3.0

Häufigkeit in der Erdkruste¹

0,00098 %

Statische Reichweite²

> 20 Jahre

Hauptherkunftsländer³

Indonesien, Kongo, Burma



Abb. 145: Lötzinn | Quelle: Ilja – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0



Abb. 146: Konservendose | Quelle: Rainer Zenz – commons.wikimedia.org, CC BY-SA 3.0

Herausforderungen

Rohstoffe stehen am Beginn jeder Lieferkette. Aus diesem Grund hat sich das Europaparlament im Jahr 2023 auf die Erarbeitung eines Lieferkettengesetzes geeinigt, das voraussichtlich in den nächsten Jahren von Österreich umgesetzt wird und primär größere Unternehmen betrifft. Ziel ist, Verletzungen von Menschenrechten und Umweltstandards zur Profitmaximierung zu verhindern. Wie die Verpflichtungen des Lieferkettengesetzes praktisch umgesetzt werden, z.B. welche Nachweise von Bergbaubetrieben in verschiedenen Ländern eingefordert werden, ist derzeit noch in Diskussion.

Globaler Rohstoffhunger hat sich seit 1970 vervierfacht

Insgesamt hat sich der Rohstoffhunger in den letzten 50 Jahren vervierfacht, was sowohl durch das Wachstum der Weltbevölkerung, als auch insbesondere durch den steigenden Lebensstandard in vielen großen Schwellenländern wie China oder Indien bedingt ist. Auch in den klassischen Industrieländern (Österreich nicht ausgenommen) wächst die Nachfrage nach Ressourcen weiter.

Mitverantwortlich für den steigenden Ressourcenbedarf ist die Einwegwirtschaft, die der Erde riesige Mengen Rohstoffe entnimmt, sie veredelt und verarbeitet, mit anderen Rohstoffen koppelt um Produkte herzustellen. Diese werden nach dem Gebrauch als Abfall entsorgt und gelangen nicht wieder in den Wirtschaftskreislauf. Derzeit verbraucht ein Viertel der Weltbevölkerung drei Viertel der Ressourcen und produziert drei Viertel der Abfälle und Emissionen. Unser Konsumverhalten und der Lebensstil entscheiden über die Rohstoffnachfrage und wie mit den Produkten umgegangen wird. Jährlich werden weltweit etwa zwei Mrd. Tonnen Siedlungsabfälle laut Weltbank (2018) produziert und mit steigender Weltbevölkerung wachsen auch die Müllberge. Jeder Mensch kann dazu beitragen, Ressourcen zu schonen und Rohstoffe in sinnvollen Mengen einzusetzen. Abfallvermeidung bereits im Kleinen und eine gezielte Zuführung der dennoch entstandenen Abfälle zu effizienten Recyclingsystemen sind weltweit von Nöten.

Dies ist auch eine Herausforderung für den Gesetzgeber, damit möglichst einheitliche und brauchbare Systeme installiert werden. Ein Ansatz dazu ist die EU-Verpackungsverordnung, deren Ziel

eine deutliche Verringerung der Verpackungsabfälle und damit der für Verpackungen eingesetzten Rohstoffe ist. Trotz all dieser Bemühungen finden immer noch viele Abfälle und Altgeräte Endlagerung auf riesigen Halden in Schwellenländern, wo keine Möglichkeit besteht, wertvolle oder auch giftige Stoffe zu extrahieren und fachgerecht zu entsorgen oder wiederverwerten. Oft wühlen sich Kinder durch die Abfallberge auf der Suche nach brauchbaren Teilen.

Weiters wird auch eine große Anzahl an „Schrottautos“ aus der EU in weniger entwickelte Länder exportiert, wodurch wertvolle Rohstoffe verloren gehen. Dies soll nach dem Willen der EU-Kommission verboten werden.

Einige Rohstoffe sind für Zukunftstechnologien von essentieller Bedeutung. Ob Photovoltaikzellen, Glasfaserkabel, LCDs, Elektroautos oder Mobiltelefone - für alle diese Produkte sind spezielle Metalle notwendig. Aufgrund der stark steigenden Nachfrage erhöht sich der globale Rohstoffbedarf drastisch. Vor allem seltene Metalle, die in geringen Mengen den Produkten beigegeben werden, wie Gallium, Neodym, Indium oder Platin, sind betroffen. Neben der technologischen Entwicklung trägt auch das allgemeine Wirtschaftswachstum der Schwellenländer, im Speziellen von der Volksrepublik China, zu einem Boom bei der Rohstoffnachfrage bei, der zu erheblichen Preisanstiegen führte.

Eine mögliche Verknappung von Rohstoffen hängt aber nicht nur vom tatsächlichen Vorkommen und der Ersetzbarkeit des Rohstoffes ab, sondern unterliegt aus ökonomischer Sicht zwei weiteren Kriterien. Zum einen können Konflikte auftreten, wenn sich die überwiegende Anzahl der Lagerstätten auf nur wenige Länder konzentriert, zum anderen ist auch eine Monopolstellung einiger weniger produzierenden Unternehmen ein Risikofaktor.

Die sichere Versorgung mit Rohstoffen ist für die Industrie unabdingbar, jedoch sind mit dem Ressourcenverbrauch teilweise



Abb. 147: Abfallberg in Südostasien | Quelle: neenawat555 - stock.adobe.com

gravierende Umweltschäden verbunden. Der Verbrauch von Ressourcen ist auch hinsichtlich der damit einhergehenden Umweltbelastungen begrenzt. Bergbau verursacht starke Boden-, Wasser- und Luftverschmutzungen und hat vor allem in Entwicklungsländern oft nachteilige Auswirkungen auf die lokale wirtschaftliche Entwicklung. Rein für die Gewinnung von einem Kilogramm Kupfer müssen 500 Kilogramm Material bewegt werden. Bei Edelmetallen ist der Unterschied noch deutlich größer. Zum Beispiel wird für ein Gramm Gold eine Tonne Erze aus großen Tiefen an die Erdoberfläche geholt, unabhängig von der erst dann beginnenden energieintensiven Verarbeitung. Der gesamte Prozess vom Rohstoff zum Endprodukt verbraucht immense Mengen an Flächen und fossiler Energie, die selbst ein knapper Rohstoff ist.

Kreislaufwirtschaft bedeutet, Materialien und Produkte so lange wie möglich zu teilen, wiederzuverwenden, zu reparieren, aufzuarbeiten und zu recyceln.

Um nachhaltig mit den Ressourcen unserer Erde umzugehen, ist es wichtig, die Metalle und andere Rohstoffe effizienter einzusetzen. Im Sinne einer modernen Kreislaufwirtschaft sollten Materialien und Produkte so lange als möglich geteilt, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus der Produkte verlängert und Abfälle auf ein Minimum reduziert.

Abfallarm und umweltschonend abbauen, möglichst lange Lebensdauer der Produkte, leicht trenn- und recyclebar – das schont die Umwelt und die Ressourcen. Der effiziente Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen ist ein maßgebliches Kriterium für eine zukunftsfähige Entwicklung der Wirtschaft und den Wohlstand einer Region.

Abb. 148: Modell der Kreislaufwirtschaft | Quelle: Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments

Glossar

Hauptherkunftsländer

Als Hauptherkunftsländer sind jene Länder angeführt, die die größte jährliche Fördermenge des jeweiligen Stoffes aufweisen.

Dynamische Reichweite/ Lebensdauer

Bei der dynamischen Reichweite beziehungsweise dynamischen Lebensdauer wird ein stetiger Verbrauchsanstieg zur Berechnung der Rohstoff-Verfügbarkeit angenommen.

Statische Reichweite/ Lebensdauer

Die statische Reichweite beziehungsweise statische Lebensdauer sagt aus, wie viele Jahre ein Rohstoff bei gegenwärtiger Jahresfördermenge noch zur Verfügung steht. Sie errechnet sich durch die derzeit bekannten Vorräte dividiert durch den gegenwärtigen Verbrauch.

Die statische Reichweite ist nur als Orientierungsgröße anzusehen, da neue Erschließungstechniken, die Nutzung unkonventioneller Reserven und der sparsamere Umgang mit Rohstoffen die Prognosen verändern. Die absolute Knappheit eines Rohstoffes, also wann das Rohstoffvorkommen

erschöpft ist, kann durch die statische Reichweite nicht wiedergegeben werden. Bei den Rohstoffbeschreibungen werden als Basis der Berechnung der statischen Reichweite die Weltressourcen verwendet.

Recycling

Durch Recycling wird Abfall zu einem Sekundärrohstoff, d.h. gebrauchte Materialien werden gesammelt, einzelne Elemente zurückgewonnen und wiederverwendet.

Reserven

Reserven umfassen die sicher nachgewiesenen und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen eines Rohstoffes in der Erdkruste.

Ressourcen

Ressourcen sind Rohstoffvorkommen, die noch nicht wirtschaftlich zu fördern oder noch nicht sicher bestimmt sind, aber aufgrund geologischer Indikatoren erwartet werden.

Rohstoffe

Rohstoffe sind natürlich vorkommende stoffliche Elemente, aus denen durch Bearbeitungs- und Umwandlungsprozesse nützliche Materialien gewonnen werden können.

Modell der Kreislaufwirtschaft: weniger Rohstoffe, weniger Abfall, weniger Emissionen



Quellenverzeichnis

Hinweis: Letztaufruf der nachstehenden Quellen März 2024

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Deutschland
<http://www.bgr.bund.de>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Deutschland: Hydraulic Fracturing
<https://www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewasser/grundwasser/grundwasserrisiken-hydraulic-fracturing>

Bundesinstitut für Risikobewertung, Deutschland
<https://www.bfr.bund.de>

Bundesministerium für Finanzen: Masterplan Rohstoffe 2030
<https://www.bmf.gv.at/themen/bergbau/mineralrohstoffpolitik/oesterreich/masterplan-rohstoffe-2030.html>

Bundesverband Geothermie, Deutschland: Unkonventionelles Öl
<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/o/oel-unkonventionelles>

Chemie.de
https://www.chemie.de/lexikon/Chemisches_Element.html

Chemikalienlexikon
<http://www.chemikalienlexikon.de/cheminfo/cheindex.htm>

Der Standard, 2023: WHO verlangt mehr Vorschriften zur Reduzierung von Salz
<https://www.derstandard.at/story/2000144311282/who-verlangt-mehr-vorschriften-zur-reduzierung-von-salz>

Der Standard, 2022: Globaler Rohstoffhunger hat sich seit 1970 vervierfacht
<https://www.derstandard.at/story/2000132277498/globaler-rohstoffhunger-hat-sich-seit-1970-vervierfacht>

Deutsche Rohstoffagentur
<https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/>

Europäische Kommission: Chemikalien
https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals_en

Europäische Kommission, 2022: Fragen und Antworten zur Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_22_7157

Europäische Kommission, 2023: Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 - Final Report
https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/study-critical-raw-materials-eu-2023-final-report_en

Europäische Kommission, 2023: Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC132889>

Europäische Kommission, 2023: Giftiges Quecksilber: EU-Kommission verbietet Verwendung von Zahn-Amalgam ab 2025
https://germany.representation.ec.europa.eu/news/giftiges-quecksilber-eu-kommission-verbietet-verwendung-von-zahn-amalgam-ab-2025-2023-07-14_de

Europäisches Parlament, 2023: Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile
<https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20151201ST005603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>

European Food Safety Authority: Bromierte Flammschutzmittel
<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/brominated-flame-retardants>

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
<http://www.isi.fraunhofer.de>

Forum mineralische Rohstoffe
<https://www.forumrohstoffe.at/baurohstoffe/>

Gesundheitsplattform gesund.co.at
<http://www.gesund.co.at>

Global Footprint Network
<https://data.footprintnetwork.org/>

Hudson Institute of Mineralogy, Mindat.org
<https://www.mindat.org/>

ILK Dresden: Heliumgewinnung aus Erdgas
<https://www.ilkdresden.de/projekt/heliumgewinnung-aus-erdgas>

Industriemagazin, 2022: Lieferkettengesetz: wie betrifft es österreichische Unternehmen?
<https://industriemagazin.at/news/lieferkettengesetz-wie-betrifft-es-oesterreichische-unternehmen/>

ISE Institut für seltene Erden und Metalle AG: Substitution Seltener Erden mithilfe der Nanotechnologie
<https://institut-seltene-erden.de/substitution-seltener-erden-mithilfe-der-nanotechnologie/>

Land Oberösterreich: Abfall und Kreislaufwirtschaft
<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/651.htm>

Land Oberösterreich: Rechtliche Informationen - Gewerbe und Mineralrohstoffgesetz
<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/106828.htm>

Mineralienatlas
<https://www.mineralienatlas.de/>

Statista, 2022: China dominiert den Markt für Seltene Erden
<https://de.statista.com/infografik/27806/weltweite-reserven-und-minenproduktion-von-seltenen-erden/>

The World Bank, 2018: Trends in Solid Waste Management
https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html

U.S. Department of the Interior, National Minerals Information Center
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center>

International Energy Agency: End-of-life recycling rates for selected metals
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/end-of-life-recycling-rates-for-selected-metals>

Wikipedia: Häufigkeit chemischer Elemente in der kontinentalen Kruste (inkl. dort zitierte Quellen):
https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth%27s_crust

Wikipedia: Reichweite von ausgewählten Rohstoffen (inkl. dort zitierte Quellen):
[https://de.wikipedia.org/wiki/Reichweite_\(Rohstoff\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Reichweite_(Rohstoff))

