

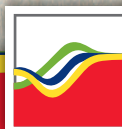


LAND

OBERÖSTERREICH

# Endlichkeit der Rohstoffe

## Ressourcenvorräte von A bis Z



OBERÖSTERREICHISCHE  
**ZUKUNFTS**  
AKADEMIE



<b>Einleitung</b> .....	5
• Mineralische und fossile Rohstoffe .....	5
• Rohstoffgewinnung historisch – heute .....	5
• Hubbert-Kurve .....	5
• Ökologischer Fußabdruck.....	6
• Rohstoffe in Zukunftstechnologien .....	6
• Recycling und Wiederverwendung – Sind Müllberge die Lagerstätten der Zukunft? .....	8
<b>Aluminium (Al)</b> .....	9
<b>Antimon (Sb)</b> .....	10
<b>Beryllium (Be)</b> .....	11
<b>Blei (Pb)</b> .....	12
<b>Braunkohle</b> .....	13
<b>Brom (Br)</b> .....	14
<b>Cadmium (Cd)</b> .....	15
<b>Chrom (Cr)</b> .....	16
<b>Erdgas</b> .....	17
<b>Erdöl</b> .....	18
<b>Eisen (Fe)</b> .....	19
<b>Flussspat (Fluorit)</b> .....	20
<b>Gallium (Ga)</b> .....	21
<b>Germanium (Ge)</b> .....	22
<b>Gold (Au)</b> .....	23
<b>Graphit (C)</b> .....	24
<b>Indium (In)</b> .....	25
<b>Kobalt (Co)</b> .....	26
<b>Kupfer (Cu)</b> .....	27
<b>Lithium (Li)</b> .....	28
<b>Magnesium (Mg)</b> .....	29



<b>Mangan (Mn)</b> .....	<b>30</b>
<b>Molybdän (Mo)</b> .....	<b>31</b>
<b>Nickel (Ni)</b> .....	<b>32</b>
<b>Niob (Nb)</b> .....	<b>33</b>
<b>Platingruppenmetalle (PGM)</b> .....	<b>34</b>
<b>Phosphor (P)</b> .....	<b>35</b>
<b>Quecksilber (Hg)</b> .....	<b>36</b>
<b>Rhenium (Re)</b> .....	<b>37</b>
<b>Salz (NaCl)</b> .....	<b>38</b>
<b>Selen (Se)</b> .....	<b>39</b>
<b>Seltenerdmetalle</b> .....	<b>40</b>
<b>Silber (Ag)</b> .....	<b>41</b>
<b>Silizium (Si)</b> .....	<b>42</b>
<b>Steinkohle</b> .....	<b>43</b>
<b>Tantal (Ta)</b> .....	<b>44</b>
<b>Tellur (Te)</b> .....	<b>45</b>
<b>Titan (Ti)</b> .....	<b>46</b>
<b>Uran (U)</b> .....	<b>47</b>
<b>Vanadium (V)</b> .....	<b>48</b>
<b>Wolfram (W)</b> .....	<b>49</b>
<b>Zink (Zn)</b> .....	<b>50</b>
<b>Zinn (Sn)</b> .....	<b>51</b>
<b>Herausforderungen</b> .....	<b>52</b>
<b>Glossar</b> .....	<b>53</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>54</b>
<b>Impressum</b> .....	<b>55</b>

Die 1972 veröffentlichte Studie „Die Grenzen des Wachstums“ von renommierten Wissenschaftern des Massachusetts Institute of Technology (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.

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 unsere Nachkommen gute Lebensbedingungen vorfinden.

## Mineralische und fossile Rohstoffe

Die mineralischen und fossilen Rohstoffe sind die natürlichen Ressourcen aus der Lithosphäre (feste Gesteinschülle) 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 abbauwürdig ist, hängt im wesentlichen von drei Faktoren ab: Rohstoffqualität, Erschließungs- bzw. Abbaukosten und dem Absatzmarkt. Ressourcenreiche Länder gehören aber meist zu den ärmsten unseres Planeten. Dieses scheinbar wirtschaftliche Paradoxon wird als „Ressourcenfluch“ bezeichnet.

## Rohstoffgewinnung historisch – heute

Ressourcenabbau und die Veredelung von Rohstoffen wird 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 „high tech“-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 als in der Neuzeit.



WIKIMEDIA COMMONS/DEUTSCHES BUNDESARCHIV, HANS-GÜNTER DÜCKENSKY

Schaufler der Bergarbeiter

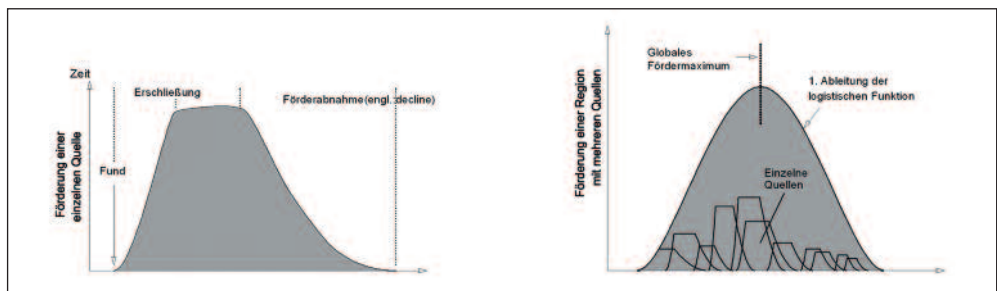


WIKIMEDIA COMMONS / A. GÜTHEIN

Schaufleradbagger

## 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.



Statistische Darstellungen einer Hubbert-Kurve für eine Einzelförderquelle und für das globale Vorkommen eines Rohstoffs

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 70er-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, natürliche Rohstoffe, Energieträger etc., die wir verbrauchen, benötigen Platz

zum Nachwachsen. Ebenso braucht die Natur Kapazitäten, um unsere Abfälle und Emissionen zu verarbeiten. Der ökologische Fußabdruck wird in Global Hektar (= 10.000 m<sup>2</sup>) angegeben, der einem Hektar weltweit durchschnittlicher biologischer Produktivität entspricht.

Zwei Planeten von der Größe der Erde wären notwendig, wenn die gesamte Weltbevölkerung die gleiche Ressourcenmenge benötigen würde, wie die Österreicher und Österreicherinnen.

## Und welchen ökologischen Fußabdruck hinterlassen Sie?

Weitere Informationen im Internet unter [www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)!

Flächenverbrauch 2008 in Global Hektar (gha) pro Person (Weltdurchschnitt: 2,70 gha)	
Bangladesch	0,66
Indien	0,87
Ägypten	2,06
China	2,13
Russische Föderation	4,40
Österreich	5,29
Finnland	6,21
Australien	6,68
USA	7,19
Kuwait	9,72

LIVING PLANET REPORT 2012



FOTOLIA © DANIEL ERNST

Flächenverbrauch in Global Hektar (2008)

Fußabdruck

Zukunftstechnologie	Rohstoffe (Auswahl)
<b>Elektrische Traktionsmotoren für Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge</b> Innovative Elektromotoren für KFZ	Eisen, Kobalt, Kupfer
<b>Leichtbau im Kraftfahrzeugbau</b> Gewichtsreduktion zur Kraftstoffeinsparung	Aluminium, Eisen, Magnesium, Titan
<b>Magnetschwebbahn</b>	Eisen, Kobalt, Kupfer
<b>LED- und OLED-Technik</b> Quecksilberfreie und energiesparende Beleuchtungs- und Displaytechnik	Aluminium, Gallium, Indium, Magnesium, Selen, Silber, Zink, Zinn
<b>Biomass to Liquid</b> Herstellung von synthetischen Kraftstoffen aus Biomasse	Eisen, Kobalt, Platin
<b>Dünnschicht-Solarzellen</b> Energie- und materialeffiziente Solartechnik	Cadmium, Gallium, Indium, Kupfer, Silizium
<b>Fusionskraftwerke</b> Kernfusion als Energiequelle	Beryll, Blei, Chrom, Kupfer, Lithium, Magnesium, Niob, Tantal, Titan, Vanadium, Wolfram, Zinn
<b>Offshore Windanlagen</b> Regenerative Stromerzeugung	Chrom, Eisen, Magnesium, Nickel
<b>Piezo-Antriebsmotoren</b> Neue Generation elektrischer Motoren	Blei, Titan
<b>Solarthermische Kraftwerke</b> Sonnenenergie-Konzentration mit Parabolrinnen	Aluminium, Silber
<b>Biokunststoffe</b> Herstellung aus verholzter Biomasse	Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel
<b>Dezentrale Wasseraufbereitung</b> Kleinräumige, siedlungsbezogene Wasserver- und Abwasserentsorgung	Chrom, Eisen, Kupfer
<b>Feinstaubabscheider für Kleinf Feuerungsanlagen</b> Naturzugfiltersysteme	Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel
<b>Landfill Mining</b> Rückgewinnung von Wertstoffen aus Deponien	Chrom, Eisen, Nickel
<b>Aerogele</b> Hocheffektive Wärmedämmstoffe	Aluminium, Chrom, Silizium, Zinn
<b>Sensitive schaltbare Gläser</b> IR-Durchlässigkeit veränderbar; Verschattung und Wärmeschutz	Indium, Silber, Wolfram, Zinn

DATENGRUNDLAGE: BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE, SCHLUSSBEREICH „ROHSTOFFE FÜR ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN“

Auswahl von klimaschutzrelevanten Zukunftstechnologien und den benötigten Rohstoffen

## Rohstoffe in Zukunftstechnologien

Der technische Wandel hat bedeutende Auswirkungen auf die Rohstoffnachfrage vor allem bei Stoffen wie Gallium, Indium und Germanium. Weiters erhöht sich der Ressourcenverbrauch weltweit durch das stetige globale Wirtschaftswachstum – mit entsprechenden Auswirkungen auf die benötigten Rohstoffe. Auf die wirtschaftliche Steigerung ist vor allem die Erhöhung der Abbauraten von Rohstoffen wie Eisen, Kupfer und Chrom zurückzuführen. Der Verbrauch an Platingruppenmetallen, Silber, Kobalt oder etwa Titan hängen sowohl von der technologischen Veränderung als auch von der Wirtschaftsleistung ab.

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

## 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 Massenerohstoffen anfallen, zum Beispiel Indium bei der Zinkverhüttung. Diese Rohstoffe werden zum Beispiel 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.



Altmetall-Sammlung

WIKIMEDIA COMMONS/BLAHED



# Aluminium (Al)

## ■ Gewinnung

Aluminium ist das am häufigsten vorkommende Metall in der Erdkruste, jedoch großteils in Alumosilikaten gebunden aus denen es kaum isoliert werden kann. Daher wird Aluminium großtechnisch nur aus Bauxit gewonnen. Dieses Erz ist zu 60 % aus Aluminiumoxid/-hydroxid-Gemisch aufgebaut, dass durch das Bayer-Verfahren unter zu Hilfenahme von Natronlauge von Eisen- und Siliziumoxid getrennt und anschließend in einem Drehrohr-Ofen (Zylinderofen) zu Aluminiumoxid gebrannt wird. Die Herstellung von reinem Aluminium erfolgt danach durch Elektrolyse. In Verbindung mit Sauerstoff bildet sich an der Aluminiumoberfläche eine Oxidschicht, die das Metall widerstandsfähig gegen äußere Einflüsse macht.

## ■ Verwendung

Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften kann Aluminium geschäumt werden. Der Aluminiumschaum findet besonders in der Leichtbaukonstruktion von Fahrzeugen Verwendung, da er trotz seines geringen Gewichtes eine hohe Steifigkeit aufweist und bei Unfällen einen hohen Teil der Stoßenergie absorbiert. 100 kg weniger Gewicht reduziert den Treibstoffverbrauch eines Kraftfahrzeuges um etwa 0,5 Liter pro 100 km und weniger Verbrauch bedeutet weniger Emissionen. Aluminium wird in der Halbleitertechnik verwendet, ebenso in Verbindung mit Gallium und Arsen in der LED-Technologie.

Wichtiger Abnehmer für das leicht verformbare Aluminium ist auch die Verpackungsindustrie — für Dosen und Alufolie. Weitere Anwendungen sind die Raketen- und Pyrotechnik, Oberflächenbeschichtungen und selbst in bestimmten Lebensmittelfarben ist Aluminium enthalten.

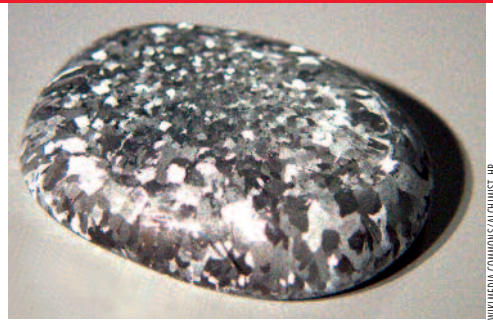
## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die Aluminiumherstellung durch Elektrolyse ist wegen der

## ■ Verwendungsbeispiele



Aluminiumkarosserie



99,9 % reines Aluminium, geätzt mit deutlich sichtbaren Kristalliten

hohen Bindungskräfte sehr energieintensiv. Die industrielle Verarbeitung von Aluminium verursacht durch Transportwege und zusätzlichen Energieaufwand weitere Umweltbelastungen. Als positiv ist die gute Wiederverwertbarkeit (Energieeinsparung durch Verwendung von Sekundäraluminium) ebenso zu vermerken, wie die bereits erwähnten Treibstoffeinsparungen durch die Leichtbauweise.



Aluminiumschaum

Obwohl Aluminium das am häufigsten natürlich vorkommende Metall der Erdkruste ist, kann es unter ökonomischen Gesichtspunkten nur durch flächenintensiven Bauxitabbau gewonnen werden. Die statische Lebensdauer von Aluminium wird mit mehreren 100 Jahren angegeben.



LCD-Monitor

# Antimon (Sb)

## ■ Gewinnung

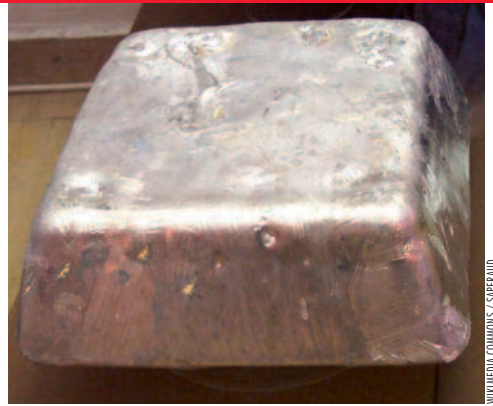
Antimon ist ein silberglänzendes, sprödes Halbmetall, das industriell überwiegend aus Stibnit (über 70 % Antimon-Gehalt) gewonnen wird, der hauptsächlich in China, Mexiko und Bolivien abgebaut wird. Durch Reduktionsverfahren mit Kohlenstoff oder Eisen erfolgt die Trennung von reinem Antimon aus der Schwefelverbindung im Stibnit.

## ■ Verwendung

Der größte Teil des abgebauten Antimons dient als Flamm- schutzmittel in Kunststoffen, Klebstoffen oder Textilien, wie Auto- sitzbezüge oder Vorhänge. Weiters dient Antimon zur Härtung von Blei- und Zinnlegierungen, etwa für Blei-Akkus, Bleimantel für Erdkabel oder Lötzinn. Eine besondere Eigenschaft von Antimon hilft im Präzisionsguss: Es dehnt sich beim Abkühlen im Gegensatz zu den meisten anderen Elementen aus und kann daher einem Schrumpfen des fertigen Gusses entgegenwirken beziehungsweise füllt die Gussformen bis zum Rand aus.

Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich in der modernen Industrie ist als Katalysator in der Kunststofftechnik zur Herstellung von Polyester und PET oder zur Ableitung von elektrostatischen Ladungen.

Zukünftig werden Antimon-Zinn-Oxide durch die besonderen Eigenschaften als transparente Stromleiter in der Displaytechnik oder auch für thermophotovoltaische Anwendungen (Solarzellen) vermehrten Einsatz finden.



WIKIMEDIA COMMONS / SAFEAND

Antimon-Barren

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Antimon ist ein sehr selten vorkommendes Element. Es wird angenommen, dass es nur 0,00002 % der Erdkruste ausmacht. Mit den derzeitigen Einschätzungen der Stibnitvorkommen ist Antimon bei gleichbleibender Jahresfördermenge in 16 Jahren aufgebraucht beziehungsweise mit erwarteten Reserven in 32 Jahren.

Rückgewonnen kann Antimon zum Beispiel aus den Blei-Akkus werden, jedoch aus dem mengenmäßig viel bedeutenderen Bereich der Flammenschutzmittelanwendungen nicht. Antimonverbindungen sind als Gefahrstoffe zu kennzeichnen.

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / ROSSERATU IT

Solarzellenfertigung



WIKIMEDIA COMMONS / T. WYDA

Starterbatterie

# Beryllium (Be)

## Gewinnung

Beryllium wird hauptsächlich in den Äquatorialgebieten aus Beryll und Bertrandit gewonnen. Beryll-Vorkommen gibt es aber auch im Oberösterreich. Die größte Fundstelle ist bei Neumarkt im Mühlkreis, jedoch reicht das Vorkommen nicht aus, um einen Abbau wirtschaftlich betreiben zu können.

Reines Beryllium entsteht durch Reduktion von Berylliumfluorid bzw. durch Schmelzflusselektrolyse von Berylliumchlorid.

## Verwendung

Beryllium ist ein stahlgraues, sehr hartes und sprödes Leichtmetall mit einem hohen Schmelzpunkt (1.287 °C). Die Eigenschaften des Berylliums sind ähnlich derer des Aluminiums. Es wird vor allem in Legierungen verwendet, um die Härte, Temperatur- sowie Korrosionsbeständigkeit etwa von Kupfer, Eisen oder Nickel zu verbessern. Beryllium-Legierungen dienen zur Herstellung von Uhrfedern, chirurgischen Instrumenten und Röntgengeräten. Auch in der Flugzeug- bzw. Weltraumtechnik und in der Kernfusionsforschung wird Beryllium verwendet.

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Beryllium ist stark gesundheitsgefährdend – extrem giftig und krebserregend. Besonders das Einatmen von Beryllium-Staub führt zu Schleimhautreizungen, Lungenschäden und -krebs mit oftmals tödlichem Ausgang. Aber auch über Hautkontakt gelangen Beryllium-Ionen in die Zellkerne und führen zu mutagenen bzw. kanzerogenen Veränderungen.

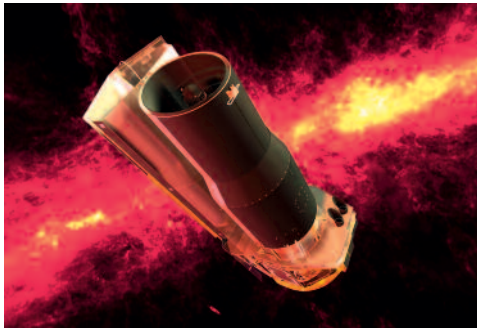
Beryllium ist ein seltenes Element, das Untersuchungen zu Folge etwa 0,00053 % der Erdkruste ausmacht. Es wird prognostiziert,



Beryllium, kristallines Bruchstück

dass für einen wirtschaftlichen Abbau Reserven in der Höhe von 80.000 Tonnen zur Verfügung stehen. Bei gleichbleibender Fördermenge reicht Beryllium ähnlich wie Aluminium noch für mehrere hundert Jahre. Aufgrund dessen, dass in Legierungen meist nur geringe Mengen Beryllium eingesetzt werden, wird nur ein geringer Anteil recycelt und wieder verwendet.

## Verwendungsbeispiele



Spitzer-Weltraumteleskop mit Milchstraße



Chirurgische Instrumente

# Blei (Pb)

## ■ Gewinnung

Einen geringen Anteil an gediegenem Blei gibt es in der Erdkruste, das heißt es kommt in seiner reinen chemischen Form vor. Der Großteil des Bleis wird aber aus Bleierzen gewonnen, vor allem aus Galenit (Bleiglanz), aber auch aus Cerussit, Krokoit und Anglesit. Die Hauptabbaulagerstätten liegen in China, in Australien und in den USA.

Reines Blei wird aus den Bleierzen durch Rösten bei 1.000 °C und anschließende Reduktion mit Hilfe von Koks gewonnen. Moderne Herstellungsverfahren basieren auf Direktschmelzvorgängen.

## ■ Verwendung

Blei ist ein bläulich-graues, leicht bearbeitbares Schwermetall. Die Verwendung von Blei hat sich im Laufe der Zeit stark gewandelt. Blei wurde schon in der Bronzezeit, bei den Babyloniern und in der Römerzeit für Gefäße, Geschoße und Wasserleitungen eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden ca. 60 % der jetzigen Bleifördermengen zur Herstellung von Bleiakкумуляtoren verwendet, die vor allem als Starterbatterien in Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommen. Daneben spielt Blei im Strahlenschutz eine Rolle, da es Röntgen- und bei ausreichender Dicke auch Gammastrahlung abschirmt. In vielen anderen Bereichen wird Blei aufgrund seiner Giftigkeit kaum mehr verwendet (frühere Verwendung für Wasserleitungen, Munition oder auch als Zusatzstoff bei Treibstoffen).

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Früher wurden Bleirohre als Wasserleitungen eingesetzt, was noch heute zu erhöhten Bleikonzentrationen im Trinkwasser der betroffenen Häuser führt. Ein rasches Auswechseln der Rohre wird



WIKIMEDIA COMMONS / CARSTEN WIEHAUS

Bleiwürfel

empfohlen. Der derzeitige Grenzwert für Blei im Trinkwasser liegt bei 0,025 Milligramm pro Liter und wird mit 1. Dezember 2013 auf maximal 0,01 Milligramm pro Liter gesenkt. Gelöstes Blei, Bleiverbindungen und -stäube sind als giftig und umweltgefährdend eingestuft. Bei einer Bleivergiftung werden Schäden am Nervensystem, der Nieren und im Magen-Darm-Bereich, ebenso beeinträchtigte Blutbildung diagnostiziert.

Blei macht etwa 0,0018 % der Erdkruste aus und zählt zu den seltenen Elementen unseres Planeten. Unter Annahme gleich bleibender Förderbedingungen sollte Blei in ca. 30 Jahren zur Neige gehen. Großer Vorteil von Blei ist die gute Recyclebarkeit. Vor allem aus den Bleiakkus wird das Blei zurück gewonnen und wiederverwendet (Sekundärblei).

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / NOSFERATU IT

Bleiakku



WIKIMEDIA COMMONS / CHANGEE

Bleimantelung zum Schutz vor radioaktiver Strahlung



## ■ Gewinnung

Braunkohle wird überwiegend im Tagebau abgebaut. Ihr Anteil am weltweiten Gesamtkohleverbrauch ist mit ungefähr 3 % sehr gering. 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.

## ■ 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 ( $\text{CO}_2$ ) freigesetzt (siehe Steinkohle).

Nachzeitigem Wissens- und Technikstand sind die Braunkohlereserven bei gleich bleibender Fördermenge noch etwa 200 Jahre in ausreichender Menge vorhanden.



Tagebau Hambach (Deutschland)

WIKIMEDIA COMMONS / JOHANNES HASLI

## ■ Verwendungsbeispiele



Braunkohlebriketts

WIKIMEDIA COMMONS / NUSBAK



Aktiv-Kohle z. B. für Filter, Kohletabletten

WIKIMEDIA COMMONS / RAYEDAVE

# Brom (Br)

## ■ Gewinnung

Brom kommt natürlich in Form von Salzen der Bromwasserstoffsäure vor (Bromide). Bromide sind Bestandteile des Meerwassers und in geringeren Mengen auch in Salzlagerstätten als Bromcarnallit zu finden. Die größten Abbaulagerstätten sind in Salinen in den Vereinigten Staaten und in China zu finden. Elementares Brom wird durch Oxidation der Bromidlösungen unter Zugabe von Chlor und nachfolgender Destillation industriell gewonnen.

## ■ Verwendung

Brom findet hauptsächlich als Bromverbindungen Verwendung. Etwa die Verbindung mit Silber zu Silberbromid dient als lichtempfindliche Schicht auf Filmmaterial. Auch im roten Farbstoff Eosin, der in Nagellack, Lippenstift oder roter Tinte vorkommt, sind Bromverbindungen enthalten. Als Flammenschutzmittel wird Brom bei der Reifenherstellung, für Leiterplatten und in Dämmstoffen verwendet. Es ist Bestandteil von Arzneimitteln, Pestiziden und dient zur Desinfektion bzw. Wasserreinigung (z. B. Swimmingpool).

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Brom ist eine schwere übelriechende rotbraune Flüssigkeit, die bereits bei Zimmertemperatur zu verdampfen beginnt. Die Dämpfe sind sehr giftig, führen zu Verätzungen der Bronchien und zur Erstickung.

Bromide sind allgegenwärtige natürlich vorkommende Verbindungen. Daher kann die jährlich gewonnene Brommenge von derzeit ca. 500.000 Tonnen über Jahrhunderte sichergestellt werden. Vor allem aus Produkten, die bromierte Flammenschutzmittel enthalten, kann Brom auch recycelt werden.

## ■ Verwendungsbeispiele



roter Lippenstift



WIKIMEDIA COMMONS / TOMIHANDORF

Ampulle mit flüssigem Brom



Swimming pool

FILICIA / IVC BRITAIN

# Cadmium (Cd)

## Gewinnung

In reiner Form kommt Cadmium in der Natur nur äußerst selten vor. Es sind nur zwei Fundorte von gediegenem Cadmium in Ostsibirien und in Nevada bekannt. Cadmium wird fast ausschließlich als Nebenprodukt bei der Zinkverhüttung gewonnen. Pro Tonne Zink erhält man durchschnittlich 3 kg Cadmium. Die größten Lagerstätten für cadmiumhaltige Zinkerze sind in den USA, in Kanada und in Australien zu finden.

## Verwendung

Das silberglänzende 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

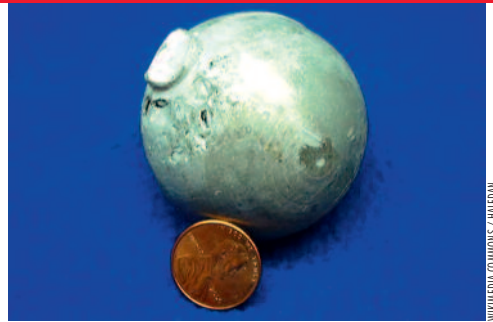
Der menschliche Organismus nimmt das sehr giftige Schwermetall hauptsächlich über die Nahrung auf. Hohe Cadmiumkonzentrationen finden sich zum Beispiel in Leber, Pilzen und Muscheln. Durch den Einsatz von cadmiumhaltigen Kunstdüngern steigt der Cadmiumgehalt in beinahe allen Nahrungsmitteln. Das Schwermetall hat vor allem schädigende Wirkung auf Niere und Knochen. Die wiederaufladbaren Nickel-Cadmium-Akkus sind zwar gut recyclebar, jedoch werden Batterien nur zu etwa 30 % einer sachgerechten Rücknahme zugeführt. Aufgrund der hohen Toxizität ist die Verwendung von Akkus mit mehr als 0,002 % Cadmium-Gehalt seit 2008 EU-weit verboten.

Die Kapazität der Primärproduktion von Cadmium ist mit den derzeitig wirtschaftlich erschließbaren Reserven und gleich bleibender Jahresabbauemenge in ungefähr 30 Jahren erschöpft.

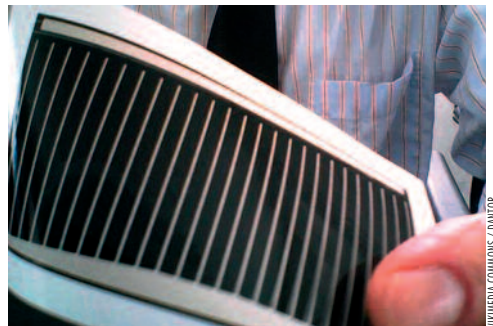
## Verwendungsbeispiele



verschiedene NiCd-Akkus



Cadmium-Kugel mit Größenvergleich



Dünnschicht-Solarzelle

# Chrom (Cr)

## ■ Gewinnung

Chrom wird fast ausschließlich als Chromit im Tagebau oder aus geringer Tiefe abgebaut. Durch Reduktion mit Aluminium oder Silizium kann aus Chromiterz metallisches Chrom gewonnen werden. Zirka die Hälfte des weltweiten Chromits stammt aus Südafrika. Weitere bedeutende Abbauländer sind Kasachstan und Indien.

## ■ Verwendung

Das silberglänzende reine Chrom zeichnet sich durch Zähigkeit und gute Verformbarkeit aus. Unter Einfluss von Wasserstoff oder Sauerstoff wird Chrom außerordentlich hart und korrosionsbeständig. Daher ist es das wichtigste Legierungsmetall zur Herstellung von korrosions- und hitzebeständigen Chromstählen. Verschiedene Materialien können mit einer dünnen Chromschicht verchromt werden und somit gegen äußere Einflüsse widerstandsfähig gemacht werden (rostfrei). Chromoxidgrün wird als Emaillefarbe und zum Färben von Glas (z. B. grüne Flaschen) verwendet. Auch für die Herstellung von Leder wird Chrom benötigt (Chromgerbung).

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

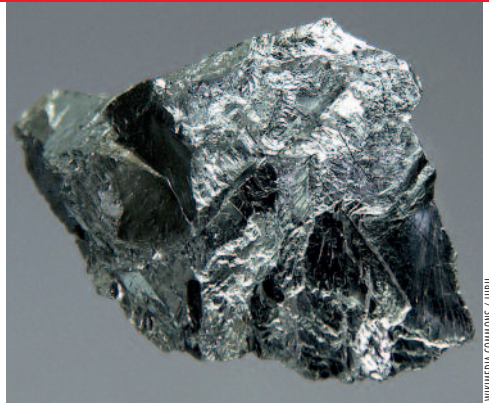
Chrom ist ein essentielles Spurenelement. Bei Chrommangel treten diabetesähnliche Symptome sowie erhöhter Fettsäuregehalt im Blut auf. Jedoch ist Chrom in höheren Dosen in den meisten Formen gesundheitsschädigend.

Hauptemittent in Europa ist die Stahlindustrie, die jährlich ca. 15.000 Tonnen Chrom in die Atmosphäre einbringt. Über die Luft bzw. Abwässer gelangt Chrom auch in den Boden, in Oberflächengewässer und ins Grundwasser. Besonders Fische reagieren sehr sensibel auf den Gehalt an Chromaten im Wasser.

## ■ Verwendungsbeispiele



Essbesteck



hochreiner Chromkristall

WIKIMEDIA COMMONS / JURI

Chrom in Verbindungen ist ein weit verbreitetes Element in der Erdkruste. Bei heutigem Wissenstand über Vorkommen, Reserven und Abbaumengen sollte eine Versorgung über mehrere hundert Jahre sichergestellt sein.



Wasserhahn

WIKIMEDIA COMMONS / AVARE

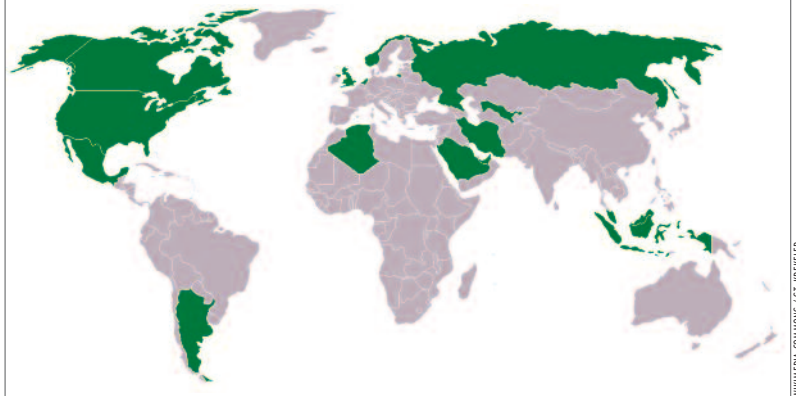


## Gewinnung

Der Großteil des heutigen Erdgasvorkommens ist vor Jahrmillionen unter Luftabschluss, erhöhter Temperatur und hohem Druck aus abgestorbenen Kleinstlebewesen entstanden. Die Gewinnung erfolgt über Bohrungen entweder in reinen Erdgasfeldern oder als Nebenprodukt bei der Erdölförderung. Um die notwendige Reinheit für eine industrielle Weiterverwendung zu erhalten, wird dem Erdgas durch Trocknung Wasser entzogen. Die bedeutendsten Erdgasförderländer sind Russland, die USA, Kanada und Staaten im Nahen Osten.

## Verwendung

Erdgas wird hauptsächlich zur Wärme- und Stromerzeugung verwendet (z. B. zum Heizen oder Kochen). Jedoch gewinnt es auch als Kraftstoff für Fahrzeuge in gasförmigen (CNG: compressed natural gas) bzw. verflüssigten Zustand (LNG: liquified natural gas) an Bedeutung. Der Energiegehalt von 1 kg Erdgas entspricht etwa 1,5 Liter Benzin bzw. 1,33 Liter Diesel. Auch Erdgassteckdosen gibt es, an denen Erdgas-Haushaltsgeräte über spezielle Gasschläuche mit Energie versorgt werden können.



Staaten mit den größten Erdgasförderungsmengen

WIKIMEDIA COMMONS / ST. KEEGER

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Erdgas ist umweltschonender als andere fossile Energieträger, da es nicht raffiniert werden muss und bei der Verbrennung weit aus weniger Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) an die Atmosphäre abgibt. Jedoch entweichen bei der Gewinnung, beim Transport und der Verarbeitung des Naturgases große Mengen an treibhauswirksamen Methan.

Die statische Lebensdauer wird mit derzeitigen Kenntnissen von Fördermengen und Vorräten mit 160 Jahren beziffert bei Erreichung des Fördermaximums um das Jahr 2020. Eine Besonderheit stellt Methanhydrat dar, das sich bei tiefen Temperaturen und hohem Druck in Eis bilden kann. Die weltweiten Vorkommen sind erheblich.

## Verwendungsbeispiele



CNG-Fahrzeug

LINO COO / B. HAUDUM



Gasherd

ABOUTPIXEL / RAINEK STÜRM

## Gewinnung

Die großtechnische Erdölförderung nahm seinen Anfang in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die meisten Öllagerstätten befinden sich in tieferen Erdschichten und werden durch Tiefbohrungen erschlossen.

Es werden drei Förderphasen unterschieden:

1. Primärförderung: Durch den natürlichen Druck in der Lagerstätte bzw. durch Pumpen kann das Erdöl zu Tage gebracht werden.
2. Sekundärförderung: Durch Einpressen von Wasser oder Gas wird der Druck künstlich erhöht, um weiteres Erdöl zu gewinnen.
3. Tertiärförderung: Durch Einpressen von Wasserdampf, Polymere, Chemikalien u. a. werden die Erdöleigenschaften für eine bessere Fördermöglichkeit verändert (z. B. Viskosität). Hauptförderländer sind Saudi-Arabien, Russland und die USA. Das gewonnene Rohöl wird in Raffinerien zu verschiedenen hochwertigen Produkten, wie etwa Kraft- und Brennstoffe oder Bitumen („Erpech“), aufbereitet.

## Verwendung

Erdöl wird hauptsächlich für die Energieversorgung genutzt – zum Heizen und Antreiben von Motoren. In der chemischen Industrie basiert ein Großteil aller Molekülverbindungen auf Erdöl- bzw. Erdgasbestandteilen. Aus Erdöl werden Flüssiggas, Benzin, Kerosin, Diesel, Heizöl, Bitumen und Schmiermittel erzeugt. Auch liefert es Ausgangsprodukte für die chemische Weiterverarbeitung zu Kunststoffen, Lacken, Kosmetika und vieles andere.

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Erdöl belastet die Umwelt

- ▶ von der Suche: Flächenverbrauch, Bau von Industrieanlagen

## Verwendungsbeispiele



Kraftstoffe an der Tankstelle



Erdöl-Raffinerie in Schwechat (NÖ)

- in sensiblen Ökosystem
- ▶ über die Förderung: Öleintrag über Bohrschlamm und -gestein, Förderunfälle
- ▶ den Transport: Bodeneintrag, Wasserverseuchung durch Leckagen; Ölpest
- ▶ die Verarbeitung: Luft- und Abwasseremissionen
- ▶ bis hin zum Verbrauch: Bei der Verbrennung wird Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) frei.

Mit dem derzeitigen Wissensstand über Fördermengen und Reserven reicht Erdöl noch für etwa 40 bis 50 Jahre. Jedoch wird angenommen, dass zukünftig neue Förderquellen erschlossen werden können, die die Reichweite erhöhen. Zugleich steigt aber der Ölverbrauch durch die wirtschaftliche Entwicklung von Schwellenländern wie Indien oder China. Nichtkonventionelle Ölressourcen wie Ölsande werden an Bedeutung gewinnen, jedoch ist die Ölförderung daraus mit starken finanziellen, energetischen und ökologischen Auswirkungen verbunden.



Asphaltbeimischung (Bitumen)

WIKIMEDIA COMMONS/PRIMO

WIKIMEDIA COMMONS/ROSEBATH

WIKIMEDIA COMMONS/GASCARA PÖSCH

# Eisen (Fe)

## ■ Gewinnung

Eisenerz wird im Tage- und Untertagebau gewonnen. Hauptförderländer sind die Volksrepublik China, Japan, Russland, die USA und Brasilien.

Nur ein äußerst geringer Teil des Eisenerzes kann direkt im Hochofen eingesetzt werden. Meist kommt das Eisenerz als Feinerz in die Sinteranlage, um danach als verfestigtes Stückgut dem Hochofenprozess zugefügt zu werden aus dem man Eisen und Schlacke gewinnt.

## ■ Verwendung

Zum größten Teil wird Eisen zu Stahl weiterverarbeitet, der in fast allen Bereichen besonders in der Baubranche oder im Fahrzeugbau zum Einsatz kommt. Darüber hinaus weist Eisen ferromagnetische Eigenschaften auf, die Techniken, die auf Elektromagnetismus beruhen, erst ermöglichen (bspw. Generatoren, Transformatoren, Elektromotoren ...).

Wichtiger Abnehmer für das leicht verformbare Aluminium ist auch die Verpackungsindustrie – für Dosen und Alufolie. Weitere Anwendungen sind die Raketen- und Pyrotechnik, Oberflächenbeschichtungen und selbst in bestimmten Lebensmittelfarben ist Aluminium enthalten.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Für Lebewesen ist Eisen ein essentielles Spurenelement. Bei höheren Dosen treten aber Vergiftungserscheinungen auf.

Der Abbau von Eisen vor allem im Tagebau zieht massive Eingriffe in das Landschaftsbild mit sich, wie auf dem Foto des steirischen Erzberges zu sehen ist. Gelangt bei der Verarbeitung des Erzes zuviel Eisen in die Abwässer, kommt es durch die erhöhte Nährstoffzufuhr zu einem massiven Algenwachstum („Algen-



hochreines Eisen

blüte“). Die Erzeugung von Rohstahl ist aufgrund der hohen Temperaturniveaus sehr energieintensiv, jedoch kann Stahl sehr gut recycelt werden.

Eisen ist ein sehr häufiges Element in der Erdkruste. Nach derzeitigem Kenntnisstand über Abbau- und Recyclingmengen sowie Reserven liegt die statische Lebensdauer von Eisen bei 120 Jahren. Werden gegenwärtig noch nicht wirtschaftlich abbaubare bzw. prognostizierte Lagerstätten mit einbezogen, gilt Eisenerz für die nächsten Jahrhunderte als gesichert. Zukünftig ist jedoch anzunehmen, dass durch aufstrebende Länder, wie China, Südkorea oder Indien, die Stahlnachfrage erheblich ansteigt.



steirischer Erzberg

## ■ Verwendungsbeispiele



Sechsschienengleis



Brückenpfeiler aus Stahlbeton

# Flussspat (Fluorit)

## ■ Gewinnung

Mehrere Millionen Tonnen Roherz werden jährlich im Tage- und Untertagebau gewonnen. Um konzentriertes Fluorit zu erhalten, muss es eine mehrstufige Flotation (Trennverfahren durch anhaftende Gasblasen) durchlaufen, um von anderen Materialien getrennt zu werden. Die größten Flussspat-Lagerstätten finden sich in Mexiko, China und Südafrika.

## ■ Verwendung

Fluorit wird in der Metallindustrie als Flussmittel eingesetzt, beschleunigt Schmelzvorgänge und erleichtert die Handhabung geschmolzener Elemente. Auch in der Keramik- und Kunststoffindustrie und für Laseranwendungen wird es eingesetzt. Flusssäure, aus Flussspat gewonnen, findet beim Ätzen von Glas Verwendung. Außerdem wird Fluor, das als Zusatzmittel in Zahnpasten dient, zu einem großen Teil aus Fluorit gewonnen.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

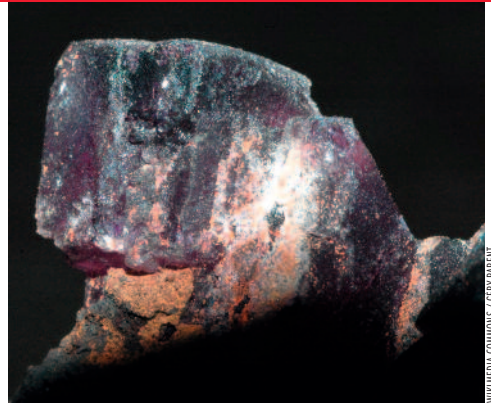
Die mächtigen Abbaulagerstätten verändern das Landschaftsbild. Transporte und Fabriken zur Weiterverarbeitung wirken sich nachteilig auf Wasser-, Boden- und Luftqualität aus. Für Lagerstätten in tropischen Gebieten werden große Regenwaldflächen abgeholzt. Die Waldflächen fungieren aber als wichtige globale CO<sub>2</sub>-Senke, dienen der Klimaregulation (ohne Regenwald wäre es in den Tropen heißer und trockener, in den gemäßigten Breiten kälter) und sind wesentlicher Bestandteil des weltweiten Wasserhaushaltes.

## ■ Verwendungsbeispiele



Zahnpasta

ABOUTPIXEL / BENZO



violetter Flussspat

WIKIMEDIA COMMONS / GERRY PARENT

Die statische Lebensdauer von Flussspat liegt mit einer derzeitigen Fördermenge von ca. 5 Millionen Tonnen jährlich bei etwa 50 Jahre. Flussspat wird jedoch auch in Zukunft ausreichend vorhanden sein, da große Lagerstätten angenommen werden, deren Erschließung heute noch nicht wirtschaftlich möglich ist bzw. nur auf geologischen Prognosen beruhen. Außerdem ist vor allem die chemische Industrie nicht am Flussspat sondern am Fluor interessiert, das auch aus anderen Elementen gewonnen werden kann.



Eisenschmelze

WIKIMEDIA COMMONS / BUNDESARCHIV



# Gallium (Ga)

## Gewinnung

Gallium kommt in der Natur nur vergesellschaftet mit anderen Elementen vor. Es wird großteils als Nebenprodukt bei der Aluminiumherstellung aus Bauxit gewonnen. Daneben ist Gallium auch Bestandteil von Zinkblende und Germanit. Reines Gallium entsteht durch Elektrolyse von Galliumoxid und -chlorid. Die wichtigsten Lagerstätten liegen in Chile, in der USA und in Kanada.

## Verwendung

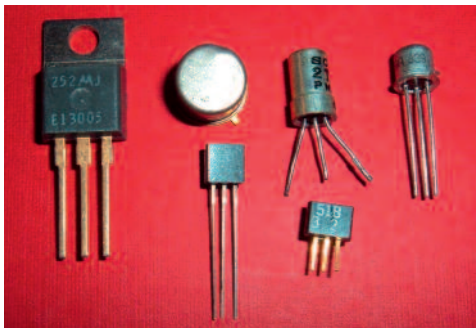
Galliumverbindungen dienen zur Herstellung von Transistoren, Hochleistungs-Mikrochips, Leucht- und Laserdioden. Immer größere Mengen an Gallium werden für die Forschung und Entwicklung verwendet – für hocheffiziente Solarzellen, Dünnschicht-Photovoltaikzellen und in der Sensorik. Gallium wird auch im extraterrestrischen Bereich bei der Stromversorgung für Satelliten eingesetzt.

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Da Gallium hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Aluminium- bzw. Zinkgewinnung anfällt und nicht direkt gewonnen wird, sind die ökologischen Auswirkungen beim jeweiligen Hauptprodukt angeführt.

Die wenigen Hersteller von Gallium gehen sehr vertraulich mit ihren Produktionsdaten um. Daher ist eine Aussage über die Verfügbarkeit und Reichweite sehr schwierig. Eine Steigerung des Bedarfes wird prognostiziert, da Gallium in vielen Zukunftstechnologien enthalten ist. Wie bei Aluminium bereits erwähnt, gibt es noch große Bauxitvorkommen. Jedoch wird das Nebenprodukt Gallium oftmals nicht gewonnen.

## Verwendungsbeispiele



Transistoren



hochreines Gallium

Seltene Metalle wie Gallium, Indium oder Germanium sind unerlässliche „Pfeffermetalle“ in elektronischen Technologien. Aufgrund der geringen Anreicherungen im Endprodukt wird Gallium beim derzeitigen Forschungsstand nicht recycelt.



verschiedenfarbige Leuchtdioden

# Germanium (Ge)

## ■ Gewinnung

Germanium ist zwar weit verbreitet, kommt aber ähnlich dem vorher behandelten Gallium, nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Germanit, das wichtigste Germaniummineral, enthält 8 % Germanium. Abbauwürdige Germanium-Lagerstätten gibt es nicht. Es wird als Nebenprodukt bei der Zinkherstellung gewonnen. In jüngster Zeit werden lagernde Schlacken aus der Zinkverarbeitung, die mit Germanium und Gallium angereichert sind, als neue Förderquellen erkannt.

## ■ Verwendung

Das grau-weiß glänzende Halbmetall wird in der Hochfrequenztechnik und Detektortechnologie eingesetzt. Besonders im Telekommunikationsbereich für Glasfaserkabel ist Germanium wichtiger Bestandteil. Seit wenigen Jahren wird Germanium auch in der Elektronikbranche wieder hochgeschätzt – kombiniert mit Silizium ist es für Transistoren in Hochleistungscomputern geeignet.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Germanium ist ein häufiges Element der Erdkruste. Jedoch ist eine Gewinnung aufgrund der geringen Konzentrationen nur in wenigen Fällen rentabel bzw. wird hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Zinkherstellung gewonnen. Ökologische Auswirkungen sind beim Element Zink angeführt.

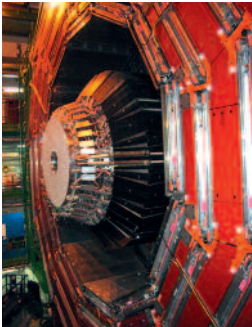
Bislang ist das Recycling von Germanium aus Transistoren, Solarzellen oder Infrarotgläsern wirtschaftlich nicht möglich. Nur während des Produktionsprozesses kann ein Teil rückgewonnen werden.



WIKIMEDIA COMMONS / SAFERAD

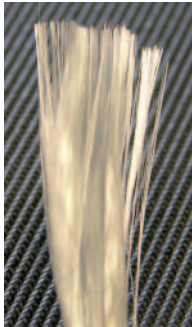
elementares Germanium

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / GERDT

CMS-Detektor



WIKIMEDIA COMMONS / NOISED

Glasfaser-Strang

# Gold (Au)

## ■ Gewinnung

Da Gold meist in gediegener Form abbaubar ist, muss es nicht durch aufwändige industrielle Verfahren aus Erzen abgeschieden werden, sondern wird rein mechanisch gewonnen. Jedoch kommt es meist nur in kleinsten Partikeln im Gestein vor; größere Goldansammlungen (Nuggets, Goldstaub) sind selten. Die größten Gold-Lagerstätten finden sich in Südafrika, den USA, Australien und Russland.

## ■ Verwendung

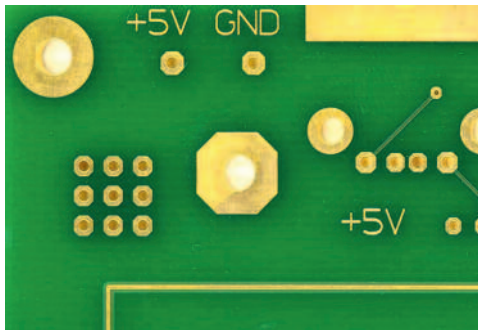
In der Industrie findet das gut verarbeitbare Gold aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei Bonddrähten (Verbindungsdraht zwischen Chip und elektrischem Anschluss) und vergoldeten Leiterplatten Verwendung. Auch bei der Herstellung von Ultrarot-Reflektoren für Satelliten kommt Gold zum Einsatz.

Daneben ist Gold als Schmuckmetall sehr beliebt, wird als weitgehend stabile Währungsdeckung gehandelt und ist Bestandteil von Zahnfüllungen.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Permanente Veränderungen der Umwelt resultieren aus dem Abbau enormer Mengen von goldhaltigem Gestein. Goldminen breiten sich über riesige Flächen auf, oftmals auch über die heiligen Stätten von Naturvölkern in Regenwaldgebieten. Für die Trennung des Goldes vom Gestein werden toxische Chemikalien verwendet. So werden jedes Jahr weltweit über 180.000 Tonnen Zyanid für die Goldgewinnung verbraucht. Die giftigen Minenabfälle gelangen über die Abwässer ins Grundwasser und in die Flüsse oder werden einfach ins Meer gekippt. Das Einatmen von größeren Mengen Goldstaub in den Minen führt zudem zu Entzündungen des Atemsystems.

## ■ Verwendungsbeispiele

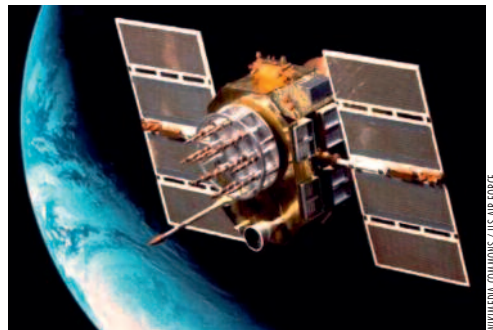


vergoldete Leiterplatte



kristallines Gold

Die statische Lebensdauer von Gold wird nach derzeitigem Wissenstand mit unter 20 Jahren angegeben. Jedoch ist Gold gut recyclebar. Eine wichtige Goldquelle ist daher die Aufbereitung von Dental- und Schmuckverarbeitungsabfällen sowie alten edelmetallhaltigen Materialien, wie Elektronikschrott, Galvanikschlamm, Pigmente, Filterstäube und Schlacken.



Navstar – Satellit

# Graphit (C)

## ■ Gewinnung

Kohlenstoff kommt in der Erdkruste in zwei Formen vor – als Diamant und weit häufiger als Graphit. Graphit wird im Tage- und Untertagebau gewonnen, kann aber auch durch Pyrolyse künstlich hergestellt werden. Über 70 % der weltweiten Graphitförderung stammen aus China. Auch Indien, Brasilien und Nordkorea sind bedeutende Förderländer.

## ■ Verwendung

Graphit weist sowohl metallische als auch nichtmetallische Eigenschaften auf und besitzt einen überdurchschnittlich hohen Schmelzpunkt. Deshalb findet Graphit vor allem in der Feuerfestindustrie Verwendung. Die gute thermische Leitfähigkeit und chemische Widerstandsfähigkeit von Graphit wird zur Herstellung von feuerfesten Gussformen, Schmelztiegel und Ofenauskleidungen genutzt. Daneben wird Graphit unter anderem auch als Festschmierstoff, in Elektroden, in Kohlebürsten bei Elektromotoren, in Bremsbelägen und nicht zuletzt in Bleistiftminen eingesetzt.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Wie bei allen Elementen die auch im Tagebau gewonnen werden, ist mit dem Abbau und der Aufbereitung ein massiver Eingriff in die Natur- und Kulturlandschaft gegeben.

Die statische Lebensdauer von Graphit wird bei derzeitigem Kenntnisstand über Fördermengen und Reserven mit 87 Jahren angegeben. Die ermittelte Ressourcenreichweite liegt bei etwa 800 Jahren. Da Graphit durch Verkokung von kohlenstoffhaltigen Materialien auch künstlich hergestellt werden kann, sind keine Engpässe und explosionsartige Preisanstiege zu erwarten.

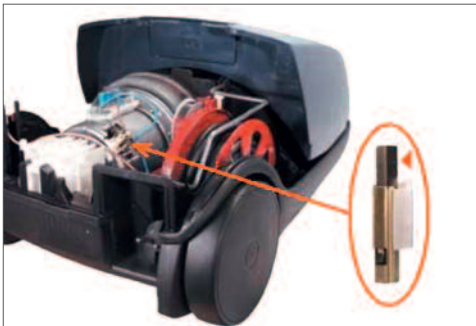


WIKIMEDIA COMMONS / AANGELO

reiner Graphit

Deshalb wird Graphit auch kaum recycelt. Zurück gewonnener Graphit stammt fast ausschließlich aus der Feuerfestindustrie und findet in Bremsbelägen und bei der Wärmedämmung Verwendung.

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / UUBASTEL

Kohlebürste eines Staubsaugermotors



FOTOLIA © SHOOTER

Bleistift



# Indium (In)

## 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. Hauptförderländer sind die Volksrepublik China, Kanada und Peru.

## 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 hohen Umgebungstemperatur wird der Stromkreis unterbrochen bzw. die Sprinkleranlage ausgelöst. Ebenso kommen Indiumverbindungen in Dünnschicht-Solarzellen, OLED-Flachbildschirmen und Touchscreens zum Einsatz.

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

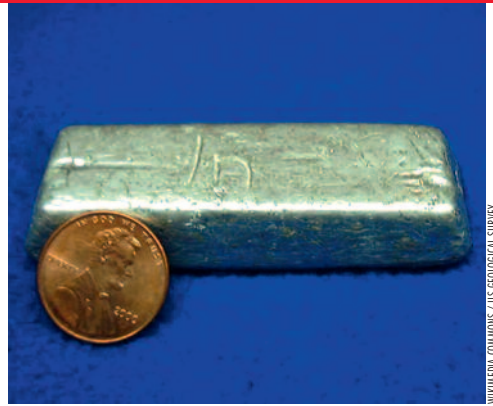
Indium zählt zu den „Pfeffermetallen“ und wird in kleinsten Mengen in vielen neuen Technologien benötigt. Die statische Reichweite von Indium ist bei heutigem Kenntnisstand über Reserven und Verbrauch mit 19 Jahren beziffert. Mit steigendem Verbrauch ist jedoch zu rechnen, weshalb Indium zu den knappsten Rohstoffen gezählt wird.

Aufgrund der Verwendung in geringen Spuren ist eine Rückgewinnung schwierig und erfordert eine Reihe von Hightech-Prozessen.

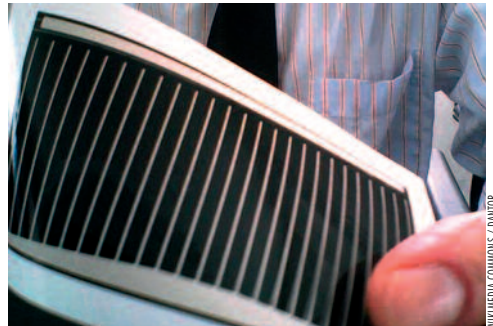
## Verwendungsbeispiele



Touchscreen



Indium-Barren



Dünnschicht-Solarzelle

# Kobalt (Co)

## ■ Gewinnung

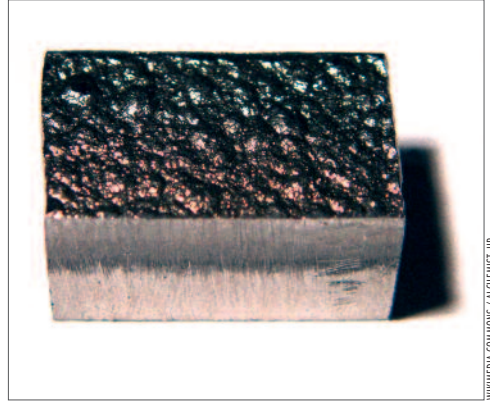
Kobalt ist in vielen Mineralien enthalten, jedoch meist in nicht wirtschaftlich abbaubaren Mengen. Es wird hauptsächlich aus Kupfer- und Nickelerzen durch Röst- und Reduktionsvorgänge gewonnen. Hauptförderland ist die Demokratische Republik Kongo, die reich an kobalthaltigen Kupfererz-Lagerstätten ist. Auch Sambia, Australien und Kanada fördern große Mengen Kobalt.

## ■ 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 Überdosis führt jedoch zu starken gesundheitlichen Beeinträchtigungen, wie Herzschäden oder Tumorbildungen. Schätzungen zu Folge ist im Kongo und in Sambia beinahe jeder Dritte im Bergbau Beschäftigte unter 18 Jahre und verdient trotz stundenlanger Arbeit kaum genug für Lebensmittel. Zudem erleidet die Umwelt irreparable Schäden durch Abbau, Abwässer und Abgase.



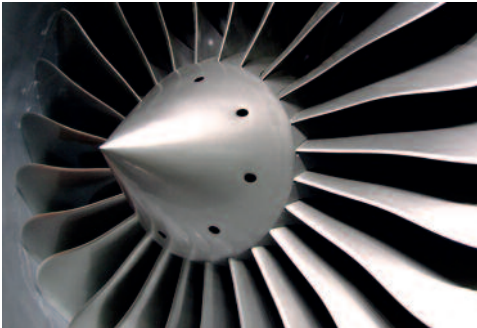
WIKIMEDIA COMMONS / ALGHEINIST-HP

Kobalt, hochrein

Die statische Reichweite bezogen auf die derzeit bekannten Reserven wird bei gleich bleibender Fördermenge mit ca. 100 Jahren angegeben. Werden in Zukunft mögliche abbaubare Lagerstätten miteinbezogen, sollte Kobalt noch 220 Jahre in ausreichender Menge vorhanden sein.

Kobalt ist relativ teuer, weshalb ein wirtschaftliches Interesse auch an besseren Recyclingmöglichkeiten besteht. Die Recyclingquote von Kobalt wird für Europa mit ca. 18 % angegeben.

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / SYMA

Turbinenschaufeln



WIKIMEDIA COMMONS / ARPINGSTONE

blaues Glas

# Kupfer (Cu)

## ■ Gewinnung

Kupfer kommt in der Natur auch 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. Hauptförderländer sind Chile, die USA und Peru.

## ■ Verwendung

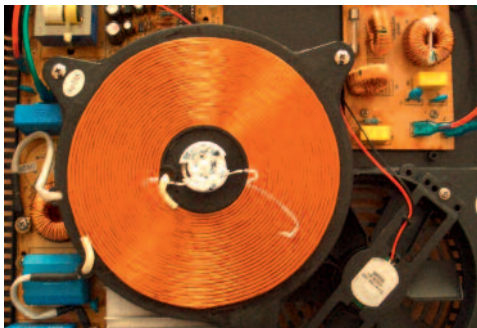
Das gut formbare und zähe Kupfer ist ein hervorragender Leiter von Wärme und elektrischer Energie. In elektrischen und elektronischen Geräten ist Kupfer unabdingbar. Auch im Fahrzeugbau werden großen Mengen an Kupfer verarbeitet. Ein weiterer wichtiger Abnehmer ist die Bauindustrie, die die Korrosionsbeständigkeit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

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Kupfer in geringen Mengen ist für viele Organismen essentiell. Erhöhte Kupferkonzentrationen im Boden oder Wasser beeinträchtigen jedoch die Aktivitäten von Mikroorganismen bzw. Pflanzen und verschlechtern den Zustand der Ökosysteme nachhaltig. Bei der Gewinnung von Kupfer fallen gigantische Mengen tauben Gesteins — jenes Material, das nicht verwertbar ist — an, die in stillgelegten Stollen, aber auch an der Erdoberfläche endgelagert werden.

Kupfer ist ein häufiges Element der Erdkruste. Die statische Reservenreichweite wird bei derzeitigem Kenntnisstand mit ca. 30 Jahren angegeben. Die Ressourcenreichweite liegt aber bei weitem höher, weshalb ein Engpass nicht erwartet wird.

## ■ Verwendungsbeispiele



Kupferspulen in einem Induktionskochfeld



Kupfer-Nugget

Zudem liegt die weltweite Wiederverwertungsquote von Kupfer bei ungefähr 40 %, wobei die gute Recyclebarkeit nahezu 100 % zulassen würde. Kupferschrott ist eine wesentliche Quelle der Kupfergewinnung geworden — mit steigender Wichtigkeit.



Kirchturm mit neuen und alten Kupferelementen

# Lithium (Li)

## ■ Gewinnung

Lithium kommt in verschiedenen Mineralien der Erdkruste vor. Die wichtigsten Lithiumerze sind Amblygonit, Lepidolith und Spodumen mit einem Lithiumgehalt von bis zu 9 %. Lithium kommt aber auch gebunden in Salzlake vor. Die größten wirtschaftlich abbaubaren Lithiumlagerstätten befinden sich in Südamerika – in Chile, Bolivien und Argentinien. Nach dem Erzabbau im Tage- oder Untertagebau wird Lithium durch Erhitzen und Schmelzflusselektrolyse gewonnen.

## ■ Verwendung

Hauptverwendungsgebiet von Lithium ist die Akku- und Batterieherstellung. Besonders wichtig ist eine hohe Energiedichte bei hohem Wirkungsgrad und geringem Gewicht. Lithium-Ionen, Lithium-Polymer, Lithium-Titanat und Lithium-Schwefel-Akkumulatoren sind derzeit bereits im Einsatz. In Legierungen verbessert Lithium die Zugfestigkeit, Härte und Elastizität der Materialien. In einer Bleiverbindung ist es Bestandteil von „Bahnmessing“, das für Radlager für Eisenbahnen verwendet wird. Da Lithium mit einer roten Flamme verbrennt, ist es auch für Feuerwerke beliebt.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

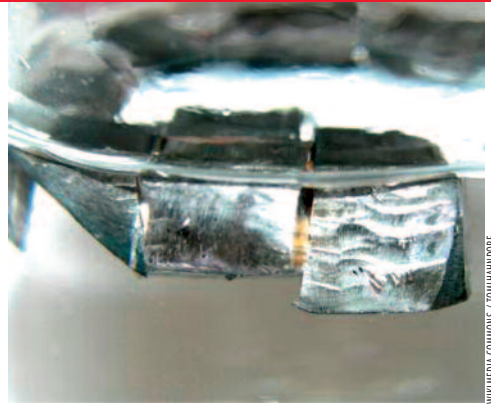
Wie bei vielen anderen Rohstoffen finden sich die größten Lagerstätten in den ärmsten Gebieten der Erde. In Bolivien wurde der Lithiumabbau gesetzlich unter staatliche Kontrolle gestellt, um wirtschaftlichen Ertrag auch im Land zu halten.

Die statische Reichweite bezogen auf die derzeitigen Reserven und Fördermengen liegt bei ca. 200 Jahren, wobei diese Fördermengen kaum ausreichend sind.

## ■ Verwendungsbeispiele



Lithium-Akkus und Knopfzelle



Lithium in Paraffinöl

Das Recycling von Lithium lohnt sich derzeit kaum. Da aber Elektrofahrzeugen, in denen leistungsfähige Akkus benötigt werden, eine große Zukunft vorausgesagt wird, sollte auch die Nachfrage nach Lithium steigen und Recycling wirtschaftlich machen.



Radlager für Eisenbahnen

WIKIMEDIA COMMONS / TOM HAHN DÖRF

LAND 007 / R. PEYR

WIKIMEDIA COMMONS / PIERRE ENFER



# Magnesium (Mg)

## ■ Gewinnung

Magnesium ist sehr reaktionsfreudig und kommt daher in der Natur nicht elementar vor. Es ist jedoch sehr häufig in Verbindungen anzutreffen. Die wichtigsten Magnesium-Mineralien sind Magnesit, Olivin und Dolomit. Magnesium wird überwiegend durch Schmelzflusselektrolyse von Magnesiumchlorid oder durch thermische Reduktion von Magnesiumoxid gewonnen. Förderländern sind zum Beispiel China, Kanada und Russland.

## ■ Verwendung

Magnesium ist ähnlich wie Aluminium ein Leichtmetall, jedoch noch um etwa ein Drittel leichter. Deshalb kommt es vor allem in der Luft- und Raumfahrt zum Einsatz. In Legierungen etwa zusammen mit Aluminium und Zinn verbessert Magnesium die Härtung und die Schweißbarkeit. In der Eisen- und Stahlindustrie wird Magnesium als Entschwefelungs- und Desoxidationsmittel verwendet. Da es unter blendend hellem Licht verbrennt, ist es für pyrotechnische Anwendungen geeignet.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Für alle Organismen ist Magnesium essentiell. Es ist von zentraler Bedeutung für die  $\text{CO}_2$ -Assimilation im Chlorophyll grüner Pflanzen. Magnesium ist auch an zahlreichen Enzymfunktionen beteiligt. Jedoch führt Magnesiumüberschuss zu Nieren- und Nervenschädigungen.

Die statische Reichweite bezogen auf derzeit bekannte Reserven und Verbrauchsmengen liegt bei ca. 500 Jahren. Da Magnesium aber auch aus Meer- und Quellwasser gewonnen werden kann, sind die Grenzen der Verfügbarkeit sehr weit. Die Recyclingquote von Magnesium liegt weit hinter der von Aluminium. Obwohl gegenüber der Primärproduktion große Energieeinsparungen möglich wären, wird Magnesium fast nur aus Neuschrott gewonnen.

## ■ Verwendungsbeispiele



Feuerwerk



Magnesium, thermische Reduktion



Saturn V-Rakete

# Mangan (Mn)

## ■ Gewinnung

Mangan kommt in der Natur nicht elementar vor. Jedoch ist es in zahlreichen Mineralien enthalten. Die wichtigsten Manganerze sind Pyrolusit und Rhodochrosit. Manganerze können sowohl im Tage- und Untertagebau als auch im untermeerischen Abbau gefördert werden. Am Grunde der Ozeane finden sich Anreicherungen von Mangan – sogenannte Manganknollen und -krusten. Metallisches Mangan wird hauptsächlich durch Elektrolyse von Mangansulfaten gewonnen. Hauptförderländer sind Südafrika, Russland, Indien und Brasilien.

## ■ Verwendung

Mangan dient zum überwiegenden Teil in der Stahlindustrie in Legierungen zur Steigerung der Stahlhärte. Hadfield-Stahl hat einen Mangan Gehalt von ca. 13 %. Er wird zum Beispiel für Eisenbahnschienen- und weichen oder Baggerschaufeln verwendet. Als Oxidationsmittel in Trockenbatterien kommt Mangandioxid zum Einsatz. Auch in elektrischen Bauteilen zur verzögerungsfreien Ableitung von Überspannungen (Varistoren) findet sich Mangan

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Mangan ist ein lebenswichtiges Spurenelement, das – obwohl es ein Schwermetall ist – auch bei erhöhter oraler Einnahme kaum Vergiftungserscheinungen hervorruft. Erkrankungen der Atemwege und parkinsonähnliche Auswirkungen treten fast ausschließlich nur bei Bergarbeitern auf, die manganhaltigen Stäuben ausgesetzt sind.

Der Manganabbau in der Tiefsee ist nur mit riesigen Maschinen machbar. Die Auswirkungen auf das besondere Ökosystem am Meeresgrund sind von ExpertInnen noch nicht abschätzbar, werden jedoch als gravierend und unumkehrbar eingestuft.

## ■ Verwendungsbeispiele



Varistor in Scheibenform



Manganerz

Die statische Reichweite von Mangan bezogen auf den derzeitigen Wissensstand über Reserven und Verbrauch liegt bei 41 Jahren, bezogen auf die Ressourcen bei ca. 500 Jahren. Die Recyclebarkeit von Mangan ist noch relativ gering.



Baggerschaufel

# Molybdän (Mo)

## ■ 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.

Hauptförderländer sind die USA, China und Chile.

## ■ 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.

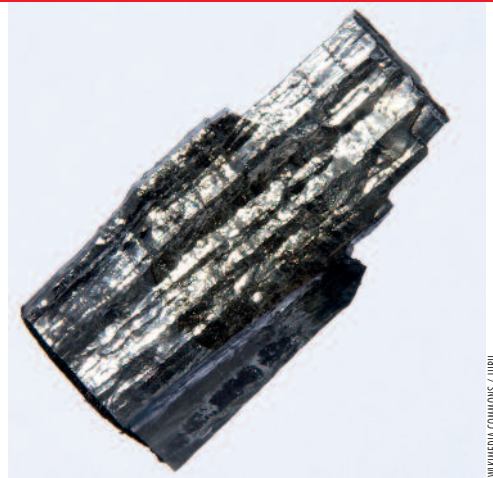
## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

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.

Vor allem durch die Stahlindustrie und Petrochemie gelangt zusätzliches Molybdän in Boden und Wasser. Molybdänüberschuss führt zu gichtähnlichen Erscheinungen.

Durch die Kupfer- und Molybdängewinnung werden riesige Flächen abgebaut und Ökosysteme zerstört.

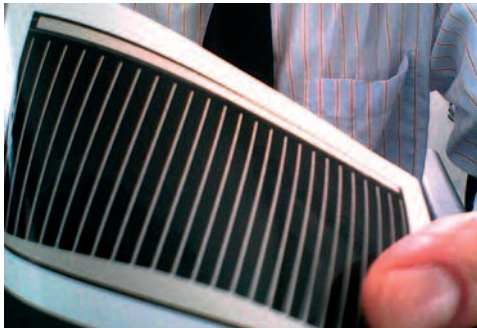
Die statische Reichweite von Molybdän bezogen auf heutige Reserven und Fördermengen liegt bei 46 Jahren



Molybdän

WIKIMEDIA COMMONS / JURI

## ■ Verwendungsbeispiele



Dünnschicht-Solarzelle

WIKIMEDIA COMMONS / DANTON



TFT-Flachbildschirm

WIKIMEDIA COMMONS / JULO

# Nickel (Ni)

## ■ Gewinnung

Nickel ist in geringen Mengen häufiger Bestandteil der Erdkruste, kommt jedoch elementar nur in Meteoriten oder im Erdkern vor. Die wichtigsten Nickel-Erze sind Pyrrhotin, Garnierit, Gelb- und Rotnickelkies. Der Weg zu reinem Nickel geht über mehrere Produktionsschritte. Zunächst wird der Nickelgehalt durch Flotation erhöht. Der durch anschließendes Rösten gewonnene Rohnickel wird in einem weiteren Arbeitsschritt durch Elektrolyse zu reinem Nickel. Hauptproduktionsländer sind Russland, Australien und Kanada mit ca. 50 % der weltweiten Nickel-Fördermengen.

## ■ Verwendung

Das silberweiß glänzende Schwermetall lässt sich gut schmieden, walzen, ziehen und polieren. Außerdem ist es wie Eisen oder Kobalt ferromagnetisch. Verwendung findet reines Nickel in der Medizin und chemischen Industrie für korrosionsbeständige Instrumente, Tiegel und Schalen. Zum Schutz vor Oxidation werden Metalle auch mit einer Nickelschicht überzogen. Großteils wird Nickel aber in Legierungen eingesetzt, um zum Beispiel die Korrosionsbeständigkeit (Rostfreiheit) und Festigkeit von Stahl zu verbessern. Dieser Stahl wird etwa zur Herstellung von Turbinen, Kraftwerksgeneratoren oder Bohnwerkzeuge verwendet. Nickel ist auch Bestandteil von Nickel-Cadmium-, Nickel-Metallhydrid- oder Nickel-Eisen-Akkus.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

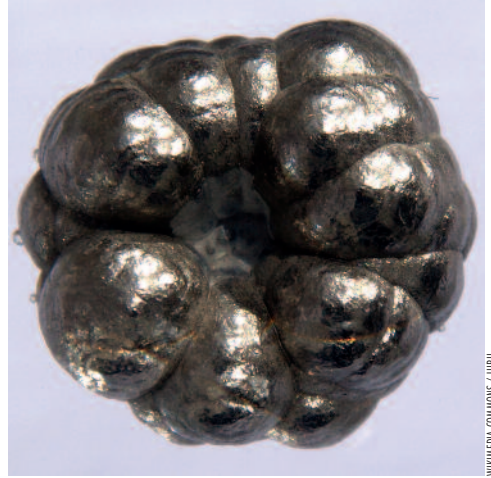
Auf Nickel reagieren viele Menschen allergisch. Deshalb wird bei Schmuckmetallen oftmals auf eine Nickelschutzschicht verzichtet, um das Risiko einer Kontaktallergie zu minimieren. Auch beim Einatmen von Nickel-Verbindungen können schwere Schädigungen der Atemorgane bis hin zur Krebsbildung auftreten.

## ■ Verwendungsbeispiele



PRIVAT / B. HAAS

verschiedene nickelhaltige Akkus

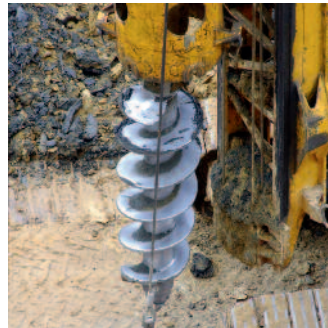


WIKIMEDIA COMMONS / JURI

Nickel, durch Elektrolyse gewonnen

Die Förderung von Nickel zieht starke Umweltschäden nach sich. Deshalb ist die Erschließung neuer Nickelquellen oft durch Umweltauflagen und Anrainerproteste beschränkt. Nickel wird von Kraftwerken und industriellen Anlagen in die Luft emittiert, von wo aus es durch Absetzvorgänge und Niederschlag in Boden und Gewässer gelangt. Auch Abwässer, die ungeklärt in Oberflächengewässer eingeleitet werden, sind eine Nickelquelle.

Die statische Lebensdauer von Nickel bezogen auf derzeit bekannte Reserven und Fördermengen wird mit 45 bis 90 Jahren angegeben. In den vergangenen Jahren stieg der Preis von Nickel um bis zu 400 %! Nickelrecycling ist ein wichtiger Wirtschaftszweig geworden. Ein großer Teil der jährlichen weltweiten Nickelproduktion stammt bereits aus Altstoffen.



WIKIMEDIA COMMONS / JOHANN H. ADOLFS

Gewindebohrer



# Niob (Nb)

## ■ 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 Tantal- und Nioboxide ablösen. Durch Elektronenstrahlschmelzen erhält man hochreines Niob.

Hauptförderländer für Niob-Erze sind Brasilien, Kanada und Nigeria.

## ■ Verwendung

Das hellgrau glänzende 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, Brückenbau und Hochspannungsmasten). Es bildet an der Luft eine Schutzschicht aus, die besonders säureresistent ist, weshalb niob-hältige 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

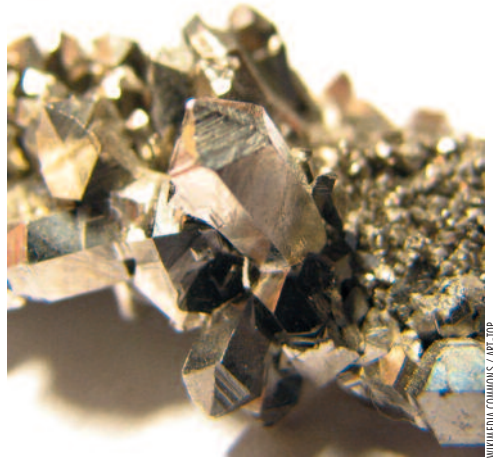
Aufgrund größerer Vorkommen und ähnlichen Eigenschaften wird Niob in manchen Bereichen als Ersatz für Tantal eingesetzt. Planlose Bergbauaktivitäten zerstören Landschaften und Lebensräume. Vor allem in Ländern der Dritten Welt sind die Arbeitsbedingungen im Bergbau sehr schlecht.

Die statische Lebensdauer von Niob wird mit heutigem Kenntnisstand über Reserven und Abbaumengen mit 130 Jahren angegeben. Die Recyclingquote aus Niob-Stählen ist relativ hoch.

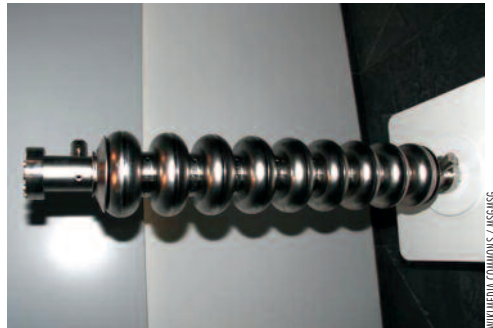
## ■ Verwendungsbeispiele



Apollo 15 Raketendüse



Niob



supraleitender Hohlraumresonator

# Platingruppenmetalle (PGM)

## Gewinnung

Antimon ist ein silberglänzendes, sprödes Halbmetall, das industriell überwiegend aus Stibnit (über 70 % Antimon-Gehalt) gewonnen wird, der hauptsächlich in China, Mexiko und Bolivien abgebaut wird. Durch Reduktionsverfahren mit Kohlenstoff oder Eisen erfolgt die Trennung von reinem Antimon aus der Schwefelverbindung im Stibnit.

## Verwendung

Der größte Teil des abgebauten Antimons dient als Flamm- schutzmittel in Kunststoffen, Klebstoffen oder Textilien, wie Auto- sitzbezüge oder Vorhänge. Weiters dient Antimon zur Härtung von Blei- und Zinnlegierungen, etwa für Blei-Akkus, Bleimantel für Erdkabel oder Lötzinn. Eine besondere Eigenschaft von Antimon hilft im Präzisionsguss: Es dehnt sich beim Abkühlen im Gegensatz zu den meisten anderen Elementen aus und kann daher einem Schrumpfen des fertigen Gusses entgegenwirken beziehungsweise füllt die Gussformen bis zum Rand aus.

Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich in der modernen Industrie ist als Katalysator in der Kunststofftechnik zur Herstellung von Polyester und PET oder zur Ableitung von elektrostatischen Ladungen.

Zukünftig werden Antimon-Zinn-Oxide durch die besonderen Eigenschaften als transparente Stromleiter in der Displaytechnik oder auch für thermophotovoltaische Anwendungen (Solarzellen) vermehrten Einsatz finden.

## Verwendungsbeispiele



Innenansicht einer Festplatte

WIKIMEDIA COMMONS / SPER

		Periodensystem der Elemente																																		
Haupt-		Nebengruppen										-gruppen																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																	
	1																		VIII																	
1	H																		He																	
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne												
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
6	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																			
Lanthanoide		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																					
Actinoide		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																					

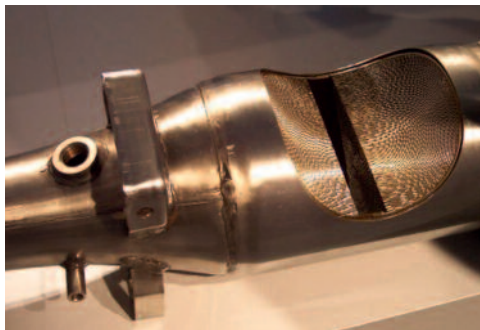
Land CC / R. PEHL (VERANDERT)

## Platingruppenmetalle im Periodensystem der Elemente

## Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Antimon ist ein sehr selten vorkommendes Element. Es wird angenommen, dass es nur 0,00002 % der Erdkruste ausmacht. Mit den derzeitigen Einschätzungen der Stibnitvorkommen ist Antimon bei gleichbleibender Jahresfördermenge in 16 Jahren aufgebraucht beziehungsweise mit erwarteten Reserven in 32 Jahren.

Rückgewonnen kann Antimon zum Beispiel aus den Blei-Akkus werden, jedoch aus dem mengenmäßig viel bedeutenderen Bereich der Flammenschutzmittelanwendungen nicht. Antimonverbindungen sind als Gefahrstoffe zu kennzeichnen.



Abgaskatalysator, aufgeschnitten

WIKIMEDIA COMMONS / STAHLKÖCHER

# Phosphor (P)

## ■ Gewinnung

In der Natur kommt Phosphor gediegen nicht vor, obwohl es ein relativ häufiges Element der Erdkruste ist. Die wichtigsten phosphorhaltigen Mineralien sind Apatite, Pyromorphite und Vivianite. Phosphor gibt es in vier Modifikationsformen. Weißer Phosphor wird unter hohem Druck zu schwarzem Phosphor, durch Erhitzen über 280 °C zu rotem Phosphor und durch ein- bis zweiwöchiges Erhitzen über 550 °C zu violetterm Phosphor.

Die größten Vorkommen von Phosphor-Mineralien finden sich in Marokko, China und in den USA.

Eine Besonderheit stellt das phosphorhaltige Guano dar, das aus Kalkstein unter Einwirkung von Vogel-Exkrementen entsteht. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts wird auf den Küsten und Inseln von Peru und Chile, aber auch Südafrika und Tasmanien Guano als Düngemittel abgebaut.

## ■ Verwendung

Weißer Phosphor aus dem verschiedene Phosphorverbindungen gewonnen werden (unter anderem Phosphate), dient als Ausgangsstoff für Dünge- und Waschmittel (Weichmachern). In Feuerwerkskörpern und Zündholzköpfen wird der leicht entzündliche rote Phosphor verwendet. Schwarzer Phosphor gewinnt aufgrund seiner Halbleitereigenschaften immer größere Bedeutung in der Technik.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Für den menschlichen Organismus ist Phosphor als Bestandteil der DNS, der Knochen und der Zähne essentiell. Phosphorüberschuss führt zu Osteoporose und erschwert die Eisenaufnahme.

## ■ Verwendungsbeispiele



Streichholz beim Zünden



verschiedene Phosphormodifikationen

Die statische Reichweite bezogen auf derzeit bekannte Lagerstätten und Fördermengen liegt bei 150 Jahren. Europaweit werden jährlich zirka sechs Kilogramm Phosphor pro Kopf verbraucht. In Pilotprojekten wird an einer wirtschaftlichen Rückgewinnung aus Kläranlagen gearbeitet, deren Abwässer und Schlämme viel Phosphor enthalten. Dabei wird der Klärschlamm verbrannt, um organische Stoffe wie künstliche Hormone und Arzneimittel zu zerstören. Schwermetalle werden aus dem Rauchgas abgeschieden. Nach nochmaligem chemischen und thermischen Behandeln kann das phosphorreiche Endprodukt wieder als Dünger ausgebracht werden.



Kunstdünger

# Quecksilber (Hg)

## ■ Gewinnung

Abbauwürdige Quecksilbervorkommen sind ebenso selten wie gediegenes Quecksilber. Quecksilber wird hauptsächlich aus Zinnober-Erzen gewonnen. Reines Quecksilber wird unter Zugabe von Sauerstoff gewonnen (Röstverfahren).

Die größten Vorkommen sind in Spanien, Italien und Russland zu finden, jedoch werden sie teilweise nicht mehr gefördert.

## ■ Verwendung

In Legierungen ist das silberweißliche Schwermetall vor allem als Amalgam bekannt, das früher in Zahnfüllungen zum Einsatz kam. Für Zukunftstechnologien ist Quecksilber für Gasentladungslampen (Leuchtstofflampen, Energiesparlampen) als Bestandteil der Gasfüllung relevant. Quecksilberverbindungen werden aufgrund der desinfizierenden Wirkung in Schutzfarben für Schiffsrümpfe verwendet, die Muschel- und Algenbefall verhindern. Quecksilber hilft auch bei der Goldgewinnung.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Zu Quecksilberbelastungen im menschlichen Körper kommt es hauptsächlich über die Nahrung. Besonders in Raubfischen wie Kabeljau, Thun- oder Schwertfisch reichert sich das Schwermetall über die Nahrungskette an. Auch Kohlekraftwerke emittieren Quecksilber.

Die statische Reserven-Reichweite von Quecksilber wird mit 10 bis 20 Jahren angegeben.

Es ist wichtig quecksilberhältige Leuchtstofflampen einer entsprechenden Entsorgung zuzuführen. Die Richtlinie 2002/96/EG gibt eine Verwertungs- und Recyclingquote für Leuchtstofflampen von mindestens 80 % vor, die nur durch die Verwertung des quecksilberhaltigen Alt-Lampenglases zu erreichen ist.

## ■ Verwendungsbeispiele



Energiesparlampe



Quecksilbertropfen



Schutzfarbe für Schiffe

WIKIMEDIA COMMONS / INSD

WIKIMEDIA COMMONS / EULE4404

FOTOLIA © JASNYA



# Rhenium (Re)

## ■ Gewinnung

Rhenium ist ein sehr seltenes Element, das elementar in der Natur nicht vorkommt. Es wird hauptsächlich aus Molybdänglanz gewonnen. Durch Röstung kommt es zur Rheniumanreicherung in der Flugasche, aus der durch weitere Verfahren mittels Ammoniak und Wasserstoff elementares Rhenium erzielt wird.

Die größten Lagerstätten rheniumhaltiger Erze liegen in den Vereinigten Staaten, Kanada und Chile. Die Hauptförderländer sind zur Zeit Chile, Kasachstan, die USA und Peru.

## ■ Verwendung

Rhenium ist ein silbergraues, hartes Schwermetall mit einem extrem hohen Schmelzpunkt ( $3.186\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Es weist mit  $5.596\text{ }^{\circ}\text{C}$  auch den höchsten Siedepunkt aller bekannten Metalle auf. Unterhalb von etwa  $1,7\text{ K}$  ( $= 271,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ist Rhenium supraleitend.

Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich Rhenium zur Herstellung von Heizwendeln, Thermoelementen und Glühdrähten. Besonders häufig findet sich Rhenium in Legierungen etwa für Turbinenschaufeln oder zur Verwendung in der Raumfahrt- und Elektrotechnik, da es die Beständigkeit gegenüber Hitze und chemischen Einflüssen verbessert. Platin-Rhenium-Katalysatoren werden bei der Herstellung von bleifreiem Benzin zur Erhöhung der Oktanzahl verwendet.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Rhenium scheint unbedeutend für den menschlichen Organismus und auch über die Toxizität ist nichts bekannt. In Pulverform ist es leichtentzündlich und brennbar. Es darf aufgrund der Entstehung von Wasserstoff nicht mit Wasser gelöscht werden, sondern ausschließlich mit Löschpulver bzw. Metallbrandlöscher.

## ■ Verwendungsbeispiele



geschweißtes Thermoelement



Rhenium

Da Rhenium hauptsächlich ein Nebenprodukt der Molybdängewinnung ist, muss auch für Rhenium der großflächige Abbau mit zerstörerischen Auswirkungen auf die Ökosysteme gezählt werden.

Die statische Reichweite von Rhenium bezogen auf heutige Reserven und Fördermengen liegt bei 60 Jahren, bezogen auf die Ressourcen bei 275 Jahren.



bleifreier Benzin

# Salz (NaCl)

## ■ Gewinnung

Natriumchlorid wird hauptsächlich aus Stein- bzw. Meersalz gewonnen. Oberirdische Salzlagerstätten wie etwa Salzseen sind von geringer Bedeutung. Der Abbau von Steinsalz erfolgt entweder im Untertagebau durch Sprengung und Bohrung oder das Salz wird mit Hilfe von Wasser ausgewaschen und die Sole mittels Bohrspülwerken an den Tag befördert. Salz aus Meerwasser wird in niederschlagsarmen Küstengebieten mit hoher Sonneneinstrahlung in sogenannten Salzgärten (kaskadenartige Becken) durch Verdunstung gewonnen.

Hauptproduktionsländer für Natriumchlorid sind China, die USA und Indien.

## ■ Verwendung

Natriumchlorid als Speisesalz zum Würzen und Konservieren von Speisen ist die wohl älteste Verwendungsform. Jedoch hat Natriumchlorid auch große Bedeutung als Industrie- und Auftausalz gewonnen. Es hält die Straßen im Winter frei von Eis und Schnee und ist als Soda auch beteiligt an der Glasherstellung. Aus Natriumchlorid kann Natron erzeugt werden, das unter anderem als Back- und Feuerlöschpulver Verwendung findet. Als Regeneriersalz dient es zur Wasserenthärtung zum Beispiel in Geschirrspülmaschinen.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Salz ist in hohen Dosen sowohl für den Menschen als auch für andere Organismen toxisch. Die Verwendung von Aufbau- bzw. Streusalz im Winter hat schädigende Auswirkungen auf Pflanzen und Boden vor allem im Straßennahbereich. Durch Versickerung und Auswaschung gelangt das Salz in weiterer Folge auch ins



Salzkristalle

Grundwasser und in Oberflächengewässer. Ein nicht zu vernachlässigbarer Umweltaspekt ist auch die Landschafts- und Standortveränderung durch die Errichtung von Salzgärten in den sensiblen Küstenbereichen.

Da Natriumchlorid sowohl in großen Steinsalzlagerstätten als auch im Meerwasser vorkommt, ist mit keiner Knappheit zu rechnen.

## ■ Verwendungsbeispiele



Streufahrzeug



Salzstreuer

# Selen (Se)

## ■ Gewinnung

In der Natur kommt Selen sehr selten gediegen vor. Selenminerale sind etwa Clausthalit, Berzelianit oder Umangit. Gewonnen wird Selen als Nebenprodukt bei der Verhüttung selenhaltiger Kupfer- oder Nickelerze. Hauptproduzenten für Selen sind Japan, Kanada, die USA, China und Belgien.

## ■ Verwendung

Selen ist ein Halbleitermetall, das in sechs verschiedenen Modifikationen vorkommt. Bei Raumtemperatur am stabilsten ist graues Selen. Bei Belichtung erhöht sich seine elektrische Leitfähigkeit enorm, weshalb es besonders für Photozellen, Dünnschicht-Photovoltaikzellen, lichtempfindliche Alarmsysteme und Radaranlagen geeignet ist. Auch die photoleitende Schicht in Laserdruckern und Fotokopierern besteht aus Selen. In der Glas- und Keramikindustrie wird Selen als Färb- und Entfärbungsmittel eingesetzt. Zum Beispiel ist im roten Ampelglas Selen enthalten. Daneben findet es noch Verwendung in der chemischen Industrie und Pharmazie.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Selen ist ein essentielles Spurenelement, jedoch sind leicht erhöhte Dosen bereits toxisch. Umweltbelastungen durch Selen gehen auf die Kohleverbrennung, Bergbau, Metallgewinnung und petrochemischen Prozesse in der Industrie zurück. Aufgrund hoher Anreicherungsfaktoren steigt der Selengehalt in Böden und Gewässern stark an. Ungereinigte Abwässer, Niederschlagsauswaschungen und Deponieleckagen vergiften vor allem Fische und Wasservögel.

Die statische Reichweite bezogen auf die derzeit bekannten Reserven wird mit ca. 45 Jahren angegeben. Obwohl auch ein Preisanstieg für Selen in den letzten Jahren zu verzeichnen ist, spielt Selen-Recycling eine untergeordnete Rolle.

## ■ Verwendungsbeispiele



rotes Ampelglas

FOTOLIA © GINA SANDERS



schwarzes, graues und rotes Selen

WIKIMEDIA COMMONS / TOMMYHODGE



Fotokopiergerät

FOTOLIA © PAUL HAHN

# Seltenerdmetalle

## ■ Gewinnung

Insgesamt gibt es 17 Metalle, die zur Gruppe der Seltenen Erden zählen: Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium.

Die meisten dieser Elemente kommen in der Erdkruste häufig vor, jedoch sind größere Lagerstätten von geeigneten Mineralien, die Seltenerdmetalle enthalten tatsächlich selten und auf wenige Staaten konzentriert. Die größten Vorkommen sind in China und West-Australien, daneben befinden sich Lagerstätten in Grönland, Kanada, USA, Indien, Brasilien und Malaysia. Der Abbau erfolgt aber derzeit fast ausschließlich in China und Indien, geringfügigere Mengen stammen aus Brasilien und Malaysia.

## ■ Verwendung

Die silbrig glänzenden Seltenerdmetalle sind relativ weich und reaktionsfähig. Ihre besondere Struktur der Elektronenhülle macht sie für die Technik interessant. Seltenerdmetalle sind Bestandteil vieler Schlüsseltechnologien der Gegenwart und auch jener der zukünftigen Innovationen. Dauermagneten, Spezialgläser, Batterien, Plasma- und LCD-Bildschirme, Energiesparlampen, Laser, Glasfaserkabel oder Handys – ohne Seltenerdmetalle undenkbar.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die Gewinnung der teilweise giftigen und oftmals mit radioaktiven Elementen vergesellschafteten Seltenerdmetalle mittels Säuren zieht gravierende Umweltschäden mit sich, besonders deshalb, da es in den Abbauländern geringe Umweltschutzvorkehrungen gibt.

## ■ Verwendungsbeispiele



Handys (Smartphones)



Seltenerd-Oxide

WIKIMEDIA COMMONS / U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

Die statische Reichweite der Seltenerdmetalle ist mit 863 Jahren bezogen auf die Reserven und 1.471 Jahren bezogen auf die Ressourcen sehr groß. Dennoch ist mit Engpässen und Preiserhöhungen zu rechnen, da eine enorme Abhängigkeit von Importen aus wenigen Ländern besteht. Im Jahr 2011 wurden 95 % der Seltenerdmetalle in China gefördert.

Unterschiedliche Verfahren für das Recycling von geringkonzentrierten Metallen sind im Pilotstadium, weshalb die Recyclingrate von Seltenerdmetallen sehr niedrig ist.



Plasmabildschirm

WIKIMEDIA COMMONS / MARSHALL



# Silber (Ag)

## ■ Gewinnung

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

Hauptförderländer sind Peru, Mexiko, China und Australien.

## ■ 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. Hervorzuheben ist auch die keimtötende Wirkung, weshalb Silber in der Medizin verwendet wird und auch in Sportkleidung immer häufiger zum Einsatz kommt. In der Hagelbekämpfung wird Silberjodid mittels Flugzeug 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

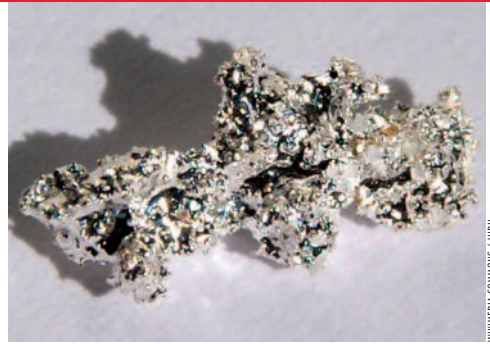
Im Hauptförderland Peru hat der Bergbau lange Tradition. Neben den wirtschaftlichen Vorteilen hat das hohe Niveau der Bergbautätigkeit zu gravierenden Umweltschäden geführt. In einer Studie konnten ca. 850 bergbauverursachte Umweltauswirkungen erfasst werden. Auch die Verwendung von antibakteriellem Nanosilber für Beschichtungen ist umstritten, da die Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt nicht ausreichend erforscht sind.

Die statische Reichweite wird bei derzeit bekannten Reserven und Verbrauch mit 13 Jahren angegeben, bezogen auf die Ressourcen werden 28 Jahre genannt.

## ■ Verwendungsbeispiele



Spiegel



Silbernugget



Silberbesteck

# Silizium (Si)

## ■ Gewinnung

In der Natur kommt Silizium überwiegend als Siliziumdioxid oder in silikatischen Mineralien (z. B. Quarz) vor – nicht aber elementar. 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.

Hauptproduktionsländer für hochreines Silizium sind China, Brasilien und Deutschland.

## ■ 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, ohne die kein elektronisches Gerät funktionieren würde. 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

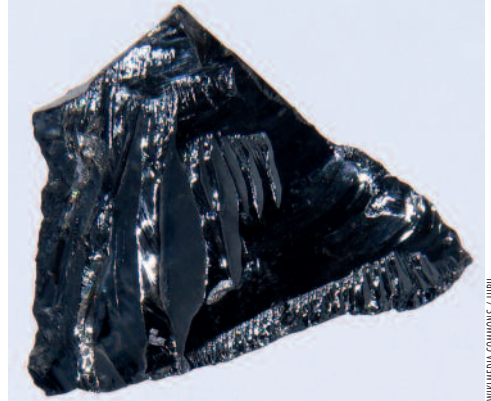
In jedem elektronischem Gerät sind siliziumhaltige Teile enthalten – oftmals nur in kleinsten Mengen. Da die Rückgewinnung schwierig und genügend Silizium in Form von silikatischen Mineralien vorhanden ist, stellt es eine zusätzliche Belastung für die Abfall- und Abwasserentsorgung dar.

Silizium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element der Erde. Jedoch kommt es bei hochreinem Silizium, vor allem beim sogenannten „Solarsilizium“ aufgrund der steigenden Nachfrage auch zu Engpässen.

## ■ Verwendungsbeispiele



Photovoltaik-Paneel



hochreines Silizium



Computerchip

WIKIMEDIA COMMONS / JUPRI

WIKIMEDIA COMMONS / GEORG STICKERS

WIKIMEDIA COMMONS / APPALCOSA

# Steinkohle

## ■ Gewinnung

Kohle ist ein organisches Sedimentgestein aus einem Gemisch von organischen Molekülen und mineralischen Bestandteilen. Viele Steinkohlevorkommen werden im Untertagebau gefördert. Die Gewinnung erfolgt einerseits schneidend mit Walzenschrämladern und andererseits schälend mittels Hobelanlagen.

Hauptförderländer sind die Volksrepublik China, die USA und Indien.

## ■ Verwendung

Steinkohle wird hauptsächlich zur Verstromung, zum Heizen und in der Eisen- und Stahlherstellung verwendet. In der chemischen Industrie kommen zwar auch kohlebasierende Grundstoffe zum Einsatz (z. B. bei der Herstellung von Ammoniak und Methanol), jedoch verglichen mit Produkten auf Erdöl- oder auch Erdgasbasis spielt Kohle eine untergeordnete Rolle. Die Kohleart bestimmt die Kohleveredelungsform (Steinkohleteer, Kohleverflüssigung, Kohlevergasung, Hydropyrolyse ...).

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Kohle zählt zu den fossilen Energieträgern, die über geologische Zeiträume aus pflanzlichen Materialien unter Luftabschluss und hohem Druck entstanden sind. Bei der Verbrennung werden große Mengen an Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) frei, das zum vom Menschen verursachten zusätzlichen Treibhauseffekt und dadurch zur Klimaerwärmung beiträgt. Derzeit laufen Versuche das freiwerdende  $\text{CO}_2$  abzuscheiden und in unterirdischen Lagern zu speichern (CCS – Carbon Capture Storage), jedoch sind die Konsequenzen daraus noch nicht abschätzbar.

Kohle ist der fossile Energieträger mit dem größten Vorkommen. Die statische Reichweite von Steinkohle bezogen auf heutige Reserven und Fördermengen liegt bei 178 Jahren.

## ■ Verwendungsbeispiele



Kohlekraftwerk



Steinkohle



Steinkohleteer z. B. für Holzschwellen

# Tantal (Ta)

## ■ Gewinnung

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

Die wichtigsten Fördergebiete für Tantal-Erze finden sich in Brasilien, Australien und Zentralafrika.

## ■ Verwendung

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

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Die hohen Gewinne und die mangelnde staatliche Überwachung vor allem in Bereichen der Dritten Welt führen zu planlosen Bergbauaktivitäten und einhergehenden gravierenden Umweltschäden. Zum Beispiel wurden im Kongogebiet große Flächen des ohnedies schon reduzierten Gorilla-Lebensraumes zerstört.

Die statische Reichweite von Tantal bezogen auf die bekannten Reserven und Förderhöhen wurde in den vergangenen Jahren von ca. 30 Jahre auf über 90 Jahre angehoben. Aufgrund der

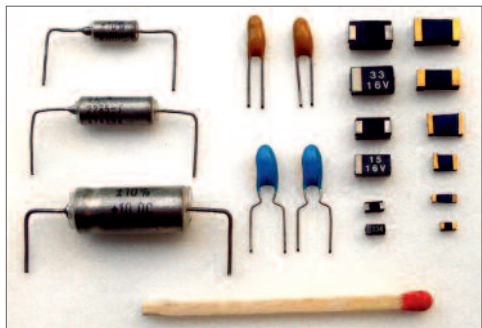


WIKIMEDIA COMMONS / JURI

hochreines Tantal

hohen Nachfrage und den damit verbundenen hohen Preisen wird es zu einer weiteren Ausweitung der Produktion kommen. Da Tantal in den verschiedenen Produkten meist nur in geringem Ausmaß enthalten ist, liegt die Recyclingquote nur zwischen 13 % und 25 %.

## ■ Verwendungsbeispiele



WIKIMEDIA COMMONS / JENS BOHR

Tantal-Elektrolytkondensatoren



WIKIMEDIA COMMONS / JONAS BERGSEN

Hörgerät



# Tellur (Te)

## ■ Gewinnung

Tellur kommt in der Natur sehr selten elementar vor. Die Gewinnung aus Tellurminerale 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). Hauptproduzentenländer sind die USA, Japan, Peru und Kanada.

## ■ 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. Außerdem ist es unter extrem tiefen Temperaturen supraleitend.

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.

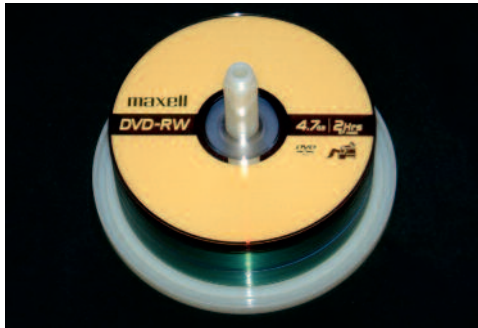
## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Tellur wirkt für den menschlichen Organismus toxisch. Einige Tellurverbindungen sind vor allem giftig für Leber und Nieren. Auch tritt ein charakteristischer Knoblauchgeruch der Atemluft bei Tellurvergiftungen auf.

Da Tellur ein Nebenprodukt ist, hängen die ökologischen Auswirkungen mit dem Kupferabbau zusammen bei dem große Mengen tauben Gesteins anfallen.

Die statische Reichweite von Tellur wird bezogen auf die Reserven mit 210 Jahren, bezogen auf die Ressourcen mit 470 Jahren angegeben.

## ■ Verwendungsbeispiele



DVD-RWs auf einer Spindel



kristallines Tellur



Photovoltaik-Anlage

# Titan (Ti)

## ■ 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. Auch aus Schlacken der Eisenerzverhüttung wird Titan gewonnen. Die aufwendige Herstellung von reinem Titan führt zu hohen Weltmarkt-Preisen.

Die Hauptvorkommen an Titan-Erzen liegen in Australien, China, Norwegen und Vietnam.

## ■ Verwendung

Titan ist ein metallisch weiß glänzendes Metall mit hoher Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei besonders geringem Gewicht. Aufgrund der hohen Bioverträglichkeit findet Titan in der Medizintechnik ein großes Anwendungsgebiet etwa für künstliche Gelenke, Wirbelsäulen- oder Zahnimplantate. Auch in der Luft- und Raumfahrt ist Titan wegen des geringen Gewichts ein bedeutender Rohstoff. Für thermisch belastete Autoteile wie Bremsscheiben oder Ventildfedern wird Titan ebenso verwendet wie für zahlreiche Konsumgüter (z. B. Fahrräder, Uhren, Küchengeräte). Technisches Titandioxid ist unter der Bezeichnung E 171 in Lacken, Farben, Kunststoffen, Zahnpasten und Lebensmitteln enthalten.

## ■ 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.

Die statische Reservenreichweite liegt derzeit bei etwa 130 Jahre, bezogen auf die Ressourcen werden knapp 280 Jahre ermittelt. Ein großer Prozentsatz von metallischem Titan, nämlich etwa 38 %, wird als Sekundärtitan aus titanhaltigem Schrott gewonnen — nicht zuletzt aufgrund des hohen Titanpreises.

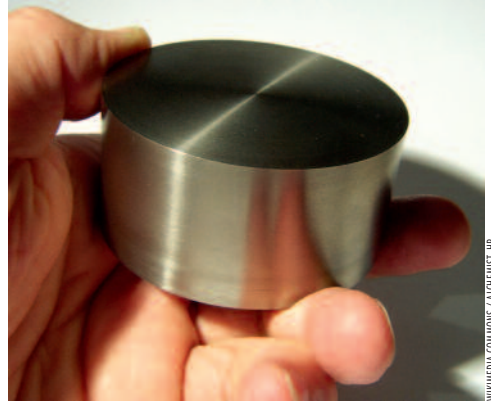
## ■ Verwendungsbeispiele



Hüftgelenk-Endoprothese



Bremsscheibe



Reintitan

WIKIMEDIA COMMONS / ALBERTUS HP

WIKIMEDIA COMMONS / SCUBA-LIMP

WIKIMEDIA COMMONS / ALBERTUS

# Uran (U)

## ■ Gewinnung

Für den gewinnbringenden Tage-, Untertage- oder Lösungsbergbau muss Uran im Gestein in genügender Anreicherung vorkommen. Insgesamt gibt es ca. 230 Uran-Mineralerale. Wichtige uranhaltige Erze sind die Pechblende (Uranoxid), Tobernit, Heinrichit und Uranophan. Für die Gewinnung werden die Erze zerkleinert, das Uran durch Flotation angereichert und mit verdünnter Schwefelsäure versetzt. Über weitere Verfahren lassen sich Uranverbindungen isolieren.

Die führenden Förderländer für Uran-Mineralerale sind Kanada, Australien, Afrika, Kasachstan und Russland.

## ■ Verwendung

Zum überwiegenden Teil wird das radioaktive Uran als Energierohstoff durch Kernspaltung zur Energiegewinnung genutzt. Ende 2011 waren in 30 Ländern 432 Kernreaktoren mit einer Leistung von insgesamt 367 GW in Betrieb, die rund 13 % des Weltstromes erzeugen. Auch in der Rüstungsindustrie für panzerbrechende Munitionen und Kernwaffen wird Uran verarbeitet.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Uranabbau, -verarbeitung und -nutzung ist aufgrund der radioaktiven Eigenschaften sehr problematisch (Strahlenrisiko). Unzureichende Umweltschutzvorkehrungen führen zu großflächig kontaminierten Bereichen, in denen Ökosysteme nachhaltig beeinträchtigt oder zerstört werden. Radioaktive Belastungen von Grund- und Oberflächenwässern und erhöhte Emissionswerte in der Luft schädigen oder töten Organismen. Die Endlagerung radioaktiver Abfälle ist umstritten. Nach heutigem Stand der Technik wird die radioaktive Strahlung ausgebrannter Brennstäbe und ähnlicher Reste durch ein Mehrbarrierensystem zurückgehalten.

## ■ Verwendungsbeispiele



Kernkraftwerk



Uranmetall

Die statische Reichweite von Uran liegt bei den derzeitigen Fördermengen und Reserven zwischen 50 und 70 Jahren. Uran-Recycling hat seit Ende des Kalten Krieges durch die Abrüstübereinkommen eine größere Bedeutung erlangt (Verwertung von Kernwaffen).



Atomwaffentest

# Vanadium (V)

## ■ 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.

Die bedeutendsten Förderländer sind Südafrika, China und Russland.

## ■ 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. Obwohl Vanadium grundsätzlich geringere gesundheitliche Auswirkungen hat wie viele andere Elemente, führt eine erhöhte Aufnahme zu Reizungen der Lunge und der Schleimhäute. Einatmen von Vanadium kann Bronchitis und Lungenentzündung verursachen.

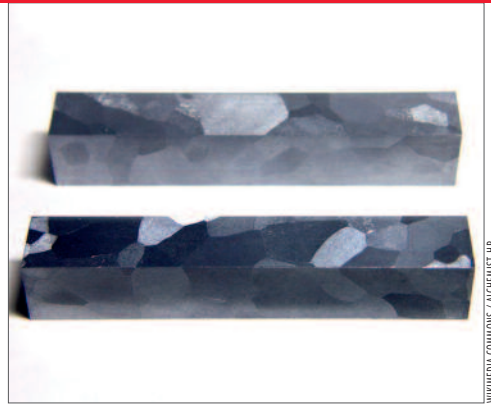
Die statische Reichweite von Vanadium bezogen auf derzeit bekannte Reserven und Fördermengen liegt zwischen 250 Jahre und 330 Jahre. Der Einsatz von Vanadium in Stahllegierungen ist aber auch durch andere Elemente ersetzbar, weshalb ein Engpass nicht zu erwarten ist.

## ■ Verwendungsbeispiele



Ratsche aus Chrom-Vanadium-Stahl

WIKIMEDIA COMMONS / BENEDICT SEIDL



Vanadium

WIKIMEDIA COMMONS / ALCHEMIST-HP



Brennstab mit Pellets

WIKIMEDIA COMMONS / U.S. FEDERAL GOVERNMENT



# Wolfram (W)

## ■ 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, danach folgen Russland, Kanada und Österreich.

## ■ Verwendung

Wolfram ist ein silberweiß 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 Glühlampen, Elektronenröhren und Schweiß-Elektroden eingesetzt.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Nach dem derzeitigen Wissensstand gelten Wolfram und seine Verbindungen als physiologisch unbedenklich. Auch umwelt-toxikologisch gibt es keine speziellen Auswirkungen, doch sind Bergbauaktivitäten immer landschaftsprägend und mit großen Eingriffen in Ökosysteme verbunden.

Die statische Reichweite von Wolfram liegt bezogen auf Reserven und aktuelle Fördermengen bei 39 Jahren. Die Ressourcenreichweite wird mit über 84 Jahren angegeben. Bereits viele Firmen sind speziell auf Wolfram-Recycling spezialisiert.

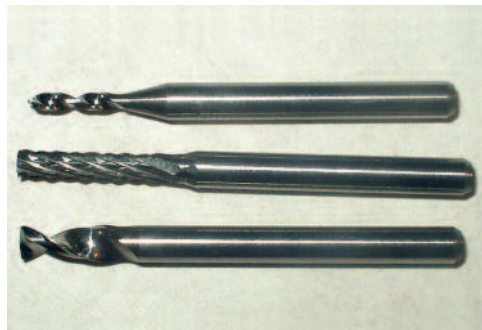
## ■ Verwendungsbeispiele



Teil einer Glühlampe



hochreines Wolfram



Gewindebohrer aus Wolframcarbid

WIKIMEDIA COMMONS / TOMMYHARDOPF

WIKIMEDIA COMMONS / LANDRETT

WIKIMEDIA COMMONS / SPLARKA

# Zink (Zn)

## ■ Gewinnung

Zink steht an 24. Stelle der Elementhäufigkeit und ist damit ein relativ häufiges Element der Erdkruste. Gedeigen kommt es in der Natur selten vor. Die wichtigsten Zink-Erze sind Sphalerit (Zinkblende), Wurtzit und Smithsonit. Durch Flotation und Rösten entsteht Zinkoxid, das über weitere Verfahren zu metallischem Zink reduziert wird. Hauptförderländer für Zink sind die Volksrepublik China, Australien, Peru, die USA und Kanada.

## ■ Verwendung

Die Verzinkung von Stahl als Korrosionsschutz ist mit einem Anteil von derzeit rund 50 % die weltweit bedeutendste Anwendung von Zink. Wichtigster Industriezweig ist das Bauwesen, das Zink für Dachdeckungen und Regenrinnen verwendet. Auch Schutzplanken und Signalmasten auf Verkehrsflächen enthalten Zink. In einem PKW werden durchschnittlich 20 kg Zink für Druckgussteile und Verzinkungen verarbeitet. Für die Anode von Batterien kommt Zink ebenso zum Einsatz wie in unterschiedlichen Legierungen. Bekannteste Zinklegierungen sind Messing und Bronze.

## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Titanzink wird für Dachdeckungen und Regenrinnen immer häufiger eingesetzt, doch sind die Auswirkungen auf die Umwelt durch Auswaschen von Zinkteilen durch das Regenwasser nicht abschätzbar. Das Zink gelangt in Oberflächengewässer und beeinträchtigt den Tierbestand. Über die Nahrungskette und das Grundwasser wird auch der Mensch erhöhten Konzentrationen ausgesetzt. Zink ist zwar ein essentielles Spurenelement führt jedoch bei Überschuss zu Vergiftungserscheinungen.

## ■ Verwendungsbeispiele



Dach aus Zinkblech

WIKIMEDIA COMMONS / PKO



WIKIMEDIA COMMONS / BEULAH-BMW7

Zink

Die statische Reichweite von Zink liegt bezogen auf derzeit bekannte Reserven und aktuelle Fördermengen bei unter 30 Jahren, bezogen auf die Ressourcen bei 200 Jahren. Circa 30 % des weltweit verwendeten Zinks ist Sekundärzink und stammt zum überwiegenden Teil aus Messingschrott. Bei Rohstoffknappheit kann Zink für die meisten Anwendungen durch andere Elemente ersetzt werden.



Schutzplanke

LAND 00 / H. KOSTHA

# Zinn (Sn)

## ■ Gewinnung

In der Natur kommt Zinn in seltenen Fällen elementar vor. Für die industrielle Gewinnung ist das rotbraune bis schwarze Zinn-Erz Kassiterit (Zinnstein) von Bedeutung. Durch Aufschlammern und Flotation angereichert werden zunächst Verunreinigungen abgeschieden und das Rohzinn schließlich durch Reduktion mit Kohlenstoff gewonnen. Zinn tritt in drei Modifikationen mit unterschiedlicher Dichte und Kristallstruktur auf. Hauptförderländer für Zinn sind die Volksrepublik China, Peru, Bolivien und Brasilien.

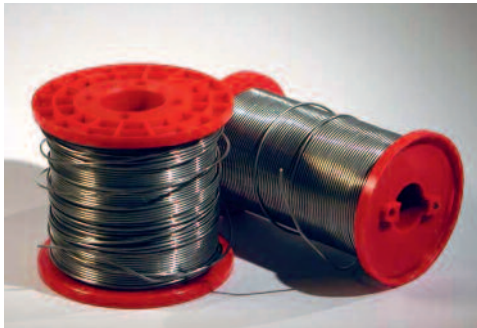
## ■ Verwendung

Knapp die Hälfte der Zinnproduktion fließt in die Erzeugung von Weichloten (Lötzinn) für elektrische und elektronische Geräte. Zinn wird auch zur Herstellung von Weißblech für Konservendosen oder Stanniolpapier verwendet. Weißblech ist kalt gewalztes dünnes Stahlblech, das als Korrosionsschutz mit einer Zinnschicht überzogen wird. Zinnverbindungen finden sich z. B. im Kunststoff PVC, in Fungiziden, Desinfektionsmitteln und als elektrischer Leiter in LC-Displays.

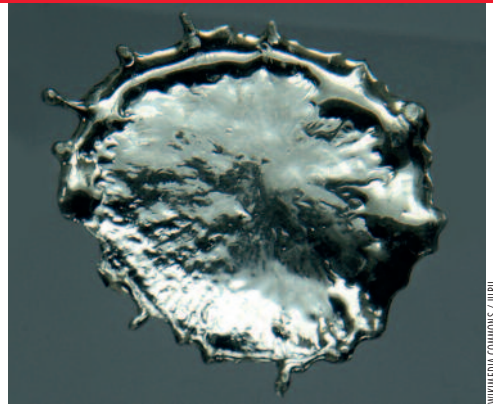
## ■ Umweltaspekte und Verfügbarkeit

Zinn und seine Verbindungen gelangen über Industrieabwässer und bei der Müllverbrennung in die Umwelt mit schädigenden Auswirkungen auf die Organismen. Der Zinnabbau hinterlässt in den Hauptabbaugebieten riesige Kraterlandschaften. Auch Beeinträchtigungen von Korallenriffen durch zinnhaltige Abwässer sind feststellbar.

## ■ Verwendungsbeispiele



Lötzinn



Zinn

Die statische Reichweite von Zinn bezogen auf derzeit bekannte Reserven und Fördermengen liegt bei unter 30 Jahren. Werden die Ressourcen als Berechnungsgrundlage herangezogen erhöht sich dieser Wert auf etwa 45 Jahre. Die steigenden Zinnpreise verbessern die Wirtschaftlichkeit für die Zinnrückgewinnung. Mehr als ein Drittel des verwendeten Zinns wird bereits durch Recycling – vor allem von Weißblech – gewonnen.



Konservendose

Unsere zunehmende Einwegwirtschaft entnimmt der Erde riesige Mengen Rohstoffe, veredelt und verarbeitet sie, koppelt sie mit anderen Rohstoffen und stellt Produkte her, die nach dem Gebrauch als Abfall entsorgt werden und nicht wieder in den Wirtschaftskreislauf gelangen. 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 acht bis zehn Mrd. Tonnen Müll produziert und mit steigender Weltbevölkerung wachsen auch die Müllberge. Über 1,6 Mrd. Tonnen entstammen dem Hausmüll. 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 Recyclingssystemen sind von Nöten. Viele Altgeräte und Abfälle finden ihre Endlagerung auf riesigen Halden in Dritte Welt Ländern, wo keine Möglichkeit besteht, wertvolle oder auch giftige Stoffe zu extrahieren und fachgerecht zu entsorgen oder wiederzuverwerten. Oft wühlen sich Kinder durch die Abfallberge auf der Suche nach brauchbaren Teilen. Auch mehr als die Hälfte der Altautos werden in weniger entwickelte Länder exportiert und nicht hier zu Lande recycelt. Wertvolle Rohstoffe gehen verloren.

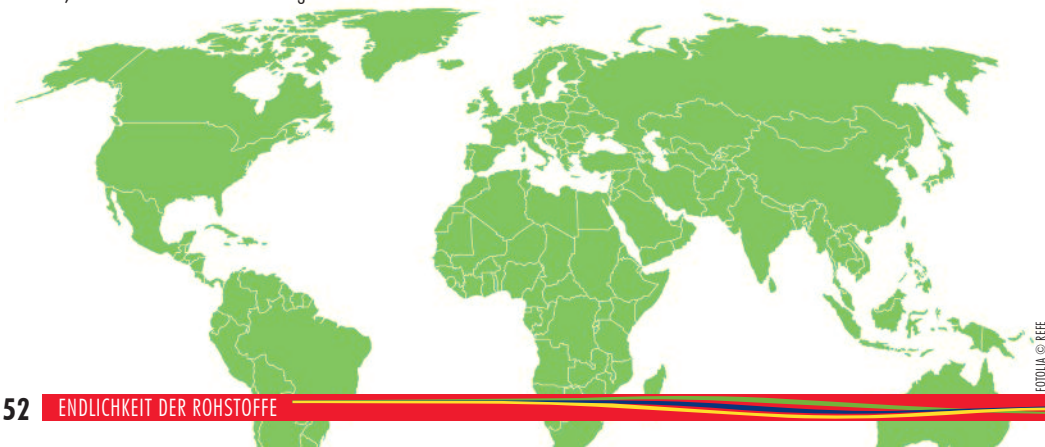
Einige Rohstoffe sind für Zukunftstechnologien von essentieller Bedeutung. Ob Photovoltaikzellen, Glasfaserkabel, LCDs, Elektroautos oder Mobiltelefone – für alle diese Produkte sind spezielle Metalle notwendig. Aufgrund der stark steigenden Nachfrage erhöht sich der globale Rohstoffbedarf drastisch. 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 konzentrieren, 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 gravierende Umweltschäden verbunden. Der Verbrauch von Ressourcen ist auch hinsichtlich der damit verbundenen Umweltbelastungen begrenzt. Bergbau verursacht starke Boden-, Wasser- und Luftverschmutzungen und hat vor allem in Ländern der Dritten Welt 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.

Um nachhaltig mit den Ressourcen unserer Erde umzugehen, ist es wichtig, die Metalle und Rohstoffe effizienter einzusetzen, möglichst gute Recyclingquoten zu erzielen und den Ersatz durch nachwachsende Rohstoffe zu prüfen beziehungsweise zu forcieren.

Abfallarm und umweltschonend abbauen, möglichst lange Lebensdauer der Produkte, leicht trenn- und recyclebar – das schon 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. ■





## Rohstoffe

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

## Reserven

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

## Ressourcen

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

## Statische Reichweite/Lebensdauer

Die statische Reichweite beziehungsweise Lebensdauer sagt aus, wie viele Jahre ein Rohstoff bei gegenwärtiger Jahresförderung 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.

## Dynamische Reichweite/Lebensdauer

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

## Recycling

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

## Rohstoffe

Durch Recycling wird Abfall zu einem Sekundärrohstoff, d. h., gebrauchte Materialien werden gesammelt, einzelne Elemente zurück gewonnen und wieder verwendet.

Letzter Aufruf aller aufgelisteten Internetadressen: November 2009

<http://abenteuerforschung.zdf.de/ZDFde/inhalt/3/0,1872,7302755,00.html?dr=1>  
<http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/volltexte/2002/2222/pdf/Chromium.pdf>  
[http://www.aveva-np.com/de/liblocal/docs/Germany\\_pdf/Uran\\_final.pdf](http://www.aveva-np.com/de/liblocal/docs/Germany_pdf/Uran_final.pdf)  
<http://www.bgr.bund.de>  
<http://www.bromine-info.org>  
<http://www.cadmium.org>  
[http://www.chemie.uni-regensburg.de/Anorganische\\_Chemie/Pfitzner/demo/demo\\_ss08/CDCKMangan.pdf](http://www.chemie.uni-regensburg.de/Anorganische_Chemie/Pfitzner/demo/demo_ss08/CDCKMangan.pdf)  
<http://www.chemikalienlexion.de>  
<http://company.varta.com>  
<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/germany.pdf>  
[http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*71720/---/1=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*71720/---/1=1)  
<http://www.erdoel-vereinigung.ch/UserContent/Shop/Erd%C3%B6l%20-%20Produkte%20und%20Anwendungen.pdf>  
[http://www.forein.rwth-aachen.de/fileadmin/user\\_upload/wefo/Veranstaltungen/Jubilaeumsveranstaltung/Vortraege\\_PPT/08\\_RWTH\\_20\\_Jahre\\_WeFo\\_081107\\_Senk\\_Martens\\_Friederich.pdf](http://www.forein.rwth-aachen.de/fileadmin/user_upload/wefo/Veranstaltungen/Jubilaeumsveranstaltung/Vortraege_PPT/08_RWTH_20_Jahre_WeFo_081107_Senk_Martens_Friederich.pdf)  
<http://www.formteile.ch/silizium.htm>  
[http://www.geographie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/09010000/\\_temp\\_/Molybdaen-Nickel.pdf](http://www.geographie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/09010000/_temp_/Molybdaen-Nickel.pdf)  
<http://www.germanwatch.org/makeitfair.htm>  
<http://www.gesund.co.at>  
<http://www.graphit.de>  
[http://www.greenpeace.ch/fileadmin/user\\_upload/Downloads/de/Energie/2002\\_Bro\\_ErdoelGefahrUmw.pdf](http://www.greenpeace.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/de/Energie/2002_Bro_ErdoelGefahrUmw.pdf)  
<http://www.heise.de/t/Was-vom-Oeko-Auto-uebrig-bleibt-/artikel/143588>  
<http://www.isi.fraunhofer.de>  
[http://www.kfw.de/DE\\_Home/Service/Download\\_Center/Allgemeine\\_Publikationen/Research/PDF-Dokumente\\_Perspektive\\_Zukunftsaehigkeit/Steigerung\\_der\\_Rohstoff-\\_und\\_Materialeffizienz\\_September\\_2009\\_Internet.pdf](http://www.kfw.de/DE_Home/Service/Download_Center/Allgemeine_Publikationen/Research/PDF-Dokumente_Perspektive_Zukunftsaehigkeit/Steigerung_der_Rohstoff-_und_Materialeffizienz_September_2009_Internet.pdf)  
[http://www.landratsamt-roth.de/Portaldaten/1/Resources/www.landratsamt\\_roth.de/leben\\_und\\_arbeiten/umwelt\\_energie/dokumente/kreisfachberatung/Streusalz\\_im\\_privaten\\_Haushalt\\_vermeiden\\_Kfb\\_Intnet\\_seite\\_14.1.09.pdf](http://www.landratsamt-roth.de/Portaldaten/1/Resources/www.landratsamt_roth.de/leben_und_arbeiten/umwelt_energie/dokumente/kreisfachberatung/Streusalz_im_privaten_Haushalt_vermeiden_Kfb_Intnet_seite_14.1.09.pdf)  
<http://www.lenntech.com/deutsch/Data-PSE/Au.htm>  
[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/download\\_pool/Rohstoff-Steckbriefe.pdf](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/download_pool/Rohstoff-Steckbriefe.pdf)  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/47524/vanadium.pdf?command=downloadContent&filename=vanadium.pdf>  
<http://www.mindat.org/indium>  
<http://www.mineralienatlas.de>  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/>  
[http://www.netzwerk-ressourceneffizienz.de/fileadmin/user\\_shares/downloads/Downloads\\_to\\_KNOW/MaRess\\_Policy\\_Paper\\_8\\_1\\_Erfolgsfaktoren.pdf](http://www.netzwerk-ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_shares/downloads/Downloads_to_KNOW/MaRess_Policy_Paper_8_1_Erfolgsfaktoren.pdf)  
[http://www.physik.uni-augsburg.de/chemie/pressepiegel/pdf/die\\_stofflichen\\_grenzen\\_des\\_wachstums.pdf](http://www.physik.uni-augsburg.de/chemie/pressepiegel/pdf/die_stofflichen_grenzen_des_wachstums.pdf)  
[http://ressourcen.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/RE-Paper\\_7-3.pdf](http://ressourcen.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/RE-Paper_7-3.pdf)  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/Erdalkali.pdf>  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/GaGe.pdf>  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/HgSe.pdf>  
<http://www.seilnacht.com>  
<http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/908/488306/text/>  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3244.pdf>  
<http://www.wien.gv.at>

## **IMPRESSUM:**

Medieninhaber und Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung, Direktion Präsidium,  
Oö. Zukunftsakademie, Körntnerstraße 10–12, 4021 Linz, Tel.: 0732/7720-14402  
E-Mail: [zak.post@ooe.gv.at](mailto:zak.post@ooe.gv.at); Web: [www.ooe-zukunftsakademie.at](http://www.ooe-zukunftsakademie.at)

Redaktion/Inhalt: Mag.<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> Reingard Peyrl, MSc

Design: Johannes Ortner/Abteilung Presse/DTP-Center [2013059]

2. Auflage, 2013

DVR: 0069264



100% © 2010