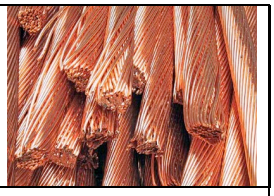


Hintergrund Information

Lesetext für Fortgeschrittene

Werkstoffkunde und Materialwissenschaften

Die **Werkstoffkunde**, oder etwas allgemeiner die **Materialwissenschaft**, ist ein Teilgebiet der Ingenieurwissenschaften und setzt Theorien aus Chemie, Physik und vielen anderen Bereichen in praktisches Wissen für die handwerkliche und industrielle Produktion um.

Die **Metalle**, stellen nur einen Teil der Materialwissenschaften dar – ein Teil, der für den Maschinenbau von grösster Bedeutung ist.

Aber auch Glas u. Keramik, Kunststoffe, Holz und Steingut spielen in der Werkstofftechnik eine Rolle. So wie auch die Werkstoffwissenschaften für Elektrotechnik, Bauwesen und Holztechnik sehr wichtig sind.

In der Konstruktion

Konstrukteure müssen die Werkstoffe kennen, die sie für ihre Produkte einplanen. Sie müssen die Eigenschaften und das Verhalten der Werkstoffe richtig einschätzen, damit das Produkt allen Anforderungen nach Funktionalität, Haltbarkeit und Sicherheit gerecht wird. Mit der Werkstoffwahl wird eine der wichtigsten Weichen für die spätere Produktentwicklung gestellt.

In der Fertigung

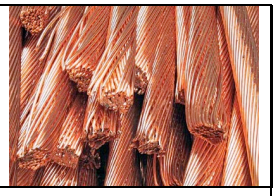
Die Be- und Verarbeitung eines Werkstoffs zu einem Produkt setzt selbstverständlich genaue Kenntnisse über den Werkstoff voraus. Zum Beispiel kann nicht jeder Werkstoff unter den gleichen Bedingungen geschweisst oder umgeformt werden. Die Fertigungsverfahren müssen dem Werkstoff angepasst werden, um wirtschaftlich zu sein. Sie sind aber nicht nur von den Werkstoffeigenschaften abhängig, umgekehrt haben die Verfahren wiederum grossen Einfluss auf die Eigenschaften selbst.

Werkstoffprüfung

Werkstoffprüfung und Qualitätssicherung gehen Hand-in-Hand. Nach – oder besser schon während der Fertigung – müssen die Werkstoff- und Produkteigenschaften überprüft werden. So kann rechtzeitig in die Fertigung eingegriffen, bzw. die Auslieferung mangelhafter Produkte verhindert werden. Das Ziel ist eine wirtschaftliche und qualitativ hochwertige Produktion, so dass insbesondere Schäden am oder durch das Produkt verhindert werden.

In der Forschung

Ziel der Forschung ist die Verbesserung der Werkstoffe, sowohl in den Eigenschaften als auch wirtschaftlich. Auch die Entwicklung und Erprobung neuer Werkstoffe und Verfahren ist Aufgabe der Materialwissenschaften, und wer weiss, welche Werkstoffe die Zukunft noch für uns bereithält?

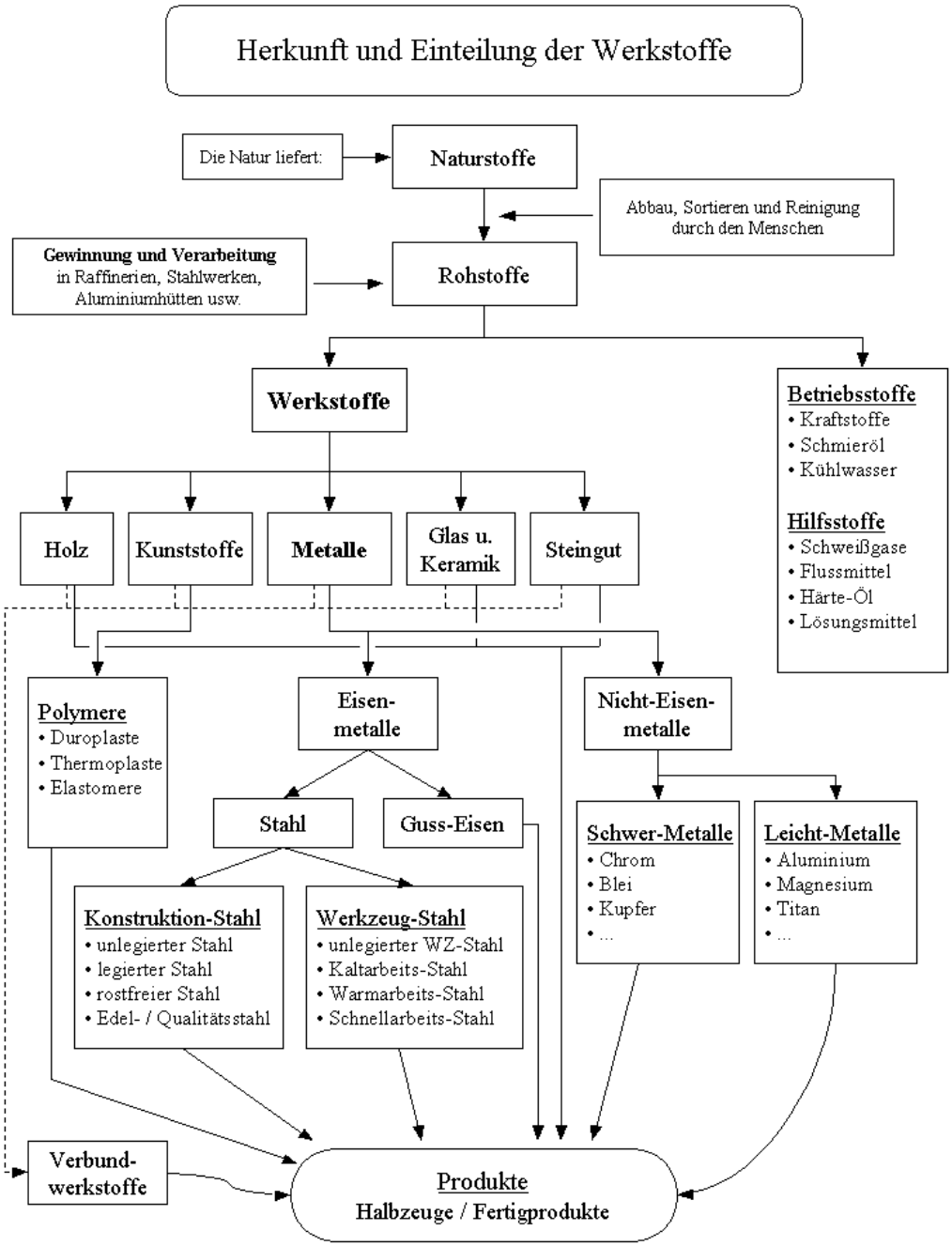


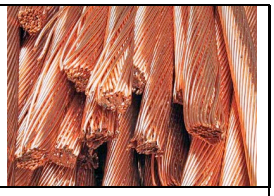
Hintergrund Information

Was sind Werkstoffe?

Die Natur stellt uns alle möglichen Stoffe als Naturstoffe zur Verfügung. Indem wir sie abbauen, wandeln wir sie in Rohstoffe um – und diese werden schliesslich zu den Werkstoffen veredelt, die in der Produktion zum Einsatz kommen.

Werkstoffe sind also die Materialien, die wir Menschen in der Produktion bearbeiten.





Hintergrund Information

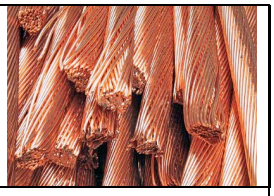
Werkstoffeigenschaften

Die Wahl der Werkstoffe, ihre Qualität und ihre richtige Verarbeitung haben grösste Bedeutung für die Eigenschaften des Produkts.

- Bestimmte geforderte Eigenschaften können nur von bestimmten Werkstoffen erfüllt werden.
- Die Kosten für verschiedene Werkstoffe weichen stark voneinander ab.
- Hochwertige Werkstoffe steigern den Wert und den Preis eines Produkts.
- Ein Werkstoff ist nur so gut wie seine Verarbeitung.

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Werkstoffeigenschaften, der Struktur und der gewählten Verarbeitungstechnologie, die letztendlich zu den Eigenschaften und dem Gebrauchswert der Bauteile und des Produkts führen.

Technologisch	**Mechanisch**	**Physikalisch**	**Chemisch**
• Schmelztemperatur • Giessbarkeit • Umformvermögen • Schweisseignung	• Zug-/ Druckfestigkeit • Dauerfestigkeit • Steifigkeit • Elastizität • Verschleissverhalten	• elektrische Leitfähigkeit • Wärmeleitfähigkeit • Dichte • Magnetismus	• Korrosionsbeständigkeit • Wechselwirkung mit anderen Stoffen



Hintergrund Information

Metallurgie

Mit der **Metallurgie** beginnt der „Lebenszyklus“ eines Werkstoffs. Bei der Verhüttung und den nachfolgenden Prozessschritten werden die Zusammensetzung des Werkstoffs und seine Reinheit festgelegt. Durch Legierungsbestandteile werden die Werkstoffeigenschaften wesentlich verändert.

Durch das **Urformen** erhält der Werkstoff erstmals eine feste Form. Die Fertigungstechnik kennt hier Giessen, Sintern und Laminieren (von Verbundwerkstoffen)

Spanlose Umformverfahren ändern die Stoffmenge nicht, wohl aber seine Struktur. Walzen, Schmieden, Tiefziehen, Biegen

Spanende und andere Trennverfahren vermindern die Stoffmenge. Auch hier wird die innere Struktur mehr oder weniger stark beeinflusst.

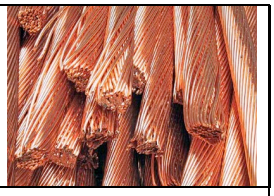
Thermische und thermochemische Verfahren wie Glühverfahren, Härten und Anlassen nehmen auf Härte und Festigkeit weitreichenden Einfluss.

Beschichtungsverfahren zielen in erster Linie auf eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit ab.

Besonders **stoffschlüssige Fügeverfahren** wie Schweissen und Kleben greifen tief in die Struktur des Werkstoffs ein.

Die **Werkstoffprüfung** hat die Aufgabe, die Eigenschaften und die Struktur des Werkstoffs zu prüfen. Dadurch wird auch die richtig Anwendung der Verfahren sichergestellt.

1. **Die subatomare Ebene**
   insbesondere **die Elektronen auf der äussersten Schale**,
   sind für das chemische Verhalten des Atoms und elementare physikalischen Eigenschaften verantwortlich.
2. **Kristall- oder (Makro-)Molekular-Struktur**
   Ob **kristalliner oder amorpher Aufbau**, diese Ebene legt den Grundstein für Festigkeit, Elastizität und Plastizität. Störungen im Aufbau und deren gezielter Einbau können die Materialeigenschaften grundlegend verändern.
3. **Kornstruktur** - **Metalle und viele Keramiken weisen eine Kornstruktur auf.**
   das sind begrenzte kristalline Bereiche (sog. Kristallite) mit gleichen Gitteraufbau und gleicher Gitterausrichtung. An den Korngrenzen liegt eine regellose Anordnung der Atome vor. Grösse und Form der Kristallite sind wichtige Einflussfaktoren für die Materialeigenschaften.
4. **Mehrphasenstruktur** - **Als Phase wird ein homogener Materialbereich bezeichnet.**
   Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften sind in einer Phase an jeder Stelle identisch. Verschiedene Phase in einem Werkstoff können sich gegenseitig „einbetonieren“ und die Festigkeit steigern, die Verformbarkeit wird aber meist negativ beeinflusst.
5. **Konstruktive Gestalt des Werkstücks Die reale Formgebung eines Bauteils** und seine Montage.
   Äussere Belastungen rufen innere Beanspruchungen des Werkstoffes hervor. Diese kann man sich als Kraftlinien vorstellen. Wenn sie plötzlich umgelenkt werden, z.B. durch Querschnittsänderung im Bauteil, kommt es zu Spannungsspitzen, und die zulässigen Spannungen können örtlich überschritten werden. Dem Bauteil droht vorzeitiges Versagen.



Hintergrund Information

Metallurgie

Die **Metallurgie** ist eine übergreifende Wissenschaft und betrifft Teile der Geologie, der Chemie und natürlich die Werkstoffwissenschaften.

Sie beschäftigt sich in der Praxis mit der Suche und dem Abbau von Rohstoffen (Mineralien und Erze), deren Aufbereitung und Verhüttung zu Metallen und deren weiteren Veredelung (Reinheit und Zusammensetzung von Legierungen) und stellt der Industrie die Werkstoffe als Halbzeuge zur Verfügung.

An der Grenze zum Maschinenbau werden (fast)fertige Gussstücke (endformnah) gegossen und umformbare Werkstoffe zu Blöcken, Stangen, Blechen oder Profilen gewalzt.

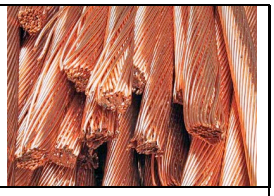
Erzgewinnung

Vorkommen

Häufigkeit der Elemente in der Erdhülle

Sauerstoff	**Silizium**	**Aluminium**	**Eisen**	**Calcium**	**Natrium**	**Magnesium**
49,4%	25,8%	7,57%	4,7%	3,4%	2,64%	1,94%
Wasserstoff	**Titan**	**Chrom**	**Kupfer**	**Zink**	**Lithium**	**Wolfram**
0,88%	0,41%	0,019%	**0,01%**	0,01%	0,006%	0,006%
Zinn	**Blei**	**Nickel**	**Quecksilber**	**Silber**	**Gold**	**Platin**
0,003%	0,002%	0,001%	0,00004%	0,00001%	0,0000005%	0,0000005%

Interessant ist auch, die Häufigkeit des **Kupfers** (dem Element, um das es in diesem Kapitel eigentlich geht) auf und in der Erde zu betrachten:



Hintergrund Information

Nur wenige Metalle kommen in der Natur **gediegen** vor, also *chemisch ungebunden*, z.B. Gold, Silber und Kupfer: Sie sind Edelmetalle, die nur schwach (wenn überhaupt) mit anderen Elementen reagieren und praktisch nicht korrodieren. Um das reine Metall zu gewinnen, muss man es „nur noch“ von Verunreinigungen trennen oder ausschmelzen.

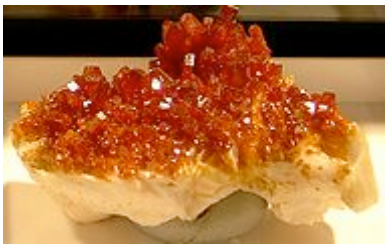
Die meisten Metalle kommen in der Natur dagegen nur **gebunden** vor, also in *Verbindung* mit anderen Elementen, meistens Sauerstoff, Schwefel und/oder Kohlenstoff. Diese Verbindungen werden entweder Mineral oder Erz genannt.

Ein Erz ist es dann, wenn der Abbau und die Verarbeitung gewinnbringend erscheinen. Je nach Begleitelement kennt man oxydische, sulfidische und carbonitische Erze.
Hier eine kleine Übersicht:

Gruppe	Formel	Chem. Name	Mineral
Oxide	$Al_2O_3 \times 2\ H_2O$	Aluminiumoxid	Bauxit
	Fe_3O_4	Eisen (II,III)-oxid	Magnetit
	SnO_2	Zinn (IV)-oxid	Zinnstein
Sulfide	FeS_2	Eisen (III)-Sulfid	Pyrit
	ZnS	Zinksulfid	Zinkblende
	PbS	Bleisulfid	Bleiglanz
Carbonate	$FeCO_3$	Eisencarbonat	Spateisenstein
	$MnCO_2$	Mangancarbonat	Manganspat
	$PbCO_2$	Bleicarbonat	Weissbleierz

Kupfererz

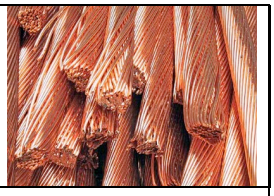
Pyrit



Vanadinit

Einige Erze kommen auch direkt an der Oberfläche zum Vorschein, z.B. Raseneisenerz, das nur noch „eingesammelt“ werden muss. Mancherorts lässt sich reines Gold in einem Flussbett finden und muss nur noch „herausgewaschen“ werden. – Auch Kupfer fand sich früher (in der Bronzezeit) in gediegener Form; doch dies ist heute äusserst selten. Dies waren in der Antike die wichtigsten „Abbaumethoden“.

Den inzwischen gigantischen weltweiten Bedarf an Metallen, kann heute nur noch der industrielle Bergbau abdecken. Die Erze werden im Tagebau oder unter Tage abgebaut.

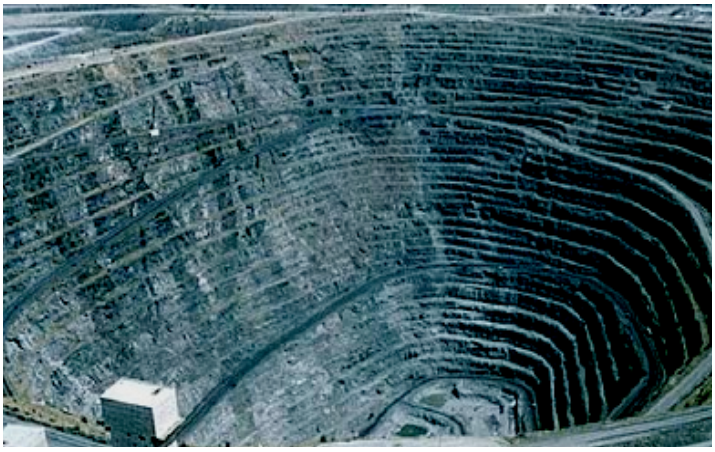


Hintergrund Information

Gewinnung von Kupfer

Die Kupfergewinnung kann in drei Stufen eingeteilt werden: Den Bergbau, die Aufbereitung/Laugung und die Verhüttung. Die angewendeten Verfahren sind abhängig von den Eigenschaften des Kupfererzes.

Bergbau



Der Kupferabbau erfolgt, je nach geologischen und wirtschaftlichen Aspekten, im Tagebau (70%) oder untertägig (30%). Der Abbau im Tiefbau erfolgt sowohl im Blockbruchbau, Kammerbau oder Weitungsbau als auch im Firstenstossbau.

Daneben gibt es auch die "In-situ"-Laugung, eine Abbauverfahren, bei dem das Kupfer aus dem Gestein gewaschen wird.

Kupfermine in Chile

Bei den meisten Lagerstätten liegt das Kupfer nicht in Reinform, sondern als Erz vor. Da die Kupfererze meist nur einen geringen Kupferanteil enthalten (0,5% bis 4%), werden sie zuerst angereichert.

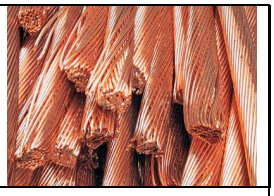
Verfahren je nach Erzart

Bei sulfidischen Erzen erfolgt die Aufbereitung in Flotationsanlagen unter Zusatz von Wasser sowie bestimmter Chemikalien.

Bei den oxydischen Erzen wird das Konzentrat durch Laugung u.a. mit verdünnter Schwefelsäure und Eisensulfat-Lösung und anschliessender Extraktion gewonnen. Die aufbereiteten Roherze werden so zu Konzentraten mit einem Kupfergehalt von 25% bis 35% angereichert.

Grösste Kupfermine der Erde - Escondida - durch eine Eisenbahnlinie mit dem Meer verbunden.

70% des Erzes gelangt zur Aufbereitung. Hieraus resultiert ein Anteil von 83% der Kupferproduktion. Die restlichen 30% werden gelaugt, was dementsprechend einen Anteil von 17% der Kupferproduktion ausmacht.

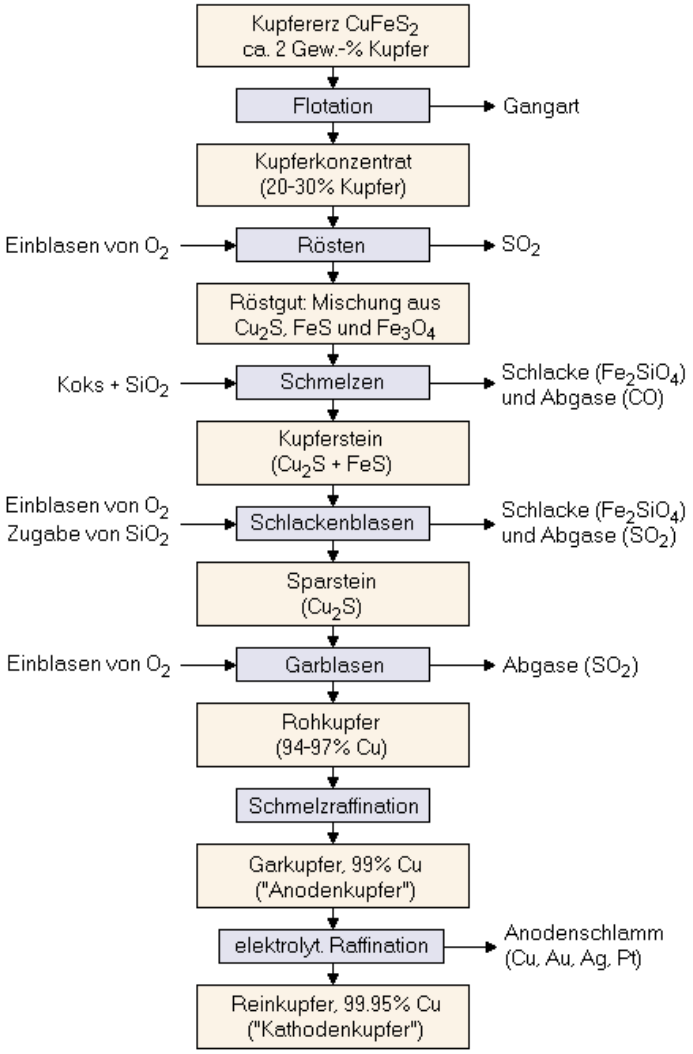


Hintergrund Information

Nachfolgend sind sowohl für sulfidische als auch für oxydische Erze die Verfahren vereinfacht dargestellt.

Flotation - sulfidische Erze

Die Flotation macht sich unterschiedliche Oberflächeneigenschaften der verschiedenen Minerale zunutze. Hierbei wird das zerkleinerte, vorwiegend sulfidische Erz in mit Chemikalien versetztem Wasser aufgeschwemmt. Mit einem Rührwerk und Druckluft werden Blasen erzeugt, an denen schwer benetzbare Teilchen haften bleiben und mit dem Schaum abgezogen werden können. Durch mehrere hintereinandergeschaltete Flotationen wird ein Konzentrat mit einem höheren Kupfergehalt erreicht. Eine geeignete Abstimmung der Reagenzien ermöglicht es, in bestimmter Reihenfolge passivierte Minerale wieder zu aktivieren und so verschiedene Erzminerale in selektiver Flotation nacheinander aufzuschwimmen.



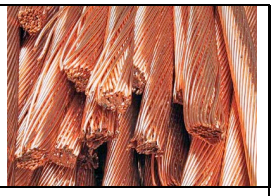
Laugung und Elektrolyse - oxydische Erze

Erze, (in erster Linie oxydische, aber teilweise auch sulfidische Mineralien) und in einigen Fällen auch Abgänge der Aufbereitung, werden zu einer schwachen Kupferlösung gelaugt. Diese schwache Lösung wird durch die Solvent-Extraktion konzentriert. Mit Hilfe der Elektrolyse wird Kupfer aus der Lösung an der Kathode abgeschieden.

Verhüttung

Kupfererze und sulfidische Kupferkonzentrate werden in Schmelzöfen eingebracht, um das Kupfer von anderen Materialien zu trennen (pyrometallurgische Verfahren).

Dies geschieht entweder in kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Prozessen. Das dabei anfallende Blisterkupfer wird durch Elektrolyse oder Feuerraffinierung in raffiniertes Kupfer umgewandelt.



Hintergrund Information

Metalle

Metalle stellen mit etwa 80% die grösste Gruppe der Elemente dar.

Bis auf Quecksilber befinden sich alle Metalle bei Raumtemperatur im festen Aggregatzustand. Sie besitzen einige gemeinsame Eigenschaften, z.B. elektrische Leitfähigkeit und den typisch metallischen Glanz, eben typische metallische Eigenschaften

Typische physikalische Eigenschaften

Die meisten physikalischen Eigenschaften der Metalle sind auf ihre Elektronen zurückzuführen.

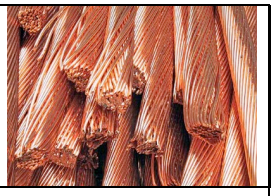
Metallatome können sich untereinander nicht wie ***Nicht*metallatome** an Molekülen binden, sondern müssen sich in einem **regelmässigen Gitter** anordnen.

Daraus resultieren wiederum die wichtigsten physikalischen Eigenschaften der Metalle:

Gute elektrische Leitfähigkeit

Die beweglichen Elektronen im Atomgitter stellen freie Ladungsträger dar. Wenn sie sich in eine bestimme Richtung bewegen, fliesst Strom. Diese „Wanderung“ beginnt, wenn an einem Ende des Leiters mehr Elektronen vorhanden sind, als am anderen, wenn also Spannung anliegt. Man spricht von unterschiedlich elektrischen Potenzialen. An der Stelle mit Elektronenüberschuss werden Elektronen angestossen und in Richtung Elektronenmangel gedrängt. Die Ausbreitung dieser „Druckwelle“ erfolgt nahezu mit Lichtgeschwindigkeit, die „Wanderung“ der einzelnen Elektronen dagegen nur mit einem Bruchteil davon.

Metalle der Zukunft: Hitzefeste Mikrokondensatoren für Handys und Notebooks, Glasfaserkabel für schnelles Internet, neue Akkus und Motoren für Hybridautos, Solarzellen – in all diesen Hightechprodukten stecken neben Gehirnschmalz auch grössere Mengen seltener Metalle. Sie heissen Yttrium, Indium, Lithium, Niob oder Neodym.



Hintergrund Information

Gute Wärmeleitfähigkeit

In nichtleitenden Festkörpern tragen „nur“ Atome und Moleküle zur Wärmeübertragung bei, in Metallen sind auch die freibeweglichen Elektronen an der Wärmeübertragung beteiligt. Gute elektrische Leiter können auch Wärme besser übertragen. So ist Silber nicht nur der beste elektrische Leiter, sondern auch der beste Wärmeleiter unter den Metallen.

Der metallische Glanz

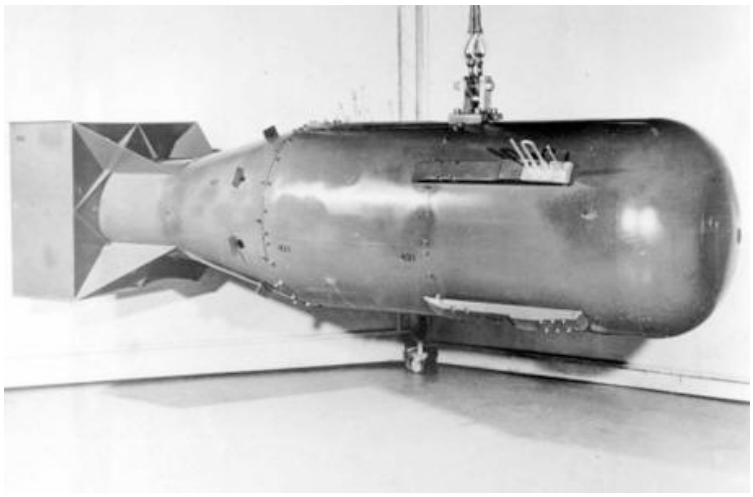
Auch für diese Eigenschaft sind die frei beweglichen Elektronen verantwortlich. Wenn Photonen, also Licht, auf die Oberfläche des Metalls treffen, werden sie absorbiert. Dabei werden die Elektronen kurz zu einem energetisch höherem Niveau angeregt. Wenn sie auf ihr ursprüngliches Niveau zurückfallen, wird ein Photon abgestrahlt – also Licht reflektiert. *Nichtmetalle* können (wenn überhaupt) nur bestimmte Wellenlängen reflektieren, da bei ihnen die Beweglichkeit der Elektronen relativ eingeschränkt ist - der Rest wird absorbiert. Durch die freie Beweglichkeit der Elektronen in *Metallen* wird das gesamte Spektrum relativ unverfälscht wiedergegeben. Raue Metalloberflächen erscheinen gräulich, glatte Oberflächen können spiegeln. Dieses Reflexionsvermögen gilt nicht nur für das sichtbare Licht, z.B. werden auch Radarstrahlen sehr gut reflektiert. Kupfer (rötlich) und Gold (gelblich) sind die einzigen Metalle, die eine Farbe haben.

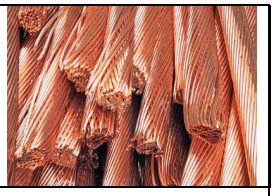
Undurchsichtigkeit

Das hohe Reflexionsvermögen ist gleichzeitig auch der Grund dafür, dass Metalle nicht durchsichtig sind. Lediglich Blattgold wird bei einer Dicke von einem zehntausendstel(!) Millimeter durchsichtig und lässt Licht grünlich-blau durchschimmern. Blei ist wegen seiner hohen Dichte und seiner massiven Atomkerne in der Lage, Röntgen- und radioaktive Strahlung zu absorbieren.

Verformbarkeit (Duktilität)

Die meisten Metalle sind mehr oder weniger gut plastisch (bleibend) verformbar, bevor sie brechen. Denn ein Atomgitter besitzt sogenannte Gleitebenen. Hier können die Atomlagen bei mechanischer Spannungen gleiten, ohne auseinander zu reissen. Es gibt aber auch Metalle, z.B. Gusseisen, die Spröde sind und sofort brechen, sobald der elastische Bereich überschritten wird. Der Aufbau des Gefüges, mit seinen Gitterfehlern und -verzerrungen, hat grössten Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Materials.



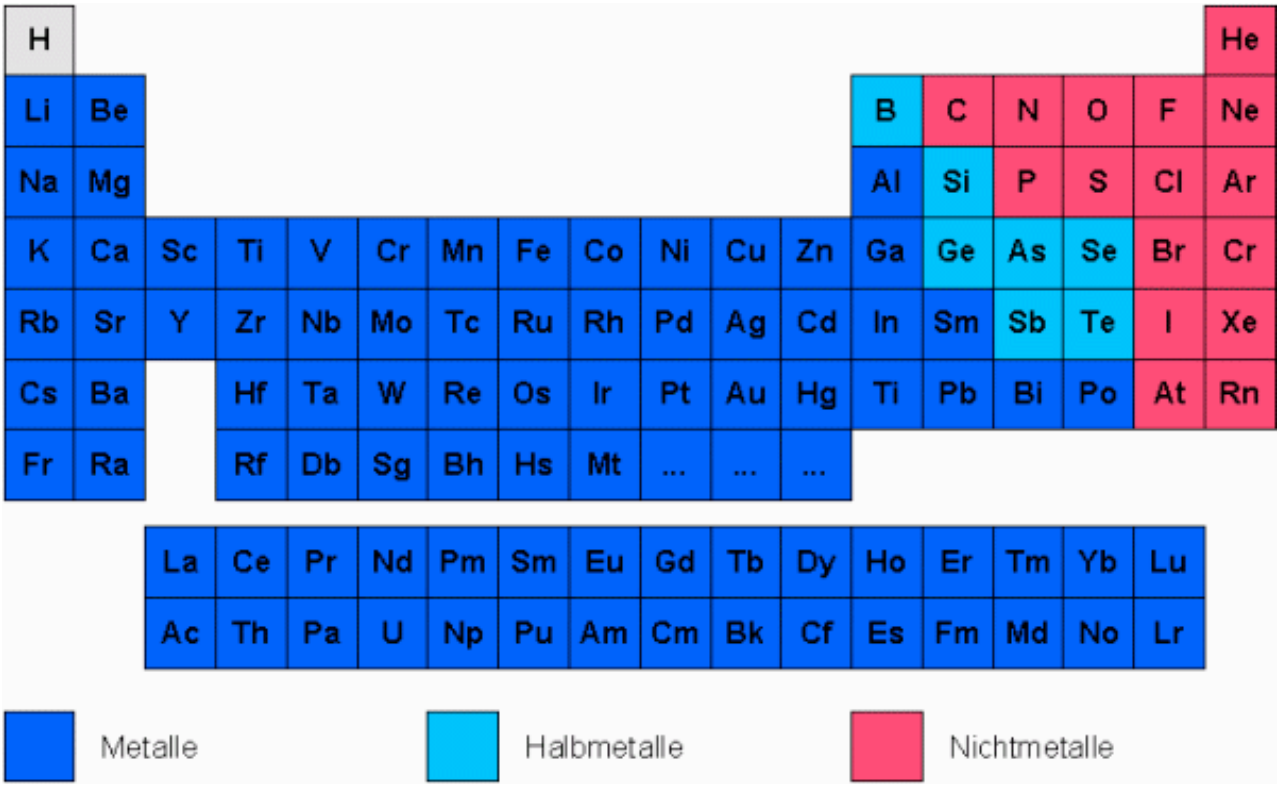


Hintergrund Information

Einteilung der Metalle

Traditionell wird zwischen Schwer- und Leichtmetallen unterschieden:

- **Leichtmetalle** besitzen eine Dichte von weniger als 4,5 g/cm³. Es gibt 15 Elemente, die als Leichtmetalle gelten. Titan ist das schwerste von ihnen. Aluminium, Magnesium und Titan sind als Konstruktionswerkstoffe interessant, wenn es um Gewichtseinsparung geht.
- **Schwermetalle** weisen eine Dichte von 4,5 g/cm³ oder mehr auf. 64 Elemente sind Schwermetalle.

Chemisch wird zwischen unedlen und Edelmetallen unterschieden:

- **Edelmetalle** reagieren nicht mit Wasser oder einer wässrigen Säure unter Wasserstoffbildung. In der elektrochemischen Spannungsreihe liegen sie im positiven Bereich über Wasserstoff. Deshalb kommen Metalle wie Gold, Silber und Platin in der Natur oft gediegen, also chemisch ungebunden vor.
- **Unedle Metalle** reagieren mehr oder weniger stark mit Sauerstoff. Einige Metalle bilden eine dichte, fest haftende Oxidschicht (z.B. Chrom, Aluminium), die eine weitere Oxidation verhindert (Passivierung).
  Andere Metalle, wie Eisen, können durch Korrosion vollständig zerfressen werden.