Vorlesung – Lecture Notes

Was ist ein Metall ?

Professor Dr. Dierk Raabe

Max-Planck-Institut, Max-Planck-Str.1

40237 Düsseldorf, Germany, raabe@mpie.de

http://www.mpg.de http://www.mpie.de http://edoc.mpg.de

Was ist ein Metall ?

Im täglichen Gebrauch erkennen wir Metalle zumeist an ihrem Glanz, ihrer guten Leitfähigkeit für Strom, Schall und Wärme, an der hohen Festigkeit sowie ihrer Verformbarkeit. Bei Raumtemperatur sind darüber hinaus alle Metalle außer Quecksilber fest. Ihre Schmelzpunkte liegen zwischen 39°C (Quecksilber) und 3410°C (Wolfram). Zugegeben, bei verrosteten Autowracks auf dem Autofriedhof ist der metallische Glanz nicht gerade eine hervorstechende Eigenschaft. Dies liegt allerdings daran, daß Eisen an Luft auf der Oberfläche rostrote nichtmetallische Oxide bildet. Der Edelstahltopf in der Küche jedoch ist ein gutes Beispiel für unsere Eingangsbehauptung. Er glänzt, und man kann sich wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit auch prima die Finger an ihm verbrennen.

Die Möglichkeit zur plastischen, d.h. zur bleibenden Umformung gehört zu den wichtigsten Eigenschaften der Metalle.

Der typische Metallglanz wird durch die hohe Lichtreflexion an der Metalloberfläche verursacht. Die gute Strom- und Wärmeleitfähigkeit der Metalle ist auf die hohe Beweglichkeit ihrer Leitungselektronen zurückzuführen. Metalle sind fast immer farblos. Nur Kupfer und Gold absorbieren Strahlung aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums und erscheinen farbig. Unter der Festigkeit eines Metalls versteht man die zum Versagen einer Probe benötigte Kraft pro Querschnittsfläche (Spannung). Mit Verformbarkeit ist die überaus wichtige Eigenschaft der Metalle gemeint, bei einem Stoß nicht spröde zu zerspringen, sondern eine bleibende Formänderung anzunehmen. Die Besonderheit der Metalle ist dabei, daß ihre Festigkeit

bei einer solchen plastischen, d.h. bleibenden Verformung in der Regel sogar zunimmt. Das bedeutet, bei einer Formänderung ist in jedem Schritt eine höhere Kraft für die weitere Verformung erforderlich, als für den vorausgegangenen Schritt. Ausnahmen stellen die sogenannten superplastischen Legierungen dar, die bei fast gleichbleibender Festigkeit sehr hohe Dehnungen erreichen können, ähnlich wie Honig.

Die Fähigkeit zur bleibenden Verformung und dem damit einhergehenden Anstieg ihrer Festigkeit ist eine der wichtigsten technischen Eigenschaften der Metalle. Sie ist maßgebend für so wesentliche Bearbeitungsschritte wie Walzen, Schmieden, Pressen oder Drahtziehen. Gold beispielsweise läßt sich so gut verformen, daß durch Walzen Folien von unter einem zehntausendstel Millimeter Dicke hergestellt werden können.

Die gute Duktilität der Metalle weiß jeder zu schätzen, der schon einmal das Bruchverhalten von Metallbechern mit dem von Omas Sonntagsporzellan verglichen hat. Dieser Vergleich ist übrigens gar nicht so abwegig, denn es waren die sächsischen Alchimisten und vermeintlichen Goldmacher von Tschirnhaus und Böttger, die auf ihrer vergeblichen Suche nach synthetischem Gold für ihren Auftraggeber, den sächsischen Kurfürsten August der Starke, als Nebenprodukt ihrer Untersuchungen das Meissner Porzellan erfanden.

Seit 1687 gelang es zunächst Ehrenfried Walter von Tschirnhaus, mit Hilfe von Brennspiegeln und Linsen feingemahlene Aluminium- und Magnesiumsilikate bei hoher Hitze in eine porzellanartige Masse zu verwandeln. Er schlug August vor, die Herstellung dieser dem Porzellan vermutlich bereits sehr ähnlichen Masse zu versuchen und konstruierte auch die ersten Brennöfen dazu.

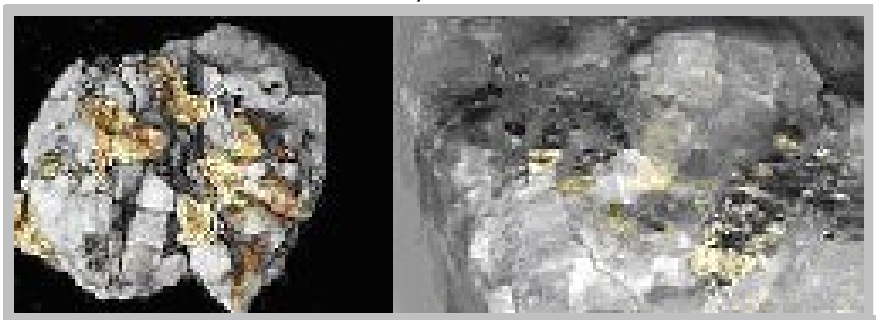
Nach Tschirnhaus' Tod erfand der von ihm als Gehilfe angenommene Apothekerlehrling und Alchimist Johann Friedrich Böttger das erste Porzellan Europas (Im Gegensatz zu seinem Gehilfen Böttger war Tschirnhaus (1651-1708) ein Naturwissenschaftler und Philosoph von hohem Rang, der mit Spinoza, Boyle, Leibniz und Huygens verkehrte.). Er entwickelte zunächst rötliches Steinzeug, später gelbliches und erst um 1717 herum auch weißes Porzellan.

Einer der Erfinder des Meissner Porzellans, der Alchimist Johann Friedrich Böttger.

Viele Metalle lassen sich auch hervorragend miteinander mischen. Man erhält dabei entweder eine Legierung (z.B. die Kupfer-Zink-Legierung Messing oder die Kupfer-Zinn-Legierung Bronze), in der die verschiedenen Atomsorten statistisch über das Gitter verteilt sind, oder man gelangt zu intermetallischen Phasen mit einer geordneten Struktur und definierten Zusammensetzung (z.B. den Phasen CuAu oder Cu_3Au. Die physikalischen Eigenschaften der Legierungen unterscheiden sich meist beträchtlich von denen der reinen Elemente. So ist die Leitfähigkeit in der Regel herabgesetzt, die Härte meist höher (z.B. wird Gold durch das Zusetzen von Silber härter) und die Korrosionsbeständigkeit in einigen Legierungen besser (z.B. im nichtrostenden Stahl, der hauptsächlich aus Eisen, Kohlenstoff, Nickel und Chrom besteht). Durch geeignete Zusammensetzung läßt sich daher eine unüberschaubare Menge neuer metallischer Werkstoffe mit unterschiedlichsten Eigenschaften herstellen.

Derzeit sind über 100 Elemente bekannt, wovon etwa 80 zu den Metallen gehören. Die meisten Metalle begegnen uns allerdings kaum im täglichen Gebrauch, zumindest nicht in einer Form, in der man sie als solche wahrnimmt. Vertrauter sind da schon die metallischen Rohstoffe, die in größeren Mengen industriell erzeugt und verbraucht werden, für die also ein gewisser Markt besteht. Dazu zählen etwa 50 Metalle. Einige der wichtigsten dieser Industriemetalle, etwa nach der jährlichen Produktion oder der wirtschaftlichen-strategischen Bedeutung betrachtet, sind das Eisen, die konstruktiven Leichtmetalle Aluminium, Magnesium, Beryllium und Titan, die Stahl- bzw. Aluminiumveredler Chrom, Kobalt, Mangan, Niob, Vanadium, Molybdän, Lithium, Zirconium, Wolfram und Nickel, die Schwermetalle Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Cadmium, Quecksilber und Tantal, die Edelmetalle Gold, Silber, Platin und Iridium sowie die radioaktiven Metalle Thorium, Uran und Plutonium. Die technisch relevanten Metalle sind mit stark unterschiedlicher Häufigkeit zu finden. Den Aufbau der äußeren Erdkruste bestreiten hauptsächlich weniger als 10 Elemente, und zwar Sauerstoff mit 46Gew.%, Silicium mit 28Gew.%, Aluminium mit 8Gew.%, Eisen mit 5Gew.%, Calcium mit

4Gew.%, Natrium mit 3Gew.%, Kalium mit 3Gew.%, Magnesium mit 2Gew.% und Titan mit 0,4Gew.%.



Gold gehört zu den wenigen Metallen, die gediegen vorkommen.

Abgesehen von wenigen Beispielen wie Gold, Silber und Quecksilber kommen die Metalle in der Natur meist nicht in reiner (gediegener) Form vor, sondern als chemische Verbindungen beispielsweise mit Sauerstoff oder Schwefel. Zur technischen Nutzung müssen die mit diesen Verbindungen angereicherten Gesteine (Erze) zunächst abgebaut und aus ihnen dann das reine Metall gewonnen werden. Diesen Zweig der Metallherstellung bezeichnet man als Verhüttung.

Positiv geladene Ionen der Metalle sind in geringen Mengen aber auch in unserer sonstigen Umgebung enthalten, so in den Gewässern, im Boden, in Pflanzen und im tierischen und menschlichen Organismus. Dort werden sie als Spurenmetalle bezeichnet. Mit der Zeit zeigen viele Metalle die Tendenz, sich wieder in Oxide oder Sulfide umzuwandeln. Kupfermünzen bekommen zum Beispiel durch den Schweiß einen schwarzbraunen überzug aus Kupferoxid. Auf Kupferdächern entsteht eine grünliche Rostschicht, die man als Patina kennt.

Gold aus einem Wrack.

Trotz ihrer überaus großen Vielfalt an Eigenschaften sind die *reinen* Metalle für die meisten Anwendungen vollkommen nutzlos. Beispielsweise würde kein Ehering lange halten, wenn er aus hochreinem Gold wäre. Das ist nämlich kaum härter als Schokolade. Schon geringste

Berührungen mit einem anderem Material würden die Oberfläche zerkratzen. Außerdem wäre der Ring dauernd verbogen. Erst durch geeignete Behandlungen wie das Umformen oder das Mischen mit anderen Elementen (Legieren) entstehen Werkstoffe, also *brauchbare* Materialien. Eheringe enthalten deshalb stets zumindest geringe Beimengungen anderer Elemente, die die Härte erhöhen. Stahl beispielsweise ist in seiner einfachsten Form eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff.
Metalle spielen aber auch eine wichtige Rolle in unserem Organismus. So sind Natrium und Kalium an der Erregungsleitung im Nerv beteiligt. Calcium übernimmt wichtige Funktionen bei der Muskelbewegung, im Stoffwechsel und im Knochenaufbau. Viele Enzyme enthalten Metall-Ionen wie Magnesium, Eisen, Zink und Kupfer. Das Häm-Molekül beispielsweise bindet als Zentralmolekül des Hämoglobins den Sauerstoff an Eisen.
Die beste elektrische Leitfähigkeit aller Metalle bei Raumtemperatur besitzen Silber, Kupfer, Gold und Aluminium in dieser Reihenfolge. Einige Metalle weisen bei sehr geringen Temperaturen auch die erstaunliche Eigenschaft des vollkommen widerstandslosen Stromtransportes auf. Dieser als Supraleitung bezeichnete Effekt erfordert für Metalle allerdings mindestens eine Kühlung mit flüssigem Helium (*Helium verflüssigt unter Normaldruck bei einer Temperatur von -269°C (4 Kelvin).*)
Taucht man zwei Elektroden (Drähte), die aus unterschiedlichen Metallen bestehen, in ein Gefäß mit einem Elektrolyt (wäßrige saure oder basische Lösung), so entsteht durch eine chemische Reaktion der Elektrodenmaterialien eine elektrische Spannung. Das edlere Metall (z.B. Platin) wird dabei zum Pluspol und das unedlere Metall (z.B. Magnesium) zum Minuspol. Nach der elektrochemischen Spannungsreihe kann man zwischen unedlen, halbedlen und edlen Metallen unterscheiden. Unedle Metalle sind sehr leicht oxidierbar und wirken als starke Reduktionsmittel (z.B. Lithium, Magnesium, Mangan, Zink und Eisen). Edle Metalle stehen am unteren Ende der Spannungsreihe und sind nur schwer zu oxidieren (z.B. Silber, Palladium, Platin und Gold). Edelmetall-Kationen wirken daher als starke Oxidationsmittel. Halbedle Metalle sind z.B. Nickel, Zinn und Kupfer. Unedles Magnesium verbrennt in einer Flamme spontan zu Magnesiumoxid, während edles Platin in der Flamme nur zum Glühen gebracht, aber nicht oxidiert werden kann. Desweiteren lassen sich Metalle nach ihrer Dichte einteilen. Dabei gelten Metalle mit Dichten unter $5g/cm^3$ als Leichtmetalle (z.B. Magnesium, Aluminium, Beryllium) und solche mit Dichten über $5g/cm^3$ als Schwermetalle (z.B. Osmium, Blei, Tantal).