



Werkstoffe

31. Mai 1811. Auf der Adlerbastei der Ulmer Stadtmauer steht Albrecht Ludwig Berblinger. Er hat sich Flügel umgeschallt und will seinem königlichen Publikum zeigen, dass er wirklich damit fliegen kann. Der Versuch scheitert: Der „Schneider von Ulm“ landet zum Gespött seiner Mitbürger in der Donau. 90 Jahre später gelangen Otto Lilienthal mehrere Flüge mit seinen Gleitfliegern, aber auch er stürzt schließlich ab und findet den Tod. Drachenflieger von heute brauchen nicht zu befürchten, dass ihr Fluggerät nicht hält. Moderne Werkstoffe sind um ein Vielfaches leichter und stabiler als Holz und Leinwand.

Geeigneter Werkstoff am richtigen Platz

Wenn man eine technische Idee verwirklichen will, ist die Wahl des geeigneten Werkstoffs äußerst wichtig. Besonders in der Luft- und Raumfahrt werden an Werkstoffe extrem hohe Anforderungen gestellt. Sie sollen möglichst leicht aber auch fest sein. Sie müssen sehr hohe Temperaturen aushalten und auch noch nach vielen Betriebsstunden zuverlässig sein.

Der Airbus A 380 ist mit einer Gesamtlänge von 73 m und einer Spannweite von knapp 80 m viel größer als ein „Jumbo-Jet“. Dass auch ein so ungewöhnlich großes und schweres Flugzeug (560 t Startgewicht) in der Luft bleibt, wird unter anderem dadurch ermöglicht, dass man zu seinem Bau extrem leichte und stabile Werkstoffe verwendet.



Beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre mit 12.000 km/h müssen Hitzeschilde nicht selten Temperaturen von 5.000°C standhalten. Das ist so heiß wie die Oberfläche der Sonne!

Wie findet man die richtigen Werkstoffe?

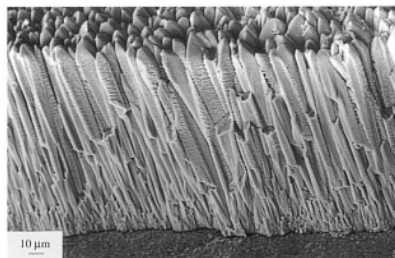
Auf der Erde haben wir die verschiedensten Materialien zur Verfügung, natürliche Baustoffe z. B., wie Holz oder Ton. In der Luft- und Raumfahrt verwendet man neben Kunststoffen vor allem metallische und keramische Werkstoffe. Metalle werden in der Regel nicht in reiner (elementarer) Form verwendet. Erst eine geschickte Kombination verschiedener Stoffe in Legierungen führt zu einem strapazierfähigen Hochleistungswerkstoff: Aus Eisen wird durch die genaue Einstellung des Gehalts an Kohlenstoff, Chrom und Nickel ein rostfreier Stahl.

Auch im Flugzeug werden einige stark beanspruchte Bauteile aus Stahl gefertigt. Der größte Teil eines Flugzeuges besteht aber aus Aluminium- und Titanlegierungen und zunehmend aus faserverstärkten Kunststoffen. Aus dem breiten Angebot wählt der Konstrukteur den geeigneten Werkstoff aus. Dabei muss er einerseits die Sicherheit der Passagiere, andererseits die Herstellungs- und Betriebskosten berücksichtigen. Dies kann nur gelingen, wenn die Eigenschaften der Materialien genau bekannt sind.

Die Kombination macht's

Werkstoffforscher prüfen aber nicht nur die Eigenschaften von Stoffen, sie entwickeln auch neue Materialien mit verbesserten Eigenschaften.

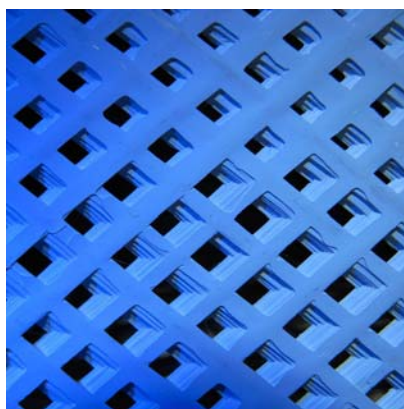
Überall dort, wo Materialien hohe Temperaturen aushalten müssen, werden keramische Werkstoffe verwendet, z. B. in den Brennkammern von Gasturbinen. Wie ihr wahrscheinlich schon beim Geschirrabtrocknen erfahren habt, ist Keramik zwar sehr hart, aber auch spröde und bricht leicht. Ihr werdet das in diesem Versuch selbst ausprobieren.



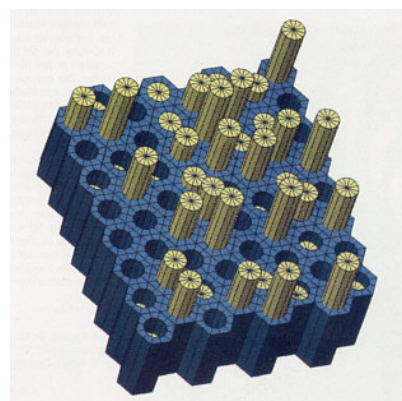
Strukturbeschichtung aus Keramik auf einer Verdichterschaufel

Gewebt, geklebt, sortiert, vergossen...

Wenn man die Struktur der Keramik verändert, oder Keramik mit Metallen verbindet, halten diese neuen Werkstoffe um ein Vielfaches größere Belastungen aus. Das Institut für Werkstoffforschung des DLR hat einen neuartigen, leichten und mechanisch belastbaren Werkstoff aus Keramikfasern entwickelt. Die Fasern werden computergesteuert in Schichten gelegt und dann verklebt (richtiger: versintert). WHIPOX™ hält ebenso Hitze aus wie herkömmliche Keramik und könnte einmal zur Auskleidung von Brennkammern in Flugzeugen und Raketen verwendet werden.



Keramik aus Fasern: Ausschnitt aus einer WHIPOX™-Platte



Verbundmatrix aus Titan und Keramik: durch Einlagerung von Keramikfasern lässt sich die Festigkeit z. B. von Turbinenschaufeln erheblich vergrößern.

Von den Ergebnissen der Materialforschung profitiert nicht nur die Luft- und Raumfahrt. Auch die Automobilindustrie oder Bauunternehmen sind ständig auf der Suche nach Materialien, die neue Generationen von Maschinen und Gebäuden erst ermöglichen. Als „Abfallprodukt“ der Materialforschung entstanden viele andere Stoffe, die inzwischen für uns alltäglich sind - und natürlich auch im Freizeit und Sportbereich werden die Forschungsergebnisse und Erkenntnisse der Materialforschung genutzt um Rekorde zu brechen.

Kennwerte von Werkstoffen

Wer an Konstruktion, Entwicklung und Umsetzung neuer technischer Ideen und Geräte beteiligt ist, muss über die Eigenschaften der Materialien genau informiert sein. Wir werden einige dieser Kenngrößen kennen lernen.

- > Zwei Materialien, die dasselbe Gewicht haben, können unterschiedlich viel Raum einnehmen: Sie haben eine unterschiedliche Dichte.
- > Bei Temperaturschwankungen ändern sich Länge und Volumen in unterschiedlicher Weise.
- > Verschiedene Materialien ermüden bei Erhitzung und haben unterschiedliche Schmelzpunkte.
- > Metalle leiten sehr gut Wärme, Keramik verhält sich dagegen ganz anders. Luft ist wiederum ein sehr schlechter Wärmeleiter, also ein guter Isolator.

- > Wie leiten die Materialien den elektrischen Strom?
- > Die Härte entscheidet in vielen Bereichen über den Einsatz eines Materials. Bohrer, die für extreme Bedingungen gefertigt werden, oder kratzfeste Oberflächen sind Beispiele.
- > Nicht mit der Härte zu verwechseln ist die Festigkeit eines Werkstoffes. Wie Ihr sehen werdet, gibt es sehr harte aber wenig belastbare Werkstoffe.

Was die Welt im Innersten zusammenhält

Warum sind die Eigenschaften von Materialien so unterschiedlich? Die Werkstoffforschung sucht nach Zusammenhängen zwischen den Eigenschaften und dem Aufbau von Materialien.

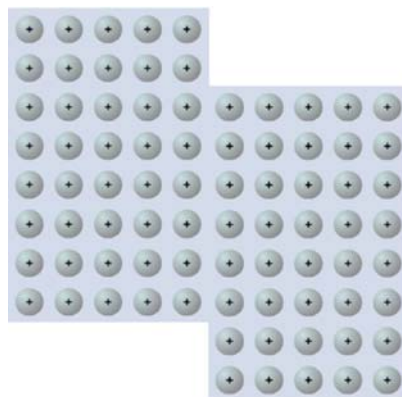
Feste Körper bestehen aus Teilchen, die eng beieinander liegen und einen festen Platz haben, um den sie nur hin- und herschwingen können. (In Flüssigkeiten oder Gasen können sich die Teilchen frei gegeneinander oder im Raum bewegen.)

In der Chemie unterscheidet man im Wesentlichen drei Bindungsarten:

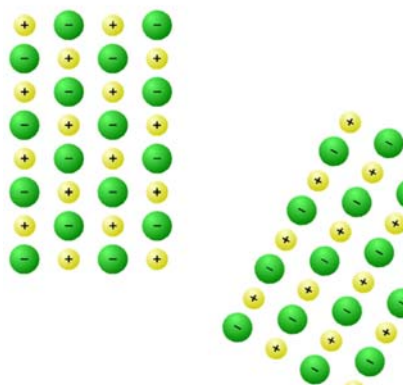
- > **Ionenbindung:** elektrisch geladene Teilchen sind über elektrostatische Kräfte gebunden.
- > **Metallische Bindung:** Ungerichtete Bindung und nicht-ortsfeste, „delokalisierte“ Elektronen („Elektronengas“).
- > **Atombindung (kovalente Bindung):** gerichtete Bindung über Elektronenpaare.

Stellt euch einen Stoff als Anordnung von Kugeln vor, die sich berühren. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten einer raumfüllenden Anordnung: geordnet (kristallin) oder ungeordnet (amorph).

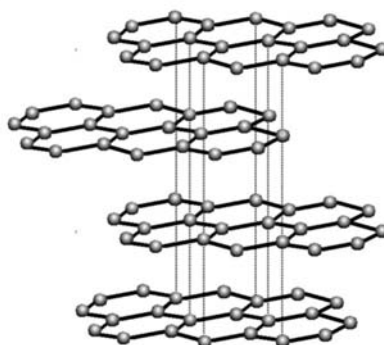
Ordnung kann nützlich sein



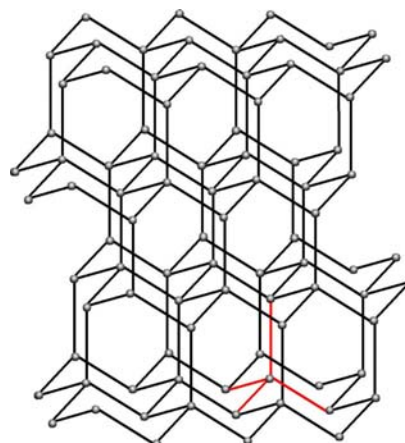
Metallische Bindung (z. B. Eisen): die Atome lassen sich gegeneinander verschieben. Metalle sind darum verformbar



Ionenbindung (z. B. Kochsalz oder Keramik): bei starker Belastung kommt es zum Bruch. Der Werkstoff ist sehr hart, aber spröde.



Kovalente Bindung (z. B. Graphit): Innerhalb einer Schicht sind die Atome fest miteinander verbunden und lassen sich nur schwierig trennen. Die Schichten lassen sich aber leicht gegeneinander verschieben.



Kovalente Bindung (z. B. Diamant): Eine Verschiebung der Atome benötigt sehr viel Energie, der Werkstoff ist extrem hart.

...Unordnung aber auch

Kunststoffe (z. B. Polyethylene, PVC oder Silikone) bestehen aus Polymeren, das sind Ketten von Molekülen. In der Regel sind sie völlig ungeordnet ineinander verdreht („Spaghetti Konformation“). Dadurch lassen sie sich aber leicht dehnen, sie sind elastisch. Ein anderes Beispiel für amorphe Stoffe sind Glasarten.



Polymere Molekülketten (z. B. Gummi) im entspannten und gespannten Zustand

Die Versuche

Wir werden verschiedene Eigenschaften von Metallen, Kunststoffen und Keramiken vergleichen. Die im letzten Abschnitt beschriebenen Kennwerte werden in Experimenten geprüft und sollen zur Bewertung von Einsatzmöglichkeiten der Werkstoffe anregen.

- > Flüssiger Stickstoff (-196°C) wird genutzt um die großen Temperaturschwankungen zu reproduzieren, die beim Einsatz von Fluggeräten auftreten. (Bei einem normalen Linienflug in 10.000 m Höhe werden schon Temperaturen um -50°C erreicht.)
- > Eine Fallvorrichtung erlaubt es uns, genau bestimmbare Belastungen auf ein Probestück einwirken zu lassen und so Formbeständigkeit oder Bruchverhalten zu untersuchen.
- > Mit einem Multimeter wird die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit getestet.
- > Wer ist härter? Wer ritzt wen? Die Mohs'sche Härteskala gibt Aufschluss vom Talkum bis zum Diamanten.
- > Wie kann man die Eigenschaften verschiedener Materialien kombinieren? Wir betrachten moderne Verbundwerkstoffe.

Literatur

Hausmann, J.M.: Modellierung und Optimierung faserverstärkter Titanlegierungen. Tenea-Verlag, Berlin, (2003), 132 S., ISBN 3-86504-007-1

B. Saruhan, Kluwer: Oxide-based fiber-reinforced ceramic-matrix composites. Academic Publishers, 2003

Peters, M. und Kaysser, W. A. (Hrsg.): Advanced Aerospace Materials. DGLR-Bericht 2001-02, 2001, ISBN 3-932182-16-2

Webseiten:

<http://www.dlr.de/wf/>

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

DLR_School_Lab Köln

Linder Höhe
51147 Köln
Leitung: Dr. Richard Bräucker
Telefon: 02203 601-3093
Telefax: 02203 601-13093
E-Mail: schoollab-koeln@dlr.de
www.schoollab.DLR.de/koeln