

## Galvanik

...zusammen besser?

Mit dem Vierfachen ihres normalen Körpergewichts werden die drei Astronauten in die Sitze gepresst, als die Sojus-Kapsel in die Erdatmosphäre eintritt. Der Blick aus dem kleinen Fenster ist nicht sehr beruhigend: draußen sind nur Flammen zu sehen, denn durch die starke Reibung beim Wiedereintritt bildet sich ein über 1000 °C heißes Plasma. Gut, wenn man sich in dieser gefährlichsten Phase eines Raumfluges auf die verwendeten Materialien verlassen kann...

Während bei der Sojus-Kapsel ein sogenannter ablativer Hitzeschild verwendet wird, der zum Teil schmilzt und verdampft, setzt man bei anderen Raumfahrzeugen keramische Hitzeschilde oder Kohlenstoff-Verbundwerkstoffe ein.

Im Experiment Galvanik werden wir keinen Hitzeschild für Raumschiffe konstruieren. Wir werden die Eigenschaften von Metallen vergleichen und einen Verbundwerkstoff herstellen, den man z.B. für einen mechanisch stark belasteten Kühlkörper verwenden könnte. Die Anforderungen an unseren Werkstoff sollen hohe Festigkeit und - im Gegensatz zu einem Hitzeschild - gleichzeitig gute Wärmeleitfähigkeit sein.

## Bis der Draht reißt...

Zunächst sollt ihr die Zugfestigkeit von Drähten aus Kupfer, Wolfram, Stahl und Messing vergleichen. Alle Drähte haben denselben Durchmesser (0,12 mm). Spannt jeweils einen Draht fest in unsere Zugvorrichtung ein (Abb. 1): die untere Scheibe muss frei über der Oberfläche schweben. Legt nun vorsichtig Gewichte auf, bis der Draht reißt. Fertigt eine Tabelle an und vergleicht die Zugfestigkeit.

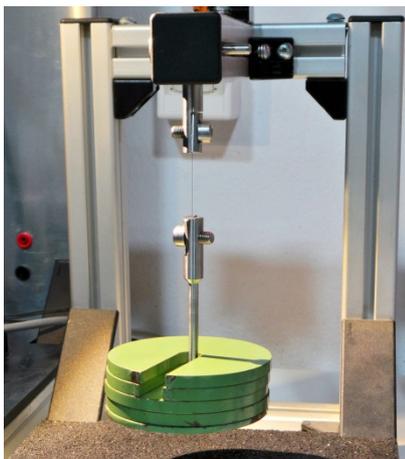


Abb. 1: Zugvorrichtung

## Metall aus Zypern

Das chemische Element Kupfer wird schon seit dem Altertum für Metallarbeiten verwendet. Weil es im Altertum auf der Insel Zypern abgebaut wurde, nannten es die Römer *Cyprum*, oder *Cuprum*. Das verhältnismäßig weiche Metall lässt sich gut bearbeiten, aber es hält keine großen Belastungen aus, wie ihr wahrscheinlich im Experiment Zugfestigkeit gesehen habt. Kupfer leitet sehr gut Wärme und den elektrischen Strom. Es wird darum für Kühlkörper, Leiterplatten und elektrische Leitungen verwendet. Weil es nicht rostet, sind viele Gefäße, Rohrleitungen und auch Dachabdeckungen aus Kupfer.

## Wolfsdreck

Beim Schmelzen von Zinnerz wurde im 16. Jahrhundert ein störendes Mineral beschrieben, das als dunkler „Dreck“ das Zinn „auffraß“, wie ein metallischer Wolf: Wolfram. Erst 300 Jahre später erkannte man, dass Wolfram ebenfalls

ein Element ist. Es ist sehr hart, leitet Wärme nicht besonders gut, hat aber mit über 3200 °C den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle. Die Glühfäden in den (aussterbenden) Glühlampen sind darum aus Wolfram. Wolfram lässt sich wegen seiner Härte zwar schlecht bearbeiten, ist aber darum ein gutes Material für Werkzeuge, wie z.B. Bohrer und Sägeblätter.

## Warum sind manche Metalle hart, andere weich?

Die Atome in einem Metall sind sehr regelmäßig in einem Gitter angeordnet. Die Elektronen der äußeren Schalen können sich darin frei bewegen (metallische Bindung). Bei Druck, Zug oder Schlag auf das Metallgitter lassen sich die Atome gegeneinander verschieben, darum kann man Metalle schmieden. Wie leicht sich die Schichten des Atomgitters gegeneinander verschieben lassen, hängt von den Eigenschaften der Atome (Größe, Aufbau), aber auch von der Art der dreidimensionalen Anordnung der Atome ab.

Kupferatome formen ein kubisch-flächenzentriertes Gitter. An den Ecken eines Würfels sitzen Kupferatome und in der Mitte jeder Fläche ein weiteres Atom (wie die „1“ bei einem Spielwürfel) (Abb. 2). Natürlich müsst ihr euch viele Milliarden dieser Würfel in jede Raumrichtung neben- und übereinandergestellt vorstellen.

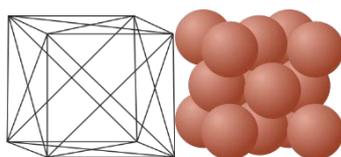


Abb. 2: Kubisch-flächenzentriertes Gitter bei Kupfer

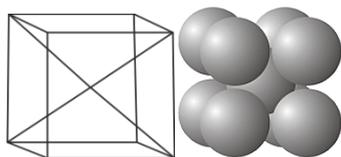


Abb. 3: Kubisch-innenzentriertes Gitter bei Wolfram

Metallisches Wolfram liegt in einem kubisch innenzentrierten Gitter vor: wieder je ein Atom an jeder Ecke eines

Würfels, aber nur ein weiteres Atom genau innen, in der Mitte des Würfels (Abb. 3).

## Nicht die Finger verbrennen...

Will man heiße Kastanien aus dem Feuer holen, sollte man auf die Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugs achten. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft. Bei Holz oder Kork ist sie sehr gering: Die Finger bleiben kalt, aber die Materialien sind schlecht fürs Feuer geeignet. Metalle sind im Feuer stabil, haben aber meist eine gute Wärmeleitfähigkeit. Entweder benutzt man eine ganz lange Gabel, oder man ist sehr schnell... Man könnte aber auch Werkstoffe verbinden: vorne Metall, hinten Holz.

Wenn wir also einen Werkstoff mit sehr guter Wärmeleitfähigkeit und gleichzeitig großer Festigkeit suchen, kann man dann nicht Kupfer und Wolfram mischen?

## Metalle mischen

Die ägyptischen Pyramiden wurden noch mit Hilfe von Werkzeugen aus weichem Kupfer gebaut. In anderen Teilen Europas entdeckte man aber schon vor etwa 5000 Jahren, dass man Metalle zusammenschmelzen, legieren kann. Bronze ist eine Legierung aus Kupfer und Zinn. Schmilzt man Kupfer und Zinn zusammen, erhält man Messing (Abb. 4). Eisen kann man mit Kohlenstoff und vielen anderen Metallen zu Stählen schmelzen.

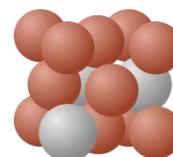


Abb. 4: Bei Messing sind einige Plätze des Kupfer-Gitters mit Zinkatomen besetzt

Wenn man aber versuchen würde, Kupfer mit Wolfram zu legieren, wird man scheitern. Denn man kann nur solche Elemente legieren, die dieselbe Gitterform bilden und die in der Atomgröße zusammenpassen: Nur dann können Atome unterschiedlicher Spezies ein gemeinsames Metallgitter aufbauen.

Weil dies bei Wolfram und Kupfer nicht der Fall ist, hat man versucht, „Wolframkupfer“ herzustellen, indem man beide Metalle pulverisiert, mischt und unter Druck erhitzt (Abb. 5).

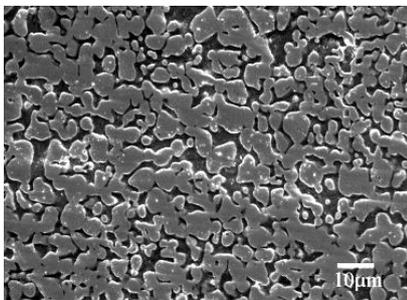


Abb. 5: Wolframkupfer

## Galvanische Beschichtung

Wir werden im zweiten Versuchsteil elektrischen Strom benutzen, um einen Wolframdraht mit Kupfer zu beschichten. Unsere Beschichtungsanlage (Abb. 6 und Titelbild) besteht aus einem galvanischen Bad, durch das der Wolframdraht geführt wird. Der Stromkreis wird über eine Kupferplatte geschlossen.



Abb. 6: Beschichtungsanlage. Der Wolframdraht wird über zwei Rollen durch das Elektrolyt-Bad geführt. Im Hintergrund ist die Kupferplatte zu erkennen, die als Anode dient.

Füllt das Bad mit einer Mischung aus Kupfersulfat und Schwefelsäure, stellt die elektrischen Anschlüsse her und legt eine Gleichspannung von etwa 3 V an.

Mit Hilfe der Kurbel (Titelbild oben rechts) wird nun der Wolframdraht langsam durch das galvanische Bad geführt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich eine

Schicht aus Kupfer auf dem Wolfram absetzt (Abb. 7).



**Achtung!** Kupfersulfat ist gesundheitsschädlich und umweltschädigend, Schwefelsäure ist ätzend. Die Lösung darf nicht mit der Haut in Berührung kommen oder verschüttet werden. Spritzer sofort mit viel Wasser abwaschen. Nach Gebrauch die Lösung nicht fortschütten, sondern im Vorratsgefäß sammeln.



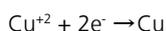
Abb. 7: Der verkupferte Wolframdraht (Ausschnitt aus Abb. 6)

## Elektrochemische Reaktionen

Der elektrische Strom sorgt dafür, dass Kupfer von der Kupferplatte auf den Wolframdraht übertragen wird. An der Anode (positiver Pol) werden dem Kupfer Elektronen entzogen (sie werden oxidiert). Kupferionen gehen in die Lösung über:



Die Kupferionen wandern zum Kathode (negativer Pol), dem Wolfram-Draht, erhalten dort zwei Elektronen und scheiden sich als metallisches Kupfer ab (sie werden reduziert):



Falls dabei – vor allem am Wolframdraht - Gasblasen entstehen, wurde eine zu große Spannung eingestellt<sup>1</sup>.

## Was hat das nun gebracht?

Im dritten Teil werdet ihr untersuchen, wie gut die Wärmeleitung des neuen Verbundwerkstoffs ist. Im Probenhalter sind drei gleich große Metallzylinder eingespannt (Abb. 8). Jeweils ein Thermowiderstand misst die Temperatur an der oberen (im Bild hinteren) Seite der Metallzylinder. Ein weiterer Thermowiderstand ist in der Mitte unten zu sehen.

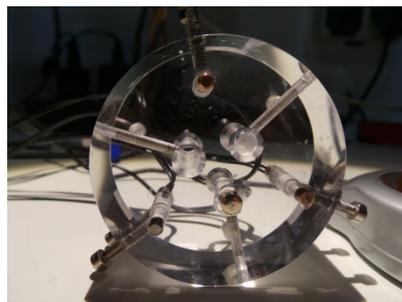


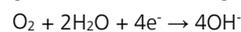
Abb. 8: Probenhalter von unten mit den drei Materialproben und dem Thermofühler für die Heizplatte

Setzt den Probenhalter auf die erhitzte Kupferplatte. Verwendet Wärmeleitpaste, um einen optimalen Temperaturexchange sicherzustellen (Abb. 9). Am Computer wird der Zeitverlauf der Temperatur an der Oberseite der Proben dargestellt. Die Proben bestehen aus Kupfer, Wolfram und verkupferten Wolfram. Der vierte Thermofühler misst direkt die Temperatur der Heizplatte. Diskutiert das Ergebnis und informiert euch über weitere Verbundwerkstoffe.

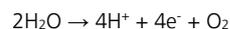
<sup>1</sup>Bei höherer elektrischer Spannung kann es im sauren Milieu (hohe Protonenkonzentration) zur kathodischen Wasserstoffabscheidung kommen:



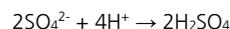
Außerdem kann an der an der Kathode gelöster Sauerstoff reagieren:



An der Anode können dagegen Protonen und Sauerstoff entstehen, wenn Wasser oxidiert wird:



Die Protonen werden dann mit den Sulfationen wieder Schwefelsäure bilden:



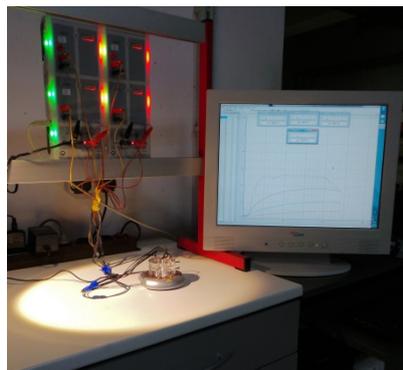


Abb. 9: Messaufbau zur Wärmeleitfähigkeit

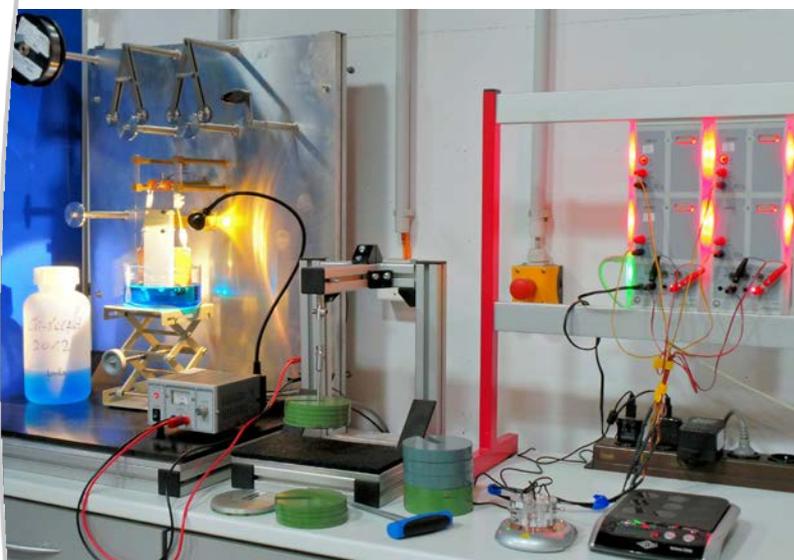


Abb. 10: Versuchsaufbau für das Experiment Galvanik

## 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, Energie, Verkehr, Digitalisierung und Sicherheit 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 zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## DLR Köln

Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr, Energie und Sicherheit sind die Forschungsfelder, die im DLR Köln in neun Forschungseinrichtungen bearbeitet werden. Das Rückgrat der Forschung und Entwicklung bilden Großversuchsanlagen, wie Windkanäle, Triebwerks- und Materialprüfstände und ein Hochflussdichte-Sonnenofen. Auf dem 55 Hektar großen Gelände ist neben den Forschungs- und Zentraleinrichtungen des DLR auch das Astronautenzentrum EAC der Europäischen Weltraumbehörde ESA angesiedelt. Das DLR beschäftigt in Köln-Porz rund 1.400 Mitarbeiterinnen und Mitar-



**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**

beiter.

### DLR\_School\_Lab Köln

Linder Höhe  
51147 Köln

Leitung: Dr. Richard Bräucker  
Telefon: 02203 601-3093

### Hinweise zum Experiment:

Jahrgangsstufe: 9 bis 12  
Gruppengröße: 5 bis 6  
Dauer: 50 Minuten  
Inhaltlicher Bezug:  
Chemie, Physik

Telefax: 02203 601-13093  
E-Mail: schoollab-koeln@dlr.de  
Internet: www.DLR.de/dlrschoollab