

Demonstrationsexperimente

zum Thema

*„Entropie lehren
mit Spaß“*



Regina Rüffler, Georg Job

**64. MNU-Tagung Bremerhaven
20.-21. November 2017**



Weitere Informationen auf der Homepage:
www.job-stiftung.de

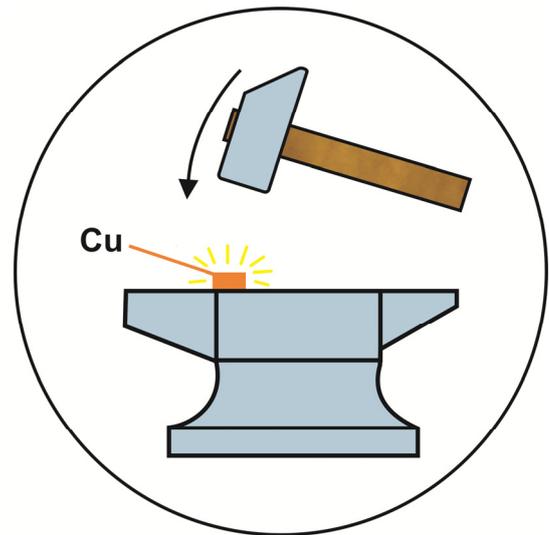
Erhitzen von Metall durch Schmieden

Geräte:

Amboss
schwerer Vorschlaghammer
weichgeglühtes Kupferstück (Volumen von einigen Kubikzentimetern) mit Stiel

Chemikalien:

–



Sicherheitshinweise:

Da das Arbeiten mit einem Hammer leicht zu Verletzungen des Daumens und der anderen Finger führen kann, ist Vorsicht geboten und das Tragen von festen Arbeitshandschuhen empfehlenswert.

Versuchsdurchführung:

Das Kupferstück wird auf den Amboss gelegt und mit etwa 20 Schlägen mit dem Vorschlaghammer kräftig geschmiedet.

Beobachtung:

Das Kupferstück wird so heiß, dass es zischt, wenn man es ins Wasser taucht.

Erklärung:

Durch die Schläge mit dem Hammer wird das atomare Gefüge des Kupferstücks nachhaltig gestört. Als Hauptwirkung der dabei erzeugten Entropie wird das Kupferstück heiß.

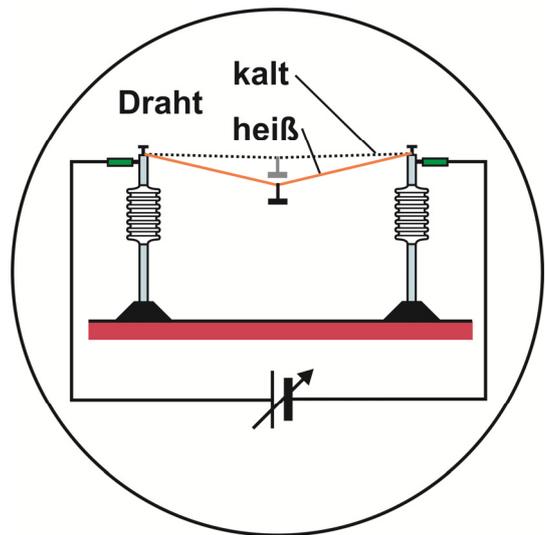
Entsorgung:

Das Kupferstück ist nach dem Ausglühen und Abschrecken in Wasser wiederverwendbar.

Ausdehnung eines stromdurchflossenen Drahtes

Geräte:

Netzgerät (z. B. 25 V, 10 mA)
2 Isolierstützen
Widerstandsdraht (dünn)
z. B. Konstantandraht ($600 \times 0,4 \text{ mm } \varnothing$)
Gewicht (10 bis 20 g) z. B. große Mutter oder Hakengewicht
2 Experimentierkabel
Höhenanzeiger z. B. Glasstab in durchbohrtem Stopfen



Chemikalien

–

Sicherheitshinweise:

Bei Stromfluss sollte der Draht nicht berührt werden.

Versuchsdurchführung:

Vorbereitung: Der dünne Draht wird zwischen zwei Isolierstützen gespannt. In der Mitte des Drahtes befindet sich das Gewicht. Der Höhenanzeiger wird unter das Gewicht gestellt. Anschließend wird jede der Isolierstützen mit Hilfe eines der Experimentierkabel mit dem Netzgerät verbunden.

Durchführung: Zuerst wird die Stromstärke langsam heraufgeregelt. Anschließend wird sie wieder heruntergeregelt.

Beobachtung:

Mit wachsender Stromstärke sinkt das Gewicht in der Drahtmitte langsam nach unten. Bei höheren Stromstärken beginnt der Draht auch zu glühen. Bei fallender Stromstärke steigt das Gewicht wieder nach oben. Die Bewegung des Gewichtes kann mit Hilfe eines Schattenwurfes besonders deutlich gemacht werden.

Erklärung:

Durch den Stromfluss wird Entropie erzeugt. Als Hauptwirkung des Entropiezuwachses wird der Draht wärmer und beginnt schließlich zu glühen. Der Entropiezuwachs verursacht aber auch einen Nebeneffekt: Der Draht dehnt sich merklich aus, was durch die Absenkung des Gewichtes leicht beobachtet werden kann. Wird die Stromstärke wieder heruntergeregelt, so nimmt auch die erzeugte Entropie ab; der Draht kühlt allmählich ab und spannt sich wieder.

Entsorgung:

–

Bimetallische Schnappscheibe

Geräte:

bimetallische Schnappscheibe (auch bekannt als "bimetallic jumping disc")

Tasse mit heißem Wasser

Chemikalien:

–

Sicherheitshinweise:

Das Tragen einer Schutzbrille ist empfehlenswert.

Versuchsdurchführung:

Zunächst wird die Scheibe auf etwas über Körpertemperatur erwärmt, indem man sie zwischen der Fläche der einen und den Fingern der anderen Hand reibt oder indem man sie zum Beispiel gegen die Außenseite einer Tasse mit heißem Wasser presst. Anschließend wird die leicht gekrümmte Scheibe in die andere Richtung gebogen, was mit einem Klick-Geräusch verbunden ist. Wenn das Metall warm genug war, bleibt die Scheibe vorübergehend in dieser „umgekehrten“ Position. Danach legt man die Scheibe schnell, aber vorsichtig auf eine harte Oberfläche wie einen Tisch, so dass die gewölbte Seite nach oben zeigt.

Beobachtung:

Nach kurzer Zeit kehrt die Scheibe plötzlich in ihren Ausgangszustand zurück, was wieder mit einem Klick-Geräusch verbunden ist. Gleichzeitig springt sie hoch in die Luft.

Erklärung:

Die Scheibe besteht aus zwei Schichten unterschiedlicher Metalle, die zusammengeschweißt wurden (sog. „Bimetall“). Erhöht man die Entropie in der Scheibe, so dehnen sich die beiden Metalle unterschiedlich stark aus, da sich ihre thermischen Ausdehnungskoeffizienten deutlich voneinander unterscheiden. Oberhalb einer Temperatur von ca. 310 K verbleibt die Scheibe daher in der „umgekehrten“ Position. Kühlt sich die Scheibe ab, so klappt sie nach kurzer Zeit plötzlich in den Ausgangszustand zurück.

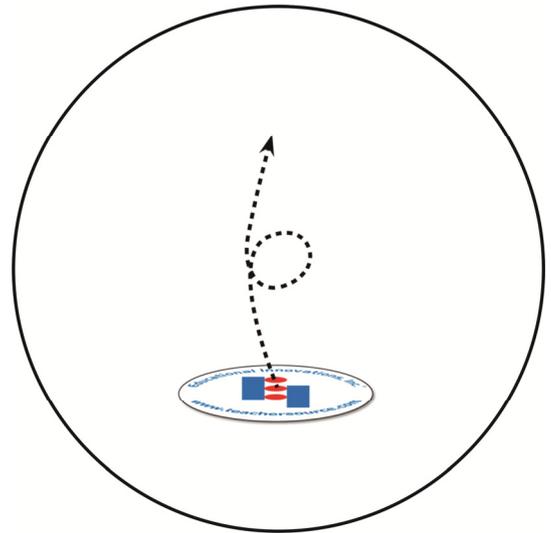
Das gleiche Prinzip wird zum Beispiel auch in Temperaturschaltern genutzt, wie sie in Geräten wie Bügeleisen, Kaffeemaschinen etc. eingesetzt werden.

Entsorgung:

–

Bezugsquelle:

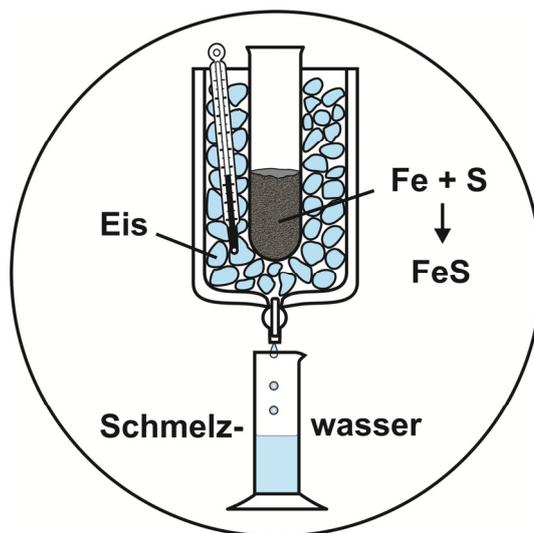
z. B. Educational Innovations (<http://www.teachersource.com>)



Eiskalorimeter

Geräte:

doppelwandiges Kalorimetergefäß aus Glas
großes Reagenzglas
Messzylinder mit Entropieskala (0,82 mL
Schmelzwasser entsprechen einer Entropie
von 1 J/K)
Thermometer
Mörser und Pistill
Wunderkerze
Stativ mit Klammer



Chemikalien:

Eisenpulver
Schwefelpulver
feingestoßenes Eis

Sicherheitshinweise:

Schwefelpulver (S):



H315
P302+352

Eisensulfid (FeS):



H400
P273

Wegen der entstehenden schwefelhaltigen Dämpfe muss der Versuch unbedingt im Abzug durchgeführt werden. Das Tragen eines Kittels, einer Schutzbrille und von Schutzhandschuhen ist erforderlich.

Versuchsdurchführung:

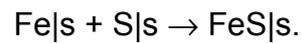
Eisen- und Schwefelpulver werden im Molverhältnis 1:1 in einem Mörser sorgfältig gemischt und 22,0 g der Mischung (entspricht 1/4 mol FeS) in das Reagenzglas gefüllt. Anschließend wird das Reagenzglas und das Thermometer (bzw. im Falle eines elektronischen Thermometers dessen Fühler) in das mit Eis gefüllte Kalorimetergefäß gestellt. Vor dem Zünden wird der Hahn des Kalorimetergefäßes geöffnet, um inzwischen entstandenes Wasser zu entfernen. Dann wird der Hahn geschlossen, die Fe-S-Mischung mit Hilfe einer Wunderkerze gezündet und der Hahn wieder geöffnet. Das während der Reaktion entstehende Wasser wird im Messzylinder aufgefangen.

Beobachtung:

Die Mischung reagiert unter dunkelrotem Leuchten. Gleichzeitig entstehen schwefelhaltige Dämpfe. Ein Teil des Eises schmilzt. Die Temperatur im Kalorimeter bleibt (nahezu) konstant.

Erklärung:

Eisen reagiert mit Schwefel zu Eisensulfid:



Bei dieser Umsetzung wird eine beträchtliche Menge an Entropie abgegeben. Aus dem Volumen an Wasser, das im Messzylinder aufgefangen wurde, kann auf diese Entropiemenge zurückgeschlossen werden (0,82 mL Schmelzwasser entsprechen der Entropieeinheit).

Entsorgung:

Das entstandene Eisensulfid wird in einem Behälter für anorganische Feststoffe gesammelt und anschließend der Entsorgung zugeführt.

Verdichten und Entspannen von Luft

Geräte:

Plexiglaszylinder mit O-ringgedichtetem Kolben und eingebautem Thermoelement
Flachsreiber mit dickem Filzschreiber
2 Experimentierkabel

Chemikalien:

Silikonfett

Sicherheitshinweise:

–

Versuchsdurchführung:

Der Kolben wird mit wenig Silikonfett eingefettet und anschließend abgewischt. Die elektrischen Anschlüsse des Thermoelements werden mit Hilfe der Kabel mit dem Flachsreiber verbunden. Anschließend wird der Nullpunkt des Schreibers auf die Papiermitte (50 %) eingestellt. Der Kolben wird schnell in den luftgefüllten Zylinder hineingepresst und in diesem Zustand so lange belassen, bis der Schreiberausschlag auf seinen Ausgangswert zurückgegangen ist. Dann wird der Kolben losgelassen. Der Messbereich des Schreibers muss an das gewählte Thermoelement angepasst werden, der Papiervorschub sollte bei etwa 100 mm/min liegen.

Beobachtung:

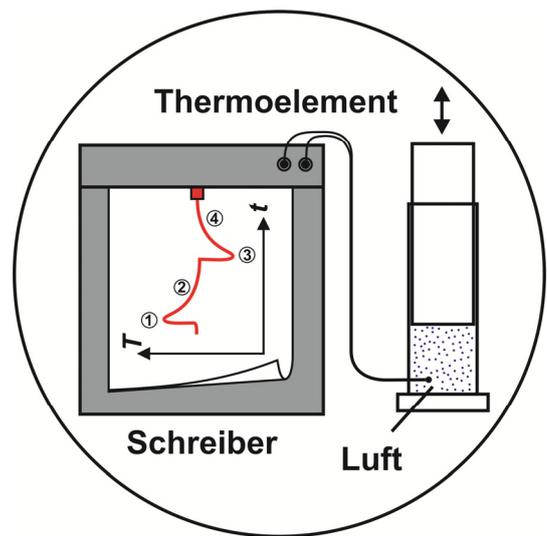
Die Kompression gibt sich durch einen Temperaturanstieg, die Expansion durch einen Temperaturabfall zu erkennen.

Erklärung:

Beim Verdichten der Luft werden die Atome beschleunigt, die Unordnung und daher die Entropie nehmen zu und das Gas wird somit wärmer (Phase 1). Wartet man etwas, dann kühlt sich das Gas wieder auf den Ausgangswert ab, da es gegen die Zylinderwände nicht isoliert ist und die Entropie daher aus dem System in die Umgebung fließen kann (Phase 2). Die Expansion des Kolbens führt zu einer weiteren Abkühlung (Phase 3). Beim anschließenden Warten fließt jedoch wieder Entropie zu und das Gas wärmt sich auf (Phase 4). Je langsamer man dabei vorgeht, desto mehr verschwindet der Unterschied zwischen Hin- und Rückweg.

Entsorgung:

–



Pneumatisches Feuerzeug

Geräte:

pneumatisches Feuerzeug bestehend aus
Unterteil, Zylinder und Kolben
Pinzette

Chemikalien:

Zunder z. B. Watte aus Baumwolle

Sicherheitshinweise:

–

Versuchsdurchführung:

Als Zunder wird etwas Baumwolle mit Hilfe der Pinzette in die kleine Aushöhlung im Unterteil gestopft. Anschließend wird der Zylinder auf das Unterteil aufgesetzt und der Kolben wenige Zentimeter in den Zylinder eingeführt. Dann wird der Kolben kräftig und schnell nach unten gedrückt.

Beobachtung:

Der Zunder flammt auf.

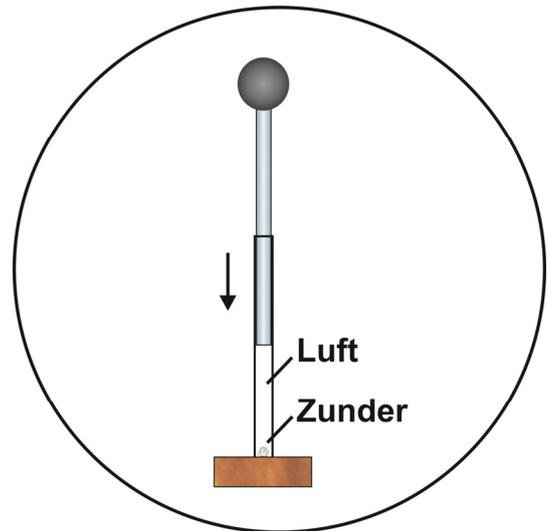
Erklärung:

Wird eine bestimmte Gasmenge wie z. B. Luft schnell komprimiert, so wird sie glühend heiß (adiabatische Kompression) (Erfolgt diese Kompression nicht schnell genug, so hat die Entropie Zeit, aus dem heißen Gas in die kalten Zylinderwände zu fließen und dementsprechend kühlt sich das Gas ab.). Dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um einen Zunder zum Glühen zu bringen. Dabei wirkt der in der Luft enthaltene Sauerstoff gleichzeitig als Oxidationsmittel.

Dasselbe Prinzip wird in Dieselmotoren eingesetzt, um das Treibstoff-Luft-Gemisch zu zünden.

Entsorgung:

Die angesengte Baumwolle kann im Hausmüll entsorgt werden.



Knatterboot

Geräte:

Knatterboot
große Schüssel, Waschbottich, kleiner Pool
oder ähnliches
Kerze
Streichhölzer oder Feuerzeug
Plastikpipette

Chemikalien:

Wasser

Sicherheitshinweis:

Da das Boot heiß wird, sollte man es während des Versuches und kurz danach nicht berühren.

Versuchsdurchführung:

Mit Hilfe der Plastikpipette wird Wasser solange in eines der kleinen "Auspuffrohre" gefüllt bis es aus dem zweiten Rohr wieder hinausläuft. Danach wird das Boot vorsichtig in eine wassergefüllte Schüssel (oder ähnliches) gesetzt, wobei darauf zu achten ist, dass das Wasser im Verdampfer verbleibt und sich beide "Auspuffrohre" unter Wasser befinden. Die Kerze wird in den Halter gestellt und der Docht angezündet. Anschließend wird der Halter behutsam unter den Verdampfer geschoben.

Beobachtung:

Nach kurzer Zeit setzt sich das Boot mit dem typischen Knattergeräusch in Bewegung.

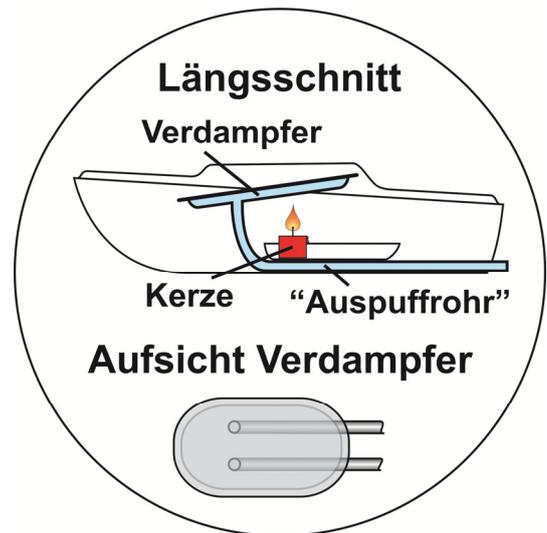
Erklärung:

Das Knatterboot wird von einem sehr einfachen Wärmemotor ohne bewegliche Teile angetrieben. Die Kerze erhitzt das Wasser im Verdampfer. Kocht das Wasser, so wird ein kurzer Dampfstoß erzeugt, der dazu führt, dass das Wasser in den Rohren schwungvoll nach hinten ausgestoßen wird und sich das Boot vorwärts in Bewegung setzt (Phase 1). Nachdem der unter Überdruck stehende Heißdampf den Verdampfer verlassen hat, kondensiert ein Teil des Dampfes in den kühleren Bereichen der Rohre. Auf Grund des dadurch erzeugten Unterdruckes wird Wasser in die Rohre eingesaugt und erreicht schließlich auch den Verdampfer (Phase 2). Der Kreislauf kann erneut beginnen.

Der Verdampfer besteht aus einer kleinen flachen Metallpfanne, die nach oben hin durch ein leicht konvex gebogenes Stück Federstahlblech abgeschlossen wird. Diese Oberseite springt bei den schnellen Druckwechseln hin und her und erzeugt dabei das knatternde Geräusch, das dem Boot seinen Namen verliehen hat.

Entsorgung:

–



Niedertemperatur-Stirlingmotor

Geräte:

Stirlingmotor
Tasse oder Becher
Wasserkocher o. Ä.

Chemikalien:

Wasser

Sicherheitshinweis:

-

Versuchsdurchführung:

In die Tasse wird heißes Wasser ($< 100\text{ °C}$) gefüllt. Anschließend wird der Stirlingmotor auf die Tasse gesetzt. Nach einer Wartezeit von ca. 2 min wird das Schwungrad sanft angestoßen.

Beobachtung:

Der Stirlingmotor läuft, solange das Wasser in der Tasse ausreichend warm ist. Nimmt man ihn von der Tasse herunter, so bleibt er nach kurzer Zeit stehen.

Erklärung:

Stirlingmotoren wie der hier vorliegende Beta-Typ nutzen eine Temperaturdifferenz für den Antrieb. Die Bodenplatte wird durch das heiße Wasser in der Tasse erwärmt, während die Deckplatte auf Raumtemperatur bleibt. Befindet sich die große Verdrängerplatte (aus Styrodur etc.) oben, so strömt die Luft an dieser vorbei nach unten und erwärmt sich dort. Auf Grund der Erwärmung dehnt sich das Gas aus und drückt den kleinen Arbeitskolben nach oben, der über eine Pleuelstange und die Kurbelwelle das Schwungrad antreibt. Diese Bewegung wirkt sich über eine zweite, mit 90 ° Versatz zum Kolben angebrachte Pleuelstange auf die Verdrängerplatte aus. Die Platte bewegt sich nach unten, während die Luft nach oben strömt und sich dort abkühlt. Durch die Abkühlung zieht sich die Luft zusammen, wodurch der Arbeitskolben nach unten gezogen wird und dabei das Schwungrad weiter antreibt. Der Kreislauf ist geschlossen.

Entsorgung:

-



