

Workshop

**Entropie lehren
mit Spaß**



Regina Rüffler, Georg Job



c/o. Institut für Physikalische Chemie
Universität Hamburg

Gliederung

1. Einführung – Begriff der Entropie
2. Makroskopische Eigenschaften der Entropie
3. Entropieübertragung
4. Entropie messen
5. Anwendung des Entropiebegriffes
6. Entropieleitung
7. Ausblick

1. Einführung – Begriff der Entropie



Einführung

Auch, wenn der Nutzen der Thermodynamik außer Frage steht, so gilt sie doch als schwer zu erlernen. Gerade auch eine der grundlegenden Größen, die **Entropie S** , meist beschrieben als abstrakter mathematischer Ausdruck,



$$S(p, T) = S_0 + \int_{p_0, T_0}^{p, T} \frac{dQ_{\text{rev}}}{T},$$

der Wärme und Temperatur umfasst, steht in dem Ruf, besonders unanschaulich zu sein.

Daher kann sie als eine Art „schwarzes Schaf“ der thermodynamischen Größen angesehen werden.

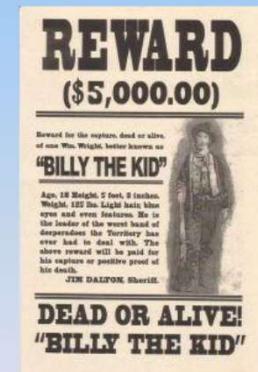


Entropie als Grundbegriff

Es gibt jedoch eine einfachere Herangehensweise an diese Größe ohne eine die SchülerInnen oft abschreckende mathematische „Überfrachtung“.

~~$$S(p, T) = S(p_0, T_0) + \int_{p_0, T_0}^{p, T} \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$~~

Wir schlagen vor, S direkt als ein in Materie verteiltes, mehr oder weniger bewegliches Etwas einzuführen, das zunächst durch seine wichtigsten und leicht erkennbaren Merkmale charakterisiert wird wie eine gesuchte Person durch einen „Steckbrief“.



Diese phänomenologische Definition wird ergänzt durch die Angabe eines direkten Messverfahrens, eine Vorgehensweise, wie sie bei verschiedenen Basisgrößen wie Länge, Zeit, Masse üblich ist.

Anwendung

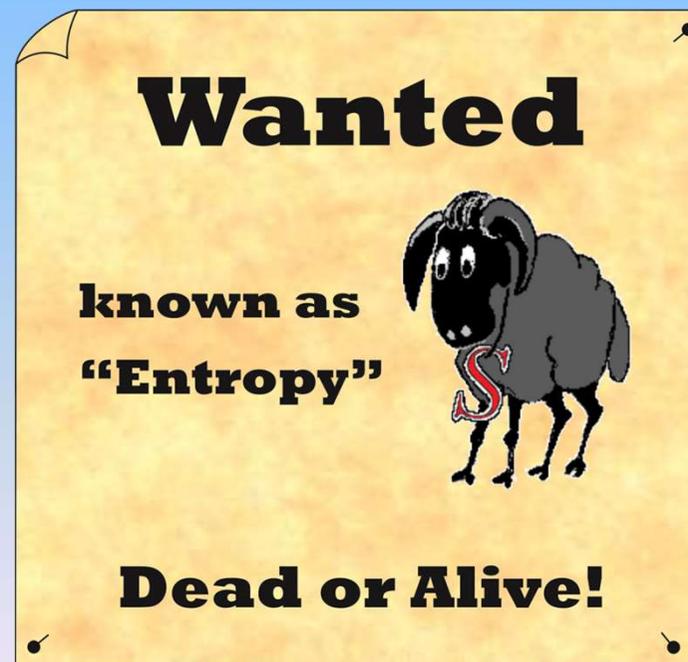
Die vorgeschlagene Herangehensweise erlaubt es, die Größe unmittelbar einzusetzen, um praktisch verwertbare Ergebnisse zu erzielen. Da keine speziellen Vorkenntnisse erforderlich sind, ist sie selbst für den Anfängerunterricht interessant.



Eine Vielzahl von ausgewählten Demonstrationsexperimenten soll helfen, das Interesse der SchülerInnen zu wecken, das Verständnis zu vertiefen und eine Brücke zur Alltagserfahrung zu schlagen.



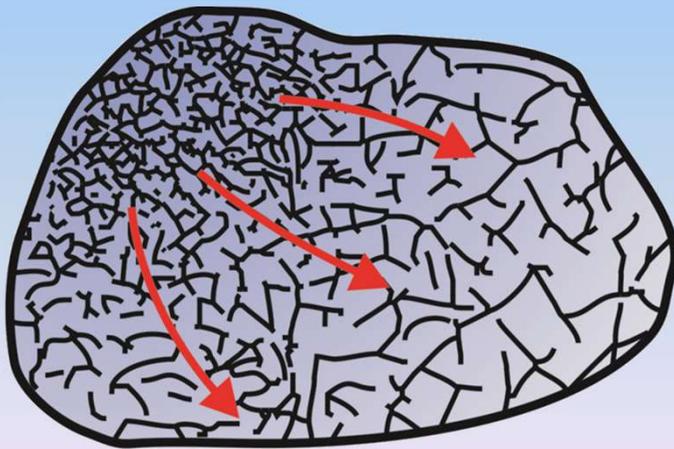
2. Makroskopische Eigenschaften der Entropie



“Steckbrief” der Entropie

Die Entropie kann aufgefasst werden als

- ein in Materie verteiltes,
- mehr oder weniger bewegliches, gewichtsloses Etwas
- mit der besonderen Eigenschaft, erzeugbar, aber nicht zerstörbar zu sein.



Diese Annahmen erlauben es uns, die Entropie als eine stoffähnliche Größe zu beschreiben, die in analoger Weise wie die elektrische Ladung vermittelt werden kann.

“Steckbrief” der Entropie

Entropie verändert den Zustand eines Objektes in auffälliger Weise.

Enthält es wenig Entropie, empfindet man es als *kalt*.

Enthält dasselbe Objekt mehr oder sehr viel Entropie, empfindet man es als warm oder sogar *heiß*.

Wenn die Entropiemenge in ihm ständig erhöht wird,

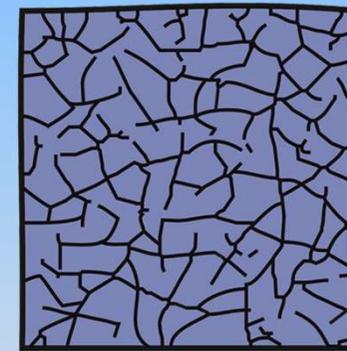
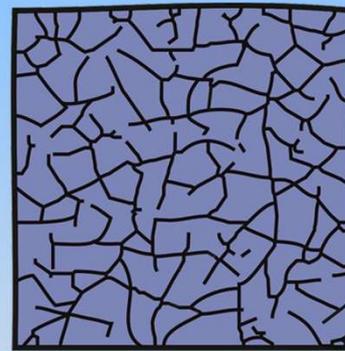
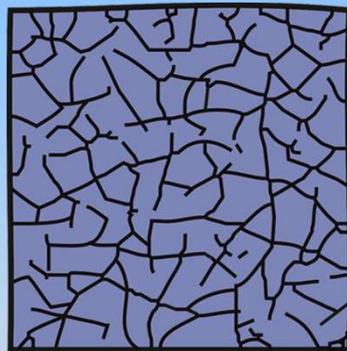
- beginnt es zu glühen,
- dann zu schmelzen und
- schließlich zu verdampfen.

Entropie ist bei allen Wärmeeffekten im Spiele, sie kann als deren eigentliche Ursache angesehen werden.



“Steckbrief” der Entropie

1. Jedes Objekt *enthält* mehr oder weniger Entropie.
Nach Art, Größe und Zustand gleiche Objekte enthalten gleiche Entropiemengen.



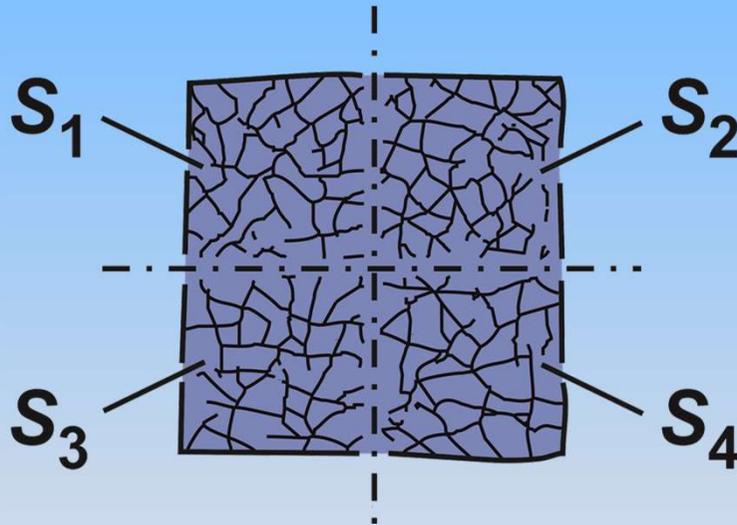
$$S_1 = S_2 = S_3$$

Mit anderen Worten:

“Die Entropie ist eine **Zustandsgröße**.”

“Steckbrief” der Entropie

2. Die Entropie eines zusammengesetzten Objekts ist die Summe der Entropien seiner Teile.



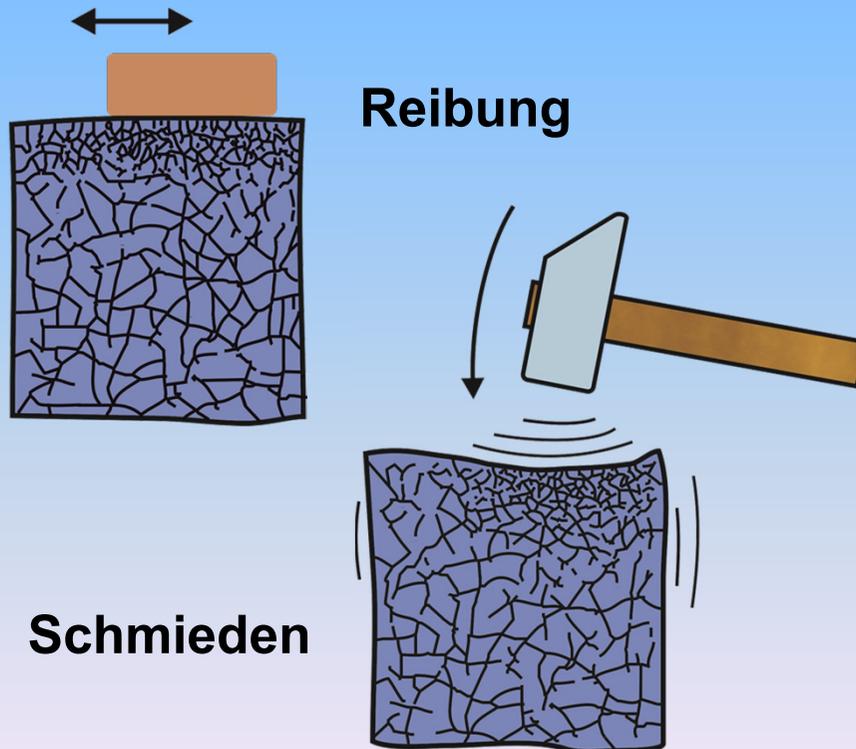
$$S_{\text{ges}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$$

Mit anderen Worten:

“Die Entropie ist eine *extensive Größe*”.

“Steckbrief” der Entropie

3. Entropie kann durch vielerlei Prozesse *erzeugt* werden, *aber* nicht *zerstört*.

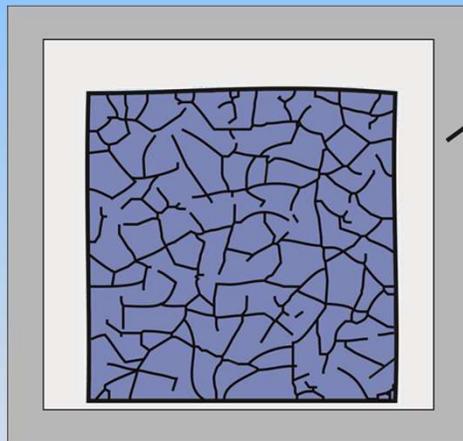


Ausschnitt aus „Wetten, dass..?“
<https://www.facebook.com/JobFoundationPhysChem/videos/307217583394499>

“Steckbrief” der Entropie

4. Entropie kann nicht durch thermisch isolierende Wände fließen.

Fazit: In einem isolierten Objekt kann die Entropie zwar zunehmen, aber nie abnehmen; allenfalls bleibt ihre Menge erhalten.



Isolierung

$$\Delta S \geq 0$$

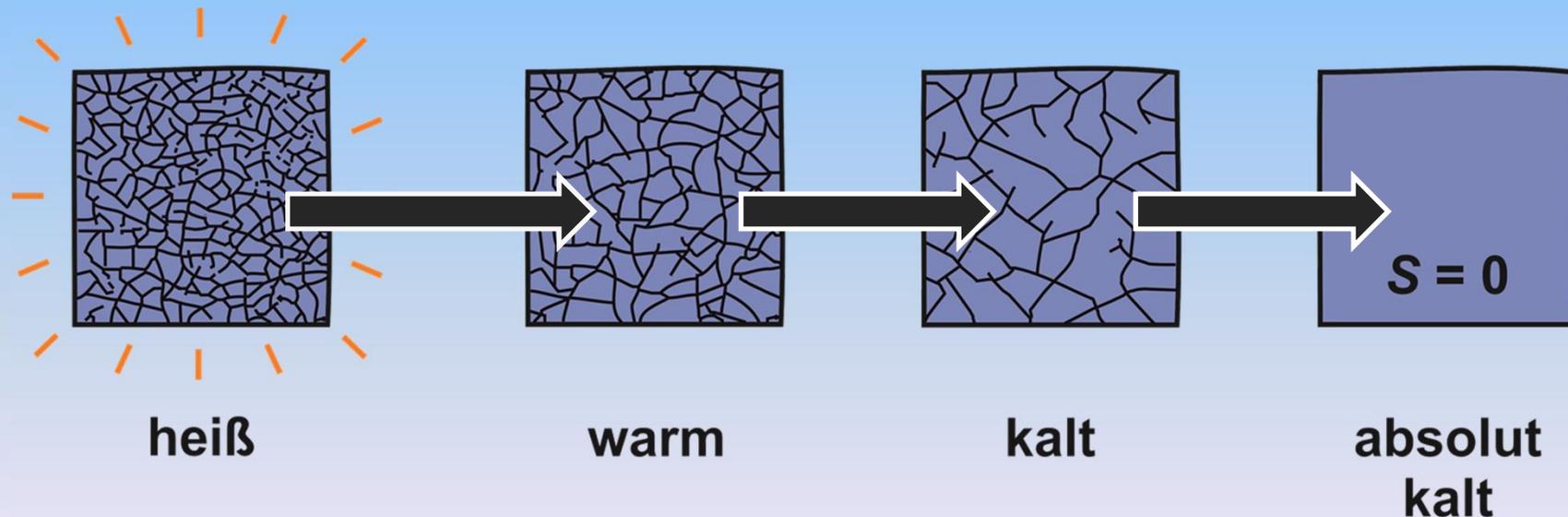
auch bekannt als

“2ter Hauptsatz der Thermodynamik”

“Steckbrief” der Entropie

5. Als *Hauptwirkung* steigender Entropie wird das Objekt *wärmer* (vgl. Experiment zum Schmieden).

Von sonst gleichen Gegenständen ist der entropiereichste der wärmste, ein entropieleerer absolut kalt.

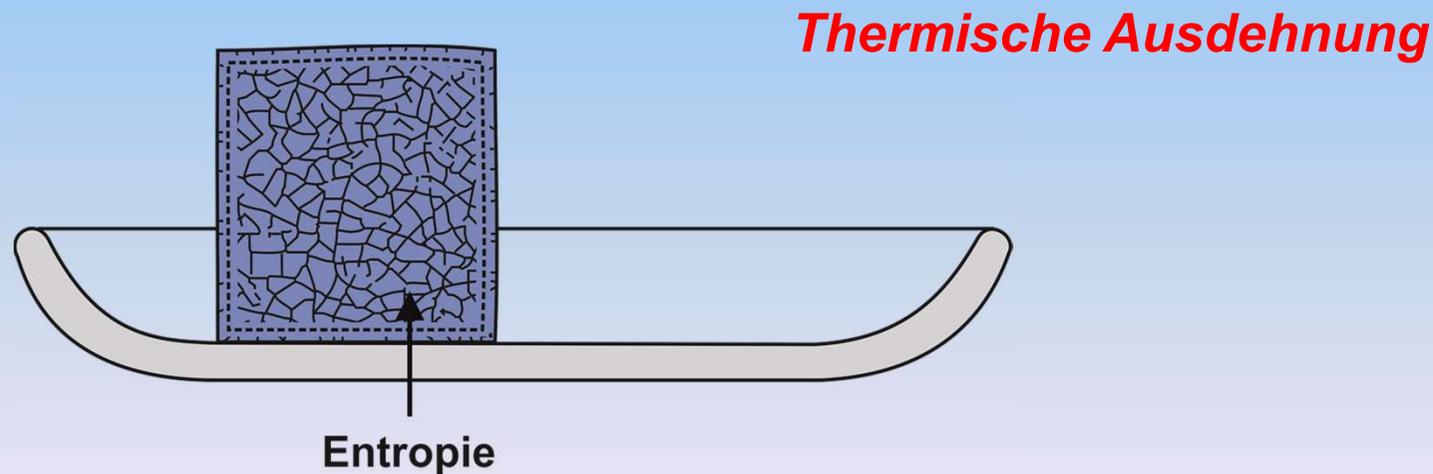


Entropie fließt freiwillig stets vom wärmeren zum kälteren Objekt.

“Steckbrief” der Entropie

6. Ein Entropiezuwachs kann auch zahlreiche **Nebeneffekte** verursachen.

Einer der wichtigsten Effekte ist eine *Änderung des Volumens*:
Gewöhnlich dehnt sich das Objekt aus.

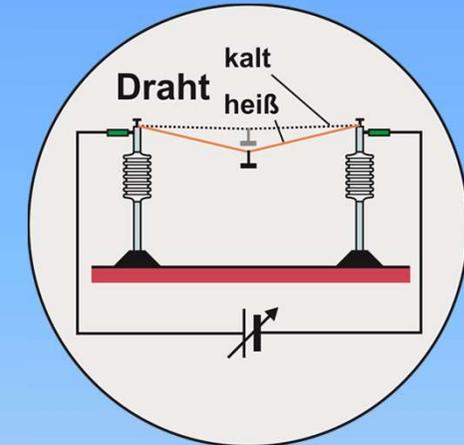


Ausdehnung eines stromdurchflossenen Drahtes

1

Versuchsdurchführung:

Zuerst wird die Stromstärke langsam heraufgeregt. Anschließend wird sie wieder heruntergeregt.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?ausdehnung-eines-stromdurchflossenen-drahtes>

Ausdehnung eines stromdurchflossenen Drahtes

1

Versuchsdurchführung:

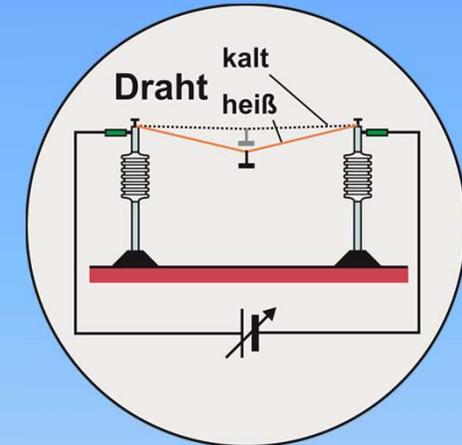
Zuerst wird die Stromstärke langsam heraufgeregelt. Anschließend wird sie wieder heruntergeregelt.

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.

Erklärung:

Durch den Stromfluss wird Entropie erzeugt. Als **Hauptwirkung** des Entropiezuwachses wird der Draht wärmer und beginnt schließlich zu glühen, als **Nebeneffekt** dehnt er sich merklich aus, leicht beobachtbar durch die Absenkung des Gewichtes. Wird die Stromstärke heruntergeregelt, so kühlt der Draht ab und spannt sich wieder.



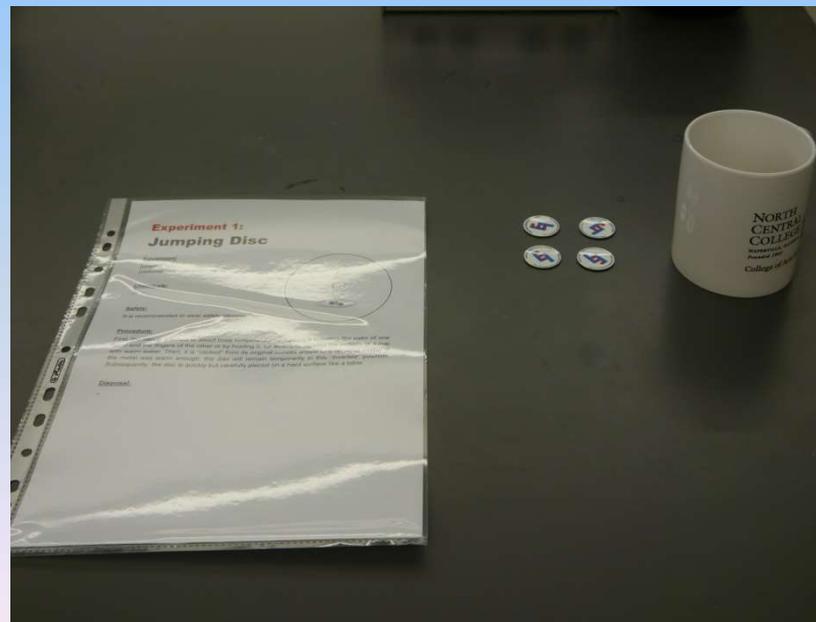
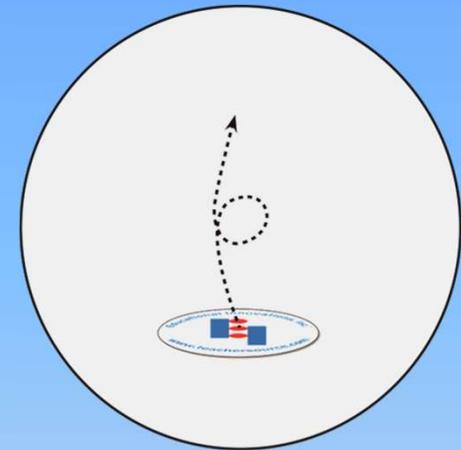
„Bimetallische Schnappscheibe“



1

Versuchsdurchführung:

Die Scheibe wird erwärmt, in die „umgekehrte“ Richtung gebogen und danach auf den Tisch gelegt.



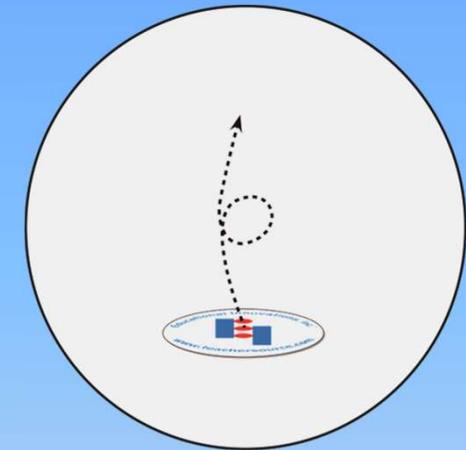
„Bimetallische Schnappscheibe“

Versuchsdurchführung:

Die Scheibe wird erwärmt, in die “umgekehrte” Richtung gebogen und danach auf den Tisch gelegt.



1



<https://www.youtube.com/watch?v=ECReCtxOqJY>

„Bimetallische Schnappscheibe“

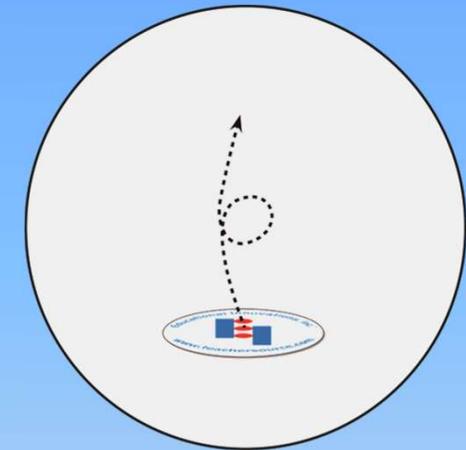


Versuchsdurchführung:

Die Scheibe wird erwärmt, in die „umgekehrte“ Richtung gebogen und danach auf den Tisch gelegt.

Beobachtung:

Nach kurzer Zeit kehrt die Scheibe plötzlich in ihren Ausgangszustand zurück und springt dabei hoch in die Luft.



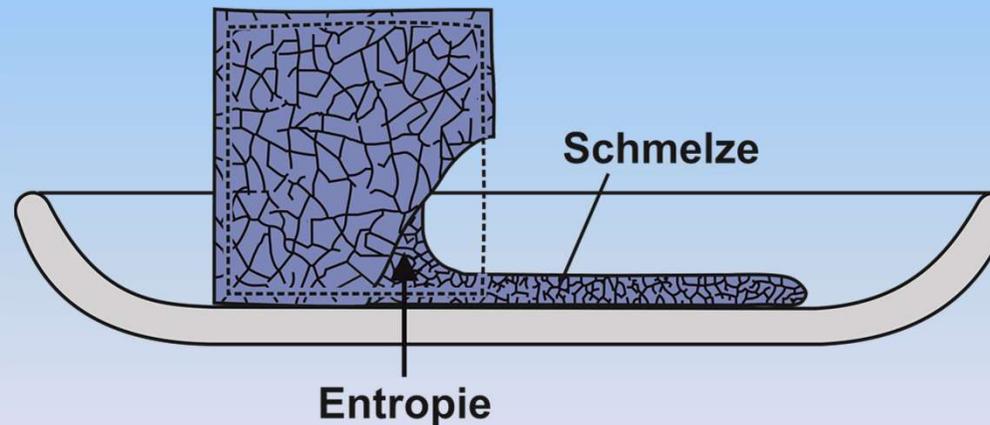
Erklärung:

Die Scheibe besteht aus zwei Schichten unterschiedlicher Metalle (sog. „Bimetall“). Erhöht man die Entropie in der Scheibe, so dehnen sich die beiden Metalle unterschiedlich stark aus und 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.

“Steckbrief” der Entropie

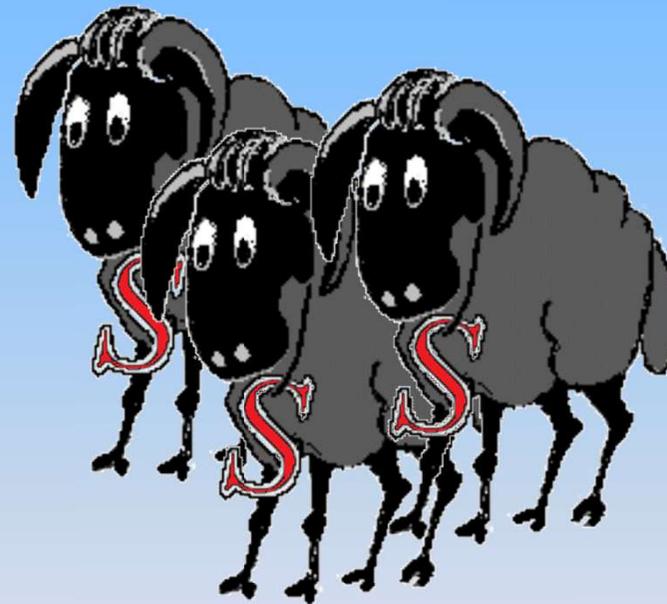
7. Wird die Entropie kontinuierlich erhöht, so **schmilzt** die Substanz schließlich (*Wechsel des Aggregatzustandes*).

Bei der Schmelztemperatur sammelt sich die hinzukommende Entropie in der entstehenden Flüssigkeit. Die Schmelze ist folglich entropiereicher als der gleich warme Feststoff.



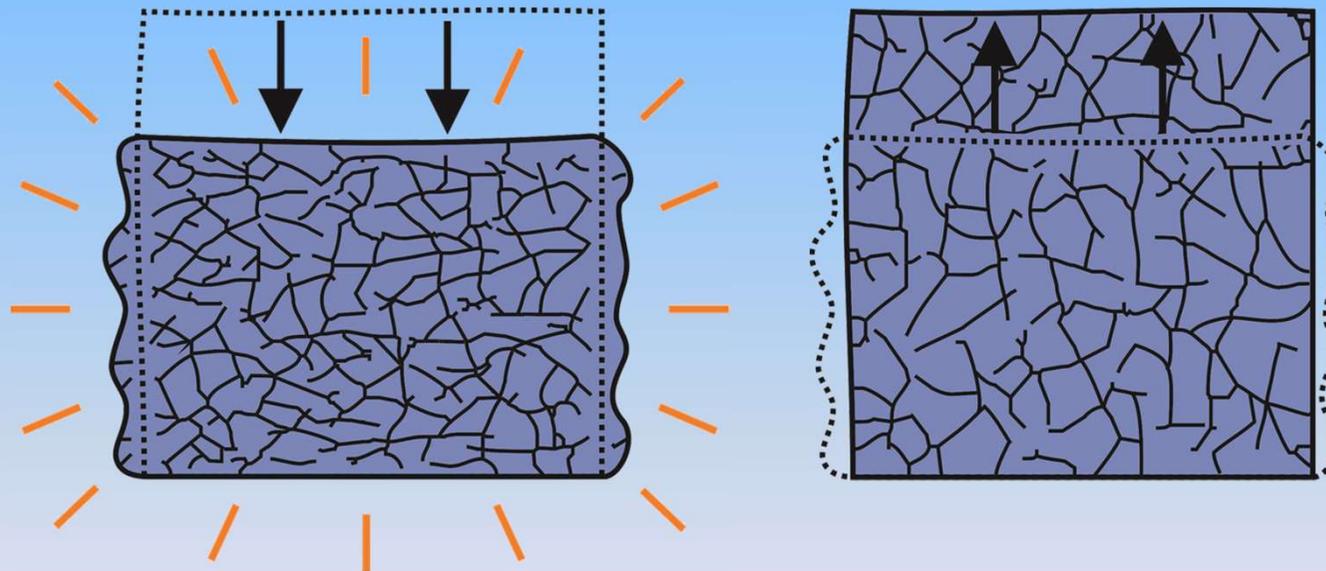
Wechselt eine Substanz an ihrem Schmelzpunkt vollständig vom festen in den flüssigen Zustand über, dann nimmt die Entropie im Innern um einen ganz **bestimmten** Betrag zu.

3. Entropieübertragung



Entropie und Volumen

Ein Stoff, der sich bei Entropiezufuhr ausdehnt, wird umgekehrt beim Verdichten wärmer und beim Ausdehnen kälter (LE CHATELIERSches Prinzip).



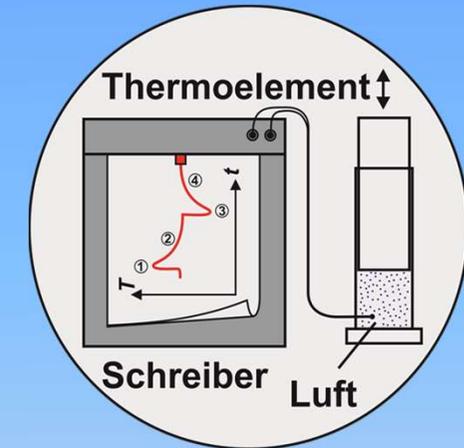
Diese Vorgänge beim Verdichten und Dehnen lassen sich besonders gut bei leicht zusammendrückbaren Stoffen wie Gasen beobachten.

Entropieaustausch durch Verdichten

2

Versuchsdurchführung:

Der Kolben wird schnell in den Zylinder mit eingebautem Thermoelement gepresst. Er wird so lange festgehalten, bis der Stift wieder in die Ausgangsposition zurückgekehrt ist und dann losgelassen.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?verdichten-und-entspannen-von-luft>

Entropieaustausch durch Verdichten

2



Versuchsdurchführung:

Der Kolben wird schnell in den Zylinder mit eingebautem Thermoelement gepresst. Er wird so lange festgehalten, bis der Stift wieder in die Ausgangsposition zurückgekehrt ist und dann losgelassen.

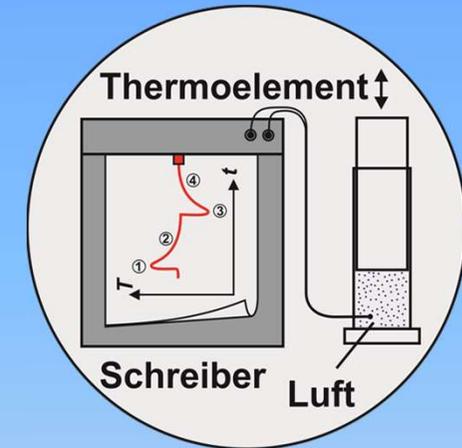
Beobachtung und Erklärung:

Beim Verdichten der Luft wird das Gas wärmer (Phase 1).

Wartet man etwas, dann kühlt sich das Gas wieder auf den Ausgangswert ab, da es gegen die Zylinderwände nicht isoliert ist (Phase 2).

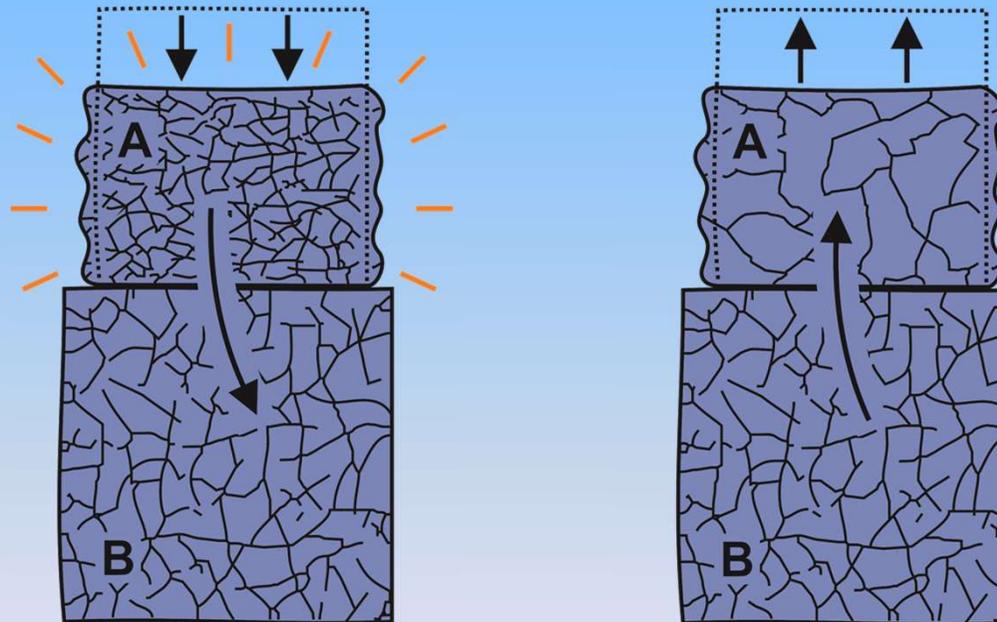
Die Expansion des Kolbens führt zu weiterer Abkühlung (Phase 3).

Beim anschließenden Warten fließt jedoch wieder Entropie zu und das Gas wärmt sich auf (Phase 4).



Gelenkter Austausch von Entropie

Ein Objekt A in Kontakt mit einem gleich warmen Objekt B gibt Entropie an B ab, wenn man es zusammenpresst ...
und nimmt Entropie aus B auf, wenn es sich ausdehnt.

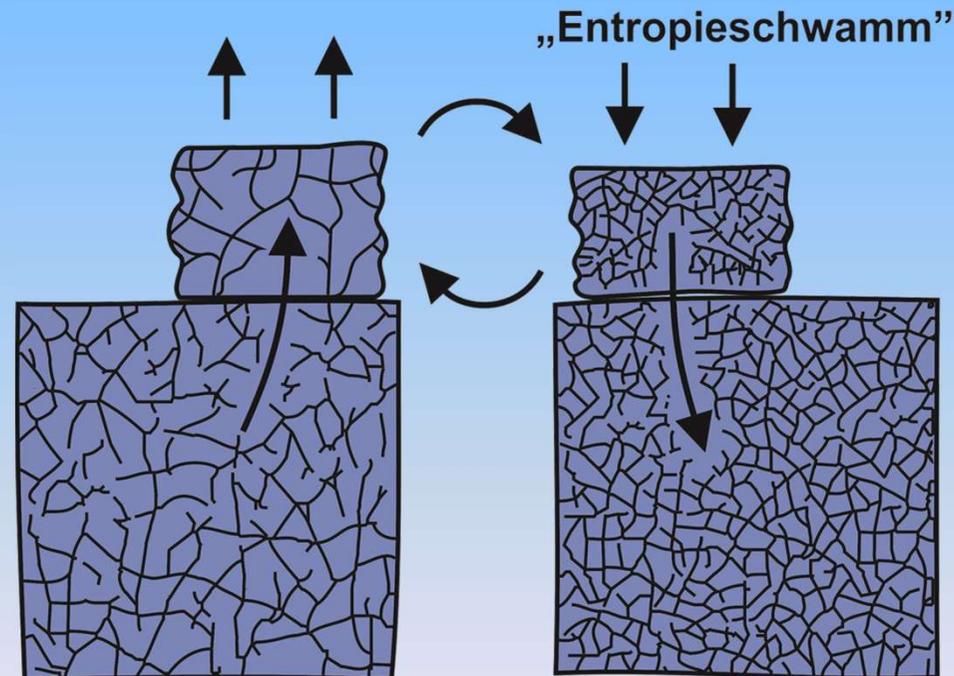


Daher kann das Objekt A als eine Art „Entropie-schwamm“ aufgefasst werden.



Entropieübertragung

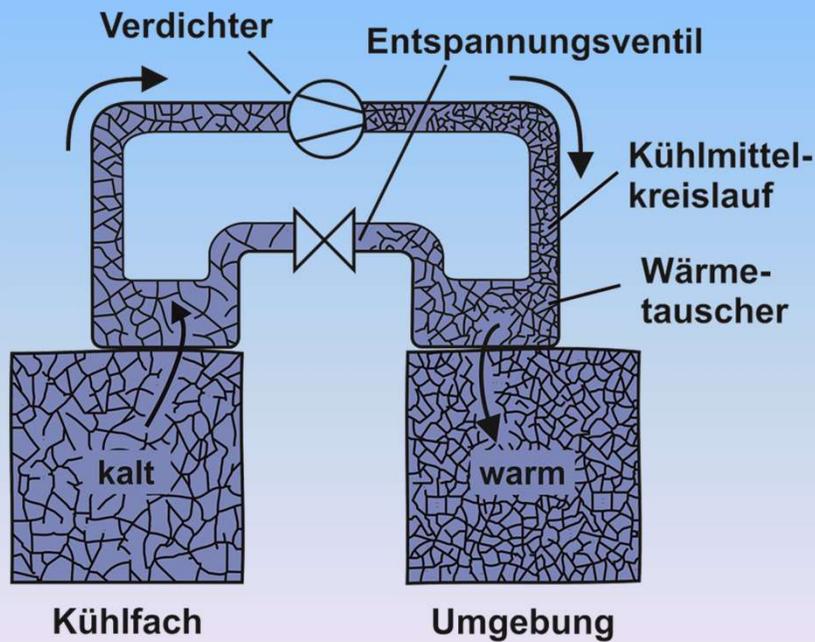
Solch ein „Entropieschwamm“ kann benutzt werden, um Entropie von einem kalten auf ein heißes Objekt zu übertragen (das heißt gegen den Temperaturgradienten).



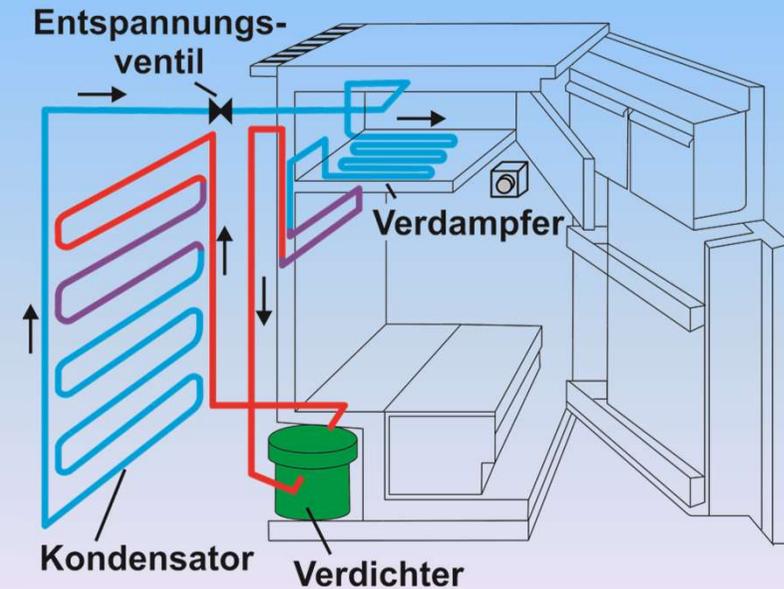
Um eine Erzeugung von Entropie zu vermeiden, müssen alle Schritte *reversibel* sein.

Kühlschrank

Jeder Kühlschrank pumpt auf diese Weise Entropie aus dem Kühlfach in die warme Zimmerluft. Das niedrigsiedende Kühlmittel (in der Funktion des „Entropieschwammes“) zirkuliert dabei in einem geschlossenen Kreislauf.



Funktionsprinzip



Technische Realisierung

Zunahme an Entropie



Wir stellen zusammenfassend fest:

Der Entropieinhalt S eines Raumbereiches kann auf zweierlei Weise zunehmen:

- durch die im Innern *erzeugte* Entropie S_e (*irreversibler* Prozess)
- durch die mit der Umgebung *ausgetauschte* Entropie S_a (*reversibler* Prozess)

$$\Delta S = S_e + S_a$$

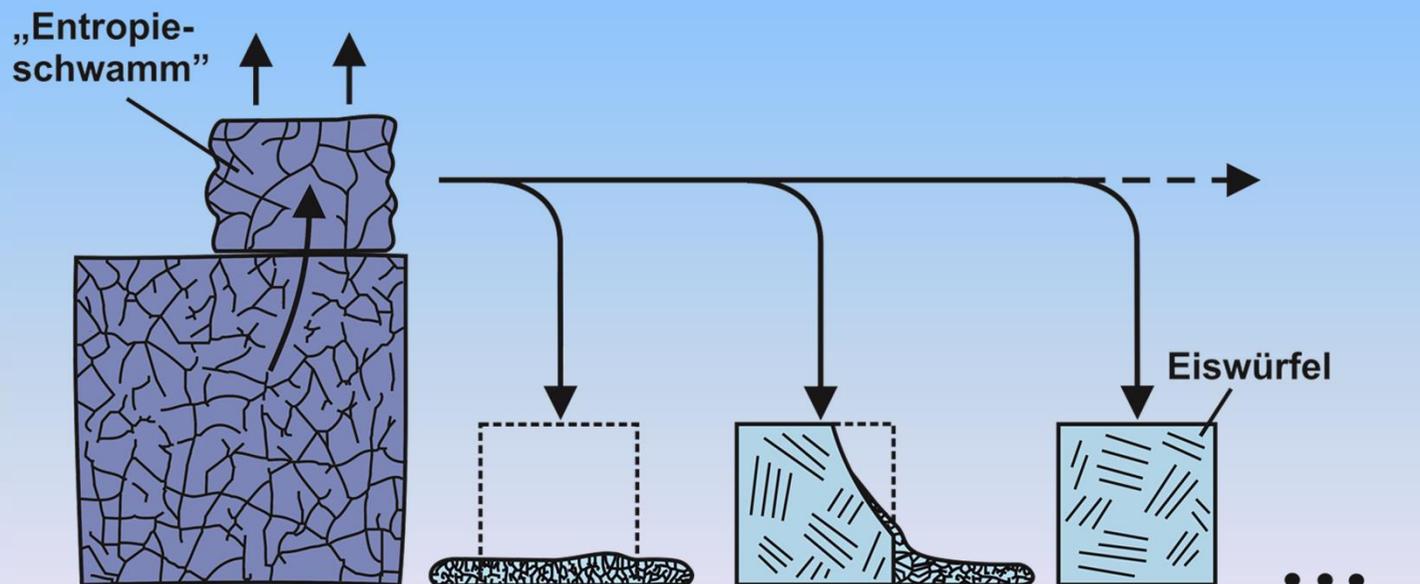
4. Entropie messen



Entropie messen

Die Übertragbarkeit der Entropie eröffnet eine Möglichkeit, die Menge, die davon in einem Körper enthalten ist, direkt zu messen.

Als Einheit kann beispielsweise die Entropiemenge dienen, die nötig ist, um einen Eiswürfel zu schmelzen.



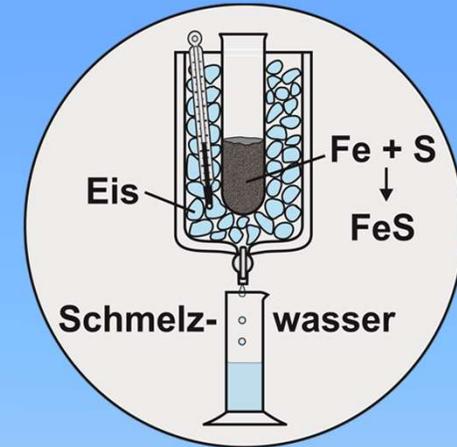
Die Entropiemenge, die einen Eiswürfel von $0,893 \text{ cm}^3$ schmilzt, entspricht genau der SI-kompatiblen Einheit 1 Ct (Carnot) (= 1 J/K).

Eiskalorimeter

3

Versuchsdurchführung:

Die Eisen-Schwefel-Mischung im Reagenzglas wird gezündet.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?eiskalorimeter>

Eiskalorimeter

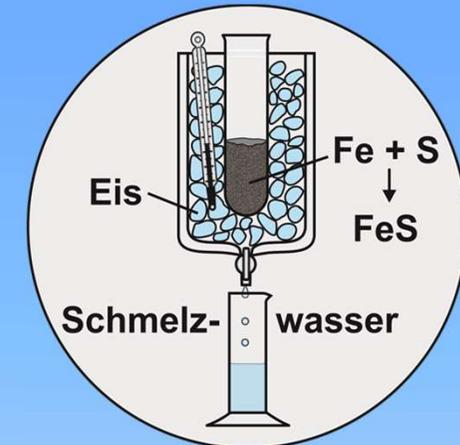
3

Versuchsdurchführung:

Die Eisen-Schwefel-Mischung im Reagenzglas wird gezündet.

Beobachtung:

Die Mischung reagiert unter dunkelrotem Leuchten und Entwicklung schwefelhaltiger Dämpfe. Ein Teil des Eises schmilzt; seine Temperatur bleibt 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).

5. Anwendung des Entropiebegriffes



Erste Anwendungen

Um einen Eindruck von den Werten der Entropie zu bekommen, betrachten wir einige Beispiele.

Ein Stück Tafelkreide enthält ca. 8 Ct (J/K) an Entropie. Bricht man es in der Mitte auseinander, dann enthält jede Hälfte ca. 4 Ct, da es sich bei der Entropie um eine extensive Größe handelt.



Ein Eisenwürfel von 1 cm^3 enthält ebenfalls ca. 4 Ct, obwohl das Stück deutlich kleiner ist; während in 1 L Zimmerluft nur ca. 8 Ct! enthalten sind.

Drückt man die Luft auf $1/10$ des Volumens zusammen, dann wird sie glühend heiß.

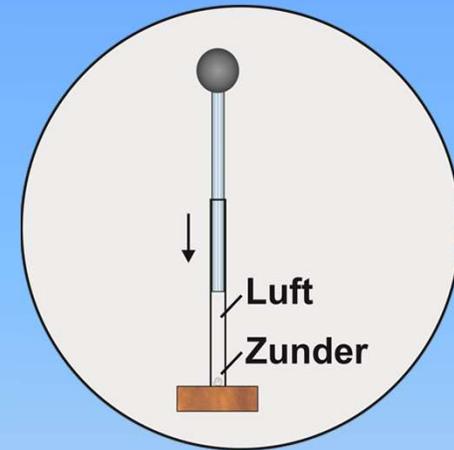
Pneumatisches Feuerzeug



2

Versuchsdurchführung:

Der Kolben des Feuerzeugs wird kräftig und schnell nach unten gedrückt.



**Experiment 2:
Fire Piston**

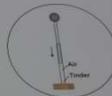
Equipment:
the piston consisting of lower piston, cylinder and upper piston
tweezer

Chemicals:
tinder e.g. cotton wool

Safety:
it is recommended to wear safety glasses.

Procedure:
A small piece of tinder e.g. cotton wool is poked with the aid of a tweezer into the hole in the lower piston (the tinder should be heaped apart so that the fibres are well separated). Subsequently, the cylinder is placed on the lower piston and the upper piston is pushed a few centimeters into the cylinder. Then, the upper piston is forced vigorously down (the cylinder should not be fixed, otherwise it may break).

Disposal:
The singed cotton wool can be discarded as household waste.



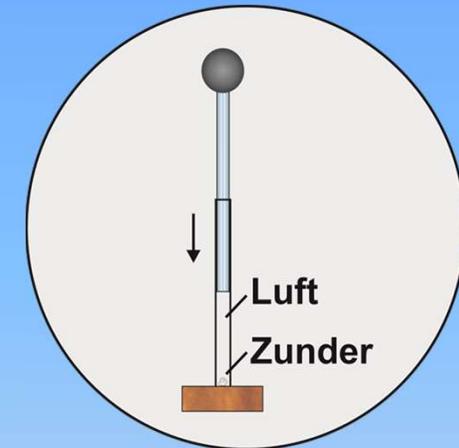
Pneumatisches Feuerzeug



2

Versuchsdurchführung:

Der Kolben des Feuerzeugs wird kräftig und schnell nach unten gedrückt.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?pneumatisches-feuerzeug>

Pneumatisches Feuerzeug

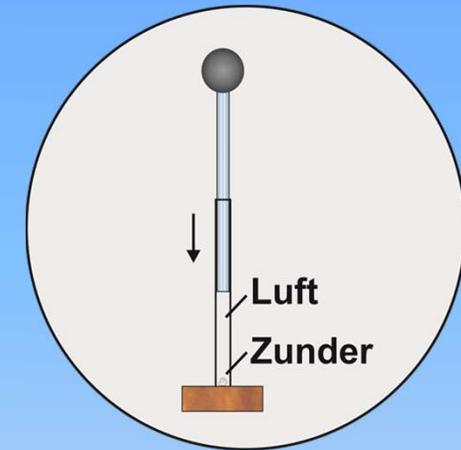


Versuchsdurchführung:

Der Kolben des Feuerzeugs wird kräftig und schnell nach unten gedrückt.

Beobachtung:

Der Zunder (z. B. ein kleiner Wattebausch) flammt auf.



Erklärung:

Wird eine bestimmte Menge eines Gases wie z. B. Luft schnell komprimiert, so wird es glühend heiß (*adiabatische Kompression*). Dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um einen Zunder zum Glühen zu bringen. Dabei wirkt der in der Luft enthaltene Sauerstoff gleichzeitig als Oxidationsmittel.

Dieselmotor

Dieser Effekt wird auch in Dieselmotoren genutzt, um das Treibstoff-Luft-Gemisch zu zünden.



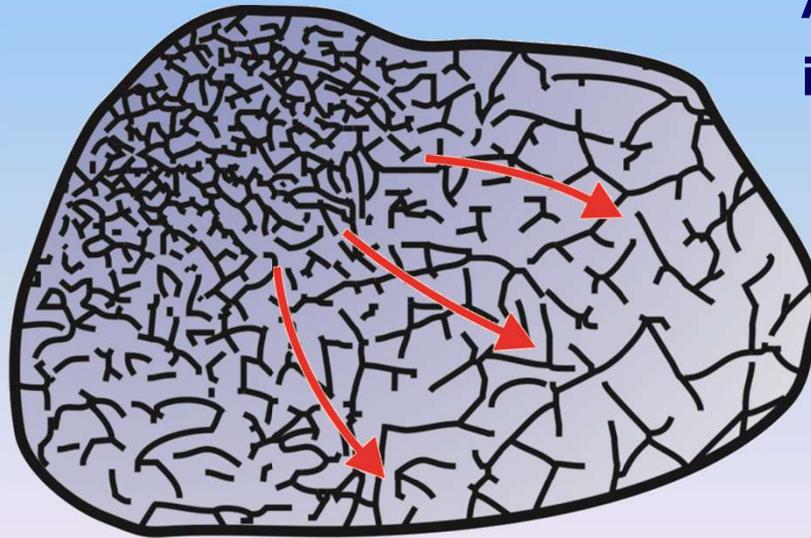
Ausschnitt aus: <http://www.oldtimer-tv.com/oldtimer/DE/oldtimer/index.php?Seite=31>

Entropie und Temperatur

Die Temperatur kann als eine Art thermische „Spannung“, die auf der Entropie lastet, angesehen werden und damit als Ursache für einen Entropiefluss.

Beispiel:

hohe thermische „Spannung“
warm



Ausbreitung der Entropie
in einem Objekt

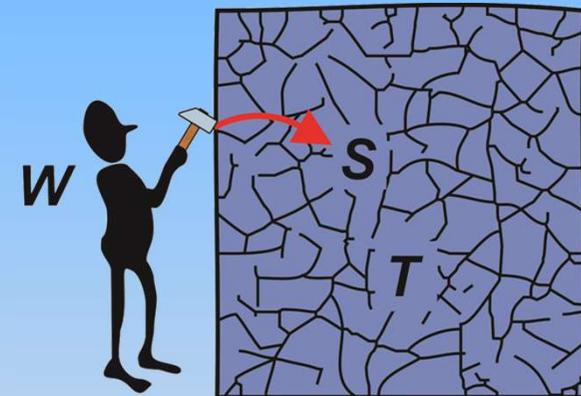
geringe thermische „Spannung“
kalt

Entropie und Temperatur

Es kostet Energie, Entropie gegen diese „Spannung“ in ein Objekt zu drücken (z. B. durch Zusammenpressen des „Entropieschwamms“) (oder in dem Objekt zu erzeugen).

Je höher die „Spannung“, d. h. je höher die Temperatur ist, desto größer ist die aufzuwendende Energie.

Ebenso muss der Energieaufwand wachsen, je größer die zugeführte oder erzeugte Entropiemenge ist.



$$W = T \cdot S$$

Da sowohl Energie als auch Entropie messbare Größen sind, hat die „thermodynamische“ Temperatur T einen wohldefinierten Wert.

$$T = \frac{dW}{dS}$$

Energie zur Erzeugung und zum Austausch von S

Ausführlicher können wir schreiben:

$$W = T \cdot S_e \quad \text{bzw.} \quad W = T \cdot S_a$$

Trotz ihrer Ähnlichkeit beschreiben die beiden Gleichungen zwei recht unterschiedliche Vorgänge.

Da sich Entropie zwar vermehren, aber nicht zerstören lässt, kann ein Vorgang, in dem Entropie entsteht (S_e), nur in einer Richtung ablaufen, er ist *irreversibel*. Die verbrauchte Energie W lässt sich nicht zurückgewinnen (außer indirekt).

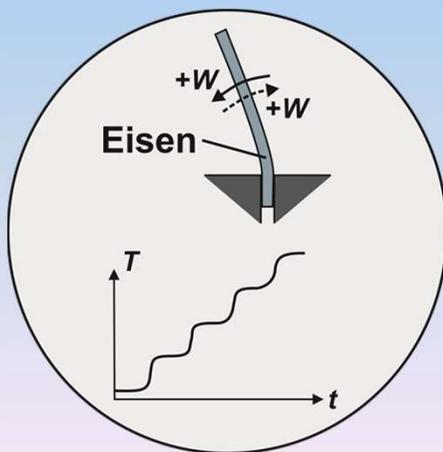
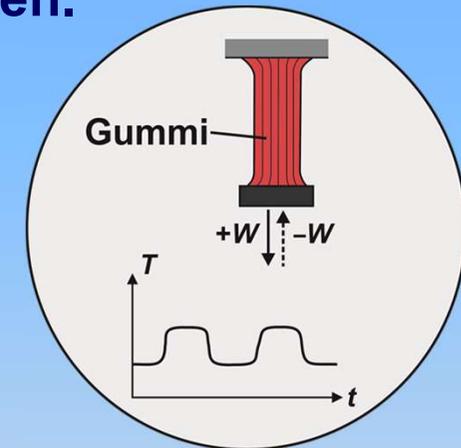


Wird jedoch Entropie bei konstanter Temperatur von einem Objekt auf ein anderes übertragen (S_a), so wird die Energie W mitübertragen. Mit der zurückfließenden Entropie kehrt auch die übertragene Energie in den Ausgangskörper zurück; der Prozess ist *reversibel*.

Entropieerhaltung und -erzeugung

Zur Veranschaulichung wollen wir einen entropieerhaltenden und einen entropieerzeugenden Vorgang gegenüberstellen.

Dehnt man ein Gummiband und entspannt es wieder, ändert sich die Temperatur periodisch; der Temperaturverlauf $T(t)$ zeigt ein Rechteckprofil. Die aufgewandte Energie erhält man beim Entspannen zurück. Der Vorgang ist *reversibel*.



Das Rückbiegen eines Eisenstabes kostet erneut Energie; die Temperatur zeigt einen treppenartig ansteigenden Verlauf. Der Vorgang ist *irreversibel*. Das in seine Ausgangslage zurückgekehrte Eisen ist jetzt wärmer. Es wurde Entropie erzeugt und die aufgebrauchte Energie dafür verbraucht.

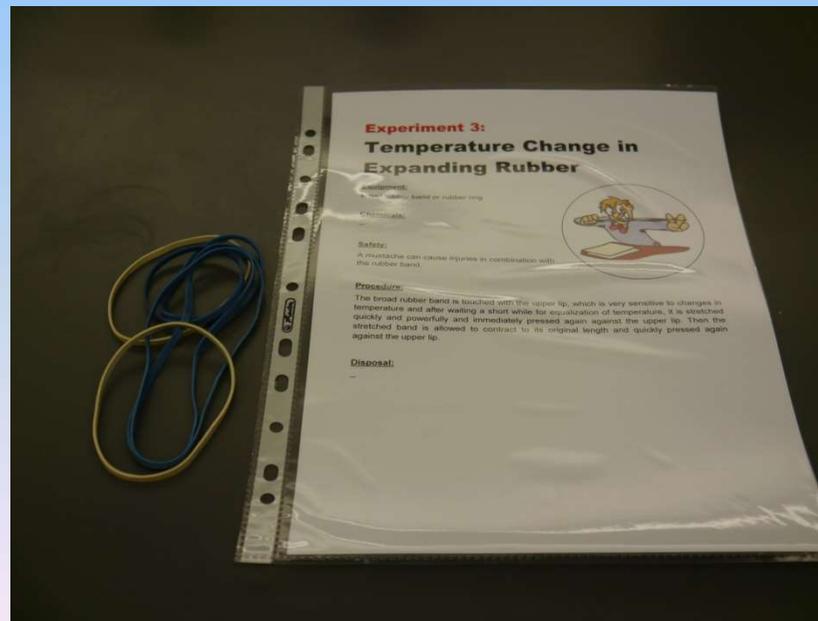
Temperaturverlauf beim Gummi-Dehnen



3

Versuchsdurchführung:

Ein Gummiband wird an die Oberlippe gehalten, kräftig auseinandergezogen und wieder an die Oberlippe gehalten. Dann lässt man das Band zurückschnellen und presst es erneut an die Oberlippe.



Temperaturverlauf beim Gummi-Dehnen



Versuchsdurchführung:

Ein Gummiband wird an die Oberlippe gehalten, kräftig auseinandergezogen und wieder an die Oberlippe gehalten. Dann lässt man das Band zurückschnellen und presst es erneut an die Oberlippe.



Beobachtung:

Beim Dehnen wird das Gummiband spürbar warm. Nach dem Zusammenziehen wird es jedoch kalt.

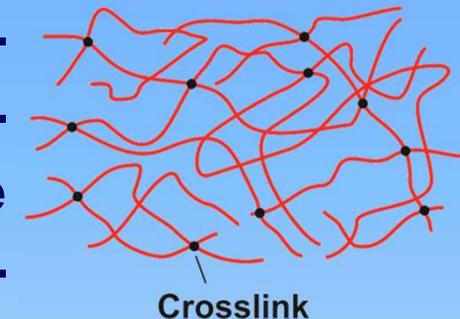
Gummi und Entropie

Gummi besteht aus sehr langen Polymerketten. Die Ketten werden durch schwache zwischenmolekulare Kräfte, aber auch durch kovalente Schwefelbrücken (Crosslinks) zusammengehalten. Letzere behindern die Bewegung der Ketten. Im entspannten Zustand sind die Ketten wild verknäult.

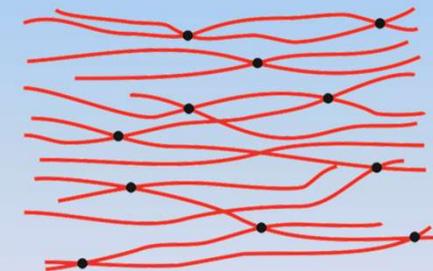
Wenn man den Gummi auseinanderzieht, werden die Moleküle gestreckt; dementsprechend nimmt die Unordnung und damit auch die Entropie ab. Die überschüssige Entropie wird an die Umgebung abgeführt, was die Temperaturerhöhung bedingt.

Wird das Gummiband losgelassen, so knäulen sich die Ketten wieder auf; die notwendige Entropie wird aus der Umgebung „aufgesaugt“, was die Temperaturabnahme bedingt.

Hohe Entropie

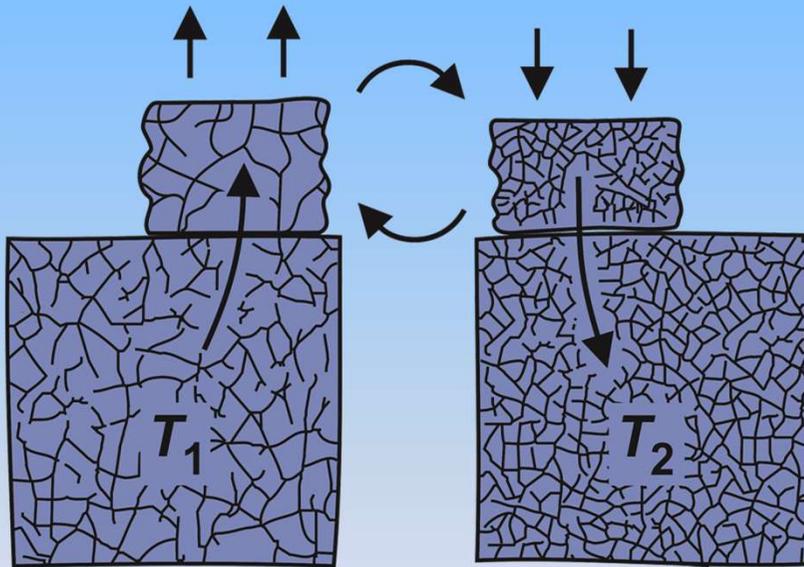


Niedrige Entropie



Energie zur Entropieübertragung

Der Energieaufwand $W_{\ddot{u}}$ für die Übertragung einer Entropiemenge $S_{\ddot{u}}$ von einem Objekt mit niedrigerer Temperatur T_1 auf ein Objekt mit höherer Temperatur T_2



- ist gleich der Energie $W_2 = T_2 \cdot S_{\ddot{u}}$, die nötig ist, um die Entropie in das wärmere Objekt zu drücken
- minus der Energie $W_1 = T_1 \cdot S_{\ddot{u}}$, die man gewinnt, wenn man die Entropie dem kälteren Körper entzieht.



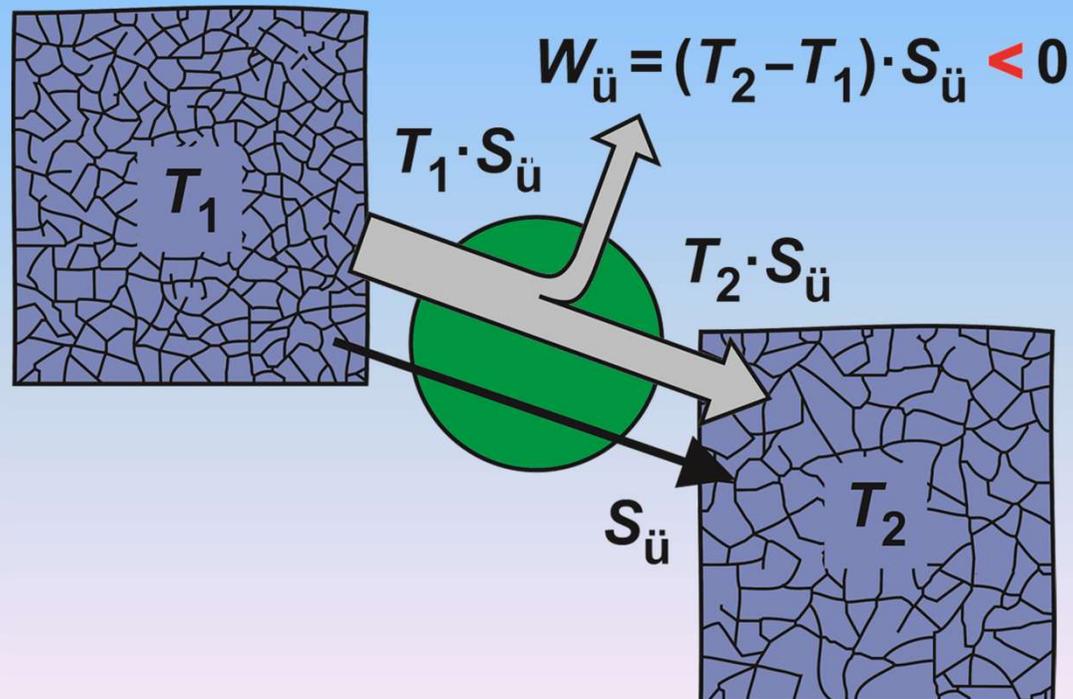
$$W_{\ddot{u}} = (T_2 - T_1) \cdot S_{\ddot{u}} > 0$$

Wärmepumpe (z. B. Kühlschrank)

Wärmekraftmaschinen

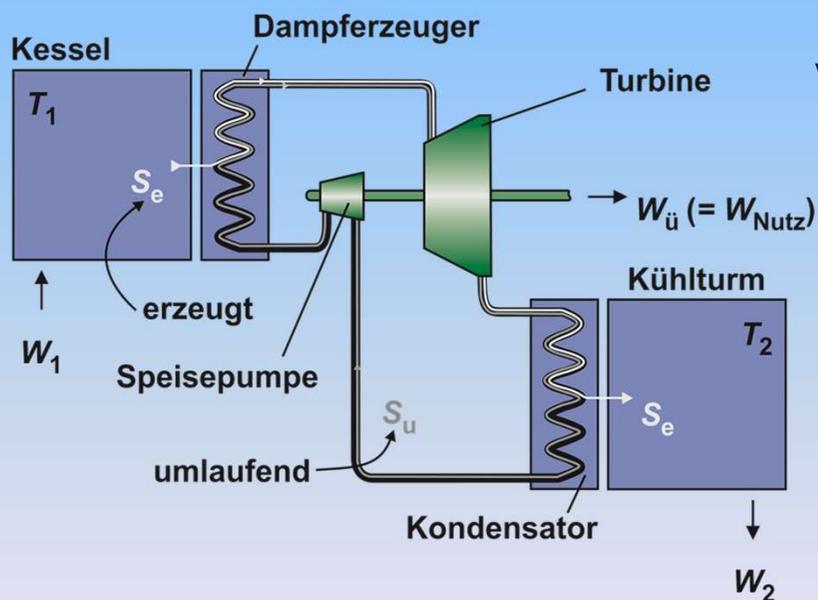
In einer *Wärmekraftmaschine* hingegen wird Entropie von einem Objekt mit höherer Temperatur T_1 auf ein Objekt mit niedrigerer Temperatur T_2 übertragen.

Dabei wird die Energie $W_{\dot{u}}$ gewonnen.

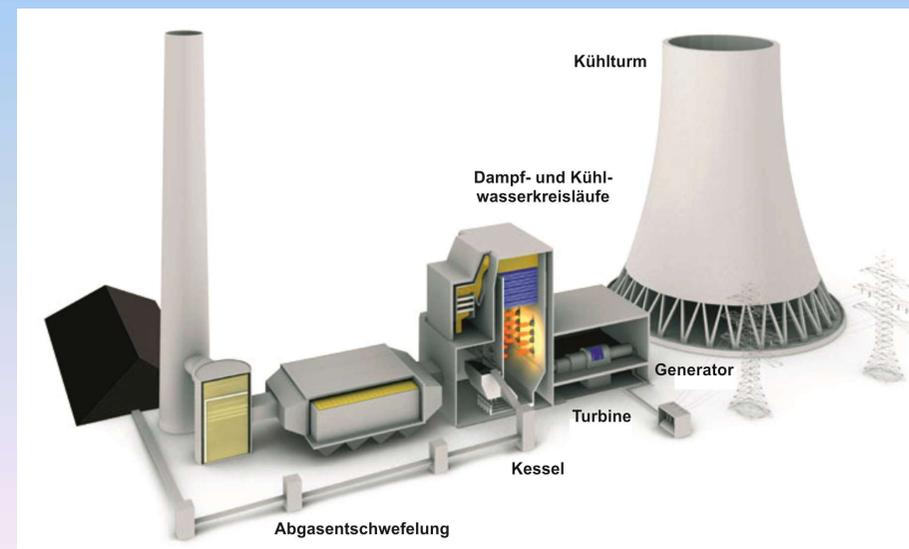


Dampfkraftwerk

Vereinfachend wird in einem Dampfkraftwerk die Energie $W_{\dot{u}}$ genutzt ($= W_{\text{Nutz}}$), die bei der Übertragung der Entropie aus dem Dampfkessel in den Kühlturm gewinnbar ist, wobei die Entropie selbst erst unter dem Energieaufwand W_1 im Kessel erzeugt werden muss.



Vereinfachtes Schema



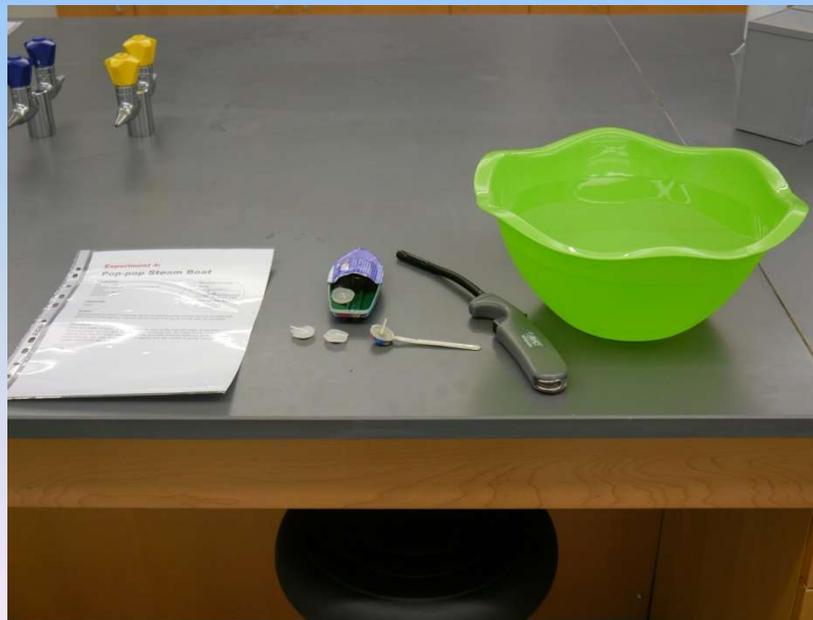
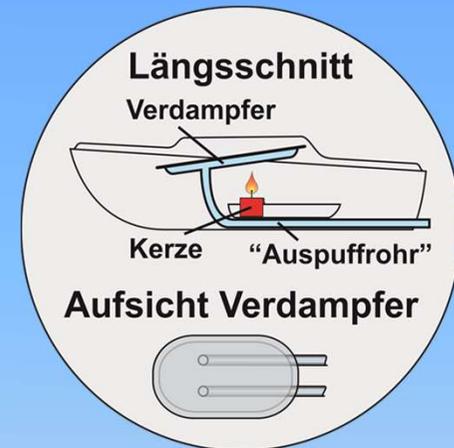
Knatterboot



4

Versuchsdurchführung:

Der Verdampfer im Boot wird mit Wasser gefüllt. Anschließend wird die Kerze angezündet und in das Boot eingesetzt.



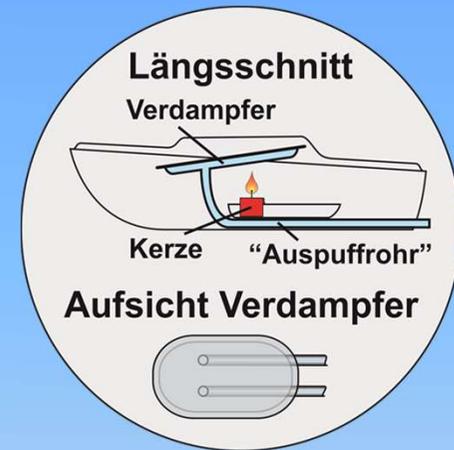
Knatterboot



4

Versuchsdurchführung:

Der Verdampfer im Boot wird mit Wasser gefüllt. Anschließend wird die Kerze angezündet und in das Boot eingesetzt.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?knatterboot>

Knatterboot



Versuchsdurchführung:

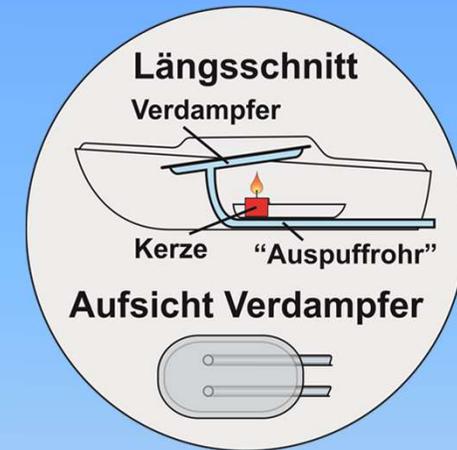
Der Verdampfer im Boot wird mit Wasser gefüllt. Anschließend wird die Kerze angezündet und in das Boot eingesetzt.

Beobachtung:

Nach kurzer Zeit fährt das Boot knatternd los.

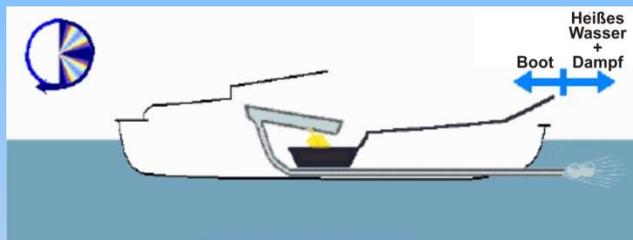
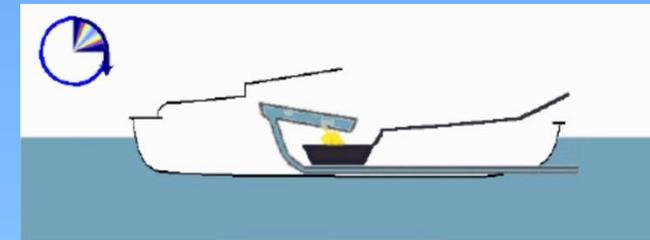
Erklärung:

Das Knatterboot wird von einem sehr einfachen „Wärmemotor“ ohne bewegliche Teile angetrieben. Dabei wird die freiwerdende Energie zum Antrieb des Bootes genutzt.



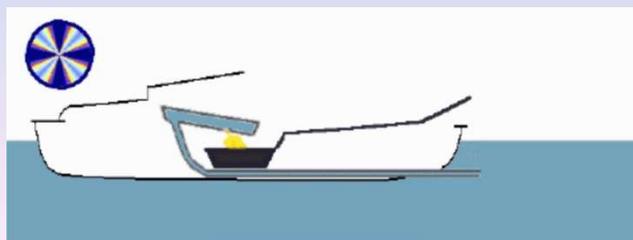
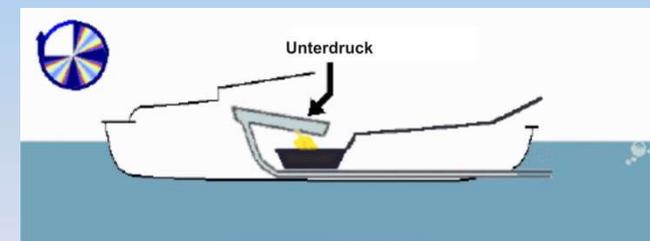
Knatterboot

Zu Beginn der Kreisprozesses wird das Wasser im Verdampfer durch eine Kerze erhitzt.



Kocht das Wasser, so wird ein Dampfstoß erzeugt; dadurch wird das Wasser in den Rohren nach hinten ausgestoßen und das Boot bewegt sich vorwärts.

Nachdem der Heißdampf den Verdampfer verlassen hat, kondensiert ein Teil davon in den kühleren Bereichen der Rohre, wodurch ein Unterdruck entsteht.



Durch den Unterdruck wird Wasser in die Rohre und den Verdampfer eingesaugt. Der Kreislauf kann erneut beginnen.

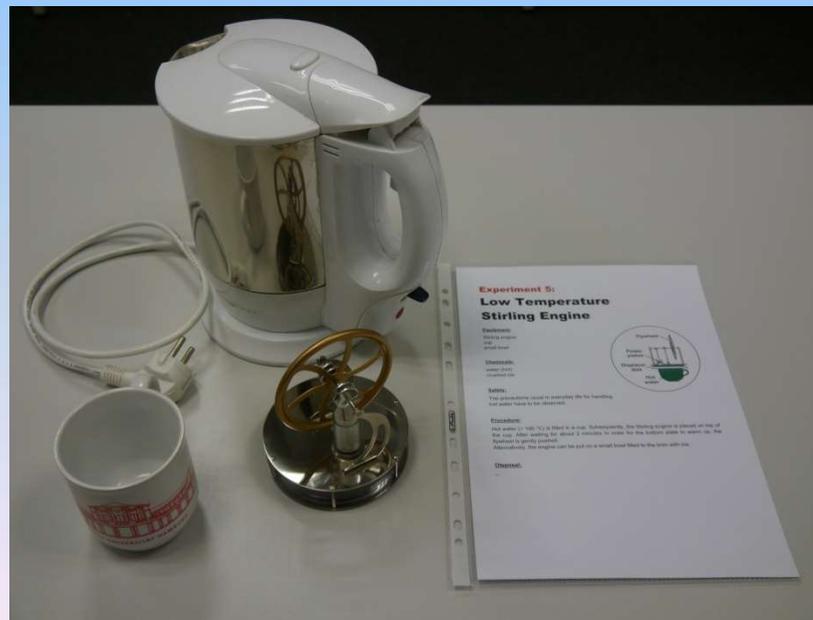
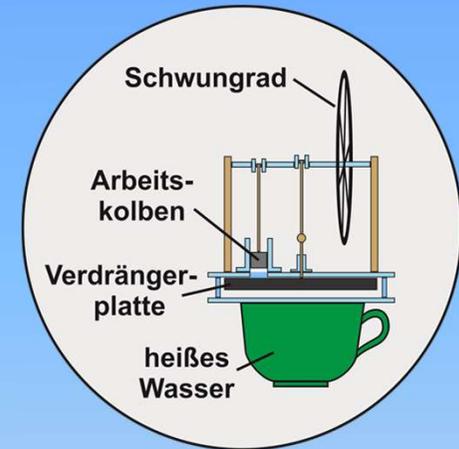
Niedertemperatur-Stirlingmotor



5

Versuchsdurchführung:

Die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt und der Stirlingmotor aufgesetzt. Nach kurzer Wartezeit wird das Schwungrad angestoßen.



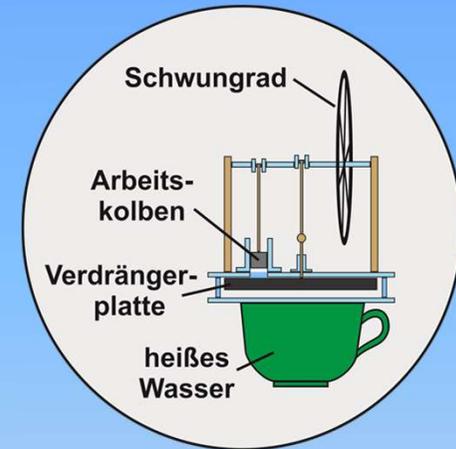
Niedertemperatur-Stirlingmotor

Versuchsdurchführung:

Die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt und der Stirlingmotor aufgesetzt. Nach kurzer Wartezeit wird das Schwungrad angestoßen.



5



<https://www.youtube.com/watch?v=qJvCbiwnPNM>

Niedertemperatur-Stirlingmotor

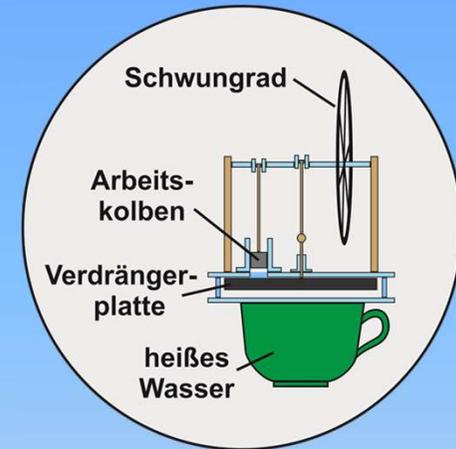


Versuchsdurchführung:

Die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt und der Stirlingmotor aufgesetzt. Nach kurzer Wartezeit wird das Schwungrad angestoßen.

Beobachtung:

Der Stirlingmotor läuft, solange das Wasser in der Tasse ausreichend warm ist.



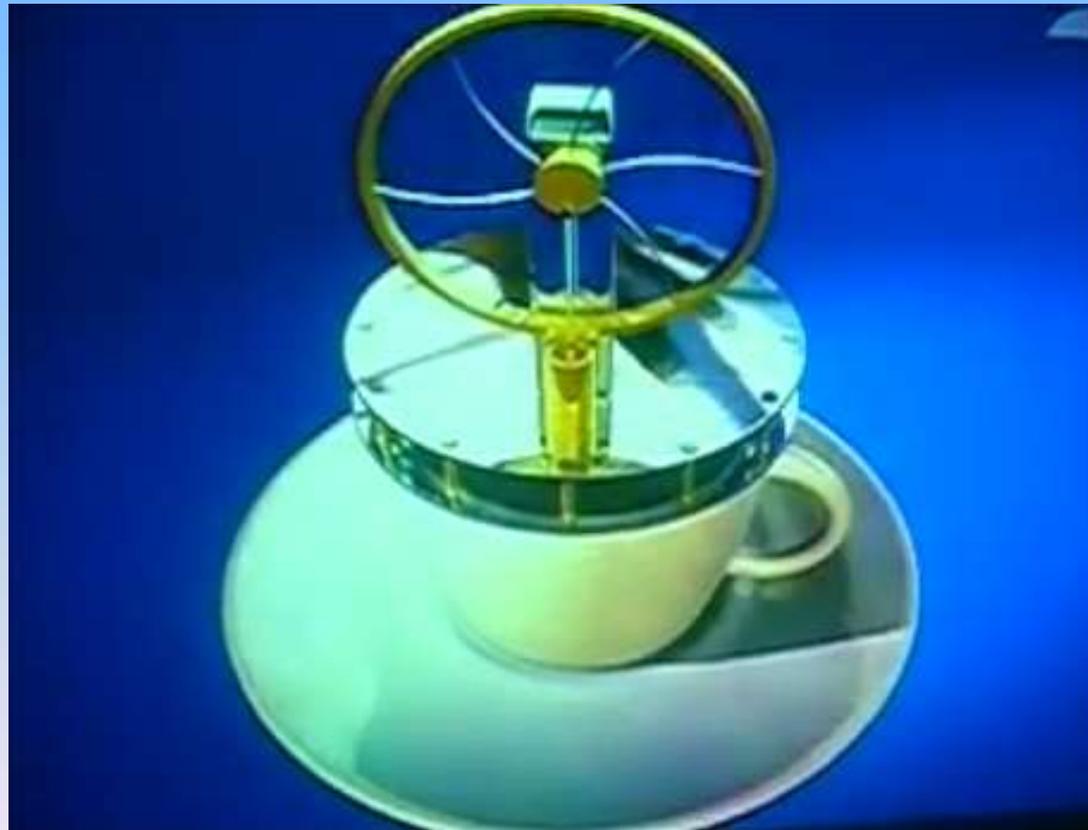
Erklärung:

Stirlingmotoren nutzen eine Temperaturdifferenz für den Antrieb. Die Verdrängung der Luft vom heißen in den kalten Bereich des Motors und umgekehrt mit Hilfe der Verdrängerplatte führt zu einer periodischen Kompression und Expansion des Gases, die wiederum eine periodische Bewegung des Arbeitskolbens zur Folge hat.

Niedertemperatur-Stirlingmotor

Prinzip des Motors (3D-Animation)

(Ausschnitt aus einem Beitrag des ProSieben Wissensmagazins „Galileo“)



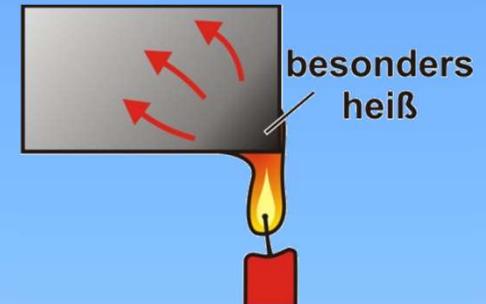
<https://www.youtube.com/watch?v=76eneqAO9RA&t=0s>

6. Entropieleitung



Entropieleitung

Die Entropie neigt dazu, sich *auszubreiten*.
Berühren sich zwei verschieden warme Körper,
dann fließt Entropie von dem wärmeren zum
kälteren.



Gase und Schaumstoffe lassen die Entropie nur recht langsam hindurch. Diese Eigenschaft wird z. B. in Kühltaschen ausgenutzt, um Lebensmittel kühl zu halten.

Metalle sind hingegen gute Entropieleiter (ihre Entropieleitfähigkeit ist ungefähr 1000-mal höher als diejenige von Gasen). Daher werden sie benutzt, um Entropie über kurze Distanzen zu übertragen.



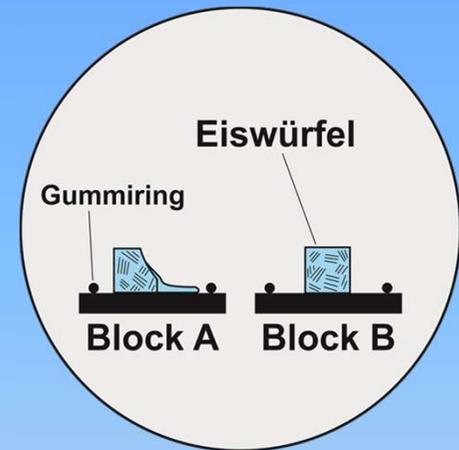
Eisschmelzen auf Blöcken



6

Versuchsdurchführung:

Beide Blöcke haben Raumtemperatur. Trotzdem fühlt sich der eine kalt, der andere jedoch warm an. Danach wird auf jeden Block etwas Eis gelegt.



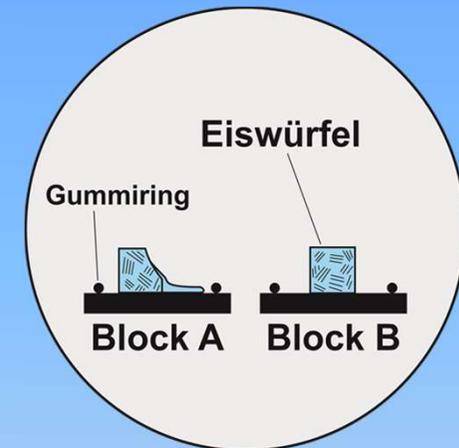
Eisschmelzen auf Blöcken



6

Versuchsdurchführung:

Beide Blöcke haben Raumtemperatur. Trotzdem fühlt sich der eine kalt, der andere jedoch warm an. Danach wird auf jeden Block etwas Eis gelegt.



<https://www.job-stiftung.de/index.php?eisschmelzen-auf-bloecken>

Eisschmelzen auf Blöcken

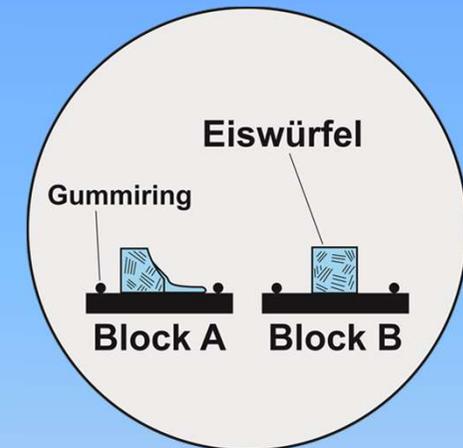


Versuchsdurchführung:

Beide Blöcke haben Raumtemperatur. Trotzdem fühlt sich der eine kalt, der andere jedoch warm an. Danach wird auf jeden Block etwas Eis gelegt.

Beobachtung:

Das Eis auf Block A, der sich kälter anfühlte, schmilzt weitaus schneller.



Erklärung:

Block A besteht aus Aluminium, Block B aus Styrodur. Aluminium ist ein guter Entropieleiter, Styrodur ein schlechter. Entropie fließt stets in Richtung eines Temperaturgefälles. Aluminium überträgt sie von der (wärmeren) Tischplatte zum (kälteren) Eis, das daraufhin zu schmelzen beginnt. Aus dem gleichen Grund fühlt sich auch der Metallblock zu Beginn kühler an, denn Entropie wird von der Hand weggeleitet.

Entropieleitung in Metallen

Aber es gibt auch Unterschiede in den Werten der Entropieleitfähigkeit verschiedener Metalle.



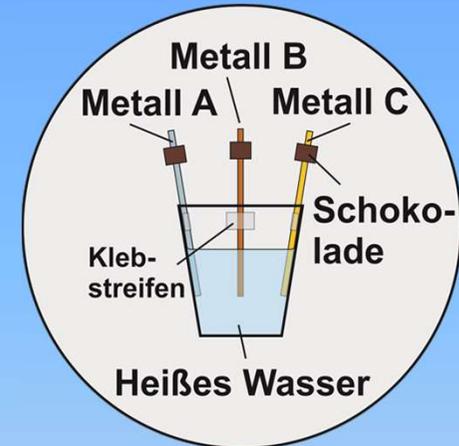
Entropieleitung in Metallen



7

Versuchsdurchführung:

Man steckt Schokoladenstücke auf drei dünne Stäbe aus unterschiedlichen Metallen. Dann werden die Stäbchen an die Innenseite einer Tasse geklebt und die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt.



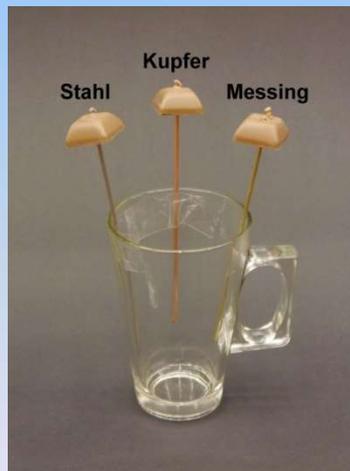
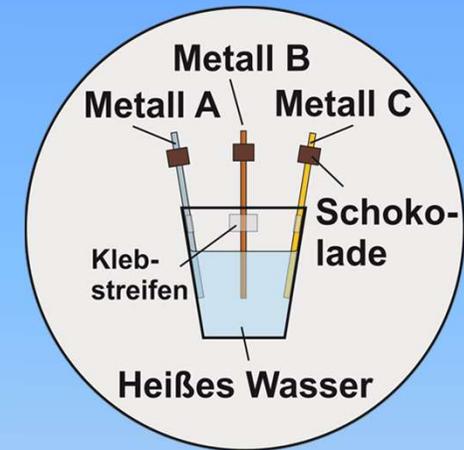
Entropieleitung in Metallen



7

Versuchsdurchführung:

Man steckt Schokoladenstücke auf drei dünne Stäbe aus unterschiedlichen Metallen. Dann werden die Stäbchen an die Innenseite einer Tasse geklebt und die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt.

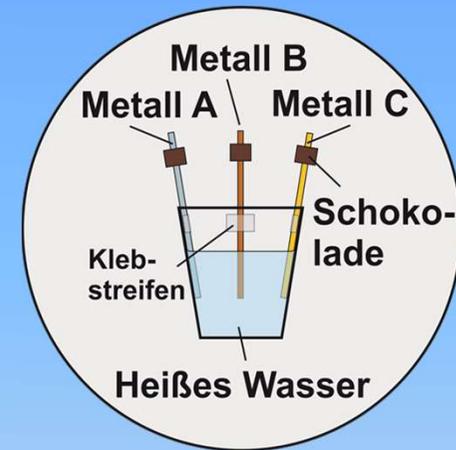


Entropieleitung in Metallen



Versuchsdurchführung:

Man steckt Schokoladenstücke auf drei dünne Stäbe aus unterschiedlichen Metallen. Dann werden die Stäbchen an die Innenseite einer Tasse geklebt und die Tasse wird mit heißem Wasser gefüllt.



Beobachtung:

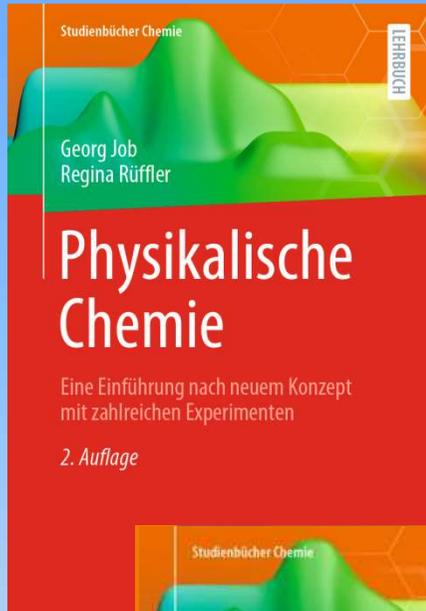
Nach einiger Zeit rutschen zwei der Schokoladenstücke nacheinander in Richtung Wasser.

Erklärung:

Zuerst rutscht das Schokoladenstück in Kontakt mit Metall B (Kupfer) nach unten, dann folgt das in Kontakt mit Metall C (Messing). Das Stück in Kontakt mit Metall A (Stahl) bleibt jedoch oben. Die Reihenfolge spiegelt die unterschiedlichen Entropieleitfähigkeiten der Metalle wider mit dem höchsten Wert für Kupfer.

7. Ausblick



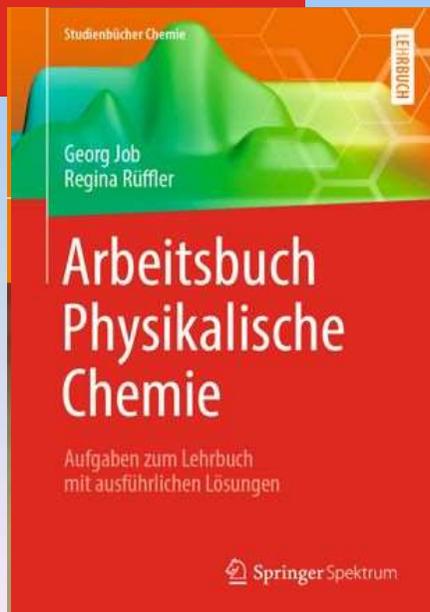


Georg Job, Regina Rüffler
Physikalische Chemie

**Eine Einführung nach neuem Konzept
mit zahlreichen Experimenten**

Springer-Verlag, Studienbücher Chemie

ISBN 978-3-658-32935-8



Georg Job, Regina Rüffler
Arbeitsbuch Physikalische Chemie

**Aufgaben zum Lehrbuch mit ausführlichen
Lösungen**

Springer-Verlag, Studienbücher Chemie

ISBN 978-3-658-25109-3

Weitere Informationen

(PowerPoint-Präsentationen, Versuchsbeschreibungen, Videos etc.):



www.job-stiftung.de

und Facebookseite

[@JobFoundationPhysChem](https://www.facebook.com/JobFoundationPhysChem)



**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit.**