

REGIERUNG DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
STAATSSSEKRETARIAT FÜR BERUFSAUSBILDUNG · BERLIN
Schriftenreihe 8 · Grundversuche für die Arbeit in den Klubs Junger Techniker · Heft 3

HERBERT KÜSTNER

**25 Versuche
aus der Physik**

WÄRMELEHRE



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

Liebe Freunde! Es sind bereits mehrere Hefte der vorliegenden Reihe herausgegeben worden. Wir bitten Euch, uns Eure Meinung über den Inhalt und die Form dieses Heftes mitzuteilen sowie Vorschläge zur Verbesserung der Serie an den Zentralrat der FDJ, Abteilung Arbeiterjugend, Berlin NW7, Unter den Linden 36/38, zur Auswertung einzusenden.

REGIERUNG DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
STAATSSEKRETARIAT FÜR BERUFSAUSBILDUNG · BERLIN
Schriftenreihe 8 · Grundversuche für die Arbeit in den Klubs Junger Techniker · Heft 3

25 Versuche aus der Physik

WÄRMELEHRE

von Dr. HERBERT KÜSTNER

Dritte, überarbeitete Auflage



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN · 1953

Redaktionsschluß 1. 6. 1953

Bestell-Nr. 9311 1,30 DM · 22. bis 31. Tausend · Lizenz Nr. 203 · 1000/53-BIa-105/53

Kartenlizenz K 1 · Gen. MdI der DDR, Nr. 1048

Satz: VEB Graphische Werkstätten, Leipzig, III/18/97

Druck: VVB Druck Graphische Werkstätten, Zittau-Görlitz, III/28/11

VORWORT

Der Fünfjahrplan stellt den Werktätigen bedeutungsvolle Aufgaben, die sie nur erfüllen und übererfüllen können, wenn sie ihre Arbeit wissenschaftlich zu durchdringen lernen. Das Beherrschen der Technik ist ein wesentlicher Faktor zur Steigerung der Arbeitsproduktivität. Deshalb muß der Lehrling schon vom ersten Tage seiner Lehrzeit an die Probleme, die ihm die Berufspraxis stellt, theoretisch ergründen. Ihn dabei zu unterstützen und weitgehend zu qualifizieren, ist die Hauptaufgabe der vom Staatssekretariat für Berufsausbildung herausgegebenen Schriftenreihe „Grundversuche für die Arbeit in den Klubs Junger Agromomen und Junger Techniker“.

Das vorliegende Heft enthält Anweisungen zu Versuchen aus der Wärmelehre, einem Teilgebiet der elementaren Physik. Die Kenntnis der wichtigsten physikalischen Lehrrsätze dieses Gebietes ist Voraussetzung für das Verständnis vieler Zweige der Technik.

Die Versuche, die in diesem Heft zum Studium der Wärmelehre beschrieben werden, lassen sich verhältnismäßig leicht durchführen, da nur einfache Hilfsmittel nötig sind.

Versuche, die rein qualitativen Beobachtungen dienen, wurden an den Anfang gestellt. Hiernach folgen Versuche, bei denen sich Berechnungen an das Beobachtungsergebnis anschließen. Die Lust zum Experimentieren soll mit dem Streben nach rechnerischer Durchdringung des Stoffes vereinigt werden.

Besonderer Wert ist darauf gelegt, eine enge Verbindung zwischen den Versuchen und den Vorgängen im täglichen Leben zu zeigen. Um diese Verbindung noch konkreter zu gestalten, ist jedem Versuch eine Abbildung aus Natur oder Technik beigelegt, die zwar mit der Versuchsanordnung nicht immer in unmittelbarem Zusammenhang steht, die aber unseren Jungen und Mädchen das entsprechende Problem verständlicher machen wird. Es soll dadurch erreicht werden, daß sie die Probleme erkennen, die ihnen überall, besonders im Beruf, entgegentreten; sie sollen lernen, die Gesetze der Physik in der Berufspraxis anzuwenden. Dadurch werden sie schon frühzeitig befähigt, an der Verbesserung der Arbeitsmittel und der Arbeitsmethoden mitzuarbeiten und ihren Beitrag zur Steigerung der Arbeitsproduktivität zu leisten, die ein besseres Leben für die gesamte Gesellschaft gestalten und sichern hilft.

STAATSSSEKRETARIAT FÜR BERUFSAUSBILDUNG

VERSUCH 1

Eine Thermometerskala wird geprüft

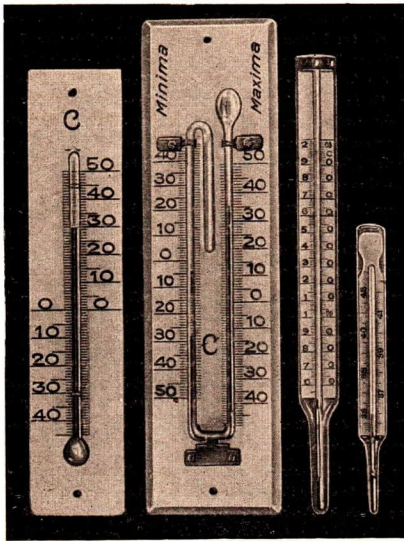


Abb. 1. Die Ausführung des Thermometers wird dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt. Die Abbildung zeigt ein gewöhnliches Außenthermometer, ein Maximum-Minimum-Thermometer, ein Thermometer für höhere Temperaturen und ein Fieberthermometer.

Die Flüssigkeitssäule eines Thermometers wird mit zunehmender Temperatur länger. Jeder Temperatur entspricht eine bestimmte Säulenlänge. Zur Eichung der heute in Deutschland allgemein gebräuchlichen Celsiusskala dienen zwei jederzeit herstellbare Säulenlängen; die eine entspricht der Temperatur des schmelzenden Eises (0°), die andere der Temperatur des bei normalem Luftdruck ($760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm QS} = 1 \text{ Atm}$) siedenden Wassers (100°).

Aufgabe: Prüfe die Skala deines Thermometers!

Durchführung:

Eisstücke, Glasrichter, Erlenmeyerkolben, Dreifuß mit Drahtnetz, Bunsenbrenner, Quecksilberthermometer (für 0 bis 100°), Gummistopfen mit 2 Durchbohrungen, gewinkeltes Glasrohr.

Fülle einen Erlenmeyerkolben zu einem Drittel mit Wasser und verschließe ihn mit einem Gummistopfen, der zwei Durchbohrungen hat (Abb. 2, links). Durch die eine stecke ein Thermometer, das bis 100° anzeigt, durch die andere ein gewinkeltes Glasrohr. Beide Geräte sollen das Wasser nicht berühren. Führe mit einer Bunsenflamme Wärme zu, so

daß das Wasser siedet. Warte, bis der Quecksilberfaden aufgehört hat zu steigen, und markiere seine Höhe. Führe den Versuch nur aus, wenn das Barometer einen Luftdruck von etwa 760 Torr anzeigt. (Eine Abweichung bis zu 10 Torr tritt nicht in Erscheinung.) Fülle einen Glastrichter mit kleinen schmelzenden Eisstücken und stecke das Thermometer hinein (Abb. 2, rechts). Jetzt sinkt der Quecksilberfaden. Wenn er zur Ruhe gekommen ist, markiere seine Stellung wiederum.

Auswertung: Prüfe, ob die Markierungen mit dem 100° -Strich bzw. mit dem 0° -Strich der Thermometerskala in gleicher Höhe liegen.

Thermometer mit Quecksilberfüllung lassen sich bei geeigneter Bauweise für Temperaturen zwischen -39° und $+357^{\circ}$ verwenden, da in diesem Bereich das Quecksilber flüssig ist. Für tiefere Temperaturen nimmt man Thermometer, die mit gefärbtem Alkohol gefüllt sind. Sie sind zum Messen von Temperaturen bis nahe -114° (Erstarrungspunkt des Alkohols) verwendbar. Mit einem Quecksilberthermometer, bei dem der Raum oberhalb des Metallfadens mit bestimmten Gasen gefüllt ist, lassen sich Temperaturen bis $+600^{\circ}$ messen.

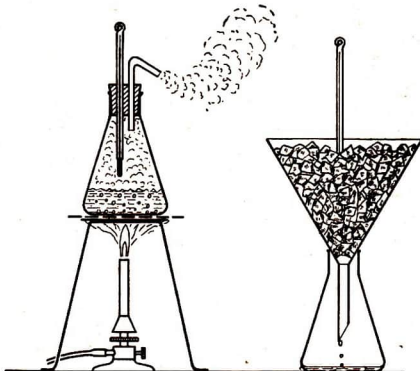


Abb. 2. Im Erlenmeyerkolben (links) herrscht die Temperatur des siedenden Wassers, im Glastrichter (rechts) die Temperatur des schmelzenden Eises.

Die beiden Fundamentalpunkte des Thermometers sind durch die Temperatur des schmelzenden Eises (0°) und die Temperatur des bei einem Luftdruck von 760 Torr siedenden Wassers (100°) festgelegt.

NOTIZEN

VERSUCH 2

Fest — flüssig — gasförmig

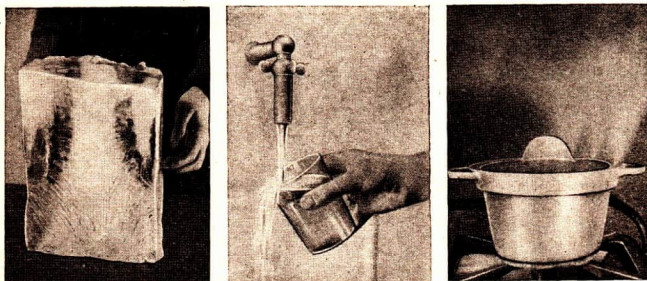


Abb. 3. Eis - Wasser - Dampf. Wie das Wasser läßt sich jede Flüssigkeit durch Wärmezufuhr in den gasförmigen, durch Wärmeentzug in den festen Zustand überführen.

Die Stoffe sind entweder fest oder flüssig oder gasförmig. Der Zustand, in dem sich ein Körper bei einem Luftdruck von 760 Torr und einer Temperatur von etwa 15° befindet, ist sein Normalzustand; z. B. bei Eisen der feste, bei Wasser der flüssige, bei Luft der gasförmige Zustand. Durch Änderung der Temperatur können wir einen Stoff aus dem einen in einen anderen Zustand überführen. So lassen sich z. B. das Eisen durch Wärmezufuhr, die Luft durch Abkühlung verflüssigen. Wir wollen jetzt Wasser durch gleichmäßige Wärmezufuhr vom festen über den flüssigen in den gasförmigen Zustand überführen und dabei die Temperaturerhöhung beobachten.

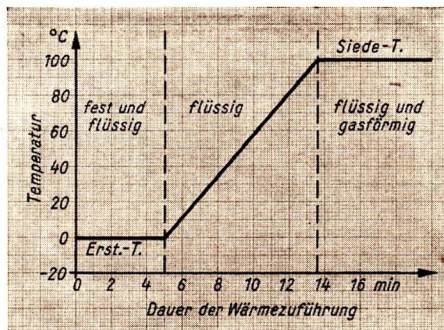


Abb. 4. Abhängigkeit der Temperatur einer Wassermenge von der zugeführten Wärmemenge.

Aufgabe: Stelle für eine Wassermenge die Abhängigkeit der Temperaturerhöhung von der zugeführten Wärmemenge in einem Schaubild dar!

Durchführung:

Brenner, Dreifuß, breites Glasgefäß, Thermometer, Uhr, Eisstücke.

Mische in einem Glasgefäß Wasser mit Eis, bis ein eingetauchtes Thermometer 0° anzeigt (Abb. 5). Führe dann dem Wasser mit einer Gasflamme Wärme zu. Achte darauf, daß die Flamme gleichmäßig brennt, damit dem Wasser in jeder Zeiteinheit die gleiche Wärmemenge zugeführt wird. Rühre das Wasser ständig um und miß in regelmäßigen Zeitabständen, z. B. alle zwei Minuten, seine Temperatur. Stelle das Meßergebnis graphisch dar, indem du auf einer waagerechten Achse die Dauer der Wärmezufuhr, auf einer senkrechten die Temperatur des Wassers abträgst.

Auswertung: Die Temperatur des Wasser-Eis-Gemisches bleibt zunächst trotz Wärmezuführung auf 0° . Erst wenn das letzte Stück Eis geschmolzen ist, steigt sie gleichmäßig bis zu 100° an. Dann siedet das Wasser und geht in den gasförmigen Zustand über. Während dieses Vorganges steigt die Temperatur nicht weiter, sondern bleibt auf 100° stehen. In der graphischen Darstellung (Abb. 4) ergibt sich ein aus geraden Stücken bestehender Linienzug. Überlege dir, wie er nach rechts (bei weiterer Wärmezuführung) und nach links (bei Wärmeentzug) fortgesetzt werden müßte. Vergleiche hierzu die Versuche 20 und 21.

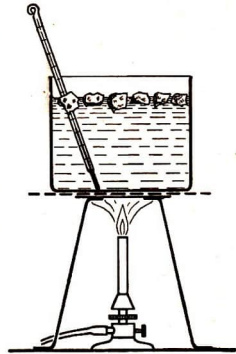
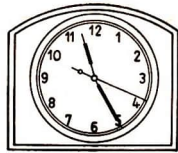


Abb. 5. Die Temperatur des Wassers sinkt auf 0° , wenn man es mit Eisstücken mischt und längere Zeit rührt.

Beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand und vom flüssigen in den gasförmigen Zustand nimmt ein Körper Wärme auf, ohne daß seine Temperatur steigt (Schmelzwärme und Verdampfungswärme). Umgekehrt gibt er beim Übergang vom flüssigen in den festen und vom gasförmigen in den flüssigen Zustand Wärme ab, ohne daß seine Temperatur sinkt (Erstarrungswärme und Kondensationswärme).

VERSUCH 3

Abkühlung durch Verdunsten

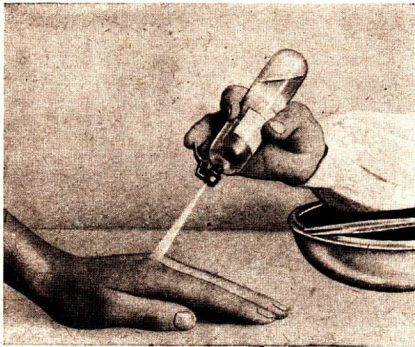


Abb. 6. Die durch Verdunsten einer Flüssigkeit hervorgerufene Abkühlung nutzt der Arzt bei Durchführung kleiner Operationen aus. Die zu schneidende Körperstelle wird mit einem feinen Strahl Chloräthyl bespritzt, vereist infolge der raschen Verdunstung sofort und ist dann eine Zeitlang nicht schmerzempfindlich.

Eine Flüssigkeit geht an der Oberfläche auch schon unterhalb ihres Siedepunktes in den gasförmigen Zustand über. Sie verdunstet um so schneller, je näher die Temperatur dem Siedepunkt kommt. Flüssigkeiten mit niedrigem Siedepunkt, z. B. Äther, Chloroform, Alkohol, verflüchtigen sich schon bei normaler Temperatur rasch.

Beschleunigt man das Verdunsten, indem man den sich bildenden Dampf ständig abführt, so kann man eine Abkühlung der Flüssigkeit deutlich wahrnehmen, also erkennen, daß der Flüssigkeit beim Verdunsten Wärme entzogen wird. Das läßt sich durch den folgenden Versuch bestätigen.

Aufgabe: Bringe Wasser durch Verdunsten von Äther zum Gefrieren!

Durchführung:

Zwei Probierringläschen verschiedener Weite, Gummischlauch, Äther.

Fülle in das enge Glas eine kleine Menge Äther (Achtung, feuergefährlich!) und schiebe es in das weite, mit wenig Wasser gefüllte Glas so tief hinein, daß sein unterer Teil von einem Wassermantel umgeben ist (Abb. 7). Je weniger sich beide Gläser in ihrer Größe unterscheiden, um so dünner ist die Wasserschicht und um so schneller gelingt der Versuch. Halte einen längeren Gummischlauch in den Äther und blase vorsichtig Luft hindurch. Nach einer Weile beobachtest du, daß der Wassermantel gefroren ist.

Auswertung: Äther verdunstet bei Raumtemperatur stark, da sein Siedepunkt bei 35° liegt. Die Verdunstung wird beschleunigt, wenn man Luft hindurchbläst. Dadurch vergrößert man einmal die Berührungsfläche zwischen Äther und Luft, zum anderen wird

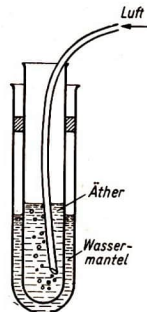


Abb. 7. Die Verdunstungskälte des Äthers bringt den Wassermantel zum Gefrieren.

der entstehende Dampf abgeführt, so daß sich neuer bilden kann. Die zum Verdunsten nötige Wärme wird der Flüssigkeit entzogen. Diese wird schnell sehr kalt und entzieht dem Wassermantel so viel Wärme, daß er gefriert.

Bequem läßt sich auch folgender Versuch durchführen:

Die Kugel eines Thermometers wird mit wenig Watte und einem Stück Mull lose umwickelt und mit Äther übergossen. Bläst man die Watte an oder schwenkt das Thermometer heftig hin und her, dann verdunstet der Äther so schnell, daß der Quecksilberfaden des Thermometers unter 0° sinkt.

Daß beim Verdunsten einer Flüssigkeit der Umgebung Wärme entzogen wird, spürt man am eigenen Körper: Ist man mit Schweiß bedeckt, so macht sich - wenn man ihn nicht entfernt - nach kurzer Zeit eine Abkühlung deutlich bemerkbar. Hält man den angefeuchteten Finger in die Höhe, so kann man die Windrichtung feststellen: Die angeblasene Seite des Fingers wird zuerst kalt.

Technische Anwendungen: Die Abkühlung durch Verdunsten spielt bei der Rückkühlung des Wassers von Dampfkraftanlagen eine Rolle. Um dem Kühlwasser die aufgenommene Wärmemenge zu entziehen, läßt man das erwärmte Wasser an einem Gradierwerk herunterrieseln und durchlüftet es. Dabei wird das Wasser zunächst durch die Luft unmittelbar, hauptsächlich aber durch Verdunstung abgekühlt.

Zu den schon bei normalen Temperaturen stark verdunstenden Flüssigkeiten gehört neben Äther, Chloroform und Alkohol vor allem das zu medizinischen Zwecken benutzte Chloräthyl, eine aus Alkohol und Salzsäure hergestellte Flüssigkeit, die schon bei 13° siedet.

Jede Flüssigkeit entzieht beim Verdunsten ihrer Umgebung Wärme.

NOTIZEN

VERSUCH 4

Das Sinken des Eisschmelzpunktes unter Druck



Abb. 8. Müheelos gleiten die Schlittschuhläufer auf der Eisfläche dahin. Als Schmiermittel dient eine feine Schmelzwasserschicht, die der Druck des Körpergewichts auf den berührten Eisstellen erzeugt. Bisher ist es noch nicht gelungen, eine „Eisbahn“ ohne Eis zu schaffen, da kein anderer Stoff ein solches immer gegenwärtiges Gleitmittel aufweist.

Wie der Siedepunkt, so ist auch der Schmelzpunkt eines Stoffes vom äußeren Druck abhängig, allerdings nur in geringem Maße. Es gibt Stoffe, deren Schmelzpunkt mit wachsendem Druck steigt, und solche, deren Schmelzpunkt mit wachsendem Druck sinkt.

Aufgabe: Untersuche, wie sich der Schmelzpunkt des Eises bei starkem Druck verhält!

Durchführung:

Großes Stück Eis, Gewichtsstück, Drahtschlinge.

Lege ein großes Stück Eis von 0° so auf zwei eng nebeneinander stehende Stühle, daß es den Zwischenraum überbrückt, und hänge daran an einer Drahtschlinge ein schweres Gewichtsstück auf (Abb. 9). Beobachte, wie die Schlinge von oben und von der Seite her in das Eis eindringt, unten wieder austritt und schließlich mit dem Gewichtsstück zu Boden fällt. Zerschlage dann den Eisblock und untersuche die von der Schlinge durchwanderte Ebene.

Auswertung: Der Draht übt dort, wo er aufliegt, einen starken Druck auf das Eis aus. Es schmilzt unter dem Draht und läßt ihn tiefer gleiten. Die zum Schmelzen des Eises

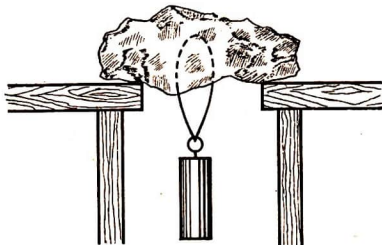


Abb. 9. Das Schmelzen des unter Druck gesetzten Eises und das Wiedergefrieren des Schmelzwassers nach Entlastung bezeichnet man als Regelation.

erforderliche Wärmemenge wird der Umgebung entzogen, so daß das Schmelzwasser unterkühlt wird und wieder gefriert, sobald es über die Drahtschlinge tritt und deren Druck entzogen ist. So verbinden sich die beiden getrennten Teile des Eises wieder, und obwohl die Drahtschlinge das Eisstück quer durchzogen hat, weist es keine Spur von Zerschneidung auf. Aus diesem Vorgang erkennen wir, daß Eis unter erhöhtem Druck schon bei tieferer Temperatur schmilzt. Die Schmelzpunkterniedrigung ist sehr gering. Sie beträgt bei einer Erhöhung des Druckes um eine Atmosphäre noch nicht $\frac{1}{100}^{\circ}$.

Der Schmelzpunkt des Eises sinkt bei Zunahme des Druckes. Da das unter Druck schmelzende Eis seiner Umgebung Wärme entzieht, gefriert das Schmelzwasser wieder, auch wenn die Temperatur des Eises 0° beträgt.

N O T I Z E N

Gefrierpunktniedrigung bei Wasser durch Zugabe von Salz



Abb. 10. Auch bei Schnee- und Frostwetter muß der Hydrant für die Feuerwehr jederzeit sofort zugänglich sein. Um Eisbildung auf dem Deckel zu verhindern oder vorhandenes Eis aufzutauen, wird Tausalz gestreut.

Wasser gefriert bei 0° und dehnt sich dabei um 10% seines Volumens aus (vgl. Versuch 6). Diese Eigenschaft kann im Winter Anlaß zu Wasserrohrbrüchen geben. Im Haushalt sperrt man daher bei großer Kälte rechtzeitig die Zuführung des Wassers und läßt es aus den gefährdeten Rohren ausfließen. Wie schützt man die Stellen, an denen sich das Wasser nicht auf diese Weise entfernen läßt, z. B. im knieförmigen Geruchverschluß eines Abfluröhres? Die Frage wird durch das Ergebnis dieses Versuches beantwortet.

Aufgabe: Weise nach, daß der Gefrierpunkt des Wassers mit dessen Salzgehalt schwankt!

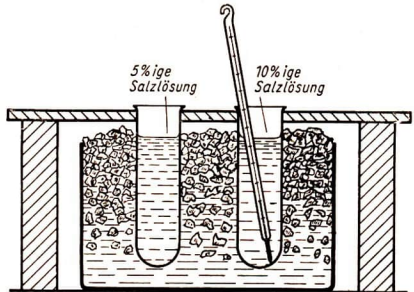


Abb. 11. In einer 10%igen Salzlösung setzt die Eisbildung erst bei etwa -6° ein.

Durchführung:

Behälter, Eis in kleinen Stücken, Kochsalz, 2 Probiergläschen, Thermometer.

Bereite in einem größeren Behälter eine Kühlmischung aus 3 Gewichtsteilen Eis und einem Gewichtsteil Kochsalz. Stelle 2 Reagenzgläser hinein, das eine mit einer 5%igen, das andere mit einer 10%igen Kochsalzlösung gefüllt. Tauche ein Thermometer in die 5%ige Lösung und lies ab, bei welcher Temperatur Eisbildung einsetzt. Dasselbe wiederhole bei der 10%igen Lösung (Abb. 11).

Auswertung: In der 5%igen Salzlösung setzt die Eisbildung bei etwa -3° ein, in der 10%igen bei etwa -6° . Der Gefrierpunkt von Wasser, in dem Salz gelöst ist, liegt also um so tiefer, je höher die Konzentration der Salzlösung ist. Meerwasser mit einem Salzgehalt von 3% beginnt bei etwa -2° zu gefrieren.

Eine praktische Auswertung dieser Erscheinung ist das Streuen von Tausalz (d. i. unreines Kochsalz). Um z. B. das im Geruchverschluss eines Klosettbeckens stehende Wasser am Gefrieren zu hindern, schüttet man Tausalz hinein. Auch zum Auftauen wird Tausalz gestreut, z. B. um eingefrorene Weichen der Schienenwege zu lösen und wieder beweglich zu machen. Dem Kühlwasser von Fahrzeugmotoren wird bei Frostgefahr Spezialsalz zugesetzt, um ein Gefrieren zu verhindern.

Der Gefrierpunkt des Wassers sinkt um so tiefer, je mehr Salz in dem Wasser gelöst ist.

NOTIZEN

VERSUCH 6

Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus



Abb. 12. Bei diesem Kirschbaum ist der Saft unter der Rinde gefroren gewesen und hat infolge seiner Ausdehnung beim Gefrieren die Rinde und auch den Stamm gespalten. Der Gärtner beugt solchen Kälterissen vor, indem er seine Bäume im Frühjahr mit einem Kalkanstrich versehen. Die weiße Farbe des Kalkes reflektiert die Sonnenstrahlen und verhindert dadurch vorzeitigen Saftauftrieb.

Fast alle flüssigen Stoffe verringern ihr Volumen beim Erstarren. Das Wasser jedoch macht eine Ausnahme: Es dehnt sich beim Gefrieren aus.

Aufgabe: Stelle fest, um wieviel sich das Volumen einer Wassermenge beim Gefrieren vergrößert!

Durchführung:

Probiergläschen, Eis, Kochsalz, Zentimetermaß.

Bereite eine Kühlmischung (3 Teile Eis, 1 Teil Kochsalz). Fülle ein Probiergläschen bis zu 10 cm Höhe mit Wasser von nahezu 0° und markiere den Wasserstand. Halte das Probiergläschen in die Kühlmischung, bis das Wasser völlig gefroren ist. Miß dann die Länge der Eissäule (Abb. 13).

Auswertung: Die Eissäule ist etwa 11 cm lang. Das Wasser hat sich demnach beim Gefrieren etwa um $\frac{1}{10}$ seines Volumens ausgedehnt.

Zum gleichen Ergebnis führt folgende Versuchsanordnung: In eine Wassermenge von bekanntem Volumen bringt man ein Stück Eis, das mit Metalldraht von be-

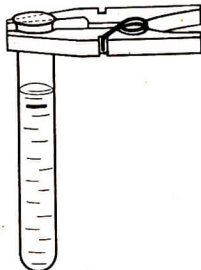


Abb. 13. Die 10 cm hohe Wassersäule im Probierröhrchen hat sich beim Gefrieren in eine 11 cm hohe Eissäule verwandelt.

kanntem Volumen beschwert ist und daher sinkt. Man mißt das Gesamtvolumen von Wasser, Draht und Eisstück vor und nach dem Schmelzen des Eises und berechnet daraus sowie aus dem Volumen des Wassers und dem des Drahtes den gesuchten Wert. Führe diesen Versuch selbständig durch!

Die Ausdehnung bei Eisbildung vollzieht sich mit ungeheurer Gewalt. Gefrierendes Wasser spaltet Felsen, verursacht Wasserrohrbrüche und lockert den Ackerboden auf. Stelle eine bis zum Rande mit Wasser gefüllte verschlossene Bierflasche bei strenger Kälte vor das Fenster. Beim Gefrieren des Wassers wird sie zerplatzen.

Infolge der Ausdehnung ist Eis leichter als Wasser. Überlege dir, wie tief ein im Wasser schwimmender Eisblock eintaucht, wenn er die Form eines Würfels mit der Kantenlänge 1 m hat!

Wasser dehnt sich beim Gefrieren um den zehnten Teil seines Volumens aus.

NOTIZEN

VERSUCH 7

Die Eisenstange dehnt sich aus

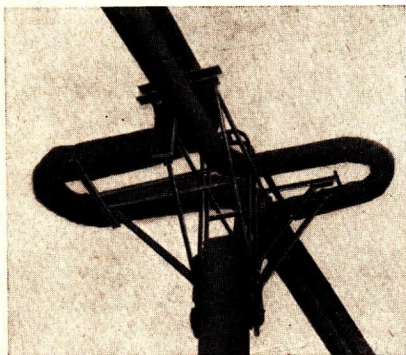


Abb. 14. Bei langen Dampfleitungen werden in gewissen Abständen Ausgleichbögen eingebaut. Diese nehmen den bei Erhitzung auftretenden Längenzuwachs des Rohres auf und verhindern dadurch dessen Ausknicken.

Jeder Stoff hat die Eigenschaft, sein Volumen bei Erwärmung zu vergrößern, bei Abkühlung zu verkleinern. Ausnahmen von dieser Gesetzmäßigkeit gibt es nur wenige: Graphit z. B. bleibt bei Erwärmung nahezu unverändert, Kautschuk zieht sich bei Erwärmung zusammen, desgleichen Wasser, wenn es von 0°C auf 4°C erwärmt wird (vgl. Versuche 6 und 9).

Die Volumenänderung ist am größten bei Gasen, weniger groß bei Flüssigkeiten und am geringsten bei festen Körpern. Dennoch spielt die Ausdehnung fester Körper in der Natur und in der Technik eine wichtige Rolle.

Aufgabe: Zeige, daß die Länge eines Eisenstabes bei Erwärmung zunimmt!

Durchführung:

Eisenstange, Bunsenbrenner, 2 Stricknadeln, Korkstopfen.

Laß einen Eisenstab von etwa einem halben Meter Länge mit beiden Enden aufliegen und halte das eine Ende durch einen Stein fest. Dem anderen Ende schiebe eine Stricknadel unter, an der unter Verwendung eines Flaschenkorkes eine zweite Stricknadel als Zeiger befestigt ist (Abb. 15). Der Zeiger soll in der Ausgangsstellung senkrecht stehen. Erhitze nun die Eisenstange gleichmäßig mit einem Bunsenbrenner.

Auswertung: Die Stange dehnt sich aus. Das auf der Stricknadel liegende Ende wird nach vorn geschoben und rollt die Nadel vorwärts. Dabei beschreibt der Zeiger eine Drehung, die uns die Ausdehnung der Stange sehr deutlich erkennbar macht.

Würde man einen Körper daran hindern, sich beim Erwärmen auszudehnen, so brähe er den Widerstand mit großer Gewalt. Wir begegnen im täglichen Leben einer Reihe von Maßnahmen, die verhindern sollen, daß durch die Wärmeausdehnung eines Körpers

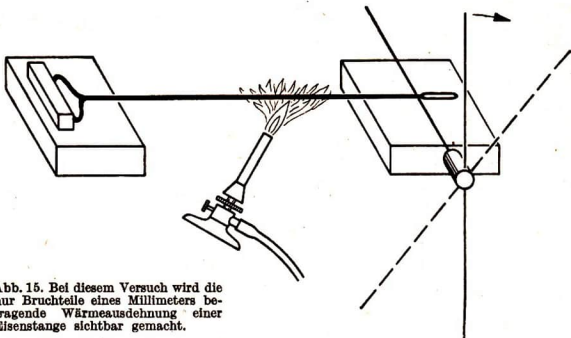


Abb. 15. Bei diesem Versuch wird die nur Bruchteile eines Millimeters betragende Wärmeausdehnung einer Eisenstange sichtbar gemacht.

Schaden entsteht, z. B. dem Schienenstoß bei Eisenbahnschienen, dem Ausgleichbogen bei Dampfleitungen, den Walzlagern bei stählernen Brückenträgern.

Bei großen Dampfkesseln ist jeweils nur einer der Füße fest mit dem Fundament verbunden, während die anderen gleitbar angeordnet sind. Dadurch vermeidet man, daß gefährliche Spannungen auftreten, wenn sich der Kessel bei Erwärmung ausdehnt.

Die Roststäbe der Dampfkessel haben Spiel, so daß sie sich bei Erwärmung ausdehnen können.

Die Betondecken der Autobahnen sind mit Dehnungsfugen versehen, damit gefährliche Druck- und Zugspannungen vermieden werden.

Andrerseits nutzt der Mensch die bei Temperaturveränderung im Stoff wirkende Kraft für seine Zwecke aus: Heiß wird der stählerne Reifen aufs Rad gezogen, heiß werden Niete aufgesetzt und geschlagen, so daß das Zusammenziehen bei der Abkühlung einen festen Sitz bewirkt. Umgekehrt werden die Bolzen oder Kugellager, die in einer Bohrung fest sitzen müssen, vor dem Einführen in die Bohrung stark abgekühlt (auf etwa -70°).

Bei Erwärmung dehnt sich ein Stoff in der Regel aus, bei Abkühlung zieht er sich zusammen.

NOTIZEN

VERSUCH 8

Das Thermoskop

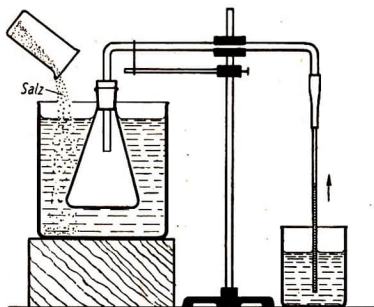


Abb. 16. Mit dem Thermoskop läßt sich nachweisen, daß die Temperatur einer Wassermenge sinkt, wenn man Salz darin auflöst. Die Genauigkeit des normalen Thermometers reicht zur Anzeige einer so kleinen Temperaturschwankung nicht aus.

Die Stoffe dehnen sich im allgemeinen bei Erwärmung aus, feste Körper ebenso wie Flüssigkeiten, besonders stark und gleichmäßig aber die Gase, wenn man den Druck, der auf ihnen lastet, konstant hält. Auf dieser Tatsache beruht die Wirkung des Thermoskops.

Aufgabe: Baue ein Thermoskop!

Durchführung:

Erlenmeyerkolben, durchbohrter Gummistopfen, enges Glasröhrchen, Becherglas, Stativ mit Muffen und Klemmen.

Verschließe einen Erlenmeyerkolben mit einem gutsitzenden durchbohrten Gummistopfen und führe durch diesen ein enges Glasröhrchen ein. Das Glasröhrchen muß in der Durchbohrung gut anliegen, damit der Stopfen die Flasche völlig luftdicht abschließt.

Drehe die Flasche um und spanne sie in einem Stativ ein. Bringe das Rohrende in gefärbtes Wasser und erwärme die Flasche kurze Zeit mit der Hand oder mit einer kleinen Flamme (Abb. 17).

Auswertung: Erwärmt man die Flasche, so vergrößert die eingeschlossene Luft ihr Volumen und „läuft über“. Aus dem ins Wasser getauchten Röhrchen treten Luftblasen aus. Bei Abkühlung auf die Ausgangstemperatur steigt das Wasser im Rohr auf, da die im Kolben verbliebene Luft sich wieder zusammenzieht. Nun steigt oder fällt die Wassersäule, je nachdem, ob das Thermoskop in eine kältere oder wärmere Umgebung gebracht wird.

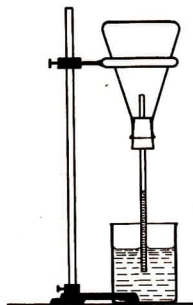


Abb. 17. Nachweis, daß sich Luft bei Erwärmung unter gleichbleibendem Druck ausdehnt.

Das Gerät zeigt schon bei geringen Temperaturunterschieden merkliche Ausschläge. Trotz seiner großen Empfindlichkeit läßt es sich in der beschriebenen Form aus folgendem Grunde nicht zu Temperaturmessungen verwenden: Die im Glasbehälter eingeschlossene Luftmenge steht unter dem auf die Wasseroberfläche wirkenden Atmosphärendruck (im Mittel 760 Torr = 1,033 kp/cm² = 1 Atm). Nur solange dieser Druck konstant ist, dehnt sich die Luft im Verhältnis zu ihrer Erwärmung aus und nimmt die Wassersäule bei gleichen Temperaturen gleiche Höhe ein. Der Atmosphärendruck schwankt aber oft schon innerhalb kurzer Zeiträume, und mit ihm schwankt die Höhe der Wassersäule, auch wenn die Temperatur gleichbleibt.

Gase dehnen sich bei Erwärmung gleichmäßig aus und ziehen sich bei Abkühlung gleichmäßig zusammen, wenn der äußere Druck während dieser Zeit konstant ist.

N O T I Z E N

VERSUCH 9

Anomalie des Wassers

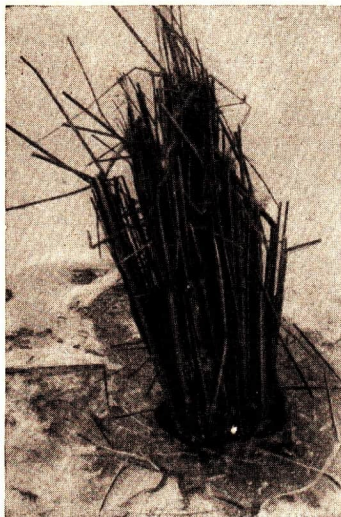


Abb. 18. Da ein stehendes Gewässer infolge der Anomalie des Wassers meist nicht bis zum Grunde gefriert, bietet sich für die Fische unter der Eisdecke eine Lebensmöglichkeit. In fischreichen Teichen hackt man Löcher in die Eisdecke und steckt Stroh-
bunde hindurch, so daß für eine genügende Luftzufuhr gesorgt ist.

Alle Stoffe dehnen sich bei Erwärmung aus. Eine der wenigen Ausnahmen bildet das Wasser in einem gewissen Temperaturbereich. Führt man einer Wassermenge von 0° Wärme zu, so verkleinert sie zunächst ihr Volumen, bis sie eine bestimmte Temperatur angenommen hat. Erst bei weiterer Erwärmung dehnt sie sich wie alle anderen Körper aus. Diese Erscheinung bezeichnet man als die Anomalie des Wassers.

Aufgabe: Stelle fest, bei welcher Temperatur das Volumen einer Wassermasse am kleinsten ist!

Durchführung:

Glaskolben, zweifach durchbohrter Stopfen, enges Glasröhrchen, Thermometer, Eis.

Fülle einen Glaskolben von etwa $\frac{1}{2}$ l Fassungsvermögen bis zum Rande mit gefärbtem Wasser von Raumtemperatur und verschließe ihn mit einem Stopfen, der mit zwei Durchbohrungen versehen ist. Durch die eine Bohrung stecke ein Thermometer, durch die andere ein enges Glasröhrchen, in dem die Wassersäule anfangs etwa bis zur Mitte des aus dem Kolben ragenden Teiles stehen soll (Abb. 19). Setze den Glaskolben in ein Eiswasserbad von 0° und beobachte gleichzeitig Thermometer und Wassersäule.

Um die Verschiebung der Oberfläche der Wassersäule gut beobachten zu können, legt man um das Glasröhrchen einen mit einer Marke versehenen Cellophanstreifen. Je nachdem, ob die Wassersäule steigt oder fällt, verschiebt man den Streifen nach oben oder nach unten; die angezeichnete Marke muß immer in gleicher Höhe mit der Wasseroberfläche stehen.

Hat das Wasser in dem Kolben die Temperatur 0° erreicht, so führe den Versuch zur Kontrolle in umgekehrter Richtung durch, indem du jetzt die Flasche aus dem Eiswasser in ein Wasserbad von Raumtemperatur bringst.

Auswertung: Bei Abkühlung sinkt die Wassersäule von der Höhe, die sie bei Raumtemperatur hatte, herab, bis das Wasser die Temperatur 4° angenommen hat. Bei weiterer Abkühlung steigt sie wieder etwas an. Erwärmt man das Wasser nun wieder, so sinkt die Wassersäule, bis die Temperatur 4° erreicht ist, und steigt dann ständig an.

Wasser hat demnach bei 4° sein kleinstes spezifisches Volumen (Volumen je Masseneinheit) und seine größte Dichte (Masse je Volumeneinheit).

Die Anomalie des Wassers hat eine wichtige Folge für den Haushalt der Natur:

Ein Gewässer wird in der kalten Jahreszeit von oben her abgekühlt. Das abgekühlte Wasser sinkt zu Boden, das wärmere steigt auf und wird ebenfalls abgekühlt. Es tritt eine Zirkulation ein, durch die eine schnelle Abkühlung sämtlicher Wasserschichten gefördert wird.

Die Zirkulation hört infolge der Anomalie des Wassers auf, wenn dieses auf dem Grund die Temperatur 4° erreicht hat und die oberen Wasserschichten diese Temperatur unterschreiten. Jetzt bleibt das kältere Wasser an der Oberfläche, weil es leichter ist als das Wasser auf dem Grunde, und eine weitere „Kälteübertragung“ kann nur durch Leitung erfolgen. Da Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist (Versuch 11), dauert das sehr lange, und es kommt nur bei großer Kälte vor, daß ein Gewässer bis zum Grunde gefriert.

In unserem Versuch ändert sich mit der Temperatur auch das Volumen der Glasgeräte. Da der Ausdehnungskoeffizient von Glas aber wesentlich kleiner ist als der von Wasser, ist der Einfluß auf das Ergebnis gering. Bei einer zahlenmäßigen Auswertung (z. B. Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten von Wasser) muß er jedoch in Rechnung gesetzt werden, wenn ganz genaue Ergebnisse erzielt werden sollen.

Wasser nimmt bei 4° sein kleinstes Volumen an; es hat bei dieser Temperatur somit seine größte Dichte.

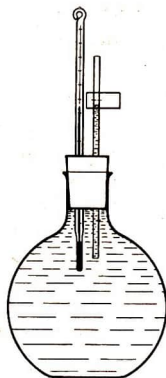


Abb. 19. Verändert man die Temperatur des Wassers im Kolben, so verlängert oder verkürzt sich die Wassersäule im Stielröhr.

Das Drahtnetz über der Flamme

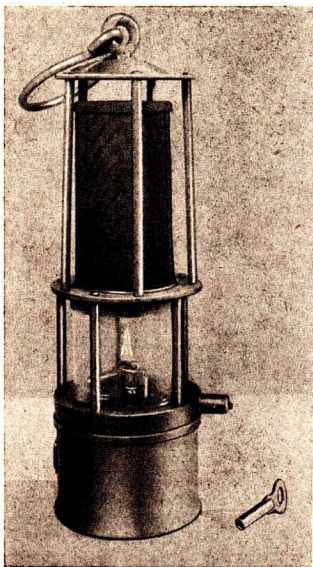


Abb. 20. Die Sicherheitslampe dient dem Bergmann zur Feststellung gefährlicher Gase. Diese dringen durch das Kupferdrahtnetz in das Innere der Lampe und erregen durch Veränderung der Flamme die Aufmerksamkeit des Bergmannes. Eine Entzündung brennbarer Gase außerhalb der Lampe kann die Flamme nicht herbeiführen, da ihre Hitze vom Drahtnetz abgelenkt wird und nur zum Teil nach außen gelangt.

Metalle sind gute Wärmeleiter. Da sie die Wärme der Hand sofort ableiten, fühlen sie sich bei Raumtemperatur kalt an. Metalle leiten die Wärme bedeutend besser als Flüssigkeiten und Gase.

Aufgabe: Weise nach, daß Metalle die Wärme schnell ableiten!

Durchführung:

Kupferdrahtgewebe (engmaschiges Sieb), Bunsenbrenner, Stativ mit Muffen und Klemmen.

Bringe über einem Bunsenbrenner mit Hilfe eines Stativs ein feinmaschiges, nicht zu kleines Kupferdrahtgewebe an. Öffne die Gaszufuhr und halte von oben her ein brennendes Streichholz an das Sieb, bis sich das Gas entzündet (Abb. 21).

Auswertung: Wir bezeichnen den Raumteil oberhalb des Siebes mit I, den darunterliegenden mit II. Das ausströmende Gas brennt nur in Raum I. Warum entzündet es

sich nicht auch im Raum II? Wir haben die zur Entzündung des Gases nötige Temperatur mit dem brennenden Streichholz in Raum I erzeugt. Die Hitze der Flamme wird vom Drahtnetz so schnell nach den Seiten fortgeleitet, daß in Raum II die Entzündungstemperatur nicht erreicht wird.

Der Versuch zeigt das Prinzip der Sicherheitslampe des Bergmannes. Bei dieser ist eine offene Flamme von einem Kupferdrahtgewebe umgeben (Raum I). Schlagende Wetter werden außerhalb der Lampe (Raum II) nicht zur Entzündung gebracht, wohl aber in der Lampe angezeigt.

Weitere technische Anwendungen: Die Ofenmänner der Stahl- und Walzwerke, die dem Glühofen ständig über 1000° heiße Stahlbleche entnehmen, tragen außer ihrer Schutzkleidung Drahtsiebe vor dem Gesicht. Diese metallenen Schutzsiebe fangen die Wärmestrahlen auf und leiten die Wärme ab, so daß es den Arbeitern möglich ist, in die Glut hineinzusehen.

Der beste Wärmeleiter ist Silber. An zweiter und dritter Stelle stehen Kupfer und Gold; Kupfer spielt in der Technik als Wärmeleiter eine bedeutende Rolle (Kupferkessel, Kupferrohre für Heizschlangen, kupferne LötKolben, kupferne Feuerbüchsen für Lokomotiven u. a.).

Metalle sind gute Wärmeleiter.

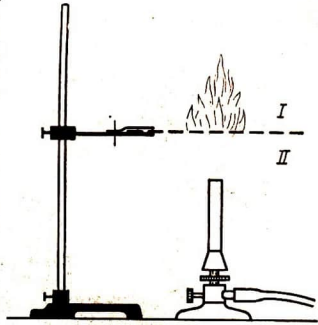


Abb. 21. Prinzip der Davyschen Sicherheitslampe. Raum I entspricht dem vom Drahtnetz umgebenen Lampeninneren, Raum II dem Außenraum.

VERSUCH 11

Eis neben kochendem Wasser

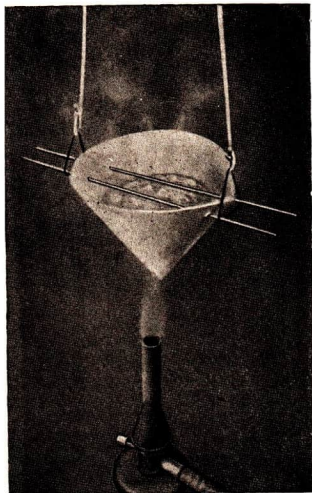


Abb. 22. Daß der mit Wasser gefüllte „Kochtopf aus Papier“ über der Gasflamme nicht verbrennt, liegt nicht an einer guten Leitfähigkeit des Wassers, sondern in erster Linie an der großen Aufnahmefähigkeit des Wassers für Wärme.

In Versuch 10 wird festgestellt, daß die Metalle zur Gruppe der guten Wärmeleiter gehören. Jetzt wollen wir ein Urteil über die Wärmeleitfähigkeit des Wassers gewinnen. Dabei ist darauf zu achten, daß nicht die Übertragung der Wärme durch Strömung das Ergebnis fälscht.

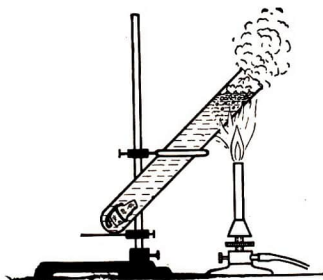
Aufgabe: Untersuche, ob Wasser ein guter oder ein schlechter Wärmeleiter ist!

Durchführung:

Probiergläschen, Eis, Brenner, Stativ mit Muffen und Klemmen.

Klemme am Boden eines Probiergläschens mit Hilfe von Draht ein Stück Eis fest

Abb. 23. In dem Probierröhrchen hält sich ein Temperaturunterschied von 100° längere Zeit, da Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist.



und fülle das Glas dann mit Wasser. Erwärme das Wasser am oberen Ende des Glases bis zum Siedepunkt (Abb. 23).

Auswertung: Obwohl das Wasser im oberen Teil des Glases siedet, also eine Temperatur von 100° hat, hält sich wenige Zentimeter davon entfernt Eis von 0° . Daß der große Temperaturunterschied nicht sofort ausgeglichen wird, liegt mit an der schlechten Leitfähigkeit des Wassers. Eine Wasserströmung tritt nicht ein, weil das heiße Wasser leichter ist als das kalte und daher im oberen Teil des Glases bleibt.

Der folgende Versuch täuscht eine gute Wärmeleitfähigkeit des Wassers vor, hängt aber mit der großen Aufnahmefähigkeit des Wassers für Wärme zusammen.

Nimm ein rundes Stück Papier, falte es wie einen Filter zusammen und fülle Wasser hinein. Hänge die Tüte an zwei Stricknadeln auf, die du durch den oberen Rand steckst, und bringe sie über eine Gasflamme. Das Wasser erwärmt sich bis zum Siedepunkt, ohne daß das Papier verbrennt.

Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter.

N O T I Z E N

Der Wassertropfen auf der Herdplatte

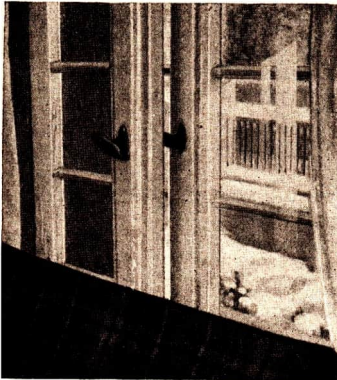


Abb. 24. Wenn es kalt wird, hängen wir die Doppelfenster ein. Die zwischen den Scheiben der beiden Fenster stehende Luftschicht leitet die Wärme sehr schlecht und verhindert einen Ausgleich zwischen der warmen Stubenluft und der im Freien herrschenden Kälte.

Noch schlechter als von Flüssigkeiten wird die Wärme von stehenden Gasen und Dämpfen geleitet.

Aufgabe: Zeige, daß Wasserdampf ein schlechter Wärmeleiter ist!

Durchführung:

Heiße Herdplatte.

Bringe einen Wassertropfen auf eine heiße Herdplatte (Abb. 25) oder auf eine heiße elektrische Platte und beobachte sein Verhalten. Überlege dir, was daran eigentümlich ist!



Abb. 25. Ein Wassertropfen hält sich auf einer heißen Herdplatte verhältnismäßig lange.

Auswertung: Der Wassertropfen verdampft nicht sofort, wie man bei der hohen Temperatur der Platte eigentlich erwarten sollte. Woran liegt das? Beim Auftreffen auf die heiße Platte verdampfen zunächst nur diejenigen Teile des Tropfens, die mit der Platte unmittelbar in Berührung kommen. Es bildet sich eine Zwischenschicht aus Wasserdampf, die eine weitere Wärmeübertragung von der Platte zum Wasser stark verzögert, da sie die Wärme schlecht leitet. Der Tropfen sitzt auf einem Dampfpolster und erreicht erst allmählich eine Temperatur von 100° . Dann verwandelt er sich völlig in Dampf.

Von den Gasen ist uns die Luft als schlechter Wärmeleiter bekannt. Die Luftschicht im Doppelfenster oder unter der Bettdecke verzögert den Abzug der Wärme und das Eindringen von Kälte.

Da Luft die Wärme um so schlechter leitet, je verdünnter sie ist, pumpt man den Raum innerhalb der Doppelwand einer Thermosflasche, bei der die Wärmeübertragung möglichst ausgeschaltet werden soll, weitgehend luftleer.

Dort, wo Wärmeübertragung durch Strömung verhindert werden soll, muß man nicht nur für gute Abdichtung, sondern auch für weitgehende Unterteilung des isolierenden Luftraumes sorgen. Diese erreicht man z. B. dadurch, daß man ihn mit Stroh, Torfmull oder Schlacke füllt (Stroh im Doppelfenster, Schlacke in der Holzbalkendecke). Dampfkessel und Leitungsrohre von Dampfheizungen werden mit luftdämmenden Wärmeschutzstoffen wie Glaswolle, Kieselgur oder Asbestgespinst umkleidet, Gewächshäuser im Winter mit Stroh- oder Rohrmatten abgedeckt.

Stehende Gase und Dämpfe sind schlechte Wärmeleiter.

N O T I Z E N

VERSUCH 13

Modell einer Warmwasserheizung

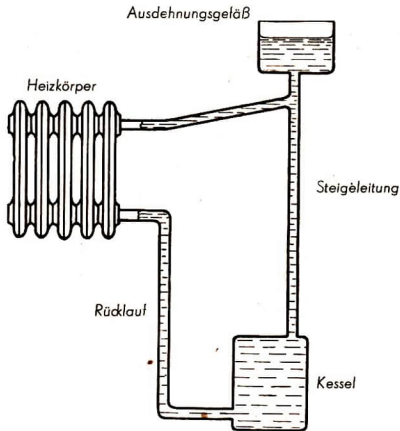


Abb. 26. Bei der Warmwasserheizung strömt das im Kesselraum erhitzte Wasser durch Rohre in die oberen Stockwerke und gibt dort seine Wärme an die Heizkörper ab. Wasser ist für die Übertragung großer Wärmemengen besonders geeignet, da es eine hohe spezifische Wärme besitzt.

Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter, sie können aber ebenso wie Gase die Wärme durch Strömung übertragen.

Aufgabe: Weise die Wärmeströmung des Wassers nach!

Durchführung:

Ein T-, ein U- und ein L-förmiges Stück Glasrohr, Gummischlauchstücke, Bunsenbrenner, Stativ mit Muffen und Klemmen, Korkmehl.

Verbinde ein T-förmiges, ein U-förmiges und ein L-förmiges Stück Glasrohr mit Gummischlauchstücken zu einem Geviert und befestige dieses so an einem Stativ, daß der offene Schenkel des T-Rohres nach oben zeigt. Fülle den Ring mit Wasser und gib eine geringe Menge Korkmehl zu. Erwärme den Ring an einer unteren Ecke und beobachte dabei das Korkmehl (Abb. 27).

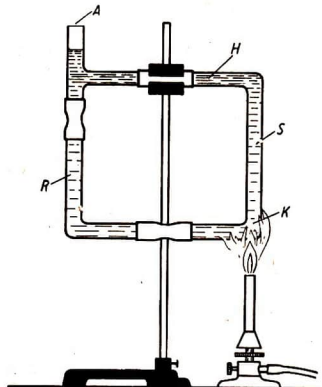


Abb. 27. Prinzip der Warmwasserheizung.

Auswertung: Das Korkmehl gerät in Bewegung und zeigt die Wasserströmung an. Es steigt an der erwärmten Stelle nach oben und bewegt sich durch den Ring wieder der Ausgangsstelle zu, um dann von neuem aufzusteigen. Das Wasser beschreibt also einen Kreislauf, der folgende Ursache hat: Das Wasser dehnt sich bei der Erwärmung aus und verringert dadurch seine Wichte. Die nicht erwärmte Wassersäule (links) ist nun schwerer als die erwärmte Wassersäule (rechts) und das kältere Wasser sinkt zur Herstellung des Gleichgewichtes nach unten, wobei es gleichzeitig das warme Wasser nach oben drückt. Dieser Vorgang hält bei dauernder Erwärmung an, so daß ein Kreislauf entsteht. Das warme Wasser gibt einen Teil seiner Wärme an das obere Horizontalrohr und damit an die es umgebende Luft ab. Es verliert an Temperatur, nimmt daher an Gewicht zu und sinkt im unbeheizten Vertikalrohr nach unten, bis es wieder in Flammennähe kommt und von neuem erwärmt wird.

Um die Abkühlung des erwärmten Wassers zu beschleunigen und damit die Strömung zu verstärken, legt man feuchtes Filterpapier um das obere Horizontalrohr. Die Wärmeströmung ist um so ausgeprägter, je größer das Temperaturgefälle im Wasserring ist. Die Versuchsanordnung gibt das Prinzip der Warmwasserheizung wieder. Dabei entspricht auf der Abbildung K dem Kessel, S der Steigeleitung, H einem Heizkörper, A dem Ausdehnungsgefäß, das der Volumenvergrößerung des Wassers Rechnung trägt, und R der Rücklaufleitung.

Flüssigkeiten können die Wärme durch Strömung übertragen.

NOTIZEN

VERSUCH 14

Warum dreht sich die Papierspirale?

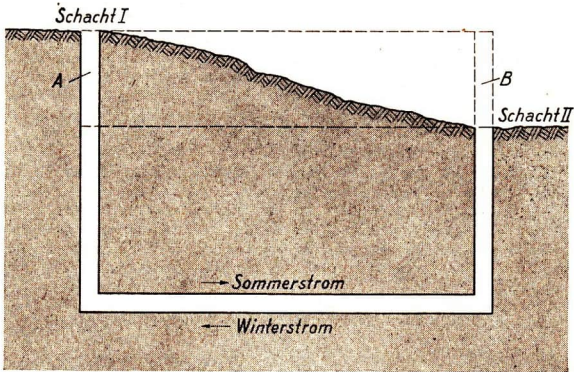


Abb. 28. Weisen die Mündungen der zwei Schächte einer Grubenanlage einen Höhenunterschied auf, so setzt eine natürliche Bewetterung (Frischlufzufuhr) ein, die auf der Wärmeströmung beruht. Der Luftsäule A im höher liegenden Schacht I steht die Säule B auf Schacht II gegenüber. Im Sommer ist die Luftsäule A kälter als B, sie sinkt, daher nach unten; Schacht I wirkt also einziehend. Im Winter kehrt sich der Wetterstrom um, da dann die Luftsäule B schwerer als A ist.

Wenn auch die Luft, wie alle Gase, ein schlechter Wärmeleiter ist (Versuch 12), so kann sie doch ebenso wie das Wasser (Versuch 13) die Wärme durch Strömung übertragen. Die Strömung wird dadurch verursacht, daß sich das Gas bei Erwärmung ausdehnt, infolgedessen leichter wird und nach oben gedrückt wird.

Aufgabe: Weise die Wärmeströmung der Luft nach!

Durchführung:

Papierspirale, Stricknadel, Streichholzschnäbel.

Zeichne auf starkes Papier (Schnellhefterdeckel) unter Benutzung des Zirkels eine Spirale und schneide sie aus. Setze sie mit ihrem Mittelpunkt auf eine Nadelspitze, so daß die Nadel von der Papierspirale wendeltreppenförmig umgeben ist. Stecke die Nadel auf eine leere Schachtel und setze diese auf den Rand einer heißen Ofenplatte (Abb. 29).

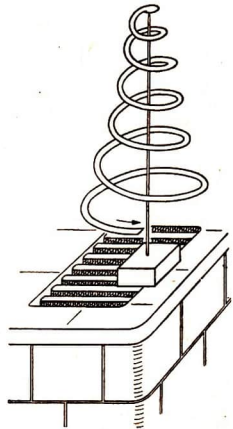


Abb. 29. Der vom warmen Ofen aufsteigende Luftstrom versetzt die Papierspirale in Drehung.

Auswertung: Die Spirale beginnt sich sofort zu drehen, weil sie durch den von der heißen Ofenplatte aufsteigenden Luftstrom angeblasen wird.

Die Wärmeströmung liegt manchen Vorgängen zugrunde, die du im täglichen Leben beobachtest. Warum haben wir z. B. in unseren Gebieten im Sommer überwiegend Westwind, im Winter dagegen Ostwind?

Die Wärmeströmung reguliert das Brennen der Flamme im Lampenzylinder: Über der Flamme steigt eine Strömung auf. Von unten her dringt frische Luft nach, so daß der Flamme laufend neuer Sauerstoff zugeführt wird.

Weitere technische Anwendungen: Zirkulationsklimaanlagen, Lufttüren für Messehallen mit ständigem Besucherstrom; auch die Wirkungsweise der Dampfkessel beruht darauf, daß Wärme von strömenden Gasen und Dämpfen übertragen wird.

Gase sind zwar schlechte Wärmeleiter, sie können aber Wärme durch Strömung übertragen.

N O T I Z E N

Gleiche Wärme — verschiedene Temperaturen (I)

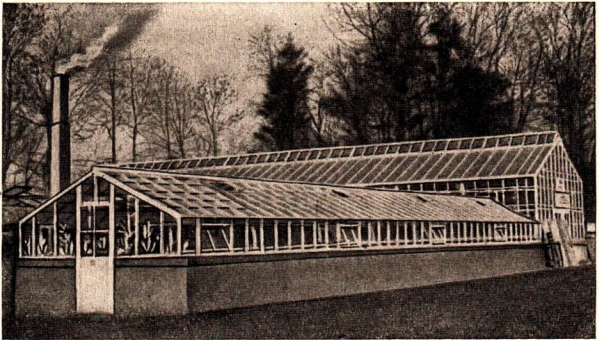


Abb. 30. Das Gewächshaus ist ein Wärmespeicher. Seine Glaswände lassen die Lichtstrahlen der Sonne hinein, aber die von ihnen erzeugte Wärme nicht wieder heraus.

Neben der Wärmeleitung und der Wärmeströmung gibt es eine dritte Art der Wärmeübertragung: die Wärmestrahlung. Sie ist nicht an uns bekannte Stoffe gebunden. Der für das Leben wichtigste Wärmestrahler ist die Sonne. Ihre Strahlen dringen durch den luftleeren Raum über eine Entfernung von etwa 150 Millionen Kilometer zu uns. Wie die Sonne, so strahlt jeder Körper, der wärmer ist als seine Umgebung, Wärme aus. Man stelle sich vor den geheizten Ofen!

Wir können beobachten, daß sich die von Wärmestrahlung durchsetzte Luft nicht merklich erwärmt, sonst dürfte sie mit zunehmender Höhe nicht kälter werden. Luft ist für Wärmestrahlung weitgehend durchlässig. Erst wenn die Wärmestrahlen auf Körper treffen, die sie nicht hindurchlassen, lösen sie Wärme aus. Aber auch diese Körper unterscheiden sich in ihrem Verhalten gegenüber den Wärmestrahlen, wie der folgende Versuch zeigt.

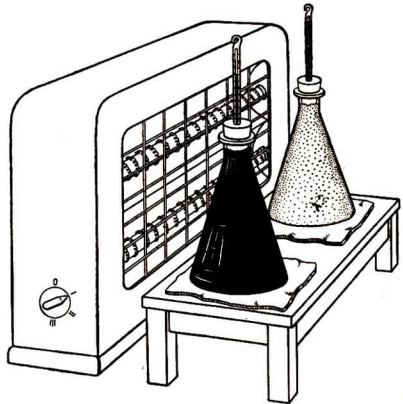
Aufgabe: Setze einen dunklen und einen hellen Körper der gleichen Wärmestrahlung aus und beobachte die Erwärmung!

Durchführung:

2 gleich große Erlenmeyerkolben, 2 Thermometer, 2 durchbohrte Stopfen.

Schwärze die Außenseite des einen Kolbens mit Ruß oder überklebe sie mit schwarzem Papier. Überklebe die Außenseite des anderen Kolbens mit Silberpapier oder Aluminiumfolie. Fülle beide Gefäße mit Leitungswasser und verschließe sie mit Stopfen. Führe durch die Stopfen Thermometer ein und lies die Temperaturen ab. Setze beide Gefäße der gleichen Wärmestrahlung aus, indem du sie einer heißen Ofenwand oder einem elektrischen Heizkörper gegenüber aufstellst. Lies nach einer Weile wieder die Temperaturen beider Flüssigkeitsmengen ab.

Abb. 31. In der dunklen Flasche erwärmt sich das Wasser schneller als in der hellen.



Auswertung: Während die Temperaturen beider Flüssigkeiten anfangs gleich waren, weist nach der Bestrahlung die Flüssigkeit des dunklen Kolbens eine höhere Temperatur auf als die des hellen. Der dunkle Kolben hat also mehr Wärme aufgenommen. Allgemein gilt: Dunkle Körper nehmen einen größeren Teil der Wärmestrahlen auf als helle. Letztere werfen einen größeren Teil der Wärmestrahlen zurück. Daher bevorzugen wir im Sommer helle Kleider. Kühlschränke sind, ebenso wie die Kühlwagen der Reichsbahn, weiß gestrichen. Das Aufnehmen von Strahlungen nennt man absorbieren, das Zurückwerfen reflektieren.

Was wir als Wärmestrahlen bezeichnen, sind, genauer betrachtet, Schwingungen oder Wellen, die ebenso durch Wellenlängen und Schwingungszahlen gekennzeichnet sind wie z. B. die aus der Akustik bekannten Schwingungen der Töne.

Die sichtbaren Wärmestrahlen (Lichtstrahlen) und die unsichtbaren Wärmestrahlen sind ihrer Natur nach gleich, nur ist die Wellenlänge der ersteren geringer als die der letzteren.

Dunkle Körper absorbieren mehr Wärmestrahlen als helle.

NOTIZEN

Gleiche Wärme — verschiedene Temperaturen (II)

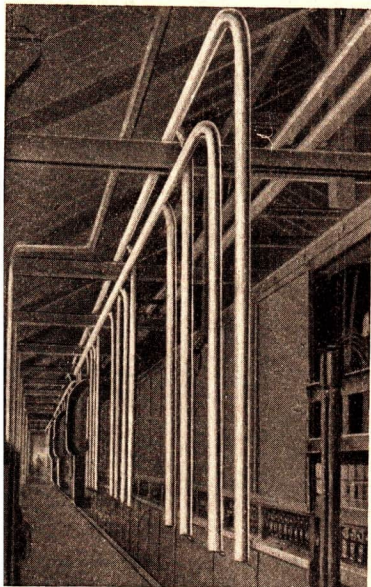


Abb. 32. Heißwasserbeheizter Rollentrockner in einem Sperrholzwerk. Die Hauptleitungsrohre von Heißwasser- oder Heißdampfanlagen werden nicht nur mit geeigneten Dämmstoffen wärmeisoliert. Das Asbesttuch oder der Blechmantel, die um den Wärmedämmstoff gelegt sind, werden zusätzlich mit Aluminiumbronze gestrichen, damit die Wärmeabstrahlung gemindert wird.

Nicht nur bei Wärmeaufnahme, sondern auch bei Wärmeabgabe durch Strahlung verhalten sich helle Körper anders als dunkle.

Aufgabe: Erhitze zwei Körper, die sich nur in der Farbe ihrer Oberfläche unterscheiden, auf die gleiche Temperatur und beobachte, mit welcher Geschwindigkeit ihre durch Wärmeabstrahlung verursachte Abkühlung erfolgt!

Durchführung:

2 gleich große Erlenmeyerkolben, 2 durchbohrte Gummistopfen, 2 Thermometer
Schwärze die Außenseite des einen Erlenmeyerkolbens mit Ruß oder überklebe sie mit schwarzem Papier, die des anderen dagegen überklebe mit Silberpapier oder Aluminiumfolie. Fülle beide Gefäße mit Wasser von etwa 80° und verschließe sie mit Stopfen. Führe durch die Stopfen Thermometer in das Wasser und lies die Temperatur ab. Stelle beide Kolben auf Stoffunterlagen an eine vor Wind geschützte Stelle und lies nach einer Weile die Temperaturen der Flüssigkeiten wieder ab (Abb. 33).

Auswertung: In der geschwärzten Flasche sinkt die Temperatur schneller als in der mit Silberpapier überklebten. Da Wärmezug durch Leitung oder Strömung weitgehend ausgeschaltet wurde, kommt nur Wärmeabgabe durch Strahlung in Betracht, und wir schließen: Dunkle Körper vermögen die Wärme stärker auszustrahlen (zu emittieren) als helle. Vereinigen wir diese Beobachtung mit dem Ergebnis des 15. Versuches, so können wir feststellen: Dunkle Körper absorbieren und emittieren die Wärmestrahlung stärker als helle. Je größer das Absorptionsvermögen eines Körpers, um so größer ist auch sein Emissionsvermögen. Technische Anwendungen: Heizplatten elektrischer Herde werden nicht poliert und verchromt, sondern nur mit dem Drehstahl bearbeitet und schwarz gebrannt bzw. schwarz gestrichen oder gebeizt. Die Kühlrippen der Motorradzylinder werden nicht glanzverchromt; man läßt sie matt, damit sie möglichst viel Wärme abgeben.

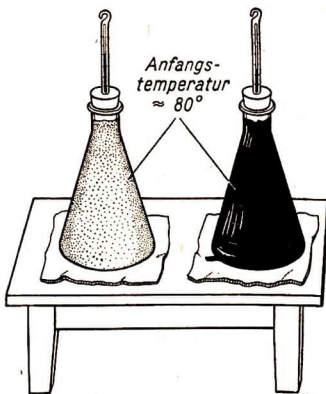


Abb. 33. In der dunklen Flasche kühlt sich das Wasser schneller ab als in der hellen.

Dunkle Körper strahlen die Wärme stärker aus als helle. Je größer das Absorptionsvermögen, um so größer das Emissionsvermögen eines Körpers.

Mischungstemperatur zweier Wassermengen

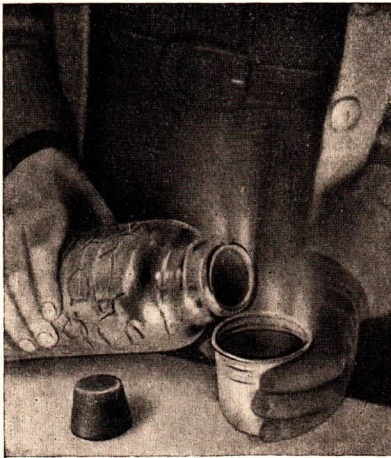


Abb. 34. Die Thermosflasche ist ein geeignetes Kalorimeter. Sie ist doppelwandig, und die dünnen Glaswände schließen einen nahezu luftleeren Raum ein. Dadurch wird die Wärmeübertragung durch Leitung und Strömung weitgehend unterbunden. Um auch eine Wärmeübertragung durch Strahlung zu verhindern, ist an der Innenseite der Außenwand eine Silberschicht angebracht (vgl. Versuch 16). Eine Flüssigkeit hält sich in der Thermosflasche längere Zeit kalt oder warm.

Bringt man zwei Stoffe von verschiedener Temperatur innig miteinander in Berührung, so nimmt die Temperatur des kälteren Stoffes zu, die des wärmeren ab, bis beide Körper die gleiche, die Mischungstemperatur, angenommen haben. Der eine Körper nimmt dabei so viel Wärme auf, wie der andere abgibt.

Aufgabe: Bestimme die Mischungstemperatur zweier Wassermengen verschiedener Temperatur experimentell und rechnerisch!

Durchführung:

Meßzylinder, Thermometer, 2 Bechergläser verschiedener Größe ($\approx 1000 \text{ cm}^3$), Bunsenbrenner, Korkstücke, Watte.

Schütze ein Becherglas gegen Wärmeverlust, indem du es unter Zuhilfenahme von Kork-

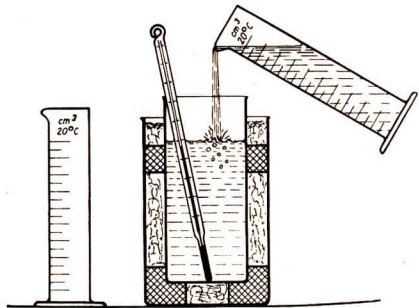


Abb. 35. Wir stellen uns ein Kalorimeter selbst her, indem wir zwei verschieden große Bechergläser ineinandersetzen.

stücken in ein größeres Glas stellt und den Raum zwischen beiden Gläsern locker mit Watte füllt (Abb. 35). Gieße in das so gewonnene Kalorimeter eine bestimmte Menge kaltes Wasser (m_1) und stelle die Temperatur (t_1) fest! Erhitze eine kleinere Menge (m_2) Wasser und miß ihre Temperatur (t_2). Mische nun beide, indem du das heiße Wasser in das kalte gießt. (Warum nicht umgekehrt?) Rühre um und miß die Mischungstemperatur (t).

Beispiel: Kaltes Wasser: $m_1 = 400 \text{ g}$, $t_1 = 18^\circ$
 warmes Wasser: $m_2 = 250 \text{ g}$, $t_2 = 60^\circ$
 (Spez. Wärme von Wasser $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$; vgl. Versuch 18)

Auswertung: Experimentell: Es wird eine Mischungstemperatur $t = 33^\circ$ gemessen.
 Rechnerisch: Die vom heißen Wasser abgegebene Wärmemenge ist

$$W_2 = m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c = 250 \text{ g} \cdot (60^\circ - t) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad},$$

die vom kalten Wasser aufgenommene Wärmemenge

$$W_1 = m_1 \cdot (t - t_1) \cdot c = 400 \text{ g} \cdot (t - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}.$$

Beide Wärmemengen sind gleich:

$$250 \text{ g} \cdot (60^\circ - t) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 400 \text{ g} \cdot (t - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}.$$

Hieraus ergibt sich die Mischungstemperatur t :

$$15000 \text{ cal} - t \cdot 250 \text{ cal/Grad} = t \cdot 400 \text{ cal/Grad} - 7200 \text{ cal}$$

$$t \cdot 650 \text{ cal/Grad} = 22200 \text{ cal}$$

$$t = \frac{22200 \text{ cal}}{650 \text{ cal/Grad}} \approx \underline{\underline{34,2^\circ}}.$$

Der Wert liegt zu hoch, weil wir nicht berücksichtigt haben, daß das heiße Wasser auch noch an Gefäßwand und Thermometer Wärme abgegeben hat. Bei genaueren Messungen ist diese Wärmemenge als der sogenannte Wasserwert (w) des Gefäßes wie folgt in Rechnung zu setzen:

Bei der vorliegenden Versuchsanordnung hat das innere Becherglas, das etwa 200 g wiegt, Wärme aufgenommen. Da die spezifische Wärme von Glas $0,2 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$ beträgt, ist die Wärmeaufnahme $w = 200 \text{ g} \cdot 0,2 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 40 \text{ cal/Grad}$, und die vom heißen Wasser abgegebene Wärmemenge erhöht sich um den Betrag $(t - 18^\circ) \cdot 40 \text{ cal/Grad}$. Die Rechnung ändert sich ab in

$$250 \text{ g} \cdot (60^\circ - t) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 400 \text{ g} \cdot (t - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} \\ + (t - 18^\circ) \cdot 40 \text{ cal/Grad}.$$

Hieraus ergibt sich $t \approx \underline{\underline{33,2^\circ}}$, ein Wert, der dem experimentell gefundenen sehr nahe kommt.

Die beschriebene Art der Bestimmung von Wärmemengen nennt man Kalorimetrie. Sie spielt in der Wärmelehre eine wichtige Rolle und wird z. B. angewendet bei der Bestimmung der spezifischen Wärme fester und flüssiger Stoffe sowie bei der Bestimmung der Schmelzwärme und der Verdampfungswärme (vgl. Versuche 18, 20 und 21). Auch zur angenäherten Bestimmung hoher Temperaturen wird sie verwendet (vgl. Versuch 19).

Bei inniger Berührung zweier Körper ist die vom wärmeren Körper abgegebene Wärmemenge gleich der vom kälteren Körper aufgenommenen Wärmemenge.

Bestimmung der spezifischen Wärme

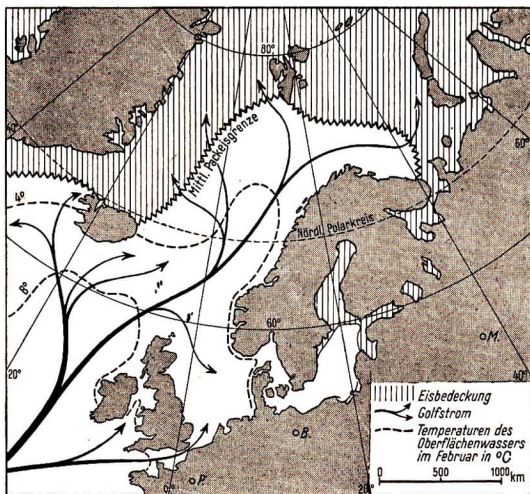


Abb. 36. Wasser ist wegen seiner hohen spezifischen Wärme als Träger großer Wärmemengen gut geeignet. Der wärmeführende Golfstrom mildert das Klima Nordeuropas stark und ermöglicht an den norwegischen Küsten stellenweise sogar den Anbau von Obst.

Unter der spezifischen Wärme eines Stoffes versteht man die in Kalorien (cal) gemessene Wärmemenge, die nötig ist, um 1 g des Stoffes um 1° zu erwärmen. Umgekehrt wird diese Wärmemenge frei, wenn man 1 g des Stoffes um 1° abkühlt. Die spezifische Wärme von Wasser ist $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$.

Aufgabe: Bestimme die spezifische Wärme von Eisen auf kalorimetrischem Wege!

Durchführung:

Becherglas, Kalorimeter, Bunsenbrenner, Thermometer, Eisenstücke ($\approx 300 \text{ g}$), Meßzylinder, Waage, Probiergläschen, Zange.

Wäge die Eisenstücke (m_2) und lege sie in ein Probiergläschen, an dessen Rand ein Tropfenfänger angebracht ist. Gieße eine bestimmte Menge (m_1) kaltes Wasser in das Kalorimeter und miß seine Temperatur (t_1). Tauche dann das Probiergläschen, indem du es mit einer Zange anfaßt, in siedendes Wasser, so daß das Eisen die Temperatur $t_2 = 100^\circ$ annimmt. Hebe das Probiergläschen aus dem Wasserbad und schütte die Eisenstücke vorsichtig in das kalte Wasser. Achte darauf, daß nicht Tropfen des siedenden Wassers in das Kalorimeter gelangen. Stelle dann die Mischungstemperatur t fest (Abb. 37).

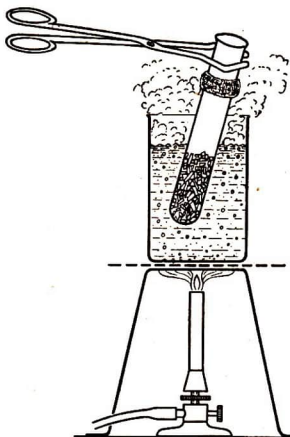
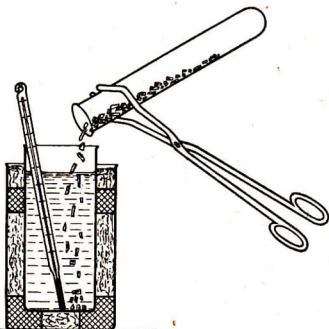


Abb. 37. Kalorimetrische Bestimmung der spezifischen Wärme von Eisen.



Beispiel: Wasser: $m_1 = 150 \text{ g}$, $t_1 = 18^\circ$
 Eisen: $m_2 = 300 \text{ g}$, $t_2 = 100^\circ$
 Mischungstemperatur: $t = 32^\circ$

Auswertung: Die gesuchte spezifische Wärme des Eisens sei c_2 . Dann ist die vom Eisen abgegebene Wärmemenge

$$W_2 = m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c_2 = 300 \text{ g} \cdot (100^\circ - 32^\circ) \cdot c_2$$

und — wenn man den Wasserwert des Kalorimeters unberücksichtigt läßt — die vom Wasser aufgenommene Wärmemenge

$$W_1 = m_1 \cdot (t - t_1) \cdot c = 150 \text{ g} \cdot (32^\circ - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 2100 \text{ cal.}$$

Setzen wir beide Wärmemengen gleich, so erhalten wir für c_2 die Bestimmungsgleichung

$$300 \text{ g} \cdot 68^\circ \cdot c_2 = 2100 \text{ cal} \text{ und daraus } c_2 = \frac{2100 \text{ cal}}{20400 \text{ g} \cdot \text{Grad}} \\ \approx \underline{\underline{0,1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}}}$$

Die spezifische Wärme von Eisen ist 10mal kleiner als die von Wasser. Das bedeutet: Will man die Temperatur einer Wassermenge um den gleichen Betrag erhöhen wie die eines Stückes Eisen von der gleichen Masse, so benötigt man 10mal so viel Kalorien.

Spezifische Wärme c in cal/g·Grad

Aluminium ... 0,22	Eisen 0,12	Kupfer 0,09	Silber 0,06
Blei 0,03	Glas 0,20	Messing 0,09	Wasser 1,0
Bronze 0,09	Gold 0,03	Quecksilber .. 0,03	Zink 0,09

Die spezifische Wärme des Eisens beträgt **0,1 cal/g·Grad**

Hohe Temperaturen mit gewöhnlichem Thermometer bestimmen



Abb. 38. Der Schmied schließt von der Glühfarbe auf die Temperatur des Eisens. Man kann sie aber auch mit einfachen Hilfsmitteln berechnen.

Wie bestimmt man angenähert die Temperatur eines Stückes glühenden Eisens, wenn die zur Messung hoher Temperaturen geeigneten Geräte, wie Thermoelemente oder Pyrometer, nicht zur Verfügung stehen? Die im Haushalt gebräuchlichen Thermometer reichen in der Regel nur für Temperaturmessungen bis höchstens 100° . Hier hilft wieder das kalorimetrische Verfahren.

Aufgabe: Bestimme die Temperatur eines rotglühenden Stückes Eisen auf kalorimetrischem Wege!

Durchführung:

Zange, Bunsenbrenner, Thermometer, Konservenbüchse ($\approx 500 \text{ cm}^3$), ein Stück Eisen ($\approx 50 \text{ g}$), Meßzylinder, Waage mit Gewichtssatz.

Miße im Meßzylinder eine Wassermenge (m_1) ab, fülle sie in eine Konservenbüchse und bestimme ihre Temperatur (t_1). Wäge ein Stück Eisen (m_2) und halte es mit der Zange in die Bunsenflamme, bis es rot glüht. Es hat jetzt die Temperatur t_2 , die wir bestimmen wollen. Bringe das Eisen schnell und vorsichtig in das Wasser (Deckel auflegen!), rühre um und stelle die Mischungstemperatur (t) fest (Abb. 39)!

Beispiel:

Wasser: $m_1 = 250 \text{ g}$, $t_1 = 18^{\circ}$ (spez. Wärme $c_1 = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$)

Eisen: $m_2 = 50 \text{ g}$, $t_2 = ?$ (spez. Wärme $c_2 = 0,12 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$)

Mischungstemperatur: $t = 34^{\circ}$.

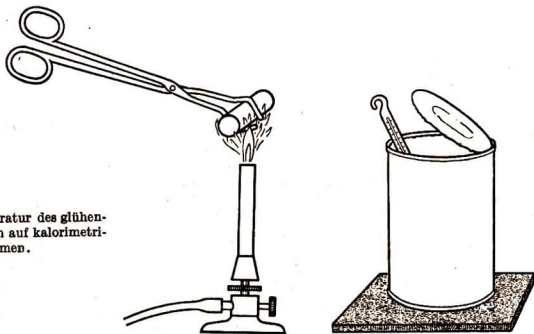


Abb. 39. Die Temperatur des glühenden Eisens läßt sich auf kalorimetrischem Wege bestimmen.

Auswertung: Aus diesen Werten läßt sich die gesuchte Temperatur t_2 des glühenden Eisens ermitteln, wenn man die von ihm abgegebene Wärmemenge W_2 berechnet und sie der vom Wasser aufgenommenen Wärmemenge W_1 gleichsetzt.

Vom Eisen abgegebene Wärmemenge:

$$W_2 = m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c_2 = 50 \text{ g} \cdot (t_2 - 34^\circ) \cdot 0,12 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad.}$$

Vom Wasser aufgenommene Wärmemenge:

$$W_1 = m_1 \cdot (t - t_1) \cdot c_1 = 250 \text{ g} \cdot (34^\circ - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad.}$$

Durch Gleichsetzung $W_2 = W_1$ findet man t_2 :

$$50 \text{ g} \cdot (t_2 - 34^\circ) \cdot 0,12 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 250 \text{ g} \cdot 16^\circ \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$$

$$(t_2 - 34^\circ) \cdot 6 \text{ cal/Grad} = 4000 \text{ cal}$$

$$t_2 \cdot 6 \text{ cal/Grad} - 204 \text{ cal} = 4000 \text{ cal}$$

$$t_2 = \frac{4204 \text{ cal}}{6 \text{ cal/Grad}} \approx \underline{\underline{700^\circ}}$$

Das Ergebnis ist nur ein Näherungswert, da ein Teil der Wärme des Eisens von der Gefäßwand aufgenommen wurde, ein Teil mit dem entstandenen Wasserdampf abgezogen ist. Überlege dir, wie das Ergebnis dadurch beeinflusst wurde!

Rotglühendes Eisen hat eine Temperatur von etwa 700°.

NOTIZEN

Die Schmelzwärme des Eises



Abb. 40. Wegen seiner hohen Schmelzwärme hält sich Eis in wärmerer Umgebung längere Zeit. Man bettet daher leicht verderbliche Nahrungsmittel, z. B. Fische, in Eis und kann sie dann unbesorgt auch im Sommer zum Versand bringen.

Während des Schmelzens nimmt jeder Körper eine bestimmte Wärmemenge auf, ohne dabei seine Temperatur zu erhöhen (vgl. Versuch 2). Diese Wärmemenge heißt Schmelzwärme. Dieselbe Wärmemenge gibt der Körper ab, wenn er — bei der Erstarrungstemperatur — vom flüssigen in den festen Zustand übergeht. Diese abgegebene Wärme nennt man Erstarrungswärme.

Aufgabe: Bestimme die Schmelzwärme des Eises auf kalorimetrischem Wege!

Durchführung:

Eis, Meßzylinder, Kalorimeter, Thermometer.

Fülle das Kalorimeter mit einer bestimmten Menge Wasser (m_2) von höherer Temperatur. Miß die Temperatur des Wassers (t_2). Trockne ein Stück Eis ($t_1 = 0^\circ$) von Walnußgröße (m_1) mit Fließpapier sorgfältig ab und laß es dann in das Wasser gleiten. Rühre um, bis das Eis restlos geschmolzen ist und miß dann die Mischungstemperatur (t). Stelle die Menge des jetzt im Kalorimeter befindlichen Wassers ($m = m_1 + m_2$) mit Hilfe des Meßzylinders fest (Abb. 41).

Beispiel:

Eis: $m_1 = ? \text{ g}, t_1 = 0^\circ$

Wasser: $m_2 = 250 \text{ g}, t_2 = 50^\circ$ (spez. Wärme $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$)

Mischung von Wasser und geschmolzenem Eis: $m = m_1 + m_2 = 310 \text{ g}, t = 25,5^\circ$

Masse des Eises: $m_1 = m - m_2 = 310 \text{ g} - 250 \text{ g} = 60 \text{ g}$.

Auswertung: Bezeichnet man die Schmelzwärme, die nötig ist, um 1 g Eis von 0° in Wasser von 0° überzuführen, mit S (in cal/g), so ergeben sich die folgenden Ausdrücke:

Die vom Eis aufgenommene Wärmemenge ist

$$W_1 = m_1 \cdot (t - t_1) \cdot c + m_1 \cdot S \\ = 60 \text{ g} \cdot (25,5^\circ - 0^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} \\ + 60 \text{ g} \cdot S.$$

Die vom Wasser abgegebene Wärmemenge ist

$$W_2 = m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c \\ = 250 \text{ g} \cdot (50^\circ - 25,5^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}.$$

Durch Gleichsetzung von W_1 und W_2 findet man S :

$$60 \text{ g} \cdot 25,5^\circ \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} + 60 \text{ g} \cdot S \\ = 250 \text{ g} \cdot 24,5^\circ \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$$

$$60 \text{ g} \cdot S = 6125 \text{ g} - 1530 \text{ g} = 4595 \text{ g}$$

$$S = \frac{4595 \text{ cal}}{60 \text{ g}} \approx 76,6 \text{ cal/g}$$

$$S \approx 77 \text{ cal/g}.$$

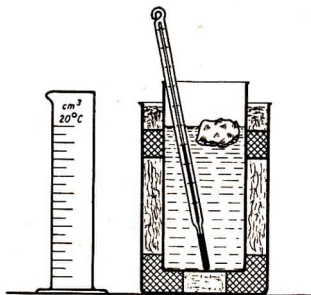


Abb. 41. Kalorimetrische Bestimmung der Schmelzwärme des Eises.

In der untenstehenden Tabelle findest du für die Schmelzwärme des Eises den genauen Wert 79,7 cal/g angegeben. Wie erklärt sich der Unterschied? Führe die Rechnung noch einmal durch, indem du für den Wasserwert des Gefäßes 10 cal/Grad einsetzt!

Die Schmelzwärme des Eises ist im Verhältnis zur Schmelzwärme anderer Stoffe groß. Aus diesem Grunde hält sich Eis in warmer Umgebung lange.

Umgekehrt wird beim Gefrieren von Wasser eine verhältnismäßig große Wärmemenge frei. Sie läßt sich z. B. dazu verwenden, in Kellerräumen die Temperatur einige Zeit am Sinken zu hindern, indem man Gefäße mit Wasser aufstellt. Dieses gefriert bei stärkerem Frost und gibt dabei Wärme ab.

Schmelzwärme S in cal/g

Blei	6	Platin	24
Eis	79,7	Quecksilber ..	2,7
Eisen	64	Silber	25
Gold	15	Zink	24
Kupfer	49	Zinn	14

Zum Schmelzen von 1 Gramm Eis ist die verhältnismäßig große Wärmemenge von 79,7 Kalorien nötig.

NOTIZEN

Die Kondensationswärme des Wasserdampfes

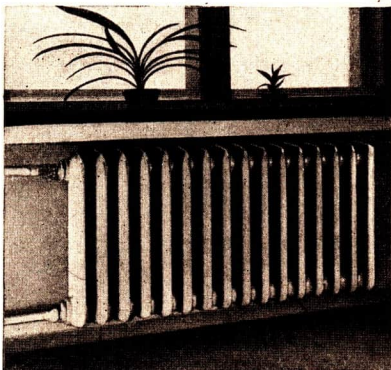


Abb. 42. Bei der Dampfheizung wird die hohe Kondensationswärme des Wasserdampfes ausgenutzt. Der in einem Kessel erzeugte Dampf strömt in Stahlrohre und kondensiert an den Wänden der Heizkörper unter Abgabe von Wärme. Das Kondenswasser fließt in den Kessel zurück.

Unter Verdampfungswärme versteht man die Wärmemenge, die 1 g der siedenden Flüssigkeit in Dampf derselben Temperatur überführt (vgl. Versuch 2). Die gleiche Wärmemenge wird frei, wenn sich der Dampf kondensiert, d. h. verflüssigt. Man spricht dann von Kondensationswärme.

Aufgabe: Stelle die Kondensationswärme von Wasserdampf kalorimetrisch fest!

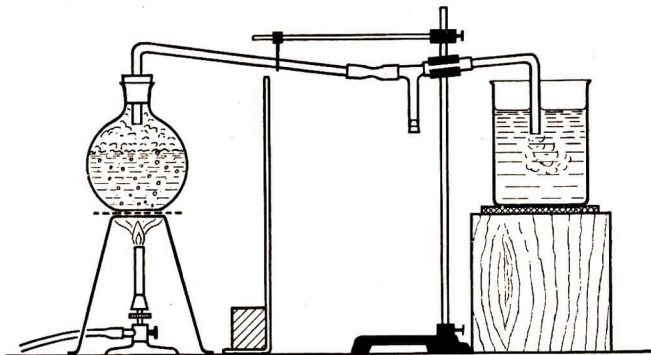


Abb. 43. Kalorimetrische Bestimmung der Kondensationswärme von Wasserdampf.

Durchführung:

Becherglas ($\approx 250 \text{ cm}^3$), Thermometer, Kochflasche, durchbohrter Stopfen, Dreifuß, Brenner, 2 winkelförmig gebogene Glasröhrchen, T-förmiges Glasrohr, Waage, Stativ mit Muffen und Klemmen, Gummischlauchstücke.

Wäge das Becherglas leer (m) und mit etwa $\frac{1}{4}$ l kaltem Wasser gefüllt ($m + m_1$). Miß die Temperatur des Wassers (t_1). Bringe Wasser zum Sieden, und zwar in einer Kochflasche, durch deren Stopfen der Wasserdampf ($t_2 = 100^\circ$) über ein gewinkeltes Glasrohr, ein angeschlossenes T-Rohr und ein weiteres gewinkeltes Glasrohr ins Freie treten kann. Befestige die Glasröhrchen so an einem Stativ, daß der Weg nach dem T-Stück zu abfällt (Abb. 43). Leite den Dampfstrom erst eine Zeitlang ins Freie und dann in das Wasser im Glas, das vom Brenner durch eine Schutzwand getrennt ist. Unterbrich nach einer Weile die Dampfzufuhr, rühre das Wasser um und miß seine Temperatur (t). Wäge schließlich wiederum das gefüllte Becherglas ($m + m_1 + m_2$, wobei m_2 die Masse des aus dem Dampf entstandenen Wassers ist).

Beispiel: Glas: $m = 30 \text{ g}$

Glas und Wasser vor Dampfzufuhr: $m + m_1 = 237 \text{ g}$

Wasser: $m_1 = 237 \text{ g} - 30 \text{ g} = 207 \text{ g}$, $t_1 = 18^\circ$ (spez. Wärme $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$)

Glas und Wasser nach Dampfzufuhr: $m + m_1 + m_2 = 252 \text{ g}$

Zugeführter Dampf: $m_2 = 252 \text{ g} - 30 \text{ g} - 207 \text{ g} = 15 \text{ g}$, $t_2 = 100^\circ$

Mischungstemperatur: $t = 58^\circ$.

Auswertung: Die Kondensationswärme von Wasserdampf sei F in cal/g. Das Wasser im Becherglas hat an Wärme aufgenommen

$$W_1 = m_1 \cdot (t - t_1) \cdot c = 207 \text{ g} \cdot (58^\circ - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad.}$$

Vom Dampf dagegen wurde an Wärme abgegeben

1. bei der Kondensation $m_2 \cdot F$,

2. bei der Abkühlung auf die Mischungstemperatur $m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c$, zusammen

$$W_2 = m_2 \cdot F + m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c = 15 \text{ g} \cdot F + 15 \text{ g} \cdot (100^\circ - 58^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad.}$$

Durch Gleichsetzen beider Wärmemengen ergibt sich F :

$$207 \text{ g} \cdot 40^\circ \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} = 15 \text{ g} \cdot F + 15 \text{ g} \cdot 42^\circ \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$$

$$8280 \text{ cal} = 15 \text{ g} \cdot F + 630 \text{ cal}$$

$$15 \text{ g} \cdot F = 8280 \text{ cal} - 630 \text{ cal} = 7650 \text{ cal}$$

$$F = \frac{7650 \text{ cal}}{15 \text{ g}} = \underline{\underline{510 \text{ cal/g}}}$$

Vergleiche diese Zahl mit der, die du in untenstehender Tabelle findest. Dort ist für die Verdampfungswärme des Wassers der Wert 539 cal/g angegeben. Der im Versuch gefundene Wert ist zu klein, weil wir nicht berücksichtigt haben, daß der Wasserdampf auch an Glasgefäß und Thermometer Wärme abgegeben hat. Führe die Rechnung nochmals durch, indem du einen Wasserwert von 10 cal/g einsetzt!

Wie die Tabelle zeigt, ist die Verdampfungswärme des Wassers verhältnismäßig groß. Umgekehrt gibt Wasserdampf bei Kondensation viel Wärme ab. Diese Tatsache nutzt man bei der Dampfheizung aus.

Verdampfungswärme F in cal/g

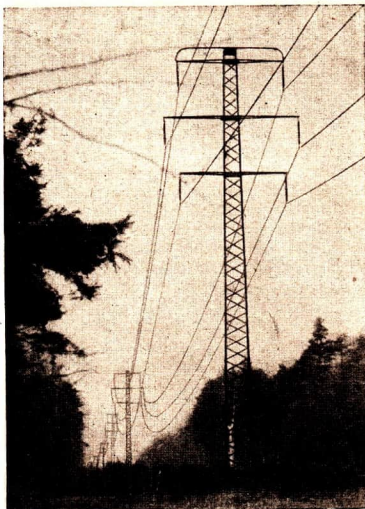
Äther 86	Benzol 94	Chlor 62	Sauerstoff . 51	Stickstoff 48
Alkohol . . . 201	Blei 203	Quecksilber 68	Schwefel .. 79	Wasser .. 539

Um 1 Gramm Wasser von 100° zu verdampfen, ist die verhältnismäßig große Wärmemenge von 539 cal nötig. Dieselbe Wärmemenge wird frei, wenn sich 1 g Wasserdampf verflüssigt.

VERSUCH 22

Ausdehnungskoeffizient von Messing

Abb. 44. Beim Spannen elektrischer Freileitungen muß der vorgeschriebene Durchhang eingehalten werden. Dieser hängt unter anderem von der Temperatur ab. Er wird um so größer gewählt, je höher die Temperatur beim Verlegen ist. Der Durchhang verhindert, daß im Leitungsdraht zu hohe Zugspannungen auftreten, wenn er sich in der kalten Jahreszeit zusammenzieht.



Der lineare Ausdehnungskoeffizient α eines festen Körpers ist das Verhältnis „Längenänderung zu ursprünglicher Länge“ bei Erwärmung um 1° . Nennen wir l die ursprüngliche Länge und λ die Längenänderung bei Erwärmung von der Temperatur t_1 auf die Temperatur t_2 , so ist $\alpha = \frac{\lambda}{l(t_2 - t_1)}$. Um den Ausdehnungskoeffizienten eines festen Körpers zu berechnen, müssen wir die Anordnung des Versuches 7 etwas abändern, da sie in dieser Form eine genaue Bestimmung der Temperaturerhöhung und der Längenänderung nicht gestattet.

Aufgabe: Bestimme den linearen Ausdehnungskoeffizienten von Messing!

Durchführung:

Messingrohr von etwa $\frac{1}{2}$ m Länge, Bunsenbrenner, Erlenmeyerkolben, Dreifuß, durchbohrter Stopfen, kurzes Glasröhrchen, Gummischlauch, Rasierklinge, Strohalm, Stecknadel, Zentimeterskala.

Ersetze in der Anordnung des Versuches 7 die Eisenstange durch ein Messingrohr und verbinde das eine Ende durch einen Gummischlauch mit einem Erlenmeyerkolben. Lege das Rohr mit dem anderen Ende auf die Schneide einer Rasierklinge, an der als Zeiger ein etwa 30 cm langer Strohalm mit einer Nadelspitze angebracht ist. Bringe in Höhe der Spitze eine Zentimeterskala an, an der du die Bewegung des Zeigers ablesen kannst. Miß nun die Raumtemperatur (t_1) und lies die Zeigerstellung ab (Abb. 45). Bringe dann das Wasser in dem Kolben zum Sieden. Der Wasserdampf strömt durch das Messingrohr und erhitzt es auf 100° (t_2). Indem es sich ausdehnt, dreht es die Klinge um ihre untere Schneide und mit der Klinge den Zeiger. Warte, bis dieser zur Ruhe gekommen ist, und lies wiederum seine Stellung auf der Skala ab. Aus beiden Zeigerstellungen ergibt sich die Zeigerver-

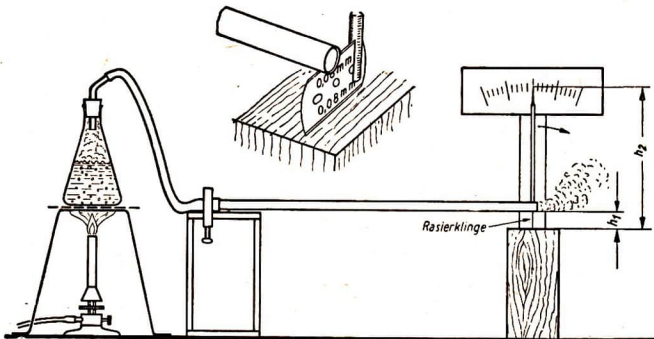


Abb. 45. Quantitative Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten von Metallen.

schiebung s . Zur Berechnung der Längenänderung λ des Rohres ist ferner die Breite (h_1) der Klinge sowie der Abstand (h_2) von der unteren Schneide bis zur Zeigerspitze zu messen.

Beispiel: $l = 500$ mm, $t_1 = 18^\circ$, $t_2 = 100^\circ$, $s = 12$ mm, $h_1 = 22$ mm, $h_2 = 380$ mm

Auswertung: Die Verlängerung des Rohres wird von der Zeigerspitze in vergrößertem Maßstabe angezeigt. Nach dem für ähnliche Dreiecke geltenden Strahlensatz verhält sich die Rohrverlängerung λ (Verschiebung der oberen Schneide) zur Verschiebung s der Zeigerspitze wie die Klingebreite h_1 zur Zeigerlänge h_2 .

Wir erhalten

$$\lambda : s = h_1 : h_2 \quad \text{oder} \quad \lambda = \frac{s \cdot h_1}{h_2} = \frac{12 \text{ mm} \cdot 22 \text{ mm}}{380 \text{ mm}} \approx 0,7 \text{ mm}.$$

Nun finden wir

$$\alpha = \frac{\lambda}{l(t_2 - t_1)} = \frac{0,7 \text{ mm}}{500 \text{ mm} (100^\circ - 18^\circ)} = \frac{0,7}{41000} \frac{1}{\text{Grad}} \approx \underline{0,000017} \frac{1}{\text{Grad}}.$$

Man erhält ein genaueres Ergebnis, wenn man die Anfangstemperatur (t_1) des Rohres genauer bestimmt. Zu dem Zwecke führt man zuerst Leitungswasser hindurch, mißt dessen Temperatur und liest die Zeigerstellung ab.— Der genaue Wert für α beträgt $0,000018 \frac{1}{\text{Grad}}$.

Bei der Berechnung wird angenommen, daß die Ausdehnung des Messingrohres in dem durchlaufenen Temperaturbereich gleichmäßig erfolgt. Diese Annahme ist im Rahmen der hier erzielbaren Genauigkeit berechtigt.

Auch für andere Metalle und Glas läßt sich der lineare Ausdehnungskoeffizient auf die beschriebene Art angenähert bestimmen.

Lineare Ausdehnungskoeffizienten α in $1/\text{Grad}$

Aluminium 0,000023	Eisen 0,000012	Silber 0,000020
Blei 0,000029	Quarz 0,000001	Zink 0,000036

Der lineare Ausdehnungskoeffizient von Messing beträgt $0,000018 \frac{1}{\text{Grad}}$.

Das bedeutet: Bei Erwärmung um 100° dehnt sich eine 1 m lange Messingstange um 1,8 mm aus.

Ausdehnungskoeffizient von Luft

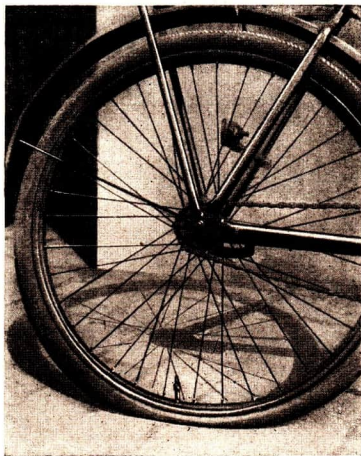


Abb. 46. Stelle dein Fahrrad nicht in die pralle Sonne! Die in den Schläuchen eingeschlossene Luft hat das Bestreben, sich bei Erwärmung stark auszudehnen, und kann, wenn du fest aufgepumpt hast, ihre Hüllen sprengen.

Unter dem räumlichen Ausdehnungskoeffizienten γ eines Stoffes versteht man das Verhältnis der durch 1° Erwärmung hervorgerufenen Volumenzunahme zu dem Volumen bei 0° . Hat eine Gasmenge bei den Temperaturen 0° und t die Volumina V_0 bzw. V_t , so

$$\text{ist } \gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 \cdot t}.$$

Aufgabe: Bestimme den Ausdehnungskoeffizienten der Luft!

Durchführung:

Erlenmeyerkolben, durchbohrter Gummistopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr, Becherglas, Thermometer, Eis, Meßzylinder, Stativ mit Klemmschrauben.

Verschiebe einen Erlenmeyerkolben mit einem Stopfen und führe durch diesen ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr, in das du vorher einen Tropfen gefärbtes Wasser gebracht hast. Der Wassertropfen schließt ein bestimmtes Luftvolumen ab und hält es unter Atmosphärendruck. Bringe die Flasche in ein Eiswasserbad von 0° (Abb. 47). Der Tropfen wandert zur Flasche hin. Markiere seine Stellung, nachdem er zur Ruhe gekommen ist. Dann setze die Flasche in ein Wasserbad von Raumtemperatur (t), beachte die entgegengesetzt gerichtete Bewegung des Tropfens und markiere seine endgültige Stellung.

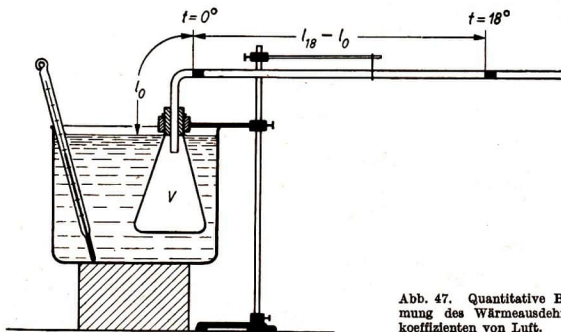


Abb. 47. Quantitative Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten von Luft.

Miß nun folgende Größen:

die Temperatur t des Wassers;

das Volumen V des Kolbens, indem du ihn bis zum unteren Stopfenrand mit Wasser füllst und dieses dann in einen Meßzylinder bringst;

das Volumen des Glasröhrchens, indem du es mit Wasser füllst und dessen Menge im Meßzylinder bestimmst; errechne daraus das Volumen v je cm, indem du die ermittelte Wassermenge durch die Meßzahl der in cm gemessenen Röhrchenlänge teilst;

die den beiden Tropfenstellungen entsprechenden Röhrchenlängen l_0 und l_t (vom unteren Stopfenrand aus).

Beispiel:

$$t = 18^\circ$$

$$V = 62 \text{ cm}^3$$

$$v = 0,125 \text{ cm}^3/\text{cm}$$

$$l_0 = 4 \text{ cm}$$

$$l_t = l_{18} = 37 \text{ cm}$$

Auswertung: Aus den gemessenen Größen ergibt sich:

$$V_0 = V + l_0 \cdot v = 62 \text{ cm}^3 + 4 \text{ cm} \cdot 0,125 \text{ cm}^3/\text{cm} = 62,5 \text{ cm}^3$$

$$V_{18} = V + l_{18} \cdot v = 62 \text{ cm}^3 + 37 \text{ cm} \cdot 0,125 \text{ cm}^3/\text{cm} = 66,625 \text{ cm}^3$$

Hieraus läßt sich der Ausdehnungskoeffizient der Luft bestimmen:

$$\gamma = \frac{V_{18} - V_0}{V_0 \cdot 18^\circ} = \frac{4,125 \text{ cm}^3}{62,5 \text{ cm}^3 \cdot 18^\circ} \approx 0,00367 \frac{1}{\text{Grad}} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{\text{Grad}}$$

Mit der Temperatur ändert sich auch das Volumen der Glasgeräte. Da aber der Ausdehnungskoeffizient von Glas gegenüber dem von Luft sehr gering ist, kann die Volumenänderung der Geräte bei der Berechnung unberücksichtigt bleiben.

Führt man den gleichen Versuch mit anderen Gasen durch, so erhält man stets nahezu das gleiche Resultat.

Wird eine Luftmenge um 1° erwärmt, so dehnt sie sich bei konstant gehaltenem Druck um den 273ten Teil des Volumens aus, das sie bei 0° einnimmt.

Wärme aus Arbeit

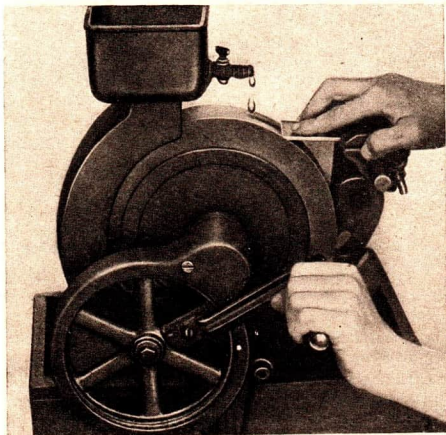


Abb. 48. Das Bild zeigt ein eindrucksvolles Beispiel für die Tatsache, daß sich Arbeit in Wärme verwandelt. Die von der linken Hand verrichtete Arbeit, die im Drehen der Kurbel besteht, tritt teilweise an der rechten Hand in Form von Wärme wieder in Erscheinung. Damit diese durch Reibung am Schleifstein entstandene Wärme die Schneide des Hobeisens nicht zu stark erhitzt, wird mit Wasser gekühlt.

Wärme ist eine Form der Energie, die auf der Bewegung der kleinsten Bauteile eines Stoffes, seiner Moleküle, beruht. Einen Körper erwärmen bedeutet, die Bewegung seiner Moleküle verstärken. Um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen, braucht man ihm nicht unbedingt Wärme zuzuführen. Dazu sind auch andere Energieformen geeignet, z. B. elektrische Energie oder Energie in Gestalt von Reibungs- oder Verformungsarbeit. Dabei geht Energie von einer Form (z. B. mechanische Energie bzw. Arbeit, gemessen in kpm) in eine andere (Wärme, gemessen in kcal) über. Die Arbeit, die verrichtet werden muß, um eine Wärmemenge von einer Kalorie zu erzeugen, nennt man das *mechanische Wärmeäquivalent*.

Aufgabe: Bestimme, welche Arbeit (in kpm) einer Wärmemenge von 1 kcal entspricht!

Durchführung:

Pappröhre, 2 Stopfen aus Holz oder Kork, feines Bleischrot, Thermometer, kleiner Kork.

Schließe das eine Ende einer etwa 1 m langen Pappröhre von 5 cm Durchmesser mit einem Stopfen fest ab. Fülle sie mit 1 kg feinem Bleischrot (Masse $m = 1$ kg, also Gewicht $G = 1$ kp). Stecke dann auf das andere Ende der Röhre einen zweiten Stopfen, in dem du eine der Dicke deines Thermometers entsprechende Durchbohrung angebracht hast.

Beide Stopfen müssen fest sitzen und dick sein, damit sie die Wärme nicht weggleiten. Verstärke sie gegebenenfalls durch Aufkleben von Pappscheiben (Abb. 49).

Führe das Thermometer etwa 5 cm in das Rohr ein, laß das Bleischrot vorsichtig daraufgleiten und miß dessen Temperatur (t_1). Dann vertausche das Thermometer mit einem gut sitzenden Kork, fasse das Rohr in der Mitte und halte es senkrecht. Nun kippe es schnell und vorsichtig 50mal (n -mal) um 180° , so daß das Bleischrot jeweils von dem oberen Ende des Rohres nach dem unteren fällt. Vermeide alle unnötigen Bewegungen und achte darauf, daß das Schrot nicht auf den Wänden abwärts gleitet, sondern senkrecht fällt.

Führe nun das Thermometer wieder ein, laß das Schrot daraufgleiten und lies die Temperatur ab (t_2). Zum Schluß miß die Fallstrecke (h). Sie ist gleich der Länge der Pappröhre, vermindert um die Längen der in das Rohr ragenden Stopfenteile sowie um die Höhe der Schrotlage bei senkrechter Rohrstellung.

Beispiel: $m = 1 \text{ kg}$ $h = 0,855 \text{ m}$ $t_1 = 18,2^\circ$
 $G = 1 \text{ kp}$ $n = 50$ $t_2 = 21,3^\circ$

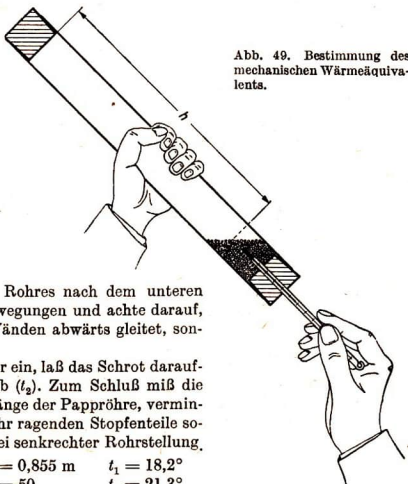


Abb. 49. Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents.

Auswertung: Bei diesem Vorgang wird Arbeit in Wärme verwandelt. Die Arbeit besteht im Heben des Bleischrotes. Beim Fallen erhält das Schrot Bewegungsenergie. Diese setzt sich, da das Schrot unelastisch ist, während des Auftreffens ganz in Wärme um. Die Arbeit wird nach dem Grundgesetz der Mechanik berechnet: Arbeit ist Kraft mal Weg. In der Versuchsanordnung ist die wirkende Kraft das Gewicht G des Bleischrotes, und der Weg ist gleich dem n -fachen der Fallstrecke h . Für die Arbeit A ergibt sich daraus

$$A = G \cdot h \cdot n = 1 \text{ kp} \cdot 0,855 \text{ m} \cdot 50 = 42,8 \text{ kpm.}$$

Die im Bleischrot erzeugte Wärmemenge (W) berechnet man aus dem Unterschied der Temperaturen vor und nach der 50maligen Kippung. Da die spezifische Wärme von Blei $c = 0,03 \text{ kcal/kg} \cdot \text{Grad}$ beträgt, ergibt sich

$$W = m \cdot (t_2 - t_1) \cdot c = 1 \text{ kg} \cdot 3,1^\circ \cdot 0,03 \text{ kcal/kg} \cdot \text{Grad} = 0,093 \text{ kcal.}$$

Es entsprechen sich also folgende Werte:

$$A \cong W$$

$$42,8 \text{ kpm} \cong 0,093 \text{ kcal} = 93 \text{ cal}$$

$$1 \text{ kpm} \cong \frac{93}{42,8} \text{ cal} \approx 2,17 \text{ cal}$$

$$1 \text{ kcal} \cong \frac{42,8}{0,093} \text{ kpm} \approx 460 \text{ kpm}$$

Bei genauer Messung würde sich ergeben: $1 \text{ kcal} \cong 427 \text{ kpm}$. Die Ungenauigkeit erklärt sich daraus, daß bei der behelfsmäßigen Versuchsanordnung ein Teil der im Bleischrot erzeugten Wärme in die Umgebung abfließt. — Beim Aufpumpen eines Fahrrades wird ebenfalls Arbeit in Wärme verwandelt. Auch beim spanlosen und spanabhebenden Verformen eines Werkstückes entsteht Wärme, z. B. beim Walzen, Bohren oder Fräsen. Auch Lagerreibung erzeugt Wärme.

Der Wärmemenge 1 kcal ist eine Arbeit von 427 kpm gleichwertig.

Wärme aus elektrischer Energie

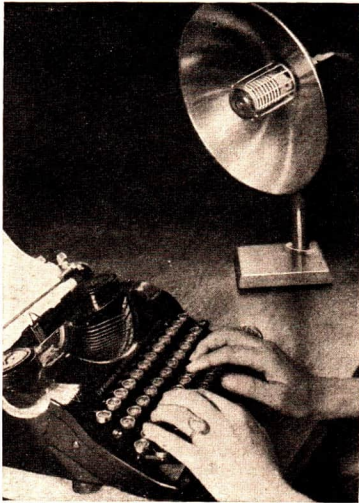


Abb. 50. Die „Sonne“ auf dem Tisch verwandelt elektrische Energie in Wärme. Der elektrische Heizkörper hat den Vorteil, daß er innerhalb eines Raumes frei beweglich ist und daß seine Wärmewirkung auf ganz bestimmte Objekte, z. B. auf die schreibende Hand oder auf nasse Gegenstände, gerichtet werden kann.

Ebenso wie mechanische Energie läßt sich auch elektrische Energie in Wärme umwandeln. Fließt in einem dünnen Draht elektrischer Strom, so wird der Draht heiß. Elektrische Energie wird in Kilowattstunden gemessen, Wärmeenergie in Kilokalorien. Die elektrische Energie, die der Wärmemenge 1 kcal entspricht, nennt man das elektrische Wärmeäquivalent.

Aufgabe: Bestimme das elektrische Wärmeäquivalent mit Hilfe eines Tauchsieders!

Durchführung:

Kalorimeter, Tauchsieder (500 W), Thermometer, Meßzylinder, Uhr mit Sekundenzeiger.

Fülle ein Kalorimeter mit 1 l Leitungswasser (m) und miß die Temperatur (t_1). Erwärme das Wasser mit einem Tauchsieder von bekannter Leistung (N) und stelle dann wiederum die Temperatur (t_2) des Wassers fest (Abb. 51).

Beispiel: $m = 1000 \text{ g}$

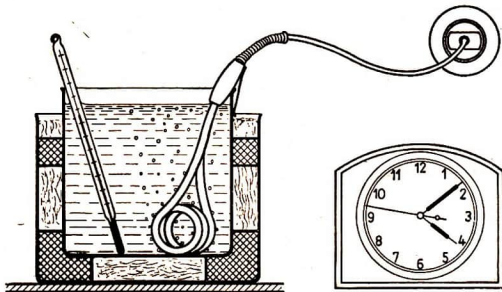
$t_1 = 18^\circ$

$t_2 = 45,5^\circ$ (spez. Wärme des Wassers $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad}$)

$N = 500 \text{ W} = 0,5 \text{ kW}$

$t = 4 \text{ min} = \frac{1}{15} \text{ h}$

Abb.51. Bestimmung des elektrischen Wärmeäquivalents.



Auswertung: Wir berechnen die elektrische Energie A , die der Tauchsieder dem Netz entnommen hat, indem wir das Produkt aus Leistung und Zeit bilden. Dann ermitteln wir die Energie W , die das Wasser in Form von Wärme aufgenommen hat, wobei wir den Wasserwert des Gefäßes mit $w = 40$ cal/Grad ansetzen.

$$A = N \cdot t = 0,5 \text{ kW} \cdot \frac{1}{15} \text{ h} = \frac{1}{30} \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} W &= m \cdot (t_2 - t_1) \cdot c + (t_2 - t_1) \cdot w \\ &= 1000 \text{ g} \cdot (45,5^\circ - 18^\circ) \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot \text{Grad} + (45,5^\circ - 18^\circ) \cdot 40 \text{ cal/Grad} \\ &= 27,5^\circ \cdot 1040 \text{ cal/Grad} = 28,6 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Nun setzen wir die beiden Energiemengen gleich ($A \cong W$) und erhalten:

$$\frac{1}{30} \text{ kWh} \cong 28,6 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} \cong 28,6 \cdot 30 \text{ kcal} = 858 \text{ kcal} \approx 860 \text{ kcal}$$

Daraus ergibt sich für das elektrische Wärmeäquivalent:

$$1 \text{ kcal} \cong \frac{1}{860} \text{ kWh} = 0,00116 \text{ kWh}$$

Die Versuche 24 und 25 zeigen, daß man Energie von einer Form in eine andere umwandeln kann. Neben der mechanischen Energie, der elektrischen Energie und der Wärmeenergie gibt es noch andere Arten, z. B. die chemische Energie und die Strahlungsenergie. Alle diese Energiearten formt der Mensch mit Hilfe von Maschinen nach Bedarf ineinander um. Dabei fließt immer ein Teil als Wärmeenergie an die Umgebung ab und geht für den vorgesehenen Zweck verloren. Unter Einbeziehung dieser als Wärme an die Umgebung abgeflossenen Energiemenge gilt der von HELMHOLTZ aufgestellte grundlegende Satz von der Erhaltung der Energie. Er wird als der *1. Hauptsatz der Wärmelehre* bezeichnet und besagt:

Energie kann weder verlorengehen noch aus nichts entstehen, sondern nur von einer Form in andere Formen übergehen.

VERZEICHNIS DES BENÖTIGTEN MATERIALS

Äther	Glastrichter	Stopfen aus Kork und aus
Bechergläser	Gummischläuche	Gummi, verschiedene
Bleischrot	Kochflasche	Größen, mit und ohne
Bunsenbrenner	Kochsalz	Durchbohrungen
Drahtgewebe (Metallsieb)	Konservenbüchse	Stricknadeln
Dreifuß mit Drahtnetz	Messingrohr	Strohhalme
Eis	Meßzylinder	Tauchsieder
Eisenstange	Papprohre	Thermometer (Quecksilber-
Eisenstücke	Probiergläsern	füllung)
Erlenmeyerkolben	Rasierklinge	Waage mit Gewichtssatz
Glasröhrchen (gerade, winkel-	Stativ mit Muffen und	Watte
förmig, T-förmig, U-förmig,	Klemmen	Zange
L-förmig)		Zentimetermaß

FACHAUSDRÜCKE UND FREMDWÖRTER

Abkürzungen: bergm. = bergmännisch, gr. = griechisch, lat. = lateinisch, phys. = physikalisch, techn. = technisch, —> siehe die Erklärung dieses Wortes

Absorption, die (lat. *absorbere* 'verschlucken'), die Fähigkeit eines Stoffes, Wärmestrahlen aufzunehmen. Ein Körper kann Wärmestrahlen absorbieren, reflektieren (zurückwerfen) oder durchlassen.

Anomalie, die, ungewöhnliches Verhalten. Anomalie des Wassers: Während sich alle Stoffe bei Erwärmung ausdehnen, verkleinert Wasser sein Volumen, wenn man es von 0° auf 4° erwärmt. Bei 4° erreicht es seine größte Dichte.

Atmosphäre, die, Maßeinheit des Luftdruckes; phys.: 1 Atm = 760 mm QS (Quecksilbersäule bei 0°) = 760 Torr = 1,033 kp/cm²; techn.: 1 at = 735 mm QS = 735 Torr = 1 kp/cm².

Barometer, das (gr. *barys* 'schwer'), Gerät zum Messen des Luftdruckes. Beim Quecksilberbarometer halten sich der Luftdruck und eine Quecksilbersäule, deren Höhe vom Luftdruck abhängig ist, das Gleichgewicht.

Bewitterung, bergm.: Leitung des Luftstromes im Bergwerk zwecks Zuführung von Frischluft und Wegleitung verbrauchter Luft oder schädlicher Gase.

Bunsenbrenner, von dem Chemiker *Bunsen* konstruierter Gasbrenner. Das dem Brenner zuströmende Gas saugt Luft an und verbrennt dadurch mit nicht leuchtender, sehr heißer Flamme.

Cellophan, das, dünne durchsichtige Blätter, hergestellt aus der zähflüssigen Viskose (einer Lösung von Zellulose in Schwefelkohlenstoff und Natronlauge), die in einem Fällbad erhärtet wurde.

Dichte, Verhältnis der Masse eines Stoffes zu seinem Rauminhalt; Formelzeichen ρ (Rho), in g/cm³, kg/dm³ oder t/m³.

Druck, Kraft je Flächeneinheit, gemessen z. B. in kp/cm², at, Torr = mm QS. Vgl. —> Atmosphäre.

Emission, die (lat. *emittere* 'ausschicken'), Ausstrahlung jeder Art, hier insbesondere die Wärme-

ausstrahlung. Dunkle Körper emittieren mehr Wärme als helle.

Erlenmeyerkolben, Kolbenflasche aus Glas in kegelförmiger Ausführung.

Erstarrungswärme, Wärmemenge, die beim Erstarren von 1 g eines Stoffes frei wird; dem Betrag nach gleich der —> Schmelzwärme.

Geruchverschluss, U-förmig gekrümmter Teil eines Abflußrohres, der ständig mit Wasser gefüllt bleibt und dadurch das Austreten überlichsender Gase aus Scheusen oder Abwässergruben verhindert; z. B. bei Wasserklosetts oder Ausgüssen.

Golfstrom, warme Meeresströmung, die den Atlantik von Südwest nach Nordost durchquert und das Klima Nordeuropas mildert.

Gramm, das, Kurzzeichen g, im physikalischen Maßsystem: Einheit der Masse. 1 g ist die Masse von 1 cm³ Wasser bei 4°; 1000 g = 1 kg.

Helmholtz, Hermann von (1821 bis 1894), Naturforscher, stellte den Satz von der Erhaltung der Energie auf.

Hydrant, der (gr. *hydor* 'Wasser'), Anschlußstelle für größere Schlauchleitungen (z. B. Feuerwehrschläuche) an die in der Erde liegenden Wasserleitungsrohre.

Kalorie, die, Kurzzeichen cal (lat. *calor* 'Wärme'), diejenige Wärmemenge, die 1 g Wasser um 1° erwärmt. 1000 cal = 1 kcal.

Kalorimeter, das, wärmeisoliertes Gefäß zur Bestimmung von Wärmemengen.

Kilopondmeter, das, Kurzzeichen kpm, Einheit der mechanischen Arbeit. Die Arbeit 1 kpm wird z. B. verrichtet, wenn die Kraft 1 kp längs des Weges 1 m wirkt.

Kondensation, die (lat. *condensare* 'verdichten'), Verdichten von Dämpfen zu Flüssigkeiten durch Abkühlung oder Druck.

Kondensationswärme, Wärmemenge, die beim Kondensieren von 1 g eines Stoffes frei wird; dem Betrag nach gleich der \rightarrow Verdampfungswärme.

Kondenswasser, Wasser, das sich durch Abkühlen von Wasserdampf bildet. \rightarrow Kondensation.

Kühlmischung, oder Kältemischung, eine Mischung von Eis und Salz. Bei der Bildung der Salzlösung kühlt sich die Mischung infolge der Lösungswärme des Salzes und der Schmelzwärme des Eises stark ab. Mit 1 Teil Kochsalz (Natriumchlorid) und 3 Teilen Eis erhält man Temperaturen unter 20° Kälte, mit 7 Teilen Kalziumchlorid und 10 Teilen Eis Temperaturen unter 50° Kälte.

Molekül, das (lat. *molecula* 'kleine Masse'), kleinstes Teilchen eines Stoffes (einer chem. Verbindung oder eines Elements), das durch mechanische Zerlegung des Stoffes herstellbar ist; durch chemische Vorgänge in Atome zerlegbar.

Niet, der, Rundmetallbolzen mit Kopf, dient zum Verbinden von Blechen.

Pond, das, Kurzzeichen p, im technischen Maßsystem: Einheit der Kraft und des Gewichtes: 1 p ist das Gewicht der Masse 1 g unter 45° geogr. Breite in Meeresspiegelhöhe. 1000 p = 1 kp, 1000 kp = 1 Mp (Megapond). — Das Gewicht eines Körpers ist vom Ort abhängig, seine Masse dagegen nicht.

Probierglas, einseitig zugeschmolzenes Röhrchen aus schwer schmelzbarem Glas für chemische und physikalische Versuche.

Pyrometer, das (gr. *pyr* 'Feuer'), Meßgerät, das durch Vergleich der Helligkeit glühender Flächen das Bestimmen hoher Temperaturen ermöglicht.

qualitativ (lat. *qualis* 'wie beschaffen'), der Beschaffenheit nach, wertmäßig; bei qualitativen Versuchen ermittelt man Gesetzmäßigkeiten, ohne auf die zahlenmäßigen Verhältnisse einzugehen.

quantitativ (lat. *quantus* 'wie groß'), der Größe, Menge oder Zahl nach; bei quantitativen Versuchen führt man Zahlenrechnungen zur Bestimmung von Werten durch.

Reflexion, die (lat. *reflectere* 'zurückwenden'), das Zurückwerfen von Wellen (z. B. Licht-, Schall- oder Wasserwellen) an Wänden, die für die betreffende Wellenart undurchlässig sind.

Schacht, der, bergm.: der meist senkrecht nach unten verlaufende Teil des Grubenbaus, von dem die waagerechten „Strecken“ ausgehen.

Schienenstoß, Luftspalt zwischen den Enden zweier aufeinanderfolgender Eisenbahnschienen; verhindert, daß die bei Erwärmung erfolgende Verlängerung ein Verbiegen der Schienen hervorruft.

Schlacke, die, Nebenprodukt bei der Verhüttung von Erzen; leitet die Wärme schlecht und wird daher zur Wärmeisolation verwendet.

schlagendes Wetter, bergm.: explosives Gasgemisch, z. B. Gemisch von Luft und Methan.

Schmelzwärme, Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 g eines Stoffes bei Schmelztemperatur vom festen in den flüssigen Zustand überzuführen. Das Zuführen der Schmelzwärme bewirkt keine Temperaturerhöhung. Beim Erstarren wird diese Wärmemenge wieder frei (\rightarrow Erstarrungswärme).

spezifische Wärme, Wärmemenge, die nötig ist, um 1 g eines Stoffes um 1° zu erwärmen. Die spez. Wärme ist für Wasser 1 cal/g-Grad, für Glas 0,2 cal/g-Grad.

Strahlensatz, ein Lehrsatz aus der Geometrie, der besagt: Werden die Schenkel eines Winkels von einem Parallelenpaar geschnitten, so verhalten sich die beiden Parallelstrecken wie die zugehörigen, vom Scheitel aus gemessenen Abschnitte auf jedem Schenkel.

Thermoelement, das, Gerät zum Messen von Temperaturen. Beruht auf der Tatsache, daß an der Lötstelle zweier verschiedener Metalle bei Erwärmung elektrischer Strom entsteht. Das Thermoelement wird zum Messen hoher und tiefer Temperaturen verwendet.

Thermoskop, das, Gerät, das Temperaturschwankungen anzeigt.

Torr, das, nach dem Physiker *Torricelli* genannt Maßeinheit des Luftdruckes. 1 Torr = 1 mm QS (Quecksilber-Säule), 760 Torr = 760 mm QS = 1 Atm (\rightarrow Atmosphäre) = 1,033 kp/cm².

Verdampfungswärme, Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 g eines Stoffes bei Siedetemperatur vom flüssigen in den gasförmigen Zustand überzuführen. Das Zuführen der Verdampfungswärme bewirkt keine Temperaturerhöhung. Bei der Kondensation wird diese Wärmemenge wieder frei (\rightarrow Kondensationswärme).

Verdunstung, der unterhalb des Siedepunktes erfolgende Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand.

Watt, das, Kurzzeichen W, elektrische Einheit der Leistung: 1000 W = 1 kW.

Wichte, die (spezifisches Gewicht, Raumeinheitgewicht), Verhältnis des Gewichtes eines Stoffes zu seinem Rauminhalt; Formelzeichen γ (Gamma), in p/cm³, kp/dm³ oder Mp/m³.

BILDNACHWEIS

Die Fotos stellen zur Verfügung: Hamann, Leipzig (1, 3, 6, 10, 12, 14, 18, 20, 22, 24, 30, 34, 40, 42, 44, 46, 50); Riemer, Rathenow (32); Heinze, Bitterfeld (38); Rothe, Plauen (48).

Zeichnungen: Heidenreuter, Leipzig (36); Dornbusch, Leipzig (alle übrigen).

INHALTSVERZEICHNIS

Qualitative Versuche

Anderung der Zustandsform

1. Eine Thermometerskala wird geprüft.....	4
2. Fest - flüssig - gasförmig	6
3. Abkühlung durch Verdampfen	8
4. Das Sinken des Eisschmelzpunktes unter Druck ...	10
5. Gefrierpunkterniedrigung bei Wasser durch Zugabe von Salz	12
6. Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus	14

Wärmeausdehnung

7. Die Eisenstange dehnt sich aus	16
8. Das Thermoskop	18
9. Anomalie des Wassers	20

Wärmeleitung

10. Das Drahtnetz über der Flamme	22
11. Eis neben kochendem Wasser	24
12. Der Wassertropfen auf der Herdplatte	26

Wärmeströmung

13. Modell einer Warmwasserheizung.....	28
14. Warum dreht sich die Papierspirale?	30

Wärmestrahlung

15. Gleiche Wärme - verschiedene Temperaturen (I) ..	32
16. Gleiche Wärme - verschiedene Temperaturen (II) .	34

Quantitative Versuche

Wärmemischung

17. Mischungstemperatur zweier Wassermengen	36
18. Bestimmung der spezifischen Wärme	38
19. Hohe Temperaturen mit gewöhnlichem Thermometer bestimmen	40
20. Die Schmelzwärme des Eises	42
21. Die Kondensationswärme des Wasserdampfes	44

Wärmeausdehnung

22. Ausdehnungskoeffizient von Messing.....	46
23. Ausdehnungskoeffizient von Luft.....	48

Energieumwandlung

24. Wärme aus Arbeit	50
25. Wärme aus elektrischer Energie	52

Verzeichnis des benötigten Materials.....	54
---	----

Fachausdrücke und Fremdwörter	54
-------------------------------------	----