VOLK UND WISSEN
SAMMELBÜCHEREI
NATUR UND WISSEN

PHYSIK

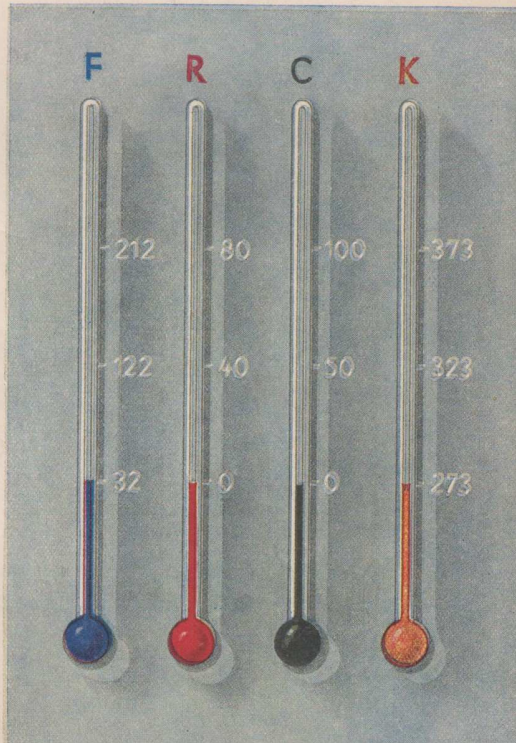
SERIE B • BAND 1
EINZELBAND 60 PFG.

* * * *

VOM WESEN DER WÄRME

BEGRIFFE UND GESETZE UM WÄRME UND KÄLTE

Thermometer: Zur Temperaturmessung dienen Thermometer, deren Skala willkürlich festgelegt worden ist. In der theoretischen Physik benutzt man die Einteilung von Lord Kelvin (K), die mit dem absoluten Nullpunkt beginnt. Diesem entsprechen in Celsiusgraden (C) ausgedrückt —273°. Die Réaumurskala (R) besitzt als Nullpunkt wie die Celsiusskala die Temperatur des schmelzenden Eises, während die Temperatur des siedenden Wassers von Réaumur mit 80° und von Celsius mit 100° bezeichnet wurde. Fahrenheit (F) ordnete dem Schmelzpunkt des Eises die Temperatur +32°, dem Siedepunkt des Wassers die Temperatur +212° zu.



VOLK UND WISSEN
VERLAGS GMBH · BERLIN/LEIPZIG

Diesen Band verfaßte Dr. Ernst Estel, Leipzig · Die Text- und Umschlagzeichnungen sind nach Angaben des Verfassers von Otto Berger, Leipzig, angefertigt worden

VOM WESEN DER WÄRME

BEGRIFFE UND GESETZE UM WÄRME UND KÄLTE

VOLK UND WISSEN SAMMELBÜCHEREI
NATUR UND WISSEN · SERIE B · BAND 1

VOLK UND WISSEN
VERLAGS GMBH · BERLIN/LEIPZIG

INHALT

Vorwort 3
I. Die Temperatur 5
II. Das Thermometer 5
III. Die Wärmeausdehnung 6
IV. Die Wärmemenge 8
V. Die spezifische Wärme 9
VI. Die Wärmekapazität 10
VII. Wärme und Arbeit 10
VIII. Die Messung der spezifischen Wärme . 12
IX. Das Schmelzen und Verdampfen . . . 13
X. Die Gasgesetze 18
XI. Die Wärmekraftmaschine 20
XII. Der Wärmeaustausch 22
XIII. Die Nahrungsmittel als Wärmequelle . 25
XIV. Kinetische Wärmetheorie 27
Nachwort 30
Fach- und Fremdwörter 31

In Futura gesetzt von Offizin Haag-Drugulin in Leipzig (M-103) 47/1389 · Umschlagdruck der Peter-Presse in Leipzig (M-111) 4439 und des Innenteils von Fischer & Wittig in Leipzig (M-165) A 87 · Bestell-Nr. 12511 · G.-Nr. A 20296
100. Tausend 1947.

Alle Rechte vorbehalten

PREIS 60 PFENNIG

V O R W O R T

Abb. 1 Optische Täuschungen

Wenn wir uns über irgendeinen Naturvorgang Klarheit verschaffen, ihn in Zusammenhang mit anderen Erscheinungen bringen und ihm schließlich in theoretischer Durchdringung einen mathematischen Ausdruck verleihen wollen, steht in den meisten Fällen das Experiment, die Beobachtung dieses Vorganges an der Spitze unserer Betrachtungen. Überall dort, wo wir gezwungen sind, unsere Sinne in den Ablauf des Geschehens einzubeziehen, laufen wir jedoch Gefahr, zu Fehlschlüssen zu gelangen. Wie wenig wir unseren Sinnen trauen dürfen, ist ja hinlänglich bekannt, wenn wir uns — nur um ein Beispiel zu nennen — an die optischen Täuschungen erinnern. So scheinen parallele Geraden zusammen- oder auseinanderzulaufen, wenn wir sie mit schrägen Strichen durchkreuzen (vgl. Abb. 1). Die Geraden A, B, C, D, E, F sind in Wirklichkeit parallel.

Es ist also stets scharfe Kritik an allem zu üben, was wir beobachten und zu prüfen, inwieweit eine Verfälschung durch uns selbst den wahren Sachverhalt verzerrt. Diese sogenannten subjektiven Fehler suchen wir nun weitgehend durch Instrumente auszuschalten, die die charakteristischen Eigenschaften des betreffenden Naturvorganges registrieren oder anzeigen und uns selbst nur das Ab-

lesen einer Zeigerstellung auf einer Skala verbleibt. Allerdings müssen wir uns hierbei im klaren darüber sein, daß wir durch Einbringen eines Fremdkörpers, den ein Meßinstrument darstellt, in vielen Fällen den Ablauf des Vorganges störend beeinflussen.

Ein besonders typisches Beispiel hierfür sind die Begriffe «warm» und «kalt». Diese beziehen sich, wie so viele andere auch, rein subjektiv auf den Beobachter und noch mehr, sogar auf seinen augenblicklichen Zustand, in dem er sich gerade zufällig befindet. So wird ein Fieberkranker einen für einen Gesunden warmen Raum als kalt, oder ein aus einer kalten Umgebung Kommender einen ungeheizten Raum als warm bezeichnen. Wir sehen hieraus, daß die Begriffe «warm» und «kalt» äußerst dehnbar sind, und damit noch nicht genug. Unsere Sinne sind von einem gewissen Punkt an nicht mehr in der Lage, zwischen kalt und heiß zu unterscheiden. Wir müssen also hieraus den Schluß ziehen, daß unser Körper für Naturvorgänge dieser Art ein völlig untaugliches Meßinstrument ist.

I.

DIE TEMPERATUR

Um das Relative in der Beurteilung von kalt und warm zu beseitigen, ist zunächst ein Begriff entstanden, der als Temperatur bezeichnet wird. Wir ordnen somit einer Wärmeempfindung, die wir kalt oder warm nennen, eine eindeutig bestimmte tiefe oder hohe Temperatur zu. Diese Zuordnung muß dann, wenn sie physikalisch einwandfrei und zur Beurteilung der Wärmezustände brauchbar sein soll, zu einem Meßinstrument hinführen, das völlig objektiv arbeitet, bei dem also die subjektive Beurteilung des Beobachters ausgeschaltet ist. Solche Instrumente gibt nun die Natur selbst zur Hand, und zwar durch eine später noch zu besprechende Eigenschaft aller Stoffe, sich bei Erwärmung auszudehnen und bei Abkühlung zusammenzuziehen. Es ist hierbei völlig gleichgültig, ob wir zur Anzeige der Temperatur Gas, Flüssigkeiten oder feste Stoffe heranziehen.

II.

DAS THERMOMETER

Instrumente zur Bestimmung von Temperaturen nennen wir Thermometer. Diese sind so beschaffen, daß die durch Erwärmen oder Abkühlen eintretende Volumenänderung der Thermometersubstanz an einer Skala beobachtet, abgelesen und mit einem Zahlwert belegt werden kann. Die meist gebräuchlichen Thermometer bestehen aus einem Glasgefäß, in dem sich die Thermometerflüssigkeit, z. B. Quecksilber oder Weingeist befindet, die bei Erwärmung in einem an dem Gefäß angebrachten Kapillarröhrchen emporsteigen kann. Die Skala und ihre Einteilung in Grade, die dann einem bestimmten Wärmezustand eine bestimmte Temperatur zuordnet, ist, da zunächst kein Naturgesetz uns hierüber Vorschriften macht, frei wählbar und daher manchen Wandlungen unterworfen gewesen. Heute benutzen wir ausschließlich die CELSIUS-Skala, benannt nach dem schwedischen Mathematiker und Astronomen CELSIUS (1701—1744). Nach Übereinkunft wurde als Nullpunkt der Skala die Temperatur des schmelzenden

Eises gewählt. Es sei besonders betont, daß diese Festsetzung eine reine Willkür bedeutet und im wesentlichen Zweckmäßigkeitsgründen entspricht. Wird nun das Thermometer in siedendes Wasser getaucht, wobei zu beachten ist, daß der Luftdruck 760 mm Quecksilbersäule betragen muß, so wird jetzt an das Ende des Flüssigkeitsfadens 100 geschrieben. Durch Einteilung dieses Temperaturintervalles in einhundert gleiche Teile entsteht der Begriff des Temperaturgrades, besser des Celsiusgrades.

Die Temperaturskala ist nach hohen Temperaturen beliebig fortsetzbar, dagegen nicht nach tiefen Temperaturen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß es Temperaturen unterhalb $-273{,}2°$ nicht gibt, so daß es nahe lag, diese tiefstmögliche Temperatur als den Nullpunkt einer neuen Temperaturskala zu wählen. Da dieser Nullpunkt ein absoluter ist, nennt man diese Skala auch die absolute Temperaturskala oder nach WILLIAM THOMSON, genannt LORD KELVIN (englischer Physiker, 1824–1907), der sie einführte, die KELVINskala. Diese Skala bedeutet für die theoretische Behandlung aller wärmetechnischen Fragen eine große Vereinfachung und hat deshalb dort eine große Bedeutung gewonnen (siehe Titelbild).

III.

DIE WÄRMEAUSDEHNUNG

Das Verhalten aller Körper, sich bei Erwärmung auszudehnen, gab uns die Möglichkeit, wie wir oben gesehen haben, ein Thermometer herzustellen. Wir wollen nun diese Eigenschaft näher betrachten und eine physikalische Formulierung für sie finden. Denken wir uns zu diesem Zwecke einen Metallstab von 1 cm Länge, den wir um 1° erwärmen, so beobachten wir eine ganz bestimmte Längenänderung. Diese Längenänderung heißt der lineare Ausdehnungskoeffizient des betreffenden Materials. Es ist dann die Ausdehnung eines Stabes von beliebiger Länge bei einer beliebig großen Temperaturdifferenz durch das Produkt aus Ausdehnungskoeffizient, Stablänge und Temperaturdifferenz gegeben.

Betrachten wir jetzt einen dreidimensionalen Körper, der sich also nicht nur in einer linearen Richtung, sondern in allen drei räumlichen Richtungen aus-

dehnen kann, so kommen wir zum Begriff des räumlichen Ausdehnungskoeffizienten, der gleich dem Dreifachen des linearen Ausdehnungskoeffizienten ist.

Da Flüssigkeiten keine eigene Gestalt besitzen, sie also zur Messung immer in ein Gefäß gebracht werden müssen, spielt bei ihnen nur ihr räumlicher Ausdehnungskoeffizient eine Rolle. Dieser sowohl wie der lineare Ausdehnungskoeffizient fester Körper ist streng genommen nicht ganz unabhängig von der Ausgangstemperatur unseres Versuches, so daß zur Angabe des Ausdehnungskoeffizienten noch die Bezugstemperatur gehört. In der Tabelle I sind für einige Substanzen die Ausdehnungskoeffizienten zusammengestellt.

TABELLE I — Ausdehnungskoeffizienten einiger Substanzen für 18°

Messing	0,0000185	Zink	0,0000286	Quecksilber	0,00018
Aluminium	0,0000218	Äther	0,00163	Wasser	0,00018
Blei	0,0000290	Alkohol	0,00110	Diamant	0,0000013
Eisen	0,0000120	Glyzerin	0,00050	Glas	0,0000081
Kupfer	0,0000162	Petroleum	0,00092	Quarzglas	0,0000005

Einen für den Haushalt der Natur bedeutungsvollen Verlauf zeigt die Ausdehnung des Wassers (vgl. Abb. 2). Erwärmen wir Wasser von 0°, so nimmt zunächst sein Rauminhalt (Volumen) ab, um bei 4° seinen kleinstmöglichen Wert zu erreichen. Danach wächst er allmählich wieder an, erreicht bei 8° dieselbe Größe wie bei 0° und steigt schließlich immer rascher an. Wenn also Wasser von 4° das kleinste Volumen besitzt, hat es bei dieser Temperatur seine größte Dichte, d. h. Wasser von 4° ist schwerer als Wasser von höherer oder tieferer Temperatur. Daher kommt es, daß genügend tiefe Gewässer im Winter nicht durchfrieren, weil sich am Boden und in bodennahen Schichten das abgesunkene Wasser von 4° befindet.

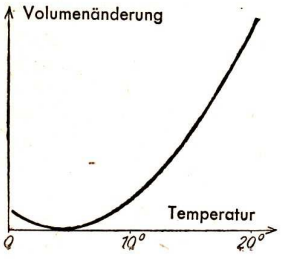


Abb. 2: Volumenänderung des Wassers bei Erwärmung

Auch Gase dehnen sich bei Erwärmung aus. Bringen wir ein Gas in einen Kolben, der ein Glasrohr trägt, in dem sich ein Flüssigkeitstropfen befindet, so kann bei Temperaturerhöhung aus der Verschiebung des Tropfens die Volumenvergrößerung bestimmt werden (vgl. Abb. 3). Experimente zeigen, daß die Volumenänderungen proportional zur Temperaturänderung verlaufen; für den Ausdehnungskoeffizienten ergibt sich der Zahlenwert 1/273,2. Dieser steht in engem Zusammenhang mit dem oben angegebenen Wert für den absoluten Nullpunkt.

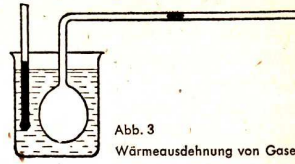


Abb. 3
Wärmeausdehnung von Gasen

IV.

DIE WÄRMEMENGE

Wenn wir z. B. ein Gefäß mit Wasser erwärmen wollen, müssen wir es mit einer Wärmequelle (Ofen, Gasflamme, Heizkörper) in Berührung bringen. Von der Wärmequelle wandert die Wärme in das Wasser hinein und ruft dort eine Temperaturerhöhung hervor. Es besteht also ein Unterschied zwischen Temperatur und dem von einem geheizten Körper ausgehenden, geheimnisvollen «Stoff», den wir schlechthin Wärme nennen. Früher hat man sich unter Wärme einen wirklichen Stoff vorgestellt. Verstehen wir auch heute etwas anderes unter Wärme, so übernehmen wir doch die anschauliche Vorstellung, daß es sich hierbei um etwas handelt, das wir mengenmäßig erfassen können. So ist es zu verstehen, wenn der Begriff der Wärmemenge entstanden ist.

Einer sich nicht verändernden, sondern gleichmäßig brennenden Gasflamme können wir in gleichen Zeiten immer gleichbleibende Wärmemengen entziehen, ebenso wie uns ein gleichmäßig laufender Wasserstrahl in gleichen Zeiten immer gleiche Wassermengen liefert. Die Wärmemengen werden in den sogenannten Wärmeeinheiten gemessen, die den Namen Kalorien tragen. Unter einer Kalorie wollen wir nun diejenige Wärmemenge verstehen, die nötig ist, um 1 Gramm Wasser um 1° zu erwärmen (genau genommen von 14,5°

auf 15,5°). Eine solche Wärmemenge heißt auch eine kleine Kalorie und wird cal abgekürzt. Sollen 1000 Gramm Wasser um 1° erwärmt werden, so sind dann 1000 cal erforderlich, die eine große Kalorie oder Kilokalorie (Cal) genannt werden.

V.

DIE SPEZIFISCHE WÄRME

Wir lernten die Kalorie kennen als eine bestimmte Wärmemenge, der wir 1 oder 1000 Gramm Wasser zuführen müssen, um eine Temperaturerhöhung von 1° zu erzielen. Fertigen wir uns jetzt aus verschiedenen Stoffen, etwa Metallen aller Art, Glas, Holz usw. kleine Körper von je 1 Gramm an und bringen diese, wie zuvor das Wasser, in Berührung mit derselben Wärmequelle, so beobachten wir, daß bereits nach kürzerer Zeit, als es beim Wasser der Fall war, die Temperatur eines solchen Körpers um 1° gestiegen ist. Da die Wärmequelle als unverändert angenommen wird, haben jetzt die untersuchten Körper eine geringere Wärmemenge aufgenommen als vorher das Wasser; d. h. zu ihrer Erwärmung um 1° ist weniger als 1 cal erforderlich. Diese für die Substanz oder Art des betreffenden Körpers charakteristische Wärmemenge ist seine spezifische Wärme.

Hat also irgendein Stoff die spezifische Wärme 0,5, so bedeutet diese Zahlenangabe, daß nur eine halb so große Wärmemenge wie beim Wasser, nämlich eine halbe Kalorie, zur Erzielung der gleichen Temperaturdifferenz, also von 1°, einem Gramm dieses Stoffes zugeführt werden muß.

Die Tabelle II vermittelt einen Überblick über die spezifischen Wärmen einiger Metalle und anderer Substanzen.

TABELLE II — Spezifische Wärme einiger Metalle und anderer Substanzen

Aluminium	0,214	Kupfer	0,091	Diamant	0,12
Blei	0,031	Nickel	0,106	Glas	0,19
Eisen	0,111	Platin	0,032	Äthylalkohol	0,58
Gold	0,031	Silber	0,055	Wasser	1,00

VI.

DIE WÄRMEKAPAZITÄT

Kapazität bedeutet im allgemeinen soviel wie Fassungsvermögen. Der physikalische Sinn der Wärmekapazität ist jedoch ein ganz anderer. Es ist nämlich die Wärmekapazität diejenige Wärmemenge, die man einem Körper zuführen muß, um ihn um 1° zu erwärmen. Hiermit können wir den Zusammenhang zwischen der Kalorie als Einheit der Wärmemenge, der spezifischen Wärme und der Wärmekapazität herleiten; denn es wird die Wärmekapazität eines Körpers dann zahlenmäßig gleich seiner spezifischen Wärme, wenn in ihm gerade die Masse von 1 Gramm enthalten ist.

Zusammenfassend merken wir uns

die Kalorie als diejenige Wärmemenge, die 1 Gramm Wasser um 1° erwärmt,

die spezifische Wärme als diejenige Wärmemenge, die 1 Gramm einer Substanz um 1° erwärmt, und schließlich

die Wärmekapazität als diejenige Wärmemenge, die den vorliegenden Körper, der jetzt beliebig viel Gramm Substanz enthalten kann, um 1° erwärmt.

Aus diesen Definitionen finden wir, daß die Wärmekapazität eines Körpers von beliebiger Masse aus der Wärmekapazität eines Grammes, die uns als spezifische Wärme bekannt ist, durch Multiplikation mit der Anzahl Gramm, die in dem Körper enthalten sind, hervorgeht.

VII.

WÄRME UND ARBEIT

Ist nun die Wärme, die wir jetzt in Kalorien anzugeben verstehen, ein von allen anderen physikalischen Größen losgelöster Begriff oder läßt sich ein Zusammenhang finden mit physikalischen Größen, die uns aus den täglichen Erfahrungen geläufig sind? Uns allen ist bekannt, daß wir durch Reiben unserer Hände Wärme erzeugen können. Woher stammt nun diese Wärme? Offensichtlich aus der Arbeit, die wir bei dem Händereiben leisten müssen. Was ist

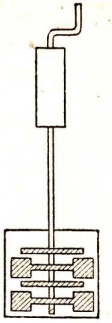


Abb. 4: Apparat zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes

eigentlich Arbeit? Nun, wir sprechen dann von einer Arbeit, wenn eine Kraft auf irgendeinen Körper wirkt und ihn längs eines Wegstückes verschiebt. Die Größe der Arbeit berechnet sich als das Produkt aus der wirkenden Kraft und dem zurückgelegten Weg. Heben wir z. B. ein Gewicht vom Fußboden auf den Tisch, so müssen wir unsere Muskelkraft an dem Gewicht angreifen lassen und längs eines gewissen Weges, nämlich gleich der Tischhöhe, wirken lassen. Wenn nun das Gewicht gehoben ist, haben wir also eine bestimmte Arbeit geleistet. Das Wichtige hierbei ist jedoch, daß diese Arbeit nicht verloren gegangen ist, sondern jetzt in dem gehobenen Gewicht selbst enthalten ist. Für eine solche in einen Körper hineingesteckte Arbeit ist ein bestimmter Name geprägt worden, und zwar nennt man sie die Energie, die der Körper jetzt besitzt. Da diese Energie ihrer Größe nach von der augenblicklichen Höhe des Körpers über dem Fußboden abhängt, nennt man sie genauer die Energie der Lage oder die potentielle Energie. Diese Energie läßt sich nun dadurch wiedergewinnen, daß wir den Körper fallen lassen. Durch die Wucht des Aufschlages kann dann wieder eine Arbeit geleistet werden — ein Vorgang, den wir z. B. im Dampfhammer oder ähnlichen Maschinen antreffen.

So erkannte der Heilbronner Arzt ROBERT MAYER (1814—1878) als erster mit voller Klarheit, daß Wärme und Arbeit dasselbe sein müsse, da das eine aus dem anderen erzeugt werden kann. Mit einem Apparat (vgl. Abb. 4), der im wesentlichen aus einem in ein Gefäß mit Wasser tauchenden, drehbaren Schaufelrad besteht, wird einerseits die aufgewandte Arbeit, andererseits die eintretende Erwärmung des Wassers gemessen. Auf diese Weise läßt sich rein experimentell eine ganz bestimmte Beziehung zwischen den Einheiten der Arbeit und der Wärme finden, die, da also jetzt Wärme und Arbeit als etwas völlig Gleichbedeutendes, als etwas ineinander Überführbares erscheinen, das mechanische Wärmeäquivalent genannt wird. Es sind 1000 Kilokalorien gleich 1,16 Kilowattstunden oder eine Kilowattstunde gleich 863 Kilokalorien (nach gesetzlicher Regelung 860 Kilokalorien).

VIII. DIE MESSUNG DER SPEZIFISCHEN WÄRME

Handelt es sich um feste Körper, deren spezifische Wärme bestimmt werden soll, so haben wir zunächst auf einer Waage die in dem zu untersuchenden Körper enthaltene Grammzahl festzustellen. Darauf erwärmen wir den Körper auf eine bestimmte Temperatur und bringen ihn in ein Gefäß mit Wasser, dessen Menge vorher ebenfalls durch Wägung festgelegt und dessen Temperatur an einem eingebrachten Thermometer abgelesen wurde. Der heiße Körper wird in dem kalten Wasser unter dauerndem Rühren bewegt, bis völliger Temperaturausgleich eingetreten ist. Die in dem Körper enthaltene, ursprüngliche Wärmemenge (Wärmekapazität) hat dazu gedient, das Wasser um einen gewissen Betrag zu erwärmen. Selbstverständlich hat sich dabei der Körper abgekühlt, und zwar auf die gleiche Temperatur, auf die sich das Wasser erwärmt hat. Durch Gleichsetzen der von dem Körper abgegebenen Wärmemenge und der von dem Wasser aufgenommenen Wärmemenge läßt sich die spezifische Wärme des Körpers berechnen.

Ein solcher Apparat, mit dem die spezifischen Wärmen gemessen werden können, heißt Kalorimeter.

Die spezifische Wärme von Flüssigkeiten kann auf die gleiche Weise in einem solchen Kalorimeter, das man aus erklärlichen Gründen auch Mischkalorimeter nennt, bestimmt werden.

Die Bestimmung der spezifischen Wärme von Gasen kann dadurch erfolgen, daß wir das Gas in ein Gefäß mit völlig starren Wänden einschließen, so daß sich sein Volumen bei Erwärmung nicht vergrößern kann (spezifische Wärme bei konstantem Volumen). Wir können aber auch das Gas in ein Gefäß bringen, das durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen ist. Jetzt kann sich das Gas bei Erwärmung ausdehnen, und zwar so, daß sein Druck unverändert bleibt (spezifische Wärme bei konstantem Druck). Da bei diesem Versuch das Gas durch Verschieben des Kolbens eine Arbeit leisten muß, Arbeit aber gleichbedeutend mit Wärme ist, muß dem Gas jetzt mehr Wärme zugeführt werden als beim ersten Versuch. Es ist daher die spezifische Wärme bei konstantem Druck immer größer als die spezifische Wärme bei konstantem Volumen. — Das Verhältnis dieser beiden spezifischen Wärmen liefert eine für die betreffende Gasart charakteristische Zahl.

IX. DAS SCHMELZEN UND VERDAMPFEN

Erwärmen wir ein Stück Eis, eine Wachskerze oder ein Metall, so werden diese ursprünglich festen Körper bei einer für sie ganz charakteristischen Temperatur (Schmelztemperatur oder Schmelzpunkt) flüssig. Lassen wir dann diese Schmelzen sich wieder abkühlen, so tritt bei der gleichen Temperatur Erstarrung ein, so daß sie auch Erstarrungstemperatur, oder, wenn es sich um Flüssigkeiten handelt, Gefrierpunkt genannt wird.

Erwärmen wir eine Flüssigkeit, so tritt bei einer ganz bestimmten Temperatur unter heftiger Blasenentwicklung Verdampfung ein, d. h. die Flüssigkeit geht in den gasförmigen Zustand über. Diese Temperatur heißt deshalb die Siedetemperatur oder der Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit. Kühlt sich der Dampf wieder ab, so tritt bei der gleichen Temperatur wieder Verflüssigung ein: Kondensation. Flüssigkeiten können jedoch bei jeder Temperatur, wenn auch weit langsamer als beim Siedepunkt, in den gasförmigen Zustand übergehen: Verdunstung.

Eine besondere Eigenart zeigen gewisse feste Stoffe wie Jod oder unter bestimmten Umständen Schnee, die aus dem festen Zustand, ohne erst flüssig zu werden, direkt in den gasförmigen übergehen: Sublimation.

Die drei Zustände fest, flüssig und gasförmig, in denen die Stoffe in Erscheinung treten können, bezeichnen wir als ihre Aggregatzustände.

Erwärmen wir ein Stück Metall über einer gleichmäßig brennenden Flamme, so steigt die Temperatur allmählich an, und zwar um so mehr, je länger wir warten, d. h. je mehr Wärme wir dem Metall zugeführt haben. Tragen wir die beobachtete Temperaturerhöhung in Abhängigkeit von der zugeführten Wärmemenge graphisch auf, so ergibt sich der aus Abb. 5

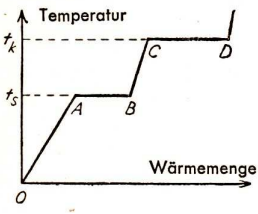


Abb. 5: Temperaturverlauf beim Schmelzen und Verdampfen eines Metalles

ersichtliche Verlauf OA. Bei der durch den Punkt A charakterisierten Temperatur t_s beginnt das Metall zu schmelzen; A ist also der Schmelzpunkt. Wir beobachten nun im folgenden etwas sehr Auffälliges. Obwohl wir dem Metall laufend weitere Wärme zuführen, steigt seine Temperatur nicht, sondern bleibt auf der Schmelztemperatur stehen, wie wir aus dem Kurvenstück AB erkennen können. Erst wenn das letzte Stückchen fester Substanz geschmolzen ist, beginnt die Temperatur wieder anzusteigen. Dieses Verhalten des flüssigen Metalles zeigt das Kurvenstück BC. Im Punkt C ist der Siedepunkt erreicht, die Flüssigkeit verdampft sehr schnell und behält trotz weiterer Wärmezufuhr die Siedetemperatur t_k bei, bis der letzte Tropfen Flüssigkeit verdampft ist, was im Punkt D eintritt. Von da an, wenn also alles Metall gasförmig geworden ist, beginnt wieder ein Temperaturanstieg, der ebenfalls in Abb. 5 erkenntlich ist. Die Wärmemenge, die in dem Gebiet von A bis B, also während des Schmelzens dem Metall zugeführt werden muß, wird seine Schmelzwärme und diejenige Wärmemenge, die in dem Stück C nach D, also während des Verdampfens verbraucht wird, seine Verdampfungswärme genannt.

Der gleiche, nur umgekehrt verlaufende Vorgang tritt ein, wenn wir jetzt den Metalldampf sich abkühlen lassen. Rechts vom Punkte C gibt er Wärme ab und wir bemerken ein Sinken der Temperatur. In dem Stück von D nach C setzt Kondensation, d. h. Verflüssigung ein, wobei laufend Wärme abgegeben wird, ohne daß jedoch die Temperatur zurückgeht. Im flüssigen Zustand von C bis B wird bei weiter gleichmäßig anhaltender Wärmeabgabe wieder Temperaturrückgang beobachtet, bis im Punkte B Erstarrung beginnt. Während in dem Stück von B nach A immer mehr Flüssigkeit verschwindet und zu festem Metall erstarrt bis im Punkte A nur noch feste Substanz vorliegt, bleibt die Temperatur ungeändert, obwohl laufend Wärme abgegeben wird. Von A nach O kühlt sich das feste Metall wieder ab, bis es im Punkte O seinen Ausgangszustand wieder angenommen hat.

Da in den horizontal verlaufenden Kurvenstücken AB und CD die beim Erwärmen hineingesteckte oder beim Abkühlen freiwerdende Wärme (Schmelzwärme und Verdampfungswärme), der äußeren Beobachtung durch Temperaturmessung verborgen bleibt, sprechen wir auch von latenter Wärme. Diese latente Wärme dient dazu, das Atomgefüge so zu verändern, daß aus einem festen Körper eine Flüssigkeit bzw. aus einer Flüssigkeit ein Gas wird. Es ist demnach zu einer solchen Umwandlung eine gewisse Energie in Form von zugeführter Wärme erforderlich, die umgekehrt als Wärme wieder frei wird,

wenn sich das Gas zu einer Flüssigkeit und die Flüssigkeit zu einem festen Körper verdichtet.

Aus diesen Beobachtungen können wir zusammenfassend den wichtigen Satz herleiten, daß Änderungen des Aggregatzustandes immer dann Energie erfordern (Wärmeaufnahme ohne Temperaturanstieg), wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen oder aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand gebracht werden soll. Umgekehrt wird bei Änderungen des Aggregatzustandes immer dann Energie frei (Wärmeabgabe ohne Temperaturrückgang), wenn ein gasförmiges Medium in den flüssigen oder ein flüssiges Medium in den festen Zustand übergeht.

TABELLE III — Schmelzwärme einiger fester Körper

Aluminium	77	Kupfer	42	Zink	28
Blei	5,5	Platin	27	Zinn	14
Eisen	30	Schwefel	10	Kochsalz	124
Gold	16	Silber	26	Eis	80

Die Tabelle III gibt die Schmelzwärme einiger fester Stoffe, die Tabelle IV die Verdampfungswärmen einiger Flüssigkeiten wieder. Hierbei bedeuten die Zahlen diejenigen Wärmemengen gemessen in Kalorien (cal), die zum Schmelzen bzw. Verdampfen eines Gramms der betreffenden Substanz erforderlich sind. Besondere Beachtung verdient die außerordentlich große Verdampfungswärme des Wassers, die im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten den großen Energieaufwand bei der Erzeugung von Wasserdampf zu erkennen gibt.

TABELLE IV — Verdampfungswärme einiger Flüssigkeiten

Alkohol	202	Quecksilber	68
Ammoniak	321	Sauerstoff	51
Benzol	94	Schwefelkohlenstoff	85
Chlor	62	Stickstoff	48
Kohlendioxyd	142	Wasser	539
Petroleum	75	Wasserstoff	110

Unter Beachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln kann es gelingen, eine Flüssigkeit unter ihren Gefrierpunkt abzukühlen, ohne daß sie fest wird. Diese

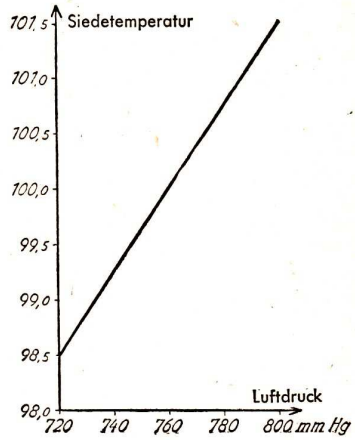


Abb. 6
Siedepunktsabhängigkeit des Wassers vom Luftdruck

Erscheinung heißt Unterkühlung. Es genügt dann von außen ein winzig kleiner Anstoß, etwa das Einbringen eines kleinen Kristalls der festen Substanz, um sofort ein schlagartiges Erstarren auszulösen. Dabei tritt Erwärmung auf die Erstarrungstemperatur (Gefrierpunkt) ein.

Etwas Entsprechendes gibt es auch beim Sieden. Unter Umständen läßt sich eine Flüssigkeit über ihren Siedepunkt erwärmen, ohne daß Sieden eintritt. Auch hier genügen wieder kleine äußere Einflüsse, etwa das Einbringen eines Staubkörnchens, um sofortiges Sieden hervorzurufen, wobei sich die Flüssigkeit auf ihre Siedetemperatur abgekühlt: Siedeverzug. Sie läßt sich dann, wenn sie unerwünscht ist, sehr einfach dadurch vermeiden, daß der Flüssigkeit sogenannte Siedesteinchen in Form von Glasperlen zugesetzt werden.

Nicht zu verwechseln hiermit ist die Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung. Diese werden in Lösungen beobachtet, bei Flüssigkeiten also, in denen irgendwelche Stoffe gelöst sind. Bekannt, besonders von ihrer Anwendung im Winter durch Streuen von Salz, ist die Gefrierpunktserniedrigung bei den Kältemischungen, die im allgemeinen aus Kochsalz und Eis hergestellt werden und Temperaturen von 20° unter Null ergeben.

Eingangs wurde bei der Festsetzung der Fundamentalpunkte des Thermometers erwähnt, daß die Temperatur des bei 760 mm Quecksilbersäule (abgekürzt 760 mm Hg) siedenden Wassers mit 100° bezeichnet wird. Diese zusätzliche Druckangabe läßt erkennen, daß die Siedetemperatur, und zwar nicht nur des Wassers, sondern einer jeden Flüssigkeit, nicht unabhängig vom augenblicklich herrschenden Luftdruck ist. Wie Abb. 6 zeigt, besteht Proportionalität zwischen Siedetemperatur und Luftdruck, d. h. das Wasser siedet um so eher, je geringer der Druck ist. Bekannt ist diese Erscheinung durch die Unmöglichkeit, auf einem hohen Berg ein Gericht gar zu kochen, weil dort der Siedepunkt des Wassers so tief liegt, daß die erforderlichen Temperaturen (etwa beim Kochen eines Eies die Temperatur, bei der das Eiweiß gerinnt) nicht mehr erreicht werden. Eine Abhilfe schafft der aus einem dicht verschließbaren Gefäß bestehende Dampfkochtopf des Marburger Professors PAPIN (1647–1712). Durch die Verdampfung entsteht im Innern des Topfes ein Überdruck, durch den der Siedepunkt auf höhere Temperaturen, ja sogar über die normale Siedetemperatur gehoben werden kann.

Die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdruck sowie die bei Verdampfung verbrauchte Verdampfungswärme, die – wie wir aus Tabelle IV wissen – bei Wasser außerordentlich groß ist, führen zu einem interessanten Experiment. In einem Glasgefäß, das durch eine Vakuumpumpe nahezu luftleer gepumpt ist, befindet sich Wasser, das infolge des stark verminderten Druckes bereits bei Zimmertemperatur zum Sieden kommt. Die hierzu erforderliche Verdampfungswärme entzieht das Wasser zum größten Teil sich selbst, wodurch Abkühlung eintritt, die so weit gehen kann, daß sich an der Wasseroberfläche eine Eisschicht bildet, während im Innern das Sieden unverändert weiter erfolgt.

Auch der Schmelzpunkt zeigt eine gewisse Druckabhängigkeit. Bringen wir z. B. Eis unter erhöhten Druck, so schmilzt es bereits bei Temperaturen unter 0°. Zur Verdeutlichung dieser Erscheinung denken wir uns um einen Eisblock einen Draht gelegt, an dem wir ein großes Gewicht befestigen. Durch den erhöhten Druck schmilzt das Eis an den Auflagestellen des Drahtes. Die hierzu erforderliche Schmelzwärme entzieht es zum größten Teil sich selbst. Dadurch kühlt sich das Eis, nachdem der Draht ein wenig eingedrungen ist, so weit ab, daß das Schmelzwasser oberhalb des Drahtes wieder gefriert. Auf diese Weise schließt sich der Schnitt wieder und der Draht wandert langsam durch den Eisblock hindurch, ohne ihn jedoch zu durchschneiden.

X.

DIE GASGESETZE

Befindet sich ein Gas in einem Gefäß, das wir durch einen beweglichen Kolben gut verschließen, so nimmt es ein bestimmtes von uns gewünschtes Volumen nur dann ein, wenn wir einen bestimmten äußeren Druck wirken lassen. Wiederholen wir den Versuch zu einem anderen Zeitpunkt, bei dem das Gas eine andere Temperatur besitzt, so zeigt sich, daß wir jetzt einen anderen Druck zur Erzielung des gleichen Volumens brauchen. Wie wir diesen Versuchen entnehmen, wird durch Druck, Volumen und Temperatur der Zustand eines Gases völlig bestimmt, weshalb diese drei Größen auch die Zustandsgrößen eines Gases genannt werden.

Führen wir nun jetzt einmal eine Volumenänderung des Gases durch Verschieben des Kolbens durch, indem wir dafür sorgen, daß die Temperatur ungeändert, also konstant bleibt, so erhalten wir eine Beziehung zwischen Druck und Volumen, die in dem sogenannten BOYLE-MARIOTTEschen Gesetz ihren Ausdruck findet. Der englische Physiker BOYLE (1626—1691) und der französische Physiker MARIOTTE (1620—1684) fanden für Zustandsänderungen, die bei konstanter Temperatur verlaufen und deshalb auch isotherme Zustandsänderungen genannt werden, das Gesetz, nach dem das Produkt aus Druck und zugehörigem Volumen stets konstant ist. Die graphische Darstellung dieses Gesetzes für zwei verschiedene Temperaturen T_1 und T_2 zeigt Abb.7.

Der französische Chemiker und Physiker GAY-LUSSAC (1778—1850) erweiterte das BOYLE-MARIOTTEsche Gesetz, indem er zunächst das Gas bei konstantem Druck von 0° auf eine höhere Temperatur brachte. Das hierbei sich neu ergebende Volumen läßt sich sehr einfach berechnen. Hieraus entwickelte Gay-Lussac das BOYLE-MARIOTTE-GAY-LUSSACSCHE Gesetz, das gestattet, die Konstante des BOYLE-MARIOTTEschen Gesetzes zu berechnen, wenn Druck und Volumen des Gases bei 0° bekannt sind. Es ist nämlich das Produkt aus Druck und Volumen bei einer beliebigen Temperatur gleich dem Produkt aus Druck und Volumen bei 0°, multipliziert mit einem Ausdruck, der sich aus dem Ausdehnungskoeffizienten und der betreffenden Temperatur zusammensetzt.

Sorgen wir nicht durch bestimmte Vorsichtsmaßregeln dafür, daß bei den Volumenänderungen eines Gases die Temperatur konstant bleibt, so verlassen

wir die bisher besprochenen isothermen Zustandsänderungen. Wie uns die tägliche Erfahrung lehrt, tritt bei schnellen Volumenverkleinerungen eine Erwärmung, bei Volumenvergrößerungen eine Abkühlung des Gases ein. Kompressionen sind also stets mit Erwärmung, Expansionen mit Abkühlung verbunden, wenn wir nicht dafür sorgen, daß — wie es bei den isothermen Zustandsänderungen der Fall war — die entstehenden Temperaturänderungen des Gases durch Wärmeaustausch mit der Umgebung ausgeglichen werden. Zustandsänderungen, bei denen kein Wärmeaustausch stattfindet, die also entweder mit Erwärmung oder Abkühlung verbunden sind, heißen adiabatische Änderungen. Von dem französischen Mathematiker POISSON (1781—1840) wurde ein Gesetz aufgestellt, das diese Vorgänge beschreibt. Es ist dem BOYLE-MARIOTTEschen Gesetz sehr ähnlich, unterscheidet sich jedoch von ihm dadurch, daß in die Produktbildung jetzt nicht das Volumen, sondern ein aus dem Volumen und dem Verhältnis der beiden spezifischen Wärmen des Gases gebildeter mathematischer Ausdruck eingeht.

Stellen wir den Verlauf adiabatischer Zustandsänderungen in gleicher Weise, wie bei den isothermen in Abb. 7 geschehen, dar, so ergibt sich ein stärkeres Ansteigen der Adiabaten als der Isothermen (vgl. punktierte Kurve in Abb. 7).

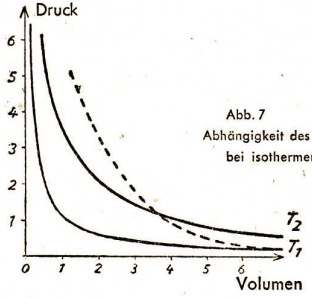


Abb. 7
Abhängigkeit des Druckes von Volumen bei isothermen Zustandsänderungen

XI.

DIE WÄRMEKRAFTMASCHINE

Arbeit aus nichts zu gewinnen, ist seit alters her ein Wunschtraum der Menschheit gewesen. Die Hoffnung, eine solche Maschine, der man den Namen «Perpetuum mobile» gegeben hat, konstruieren zu können, mußte gleichzeitig mit dem Bekanntwerden des Energieerhaltungssatzes aufgegeben werden. Dieser als Energieprinzip bezeichnete Satz, der als eines der Fundamente anzusehen ist, auf denen die Naturwissenschaft ruht, besagt, daß die im Weltall vorhandene Energie konstant ist, also weder vermehrt noch vermindert werden kann. Eine unmittelbare Folgerung, die wir hieraus ziehen können, ist die Einsicht der Unmöglichkeit eines «Perpetuum mobile».

Nun könnte jemand unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis den Gedanken aussprechen, eine Maschine zu entwickeln, die dadurch Arbeit leistet, daß sie in Verbindung mit einem Wärmebehälter gebracht wird und sich diese Wärme zur Umwandlung in Arbeit nutzbar macht, indem sie den Behälter allmählich abkühlt. Es wird hier also bewußt auf den Wunsch «Arbeit aus nichts» verzichtet, da ja der Maschine als Gegenleistung für die geforderte Arbeit Wärme angeboten wird, über die sie frei verfügen, also verbrauchen kann. Es soll bei dieser Maschine Wärme verschwinden und dafür Arbeit entstehen. Dieser Gedanke erscheint durchaus nicht abwegig und zunächst auch durchführbar; denn in der Formulierung des mechanischen Wärmeäquivalentes lernten wir ja gerade die Gleichwertigkeit von Arbeit und Wärme kennen. Unsere Hoffnung auf eine solche periodisch arbeitende Maschine, die dadurch zum Laufen gebracht werden könnte, daß wir sie mit dem Meere verbinden und ihr die darin aufgespeicherte Wärme zur Verfügung stellen, wird ebenfalls zunichte, da, wie der französische Wissenschaftler CARNOT (1796—1832) in seinem sogenannten Kreisprozeß gezeigt hat, eine Maschine nur dann periodisch arbeiten kann, wenn sie einen Wärmebehälter von hoher Temperatur abkühlen und gleichzeitig einen Wärmebehälter von tiefer Temperatur erwärmen kann. Wie müssen wir uns nun einen solchen Kreisprozeß vorstellen?

Beim CARNOTschen Kreisprozeß wird zunächst das Gas, das sich in einem durch einen beweglichen Kolben verschlossenen zylinderförmigen Gefäß befindet, adiabatisch komprimiert, wodurch es sich erwärmt (Kurvenstück I der

Abb. 8). Danach lassen wir es sich durch entsprechende Bewegung des Kolbens bei der neu angenommenen, höheren Temperatur isotherm ausdehnen (Kurvenstück II). Hierbei müssen wir laufend Wärme zuführen; denn ein sich ausdehnendes Gas kühlt sich ab. Bei diesem Prozeß muß daher das Gas mit einem Wärmebehälter von hoher Temperatur verbunden werden. Sodann folgt eine adiabatische Expansion, bis die jetzt einsetzende Abkühlung das Gas wieder auf seine ursprüngliche Temperatur bringt (Kurvenstück III). Anschließend komprimieren wir isotherm, bis das Gas beim letzten dieser vier Teilprozesse auch sein ursprüngliches Volumen wieder angenommen hat (Kurvenstück IV). Die hierbei entstehende Wärme muß, damit der Vorgang isotherm verläuft, weggeführt werden, indem wir das Gas mit einem Behälter von tiefer Temperatur verbinden.

Das Gas, das — wie man sagt — hierbei die Rolle eines Arbeitsstoffes spielt, hat somit einen Kreisprozeß vollendet, d. h. es hat schließlich seinen ursprünglichen Zustand, der durch eine ganz bestimmte Temperatur T_0 und ein ganz bestimmtes Volumen V_0 gekennzeichnet ist, wieder angenommen. Es hat also durch diesen Kreisprozeß selbst keinerlei Änderung erfahren, wohl aber hat sich der auf höherer Temperatur befindliche Behälter ein wenig abgekühlt und der auf niederer Temperatur befindliche ein wenig erwärmt.

Es läßt sich nun mathematisch beweisen, daß die beim Teilprozeß I aufzuwendende Kompressionsarbeit gleich der beim Teilprozeß III gewonnenen Expansionsarbeit ist, so daß die Beträge sich gegenseitig aufheben und nicht weiter in Rechnung gesetzt zu werden brauchen. Dagegen ist die beim Teilprozeß II geleistete Expansionsarbeit größer als die beim Teilprozeß IV hineingesteckte Kompressionsarbeit, so daß tatsächlich bei dem in dieser Form

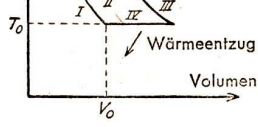


Abb. 8: Carnotscher Kreisprozeß

durchgeführten Kreisprozeß ein Arbeitsgewinn zustande kommt. Eine solche Maschine ist eine Wärmekraftmaschine.

Wie ohne weiteres einleuchtet, ist die von einer solchen periodisch arbeitenden Maschine geleistete Arbeit gleich der Differenz der im Teilprozeß II aus dem ersten Wärmebehälter dem Gas zugeführten und der im Teilprozeß IV von dem Gas weggeführten Wärmemenge. Da die dem Behälter von hoher Temperatur entnommene Wärmemenge durch Heizung laufend ersetzt werden muß, wodurch die eigentlichen Unkosten beim Betrieb der Maschine verursacht werden, während die vom zweiten Behälter aufgenommene Wärme etwa durch Wasserkühlung fortgeführt wird und somit verloren geht, bringen wir, um ein Gütemaß für die Maschine festzulegen, die gewonnene Arbeit ins Verhältnis zu der dem ersten Behälter entzogenen Wärmemenge. Dieses Verhältnis nennen wir den Wirkungsgrad oder Nutzeffekt der Maschine. Dieser ist um so größer, je größer die Temperaturdifferenz der beiden Wärmebehälter ist.

Selbstverständlich kann ein Gas den CARNOTschen Kreisprozeß auch in umgekehrtem Sinne durchlaufen. Dann nimmt es bei tiefer Temperatur eine gewisse Wärmemenge auf und gibt bei höherer Temperatur eine größere Wärmemenge ab. Auf Grund des Energieprinzips muß in eine solche, laufend Wärme abgebende Maschine von außen laufend Arbeit hineingesteckt werden, so daß also jetzt nicht Wärme in Arbeit, sondern Arbeit in Wärme verwandelt wird. Maschinen dieser Art heißen Kältemaschinen. Sie sind in der Lage, einen Behälter abzukühlen und finden ihre praktische Anwendung bei Kühlschränken und schließlich auch bei der Verflüssigung von Gasen. Die aufzuwendende Arbeit wird hierbei von einer zweiten Maschine, und zwar im allgemeinen von einem Elektromotor, geleistet.

XII.

DER WÄRMEAUSTAUSCH

Befindet sich ein erwärmter Körper in einer kühleren Umgebung, so nimmt diese im Laufe der Zeit Wärme auf, während der Körper selbst sich abkühlt. Ein solcher Wärmeaustausch kann nun auf verschiedene Weise vor sich gehen.

Halten wir z. B. unsere Hand an einen warmen Ofen, so geht dessen Wärme durch Leitung auf uns über. Zur Charakterisierung dieses Wärmeleitungsvorganges benutzen wir die Wärmeleitzahl, die uns angibt, wieviel Kalorien in der Sekunde bei einer Temperaturdifferenz von 1° zwischen den beiden Endflächen einer 1 cm dicken Platte aus dem betreffenden Stoff durch 1 cm^2 derselben hindurchgehen. Ist diese Zahl groß, so leitet der Stoff die Wärme schnell fort, ist sie klein, so kann der Stoff als Wärmeisolator angesehen werden. Die Metalle leiten erfahrungsgemäß die Wärme sehr gut, dagegen Holz, Glas oder Luft sehr schlecht. Dieses Verhalten veranschaulichen die in Tabelle V wiedergegebenen Wärmezahlen.

TABELLE V — Wärmeleitzahlen einiger Substanzen

Aluminium	0,48	Glas	0,0014–0,0018
Blei	0,08	Holz	0,0003–0,0009
Eisen	0,15	Schiefer	0,00081
Kupfer	0,90	Glyzerin	0,00068
Messing	0,15–0,30	Wasser	0,0014
Nickel	0,14	Chlor	0,000019
Schwefel	0,0007	Helium	0,00034
Silber	1,01	Luft	0,000057
Stahl	0,06–0,12	Sauerstoff	0,000058
Zink	0,27	Stickstoff	0,000057
Zinn	0,15		

Halten wir unsere Hand über einen heißen Dampfheizungskörper, so verspüren wir einen warmen Luftzug. Diese die Wärme von dem Heizkörper fortführende Luftbewegung kommt dadurch zustande, daß die den Heizkörper umgebende Luft zunächst durch Leitung erwärmt wird, dann aber, da sie dadurch leichter geworden ist, rasch nach oben aufsteigt. Dabei wird sie durch die von unten und von der Seite nachdrängende Luft ersetzt, die sich ihrerseits

nach Umspülen des Heizkörpers schnell erwärmt und ebenfalls nach oben steigt. Diese Art des Wärmeaustauschs heißt Wärmeströmung (Konvektion). Zur Charakterisierung benutzt man die Wärmeübergangszahlen, die abhängig sind von der Art der beiden beteiligten Medien, von der Körperform, Temperaturdifferenz und anderen Einflüssen. Der Wärmeaustausch oder, wie man auch sagt, der Wärmeübergang durch Konvektion erfolgt viel lebhafter als durch Leitung.

Lassen wir einen Luftstrom, etwa durch einen Ventilator, über einen geheizten Körper streichen, so tritt ein sehr kräftiger Wärmeaustausch ein, den wir als erzwungene Konvektion bezeichnen. Hier hängen die den Vorgang charakterisierenden Wärmeübergangszahlen im wesentlichen, außer von den Stoffeigenschaften, von der Geschwindigkeit des strömenden Mediums ab. Die Größe dieses Wärmeaustauschs ist uns aus der täglichen Erfahrung vom Anblasen einer heißen Suppe oder eines heißen Getränkes her geläufig.

Halten wir unsere Hand in die Nähe eines sehr heißen, vielleicht sogar glühenden Körpers, so verspüren wir auch eine Erwärmung, die nicht durch Leitung oder Konvektion, sondern durch Strahlung auf uns übergeht; besonders augenfällig wird dies, wenn wir die Hand unterhalb des Körpers bringen. Das Zustandekommen eines merklichen Wärmeaustausches durch Strahlung setzt sehr hohe Temperaturen voraus, ist jedoch nicht, wie der Wärmeaustausch bei Leitung und Konvektion an das Vorhandensein eines die Wärme transportierenden Stoffes gebunden. Auf diese Weise gelangt die Wärme der Sonne durch den leeren Luftraum zu uns auf die Erde. Für die Größe der Wärmestrahlung spielt außer der Temperatur noch die Farbe und Oberflächenbeschaffenheit des geheizten Körpers eine einflußreiche Rolle. Bekanntlich kleiden wir uns im Sommer möglichst hell oder weiß, um die auffallenden Sonnenstrahlen nicht aufzusaugen, sondern weitestgehend zu reflektieren. Umgekehrt, wie ein weißer Körper wenig Wärme aufnimmt, strahlt er auch wieder wenig Wärme aus. Es wird danach ein schwarzer Körper mehr Wärme ausstrahlen als ein weißer Körper von gleicher Temperatur.

Im allgemeinen lassen sich diese drei Arten des Wärmeaustausches nicht voneinander trennen, sondern treten stets gleichzeitig auf. Hierbei sind die Beschaffenheit des geheizten Körpers hinsichtlich seiner Gestalt, Farbe und Temperatur, sowie die physikalischen Eigenschaften des den Körper umgebenden Mediums maßgeblich für den prozentualen Anteil von Leitung, Konvektion und Strahlung auf den gesamten Wärmeaustausch.

XIII. DIE NAHRUNGSMITTEL ALS WÄRMEQUELLE

Wenn eine Wärmekraftmaschine periodisch laufen soll, so daß sie dauernd eine Arbeit verrichtet, so muß ihr ununterbrochen Energie zugeführt werden. Dazu brauchen wir einen Wärmespeicher von hoher Temperatur, den wir durch Heizen, also durch Verbrauch irgendeines Brennstoffes, immer auf der gleichen Temperatur halten.

Auch der menschliche und natürlich auch der tierische Körper stellt physikalisch betrachtet ebenfalls eine Maschine dar, die zu einer Arbeitsleistung fähig ist. Die Wärmezufuhr wird durch die Nahrungsmittel geliefert, die durch Verbrennung oder Oxydation im Innern des Körpers, also durch eine chemische Reaktion, dauernd aufrechterhalten wird. Im Gegensatz zu einer Maschine aus Stahl und Eisen verbraucht der lebende Körper auch im Ruhezustand eine gewisse Energie, lediglich zur Aufrechterhaltung des Lebens, d. h. der körperlichen Funktionen. Zu dieser «Leerlaufenergie», die je nach Veranlagung des betreffenden Menschen größer oder kleiner ist, kommt beim arbeitenden Menschen noch ein weiterer Energiebedarf in Höhe der geforderten Arbeitsleistung hinzu. Wie groß ist nun die tägliche Arbeitsleistung eines Menschen und durch welche Kalorienzufuhr wird sie gedeckt?

Im Zeitalter der Elektrizität ist für jeden von uns die Kilowattstunde ein gut vorstellbarer Begriff einer geleisteten Arbeit. Welcher menschlichen Arbeitsleistung entspricht nun diese Arbeitseinheit? Wie sich leicht berechnen läßt, muß ein 72 kg schwerer Mensch zum Besteigen eines 5000 m hohen Berges eine Arbeit von rund einer Kilowattstunde leisten. Das mechanische Wärmeäquivalent lehrte uns, daß 863 Kilokalorien gleichbedeutend mit einer Kilowattstunde

TABELLE VI

Nahrungsmittelmengen zur Leistung einer Arbeit von einer Kilowattstunde = 863 Kilokalorien

Fett	94 Gramm	mageres Fleisch	750 Gramm
Butter	110 Gramm	fettes Fleisch	350 Gramm
Brot	400 Gramm	Wurst	300 Gramm
Nährmittel	250 Gramm	Marmelade	420 Gramm
Kartoffeln	1000 Gramm	Zucker	210 Gramm

sind. Zur Bewältigung dieser Bergtour, die nur eine verhältnismäßig geringe Tagesleistung darstellt — im allgemeinen beträgt die tägliche Arbeit eines normal schaffenden Menschen ein Mehrfaches hiervon (etwa drei bis vier Kilowattstunden) — müssen also 863 Kilokalorien dem Körper zugeführt oder aus Reserven dem Körper entzogen werden. Die zur Lieferung der notwendigen 863 Kilokalorien notwendigen Nahrungsmittel sind für die wichtigsten Nährstoffe in Tabelle VI zusammengestellt. Jeder einzelne Posten entspricht hierbei einer Kilowattstunde, so daß wir zur Erlangung der erforderlichen Kalorienzahl beispielsweise von jedem der angegebenen Nährstoffe den zehnten Teil zu nehmen hätten. Eine anschauliche Darstellung vermittelt Abb. 9.

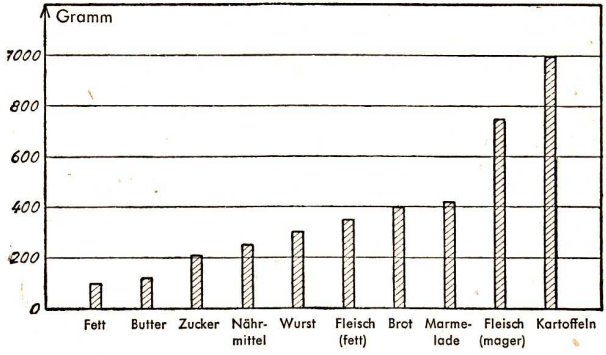


Abb. 9: Mengen verschiedener Nahrungsmittel in Gramm
als jeweiliger Verbrauch zur Leistung einer Arbeit von einer Kilowattstunde

Die Tabelle VI ist insofern besonders aufschlußreich, als sie zu erkennen gibt, daß der Kalorieninhalt von Fleisch, besonders wenn es mager ist, durchaus nicht hoch liegt; denn wir brauchen, um unserem Körper dieselbe Kalorienzahl zuzuführen, an magerem Fleisch fast die doppelte Menge wie an Brot, bzw. an Kartoffeln nur das $1^1/_3$ fache der Fleischmenge. Des ungeachtet besitzt natürlich Fleisch wegen seines Eiweißgehaltes als Aufbaustoff eine besondere Bedeutung für unseren Körper.

XIV.

KINETISCHE WÄRMETHEORIE

Die Materie müssen wir uns aus kleinsten Teilen, den sogenannten Elementarteilchen oder Atomen bzw. Molekülen zusammengesetzt denken. Wenn wir auch heute unter einem solchen Atom nicht mehr das ursprünglich unteilbare Materiestück verstehen, sondern ein Gebilde komplizierten Aufbaues, so wollen wir doch hier für die wärmetheoretische Betrachtung die klassische Auffassung beibehalten. Somit wollen wir uns die Atome als feste, nicht deformierbare Körper vorstellen. In einem Körper, der sich im festen Aggregatzustand befindet, sind sie an einen festen Ort gebunden, vermögen jedoch um diesen noch Schwingungen auszuführen, während sie in einem Gas völlige Bewegungsfreiheit besitzen. Sie können hierbei nicht nur ihren Ort verändern, sondern außerdem noch um eine Achse rotieren. Entsprechend diesen verschiedenen Freiheitsgraden der Bewegung besitzt in einem festen Körper ein Atom nur Schwingungsenergie, während in einem Gas ein Molekül ebenfalls Träger von Bewegungsenergie, sogenannter kinetischer Energie, ist, die wir uns jedoch aus einer Energie der fortschreitenden Bewegung oder — wie man auch sagt — der Translationsenergie und der Energie der Rotation zusammengesetzt denken können.

Wenn es auch im ersten Augenblick befremdlich erscheint, daß diese molekularen Bewegungen in irgendeinen Zusammenhang zu bringen sein sollen mit dem, was wir Wärme nennen, so leuchtet uns dies doch sofort ein, wenn wir bedenken, daß ja die Wärme, ausgedrückt als eine Menge, die wir in Kalorien messen, direkt mit einer Energie vergleichbar ist, wie uns das mechanische Wärmeäquivalent lehrt (vgl. Abschnitt VII). Wenn sich also die Energie der Moleküle vergrößert, etwa dadurch, daß sie sich, wenn es sich um ein Gas handelt, schneller durch den Raum bewegen oder, wenn sie einem festen Körper angehören, heftiger um ihre Ruhelage schwingen, muß eben diese Energieerhöhung zu einer Veränderung des Zustandes führen, in dem der betreffende Körper sich gerade befindet. Die Veränderung besteht nun in einer Aufnahme von Kalorien, eben weil Wärmemengen und Energiebeträge einander äquivalent sind, die wiederum wegen der bestimmten, angebbaren Wärmekapazität des betreffenden Körpers (vgl. Abschnitt VI) zu einer ganz

bestimmten Temperaturerhöhung führt. Wir können also in der Wärme eine molekulare Energieform sehen.

Jetzt werden wir nun auch den Vorgang des Schmelzens oder Verdampfens mit ganz anderen Augen betrachten. Führen wir einem festen oder flüssigen Körper durch eine Flamme Wärme zu, so erhöhen wir damit — wie wir nun wissen — seine molekulare Energie. Die Moleküle beginnen schneller zu schwingen bzw. rascher sich fortzubewegen, bis sie schließlich den Verband ihres ursprünglichen Aggregatzustandes verlassen und in den flüssigen bzw. gasförmigen Zustand übergehen. Umgekehrt geben sie bei Abkühlung, wenn wir die Heizung entfernen, laufend Wärme ab, bis sie so viel Energie verloren haben, daß ihre Moleküle nur noch den Energievorrat besitzen, der ihnen in der festen bzw. flüssigen Phase zukommt.

Nach diesen Ausführungen verstehen wir jetzt den absoluten Nullpunkt der Temperatur (vgl. Abschnitt II) als diejenige Temperatur, bei der jegliche Bewegung der Moleküle eingeschlafen ist und sie in völliger Ruhe verharren. Eine Temperaturerhöhung über diesen absoluten Nullpunkt, und sei sie noch so gering, führt dann wieder zu molekularen Bewegungen, die sich anfänglich in geringen Zuckungen der Moleküle äußern, später bei weiterer Temperaturerhöhung in immer größeren Schwingungen, zu denen sich schließlich noch Rotationen und Translationen gesellen.

Daß diese Vorstellung, die wir von den molekularen Zuständen entwickelt haben, in der Tat wohlbegründet ist, zeigt die sogenannnte BROWNsche Bewegung. Betrachten wir unter dem Mikroskop einen Tropfen einer wäßrigen Lösung, die sehr kleine Teile enthält, z. B. eine Stärkelösung, so erkennen wir, daß diese Teilchen dauernd eine völlig ungeordnete Bewegung ausführen, so als ob Leben in ihnen steckte oder als ob sie von einer geheimnisvollen Kraft bewegt würden. Diese Erscheinung läßt sich nun durch die Bewegungen der Moleküle sehr einfach erklären. Es stoßen nämlich die Moleküle von allen Seiten gegen ein solches im Vergleich zu ihnen sehr großes Teilchen und bewegen dieses dann nach der Seite, nach der eben zufällig mehr Moleküle fliegen und somit eine treibende Kraft ausüben. Ins Makroskopische übertragen ließe sich der Vergleich ziehen zu einem sehr großen Ball, gegen den eine Schar spielender Kinder anrennt, die sich in völliger Willkür bewegen können, so daß er bald hierhin, bald dorthin rollt.

Eine eindrucksvolle Bewährung dieses molekularen Bildes liefert die aus ihm gewonnene Herleitung des in Abschnitt X angegebenen Gasgesetzes von

BOYLE-MARIOTTE. In einem Gas fliegen die Moleküle mit großer Geschwindigkeit umher, und zwar ist sie bei gleicher Temperatur für leichte Gasmoleküle (z. B. Wasserstoff) größer als für schwere (z. B. Stickstoff). So beträgt bei 0 ° C die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle des Wasserstoffs 1845 m/sec, dagegen die Geschwindigkeit der Stickstoffmoleküle nur 493 m/sec. Trotz dieser großen Geschwindigkeit fliegen die Moleküle normalerweise, d. h. bei Atmosphärendruck, nicht sehr weit, da sie infolge ihrer ungeheuer großen Zahl — in einem würfelförmigen Gefäß von 1 cm Kantenlänge befinden sich bei einem Druck von einer Atmosphäre und einer Temperatur von 0° C $27 \cdot 10^{18}$ (= 27 Trillionen) Moleküle — sehr bald mit anderen Molekülen zusammenstoßen. Die Strecke, die ein Molekül durchschnittlich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen zurücklegt, wird die mittlere freie Weglänge des Moleküls genannt. Diese ist für jede Gasart verschieden und hängt, wie ohne weiteres verständlich ist, von der Größe der Moleküle ab. Sie beträgt für Wasserstoff 0,0000185 cm, für Stickstoff 0,0000106 cm und für Kohlendioxyd 0,0000068 cm. Befindet sich also ein Gas in einem geschlossenen Gefäß, so gibt es nicht nur Zusammenstöße zwischen den Molekülen unter sich, sondern es stoßen die Moleküle auch gegen die Gefäßwand. Sie werden von dieser wieder ins Innere des Gefäßes zurückgeworfen und erzeugen durch ihren Aufprall eine Kraftwirkung auf die Gefäßwand, die wir als den Druck des Gases bezeichnen. Dieser Druck läßt sich nun unter gewissen Voraussetzungen aus den molekularen Eigenschaften, wie Bewegungsenergie und Anzahl der Moleküle berechnen und führt zu der bekannten Beziehung $pv = \text{const.}$

Um die ungeheuer große Zahl von Molekülen, die sich in einem Kubikzentimeter befinden, zu veranschaulichen, wollen wir den Versuch machen, sie einzeln abzuzählen. Zählen wir ununterbrochen Tag und Nacht in jeder Minute 100 Moleküle, so hätten wir erst nach einer halben Billion Jahren diese Zählarbeit beendet. Vergleichen wir noch andererseits die freie Weglänge mit den Molekülabmessungen, die im Durchschnitt 10^{-8} cm betragen, so bedeutet der Vergleich der Moleküle mit einem Ball von 5 cm Halbmesser, daß dieser 10 km weit fliegen könnte, ehe es mit einem zweiten, wieder ein frei herumfliegendes Molekül verkörpernden Ball zu einem Zusammenstoß käme.

N A C H W O R T

In diesem Heft ist absichtlich auf jede mathematische Formulierung verzichtet worden. Damit ist ein neuer Versuch gemacht, von dem zu hoffen bleibt, daß er gelungen ist. Ein Band des gleichen Inhalts, der den Stoff jedoch unter Verwendung aller mathematischen Hilfsmittel darbietet, ist in Vorbereitung. Wer über den Inhalt dieser Bände hinaus sein Wissen um das, was wir Wärme nennen, vertiefen will, findet in dem Buch von R. W. POHL, «Einführung in die Physik» oder in LESCHERs Lehrbuch der Physik, ein Werk, dessen Lektüre durch eine große Anzahl von Bildern und Zeichnungen eine wesentliche Erleichterung erfährt. Dem sich für physikalische Experimente interessierenden Leser sei die bis in alle Einzelheiten gehende ausführliche Beschreibung «Physikalische Demonstrationen" von A. WEINHOLD empfohlen. Für jede Anregung und Kritik sind Verlag und Schriftleitung dankbar.

FACH - UND FREMDWÖRTER

Abkürzungen: lat = lateinisch, gr = griechisch

absolut	absolutus (lat) = abgelöst – losgelöst
Adiabate	ἀδιάβατος (adiabatos, gr) = undurchgänglich – ohne Wärmeaustausch erfolgende Zustandsänderung
adiabatisch	wärmeundurchlässig
äquivalent	aequus (lat) = gleich, valens (lat) = stark – gleichwertig
Aggregatzustand	aggregare (lat) = sich anschließen – Erscheinungsform eines Stoffes
Apparat	apparatus (lat) = Zubereitung – Gerät
charakteristisch	χαρακτήρ (charakter, gr) = Kennzeichen – kennzeichnend
Definition	definitio (lat) = Erläuterung – Erklärung
Demonstration	demonstratio (lat) = Hinweis – Beweisführung, Darlegung
direkt	directus (lat) = in gerader Richtung – unmittelbar
Energie	ἐνέργεια (energeia, gr) = Tätigkeit – Arbeit
expandieren	expandere (lat) = ausbreiten – ausdehnen
Expansion	Volumenvergrößerung
Experiment	experimentum (lat) = Versuch – Versuch
experimentell	versuchsmäßig
Fundament	fundamentum (lat) = Grundlage – Grundlage
graphisch	γράφειν (graphein, gr) = zeichnen – zeichnerisch
Hg	Chemisches Symbol für Quecksilber (gr Hydrargyrum)
horizontal	ὁρίζειν (horizein, gr) = umgrenzen – waagerecht
Instrument	instrumentum (lat) = Gerät – Gerät
Interesse	interesse (lat) = dazwischen sein, daran gelegen sein – Wichtigkeit, Wunsch nach weiterer Kenntnis
Intervall	intervallum (lat) = Zwischenraum – Bereich
Isothermie	ἴσος, θερμός (isos, gr) = gleich, thermos (gr) = warm – Temperaturgleichheit
Kalorie	calor (lat) = Wärme – Wärmeeinheit
Kalorimeter	metrum (lat) = Maß – Apparat zur Messung von Wärmemengen
Kapillare	capillus (lat) = Haar – Haarröhre
kinetisch	κινέω (kineo, gr) = bewegen, verteilen, veranlassen – durch Bewegung verursacht
Koeffizient	cum (lat) = mit, efficere (lat) = bereiten – Beiwert

Kompression	Volumenverkleinerung
komprimieren	comprimere (lat) = zusammendrücken – zusammendrücken
Kondensation	condensare (lat) = verdichten – Verdichtung, Verflüssigung
konstant	constans (lat) = beständig, fest – unveränderlich
Konvektion	convehere (lat) = zusammenbringen – Wärmeübertragung durch einen sich bewegenden Stoff
Kritik	κρίσις (krisis, gr) = Beurteilung – gewissenhafte Prüfung
Kurve	curvus (lat) = gekrümmt – krumme Linie
latent	latens (lat) = unsichtbar, verborgen – verborgen
linear	linea (lat) = Leine, Schnur – gerade
Material	materia (lat) = Stoff – Stoff
makroskopisch	μακρός σκοπέω (makros, skopeo, gr) = grob, sehen – mit bloßem Auge sichtbar
Medium	medium (lat) = das in der Mitte befindliche – Mittel, Stoff
optische Täuschung	gr vom Stamme ὀπ (sehen); ὀπτίλος (optilos; spätgr) = Auge – Augentäuschung
parallel	gleichlaufend
potentielle Energie	potentia (lat) = Kraft, Wirksamkeit – Energie der Lage
proportional	proportio (lat) = ähnliches Verhältnis – verhältnismäßig
Prozeß	procedere (lat) = fortschreiten – Vorgang
Reaktion	re (lat) = zurück, agere (lat) = treiben, führen – Umwandlung, Einwirkung eines Körpers auf einen anderen
reflektieren	reflectere (lat) = umwenden – zurückwerfen
relativ	relatio (lat) = Beziehung – bezüglich
spezifisch	species (lat) = Art – artgebunden, kennzeichnend
Sublimation	sublimare (lat) = erhöhen – Übergang eines festen Stoffes in den gasförmigen Zustand (hier: in einen höheren Zustand übergehen)
Substanz	substantia (lat) = Bestand – Stoff
Temperatur	temperatura (lat) = Beschaffenheit – Wärmegrad
Theorie	θεωρέιν (theorein,gr) = erwägen, untersuchen – Lehre, wissenschaftliche Betrachtung
Thermometer	θερμός (thermos, gr) = warm – Wärmegradmesser
typisch	τύπος (typos, gr) = Bild, Form – kennzeichnend
Vakuum	vacuus (lat) = leer – luftleerer Raum
Volumen	volumen (lat) = Buch – Rauminhalt
Wärmekapazität	capacitas (lat) = Fassungsvermögen – Wärmemenge, die einen Körper um 1° erwärmt

GLEICHZEITIG MIT DIESEM BANDE ERSCHEINEN

A	*Mathematik*	12502	Rechne rasch und richtig
		12521	Naturgesetz und funktionale Abhängigkeit
K	*Meteorologie*	12501	Das Wetter im Sprichwort
N	*Allgemeine Geographie* .	12524	Das Gradnetz der Erde
O	*Länder und Völker* . . .	12518	Die lebende Landkarte
		12509	Steinzeitvölker der Gegenwart

DEMNÄCHST WERDEN FERTIGGESTELLT

B	*Physik*	12527	Über die Energie
C	*Chemie*	12503	Die Sprache des Chemikers
D	*Allgemeine Biologie* . . .	12513	Lebensbündnisse in Tier- und Pflanzenreich
E	*Botanik*	12546	Frühlingsblüher des Auwaldes
F	*Zoologie*	12526	Verborgenes Leben
		12530	Gefiederte Freunde in Haus, Hof und Garten
G	*Der Mensch*	12504	Blut und Lymphe
H	*Astronomie*	12505	Botschaften aus dem Weltall
		12547	Sonnenflecken
J	*Geophysik*	12542	Wie alt ist die Erde?
L	*Geologie*	12535	Eine Sandgrube
N	*Allgemeine Geographie* .	12517	Die Wegeaufnahme
O	*Länder und Völker* . . .	12507	Das weiße Land
P	*Reisen und Forschungen* .	12548	Neun Monate auf treibender Eisscholle
Q	*Der junge Naturforscher* .	12519	Unsere Steinsammlung

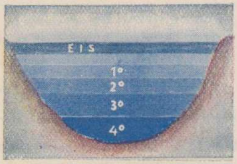
Die Zahlen zwischen Serie und Titel sind die Bestellnummern. Weitere noch in Vorbereitung befindliche Bände werden fortlaufend an dieser Stelle angezeigt

VOLK UND WISSEN SAMMELBÜCHEREI
GRUPPE II / NATUR UND WISSEN
SCHRIFTLEITUNG: DR. G. BARTHOLOMÄUS

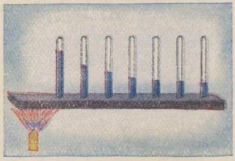
DIE GRUPPE II UMFASST FOLGENDE SERIEN:

A MATHEMATIK
B PHYSIK
C CHEMIE
D ALLGEMEINE BIOLOGIE
E BOTANIK
F ZOOLOGIE
G DER MENSCH
H ASTRONOMIE
I GEOPHYSIK
K METEOROLOGIE
L GEOLOGIE
M MINERALOGIE
N ALLGEMEINE GEOGRAPHIE
O LÄNDER UND VÖLKER
P REISEN UND FORSCHUNGEN
Q DER JUNGE NATURFORSCHER
R SCHÖNHEITEN U. SELTSAMKEITEN
S NOCH NICHT VERFÜGT
T NOCH NICHT VERFÜGT
U GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFT

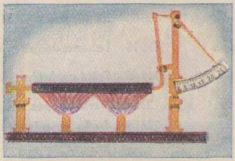
Anomalie des Wassers: Als Folge der als Anomalie bezeichneten Eigenschaft des Wassers, bei 4° C am schwersten zu sein, befindet sich bei Abkühlung eines Teiches im Winter in Bodennähe eine 4° warme Schicht, über die sich kältere und somit spezifisch leichtere Wassermassen lagern.



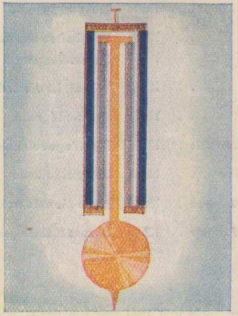
Wärmeleitung: Die an einem Ende eines Metallstabes durch Heizen hervorgerufene Erwärmung pflanzt sich allmählich durch Leitung längs des Stabes fort. Der Temperaturverlauf läßt sich an Thermometern bis an das andere Stabende verfolgen.



Wärmeausdehnung: Die bei Erwärmen eines Körpers — hier des Metallstabes — eintretende Verlängerung wird auf einen Zeiger übertragen und kann an der angebrachten Skala abgelesen werden.



Rostpendel: Das Rost- oder Kompensationspendel dient dazu, die Linse eines Uhrenpendels immer in gleicher Höhe zu halten und damit einen gleichmäßigen Gang der Uhr zu gewährleisten. Durch Wahl geeigneter Metalle, die bei Erwärmung verschieden große Längenausdehnung erfahren, kann eine Kompensation der Linsenbewegungen erreicht werden.



IM ERSCHEINEN:
GRUPPE I DICHTUNG UND WAHRHEIT
KENNZEICHEN: SCHWARZE FLATTERMARKE

IN VORBEREITUNG:
GRUPPE III TECHNIK UND VERSUCH
KENNZEICHEN: BLAUE FLATTERMARKE

12511